



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Estudios de Postgrado  
Maestría en Artes en Ingeniería de Mantenimiento

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA  
CABLES DE ACERO DE CALIBRE DE HASTA 1 PULGADA EN GRÚAS FIJAS DE 2 A 5  
TON EMPLEANDO LA NORMA ISO 4309-2017 EN EL ÁREA METROPOLITANA**

**Ing. Gustavo Adolfo Perdomo Avendaño**

Asesorado por el Mtro. Ing. Wellington Emilio Vásquez Santos

Guatemala, enero de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA  
CABLES DE ACERO DE CALIBRE DE HASTA 1 PULGADA EN GRÚAS FIJAS DE 2 A 5  
TON EMPLEANDO LA NORMA ISO 4309-2017 EN EL ÁREA METROPOLITANA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**ING. GUSTAVO ADOLFO PERDOMO AVENDAÑO**  
ASESORADO POR EL MTRO. ING. WELLINGTON EMILIO VÁSQUEZ  
SANTOS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE  
**MAESTRO EN ARTES EN INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO**

GUATEMALA, ENERO DE 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Armando Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**JURADO EVALUADOR QUE PRACTICÓ EL EXAMEN DE DEFENSA**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
DIRECTOR	Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí
EXAMINADORA	Mtra. Inga. Rocío Carolina Medina Galindo
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Carlos Alejandro Alegre Ordóñez
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA CABLES DE ACERO DE CALIBRE DE HASTA 1 PULGADA EN GRÚAS FIJAS DE 2 A 5 TON EMPLEANDO LA NORMA ISO 4309-2017 EN EL ÁREA METROPOLITANA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 18 de mayo de 2020.

**Ing. Gustavo Adolfo Perdomo Avendaño**

Facultad de Ingeniería

Decanato  
24189101-  
24189102  
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

LNG.DECANATO.OI.017.2022

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Estudios de Posgrado, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA CABLES DE ACERO DE CALIBRE DE HASTA 1 PULGADA EN GRÚAS FIJAS DE 2 A 5 TON EMPLEANDO LA NORMA ISO 4309-2017 EN EL ÁREA METROPOLITANA**, presentado por: **Gustavo Adolfo Perdomo Avendaño**, que pertenece al programa de Maestría en artes en Ingeniería de mantenimiento, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada ★

Decana

Guatemala, enero de 2022

AACE/gaac



**Guatemala, enero de 2022**

LNG.EEP.OI.017.2022

En mi calidad de Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del asesor, verificar la aprobación del Coordinador de Maestría y la aprobación del Área de Lingüística al trabajo de graduación titulado:

**“DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA CABLES DE ACERO DE CALIBRE DE HASTA 1 PULGADA EN GRÚAS FIJAS DE 2 A 5 TON EMPLEANDO LA NORMA ISO 4309-2017 EN EL ÁREA METROPOLITANA”**

presentado por **Gustavo Adolfo Perdomo Avendaño** correspondiente al programa de **Maestría en artes en Ingeniería de mantenimiento** ; apruebo y autorizo el mismo.

Atentamente,

*“Id y Enseñad a Todos”*

  
**Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí**  
Director  
Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería





Guatemala 19 septiembre 2021.

**M.A. Edgar Darío Álvarez Cotí**  
**Director**  
**Escuela de Estudios de Postgrado**  
**Presente**

**M.A. Ingeniero Álvarez Cotí:**

Por este medio informo que he revisado y aprobado el **Trabajo de Graduación** titulado: **“DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA CABLES DE ACERO DE CALIBRE DE HASTA 1 PULGADA EN GRÚAS FIJAS DE 2 A 5 TON EMPLEANDO LA NORMA ISO 4309-2017 EN EL ÁREA METROPOLITANA”** del estudiante **Ing. Gustavo Adolfo Perdomo Avendaño** quien se identifica con número de carné **200611080** del programa de **Maestría en Ingeniería de Mantenimiento**.

Con base en la evaluación realizada hago constar que he evaluado la calidad, validez, pertinencia y coherencia de los resultados obtenidos en el trabajo presentado y según lo establecido en el *Normativo de Tesis y Trabajos de Graduación aprobado por Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería Punto Sexto inciso 6.10 del Acta 04-2014 de sesión celebrada el 04 de febrero de 2014*. Por lo cual el trabajo evaluado cuenta con mi aprobación.

Agradeciendo su atención y deseándole éxitos en sus actividades profesionales me suscribo.

Atentamente,

**Mtra. Inga. Rocío Carolina Medina Galindo**  
**Coordinadora**  
**Maestría en Ingeniería de Mantenimiento**  
**Escuela de Estudios de Postgrado**

Guatemala, 30 octubre 2020

**Ingeniero Mtro.  
Edgar Álvarez Cotí  
Director  
Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería USAC  
Ciudad Universitaria, Zona 12**

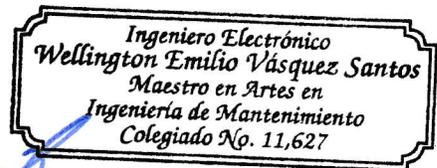
**Distinguido Ingeniero Álvarez:**

Atentamente me dirijo a usted para hacer de su conocimiento que como asesor de trabajo de graduación del estudiante Gustavo Adolfo Perdomo Avendaño, carné número 200611080, cuyo título es '**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA CABLES DE ACERO DE CALIBRE DE HASTA 1 PULGADA EN GRÚAS FIJAS DE 2 A 5 TON EMPLEANDO LA NORMA ISO 4309-2017 EN EL ÁREA METROPOLITANA**', para optar al grado académico de Maestro en Ingeniería de Mantenimiento, he procedido a la revisión del mismo.

En tal sentido, en calidad de asesor doy mi anuencia y aprobación para que el estudiante Perdomo Avendaño, continúe con los trámites correspondientes.

Sin otro particular, me es grato suscribirme de usted.

Atentamente,



**Ing. Wellington Emilio Vásquez Santos**  
Mtro. Ingeniería de Mantenimiento  
Asesor

## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por su amor y su misericordia de regalarme la Vida y la sabiduría para culminar esta etapa.
<b>Mi padre</b>	Gustavo Adolfo Perdomo Castillo, por ser el respaldo, motivación y ejemplo a seguir.
<b>Mi madre</b>	Aura Julieta Avendaño, por ser el apoyo y motivación durante estos años de estudio.
<b>Familia</b>	Por apoyarme en cada etapa y compartir mis logros alcanzados.
<b>Mis compañeros</b>	Daniel Jiménez, Javier Pellecer y Rudy López por su amistad, apoyo y dedicación en estos 2 años de estudio.
<b>Mis amigos</b>	Por ser ese respaldo y motivación para lograr esta meta siempre buscando ser un gran profesional.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

**Universidad de San  
Carlos de Guatemala**

Por ser mi casa de estudios durante 16 años.

**Facultad de Ingeniería**

Por ser la unidad de estudios que me dio las herramientas para lograr ser un profesional de éxito.

**Escuela de Estudios de  
Postgrado**

Por ser la unidad de estudio que me permitió llevar mis conocimientos como profesional a un nivel superior.

**Ingeniero Wellington  
Vásquez**

Por brindarme su experiencia y apoyo para culminar este trabajo y ser más que un asesor, ser un amigo.

**Ingeniero Carlos Alegre**

Por ser un amigo, brindando su conocimiento y apoyo para lograr culminar el trabajo de graduación.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	VII
GLOSARIO .....	IX
RESUMEN.....	XI
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE PREGUNTAS ORIENTADORAS .....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO .....	XVII
INTRODUCCIÓN .....	XXI
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Mantenimiento .....	1
1.1.1. Concepto general .....	1
1.1.2. Importancia.....	1
1.1.3. Tipos de mantenimiento .....	2
1.2. Grúas.....	3
1.2.1. Concepto .....	3
1.2.2. Características de la grúa .....	3
1.2.3. Factores para uso de la grúa.....	4
1.2.4. Elementos de una grúa.....	4
1.2.4.1 Elementos estructurales .....	4
1.2.4.2. Carriles y ruedas.....	5

	1.2.4.3.	Elementos de elevación .....	7
	1.2.4.4.	Elementos de transmisión .....	7
	1.2.4.5.	Dispositivos de suspensión .....	8
1.2.5.		Tipos de grúa .....	10
	1.2.5.1	Grúa puente .....	10
	1.2.5.2.	Grúa suspendida .....	11
	1.2.5.3.	Grúa pórtico.....	12
	1.2.5.4.	Grúa giratoria.....	13
	1.2.5.5.	Grúa autopulsada.....	14
1.3		Cables de acero .....	15
	1.3.1.	Concepto .....	15
	1.3.2.	Elementos de un cable .....	16
	1.3.2.1.	Alambres de acero .....	17
	1.3.2.2.	Torones .....	17
	1.3.2.3.	Alma .....	18
	1.3.3.	Construcción de un cable .....	19
	1.3.4.	Aplicaciones .....	22
1.4.		Normativas internacionales .....	22
	1.4.1.	Organización ISO .....	23
	1.4.2.	Historia .....	23
	1.4.3.	Aplicaciones .....	23
	1.4.4.	Beneficios de las normas ISO .....	23
	1.4.5.	ISO 4309:2017 .....	24

2.	DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.....	25
2.1.	Visita de campo para identificación de equipo.....	25
2.2.	Visita para revisión de estado de cables .....	27
2.2.1	Revisión de estado general .....	28
2.2.2.	Verificación de diámetro del cable .....	28
2.2.3.	Detección de fallas .....	29
2.3.	Medición de distancias de punta a falla .....	30
2.4.	Estado físico de los cables acerados .....	31
2.5.	Estado de condición de fallas encontradas .....	35
3.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	37
3.1.	Resultados de análisis inicial.....	37
3.1.1.	Grúa 1: Taller Central .....	37
3.1.2.	Grúa 2: Taller Central .....	38
3.1.3.	Grúa 3: taller de reconstrucción de maquinaria .....	39
3.1.4.	Grúa 4: taller de reconstrucción de motores.....	40
3.2.	Establecimiento de fallas claves para control .....	41
3.2.1.	Elongación de Cable.....	42
3.2.2.	Dobleces en Cable .....	42
3.2.3.	Hilos reventados .....	43
3.3.	Propuesta de procedimientos técnicos para control de fallas..	44
4.	PROPUESTA DE SOLUCIÓN.....	45
4.1.	Propuesta de plan de mantenimiento .....	45
4.1.1.	Inspección del cable .....	45

4.1.1.1.	Accidentes.....	48
4.1.2.	Mantenimiento de los cables de acero .....	48
4.1.2.1.	Lubricación .....	48
4.1.3.	Criterios de descarte de cable.....	49
4.1.3.1.	Descarte por deformación de cable.....	50
4.1.3.2.	Descarte por dobleces del cable .....	51
4.1.3.3.	Descarte por hilos reventados.....	52
4.2.	Comunicación asertiva para detección de fallas .....	55
4.3.	Análisis externo.....	60
4.4.	Análisis interno.....	62
CONCLUSIONES.....		65
RECOMENDACIONES .....		67
REFERENCIAS .....		69
APÉNDICE .....		73
ANEXOS.....		75

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1.	Perfil carril burbach.....	5
2.	Perfil carril de Vignole .....	6
3.	Perfiles de carriles llantones .....	6
4.	División de elementos de transmisión.....	8
5.	Dispositivos de sujeción.....	9
6.	Grúa puente .....	11
7.	Grúa suspendida.....	12
8.	Grúa pórtico .....	13
9.	Grúa giratoria .....	14
10.	Grúa auto-propulsada .....	15
11.	Cable de acero.....	16
12.	Composición de un cable de acero .....	17
13.	Torones de un cable de acero .....	18
14.	Tipos de alma .....	19
15.	Construcción Seale .....	20
16.	Construcción Filler .....	21
17.	Construcción Warrington.....	22
18.	Grúas de taller de maquinaria pesada .....	26
19.	Revisión General de grúa de 5 toneladas.....	27
20.	Medición correcta del cable de acero.....	29
21.	Uniones con abrazaderas .....	30
22.	Deformación de cable de acero .....	31
23.	Lesión en torón .....	32

24.	Deformación en torón .....	33
25.	Hilos reventados en cable de acero.....	34
26.	Hilos reventados en corona de cable.....	43
27.	Puntos clave de inspección en cable usado en grúa .....	46
28.	Dimensiones para descarte por dobleces de cable .....	51
29.	Definición gráfica de ordinary lay (Tendido Regular) y lang lay (Tendido Transversal).....	53

## TABLAS

I.	Fallas detectadas en grúa No.1 .....	38
II.	Fallas detectadas en grúa No. 2 .....	39
III.	Fallas detectadas en grúa No.3 .....	40
IV.	Fallas detectadas en grúa No. 4 .....	41
V.	Factores a inspeccionar y métodos de evaluación .....	47
VI.	Cantidad de alambres rotos por tipo de cable .....	54
VII.	Charla de 5 minutos para inspección básica .....	56
VIII.	Charla de 5 minutos para inspección completa .....	58

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
°	Acompaña a la cantidad de grados que gira un objeto
<b>hp</b>	Caballos de fuerza. Unidad de potencia
<b>cm</b>	Centímetro. Unidad de longitud
<b>Kg</b>	Kilogramo. Unidad de peso
<b>l</b>	Litro. Unidad de volumen
<b>m</b>	Metro. Unidad de longitud
<b>&amp;</b>	Nombrado como et y si significado es <<y>>
<b>%</b>	Porcentaje
<b>In</b>	Pulgada. Unidad de longitud
<b>Ton</b>	Tonelada. Unidad de volumen



## GLOSARIO

<b>Falla</b>	Es un defecto encontrado en algún objeto ya sea desde su fabricación o por uso continuo.
<b>Inspección</b>	Exploración física que se realiza a través de una visita.
<b>ISO</b>	<i>International Organization for Standardization</i> (Organización Internacional de Estandarización).
<b>Mantenimiento</b>	Conservación de un objeto en buen estado o en una situación determinada para evitar su degradación.
<b>Procedimiento</b>	Método o sistema estructurado para ejecutar algunas cosas.
<b>Sistematización</b>	Organización, clasificación conforme a un orden o sistema establecido.
<b>Torón</b>	Cable de acero formado o constituido por un grupo de alambres dispuestos en forma helicoidal.

**Viscosidad**

Es una característica del aceite o grasa, la cual determina la capacidad de oponerse al movimiento.

## RESUMEN

La falta de atención a los cables que son utilizados en las grúas que se encuentran ubicadas en un taller de maquinaria pesada es un factor que puede causar accidentes que pueden resultar en la pérdida de una vida humana.

Es necesario entender que las grúas como equipo son revisadas en todo su mecanismo, sin embargo, no se tiene un protocolo de inspección de cables de acero que en ellas se utilizan. Al evaluar las condiciones que se presentaban, a simple vista se observó que se tenían deformaciones plásticas, las cuales afectaban el orden de cómo se enrollaban en el cilindro de almacenaje, sin mencionar que la caída natural del cable ya se veía afectada por deformaciones que se dieron por una sobrecarga en el paso de una polea o por exceder la carga nominal para la cual está definida dicha grúa.

Se hace un recorrido de conocimiento y se evidencia que todas las grúas presentan condiciones similares, algunas en menor cantidad que otras, sin embargo con esta información se consulta al departamento de mantenimiento de infraestructura ¿cuáles eran los procedimientos que se utilizaban para darle mantenimiento a las grúas?, se obtiene un protocolo donde el enfoque primordial era la estructura metálica de la grúa, lo único que presentaba como revisión de cable era el revisar su lubricación, si tenía daños en la superficie para evaluar su sustitución en el período que ellos definieran.



## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE PREGUNTAS ORIENTADORAS**

El problema fue el deterioro acelerado con aumento de probabilidad de falla para los cables de acero presentes en grúas de carga.

Esto evidenció que el mantenimiento que se les presta a los equipos incluye una revisión general de todo mecanismo, sin embargo, esto no ha tenido un estándar establecido para el cable de acero de una grúa. No hay una norma de respaldo que garantice que el trabajo realizado mantendrá las características del equipo y prolongará su vida útil.

El problema se ha presentado durante la operación en el taller de mantenimiento de maquinaria pesada, perteneciente a la gerencia de servicios, donde tiene lugar el uso de grúas giratorias de 360° y grúas puentes de capacidades de 2 a 5 toneladas, donde el cable de acero que conecta el brazo de la grúa es el mecanismo que mayor desgaste presenta. Si se define el procedimiento de mantenimiento basado en la norma ISO 4309-2017, se podrá espaldar que los trabajos de inspección, mantenimiento y reparación prologarán la vida útil del cable y se podrá evidenciar cuando el cable ya presenta síntomas que pueden provocar una falla, de lo contrario se corre el riesgo de tener una falla no detectada ocasionando pérdidas económicas por daño a los equipos trabajados y daños físicos en el personal que pueden provocar hasta la muerte.

- Pregunta central de investigación

¿Cómo se puede prolongar la vida útil de los cables de acero calibre de hasta 1 pulgada en grúas fijas de 2 a 5 ton?

- Preguntas orientadoras

- ¿Cómo se puede definir el estado físico de los cables acerados de diámetros de hasta 1 pulgada que se utilizan en grúas de talleres de servicios?
- ¿Cuáles pueden ser las condiciones físicas del cableado de la grúa para definir el reemplazo?
- ¿Qué procedimientos técnicos deben incluirse en el plan de mantenimiento preventivo para un cable acerado?
- ¿Cómo se pueden comunicar las características que definen la posible falla de un cable de acero?

# OBJETIVOS

## General

Diseñar una propuesta para un plan de mantenimiento preventivo para prolongar la vida útil de cables de acero de calibre de hasta 1 pulgada en grúas fijas de 2 a 5 ton empleando la norma ISO 4309-2017.

## Específicos

- Determinar el estado físico de los cables acerados de diámetros de hasta 1 pulgada que se utilizan en grúas de talleres de servicios en una empresa de maquinaria pesada por medio de inspecciones físicas y revisión de informes de mantenimiento.
- Establecer la condición de deterioro de los cables de acero, los cuales requieren sustitución con base en las características de descarte detectadas durante las inspecciones.
- Establecer los procedimientos técnicos para la planificación efectiva del mantenimiento preventivo de un cable acerado basado en la norma ISO 4309-2017.
- Establecer vías de comunicación amigables para dar a conocer a los colaboradores los parámetros de catalogación de un cable en mal estado.



## RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO

El presente trabajo de investigación propone un plan de mantenimiento para cables de acero utilizados en grúas de carga ubicadas en un taller de mantenimiento de maquinaria pesada, el cual busca dar las herramientas necesarias para poder hacer una inspección efectiva, la cual puede ser previo al uso o planificada, para darle un mantenimiento adecuado al cable, buscando no alterar las condiciones que el fabricante establece y tener muy presente que existen factores en los cuales los cables deben ser sacados de funcionamiento, ya que poseen características que establecen que su falla es inminente. Estos factores son denominados como criterios de descarte.

El estudio se inició realizando una visita de campo en conjunto con las personas involucradas en el uso, operación, mantenimiento y supervisión de las grúas, quienes en conjunto definieron las grúas en estudio relacionadas a su criticidad, tomando en cuenta la frecuencia de uso, la accesibilidad de la maquinaria, la importancia en el proceso, sin dejar por un lado el poder cubrir todas las operaciones de los diferentes talleres.

Al conocer las grúas en estudio, se procedió, en acompañamiento del encargado de mantenimiento, a revisar de manera física los cables de cada una de las grúas definidas, tabulando cada daño encontrado, las distancias a las cuales se encontraban y como parte importante medir por completo la longitud del cable para conocer si poseía deformación y elongación.

Al tener los datos, se tabularon y analizaron en hojas de cálculo, donde se definió que era imposible hacer una comparativa, ya que cada grúa tenía características de uso muy específicas; sin embargo las fallas encontradas son la clave para poder definir un plan de mantenimiento eficiente, por tal razón solo se presentaron las cantidades de fallas encontradas en cada grúa.

Al conocer los daños presentes en las grúas analizadas se propone un plan de mantenimiento para los cables de acero de diferentes diámetros, que si bien se había definido de hasta 1 pulgada de diámetro al analizar la norma ISO 4309:2017 se evidencia que este plan puede ser aplicable a cualquier diámetro y construcción de cable, solo se debe conocer la ficha técnica y características completas del cable en análisis.

El plan de mantenimiento inicia proponiendo inspecciones asertivas en los cables, donde se presentan dos tipos, una básica que es la que se debe realizar previo a cada uso de la grúa, e inspección completa, la cual debe ser programada buscando el detener el equipo para poder revisar toda la longitud del cable.

Al realizar una inspección correcta se puede pasar a la segunda fase del plan y decidir el tipo de mantenimiento que se le debe realizar al cable, que gira en torno a la lubricación correcta y medición de temperaturas de trabajo en poleas. Si en la inspección y mantenimiento se detectan daños en el cable, se debe tomar en cuenta el descarte a tiempo del cable de acero, siendo esta la parte fundamental del plan de mantenimiento.

Para el descarte del cable se requiere que se haya hecho una inspección completa con un análisis a profundidad sobre el cable, y que la decisión sea tomada luego de varios puntos de vista, incluyendo a la empresa que realice el mantenimiento, el encargado de mantenimiento de infraestructura y los

supervisores de talleres, quienes en conjunto y con base a los registros históricos de las inspecciones completas y mantenimientos pasados poder parar la grúa y hacer el descarte del cable, documentando los criterios bajos los cuales se determinó.

La propuesta de mantenimiento requiere una capacitación a todo el personal que se ve involucrado: operario de grúa, supervisores de área, encargado de mantenimiento de infraestructura y la empresa que se tiene como designada para realizar el mantenimiento de las grúas.



## INTRODUCCIÓN

Las grúas son equipos claves en muchos de los procesos de producción en Guatemala. Estas pueden variar en características como tamaño, capacidad, distancias, piezas y si son estáticas o móviles. Sin embargo, la pieza clave de estos equipos es el cable de acero, ya que es la unión entre la grúa y la carga a levantar.

El presente trabajo busca una sistematización del mantenimiento de los cables de acero, ya que en Guatemala el problema es que no se cuenta con un procedimiento para realizar dicho mantenimiento respaldado por una norma.

Todos los mantenimientos se hacen de acuerdo con las recomendaciones del fabricante ya sea del cable de acero o de fabricante de la grúa, sin embargo, los anteriores no contemplan condiciones ambientales, trabajo expuesto, entre otros factores situacionales que se pueden presentar.

El tener un plan de mantenimiento preventivo basado en una norma ISO, la cual es un estándar internacional, genera la confianza de poder implementarlo y entender que se están tomando en cuenta las variables necesarias para buscar obtener el tiempo de vida ofrecido por el fabricante.

El crear un plan de mantenimiento para cables de acero busca tener beneficios en diferentes aspectos, como el económico, donde se buscará que la eficiencia del sistema sea la adecuada, logrando así un desempeño idóneo del cable; seguridad, donde se buscará tener un procedimiento de inspección para determinar el estado del cable y poder detectar fallas antes de tener una fatalidad

o un daño a la propiedad que puede afectar de igual manera a las personas y a la empresa.

El trabajo tiene una secuencia donde como primer punto se buscó el analizar el estado actual de los cables de acero de grúas estáticas seleccionadas en una muestra, luego se revisaron los reportes de mantenimiento realizados con el objetivo de determinar la efectividad de la inspección efectuada y los alcances obtenidos. Como segunda fase se buscó definir un procedimiento de inspección adecuado para los cables de acero, el cual será la base del procedimiento de mantenimiento para los cables.

El trabajo de investigación se compone de varias fases, dentro de las cuales se tiene: inicio, construcción, unificación y revisión. En la primera fase se hizo una inspección física, evaluando el estado actual de los cables de acero. Luego se revisó la norma ISO 4309-2017 para tomar las indicaciones y recomendaciones básicas del cuidado de cables de acero. En la siguiente fase se realizó un inventario de las grúas que son utilizadas y como parte final se elaboró el plan de mantenimiento preventivo para los cables.

El plan de mantenimiento tiene una factibilidad amplia, ya que la empresa donde se desarrollará tiene la necesidad de un procedimiento adecuado, debido a la criticidad que presenta el equipo dentro de sus operaciones, siendo este fundamental para el mantenimiento de maquinaria especializada, actividad desarrollada diariamente.

El trabajo de investigación fue factible ya que se contó con todos los recursos necesarios para desarrollarse, como lo son factores económicos, mano de obra y tiempo de ejecución. La necesidad de un plan de mantenimiento preventivo radica en la importancia de las grúas, estas son claves en el taller ya

que son utilizadas diariamente, beneficiando así a la empresa en el desarrollo adecuado de sus procesos y al personal en tener equipos confiables y seguros.

En el capítulo I de la investigación se desarrolló el marco teórico, para ello se definieron los conceptos de mantenimiento, tipos de mantenimiento presentes en la industria. Se desarrolló el concepto de cable de acero incluyendo su conformación y parte de este, y cerrando las conceptualizaciones se estableció los conceptos básicos de la norma ISO 4309-2017, iniciando con la historia de las normas ISO, sus objetivos y como se conforman la mismas.

En el capítulo II se hizo el desarrollo de la investigación, donde se visitó la empresa, haciendo un acompañamiento guiado para seleccionar las grúas que se analizarían, definiendo la criticidad de cada una y conociendo el proceso que lleva cada una de ellas en el trabajo diario.

En el capítulo III se hizo la presentación de resultados, donde se muestran las fallas encontradas en los cables de las 4 grúas seleccionadas. Se tabularon y se presentaron los resultados para su análisis, el cual respaldó el capítulo IV.

En el capítulo IV se hizo la propuesta de solución, en donde se define un plan de mantenimiento preventivo para los cables de acero, la cual se basó en las características presentadas en el capítulo anterior y las bases que establece la norma ISO 4309-2017. Asimismo, se realizó el análisis externo e interno del trabajo donde se dio la validez de este.



# **1. MARCO TEÓRICO**

## **1.1. Mantenimiento**

El mantenimiento es la clave para que todo equipo instalado en una planta funcione correctamente, logrando así dos objetivos, del lado productivo, la eficiencia del proceso se la óptima y del lado del equipo, alcance la vida útil señalada por el fabricante y en algunas ocasiones sea aún más larga.

### **1.1.1. Concepto general**

Rey (2001) define que el mantenimiento es conjunto de técnicas que garantizarán el uso correcto de las instalaciones y funcionamiento adecuado de la maquinaria de producción.

Gómez (1998) establece que el mantenimiento es la búsqueda de mantener en un estado correcto y funcional los equipos e instalaciones.

Tavares (1996) define al mantenimiento como las acciones que se necesitan para que un ítem sea conservado en sus condiciones especificadas.

### **1.1.2. Importancia**

Rey (2001) define que el adquirir una máquina para producir es la parte inicial de todo proceso, sin embargo, el mantenimiento es importante debido a que este hará que el tiempo de vida de esta se mantenga, conociendo que el valor del mantenimiento irá aumentado con el pasar del tiempo.

Tavares (1996) define que en la actualidad en las empresas todos los procesos se ven como eslabones de una cadena, por lo tanto, el mantenimiento ha llegado a ser uno de los más importantes ya que de ellos depende que el funcionamiento sea el adecuado, teniendo un impacto directo sobre el sistema.

### **1.1.3. Tipos de mantenimiento**

Rey (2001) establece que existe superación a los conceptos actuales de los tipos de mantenimiento, por tal razón define los siguientes:

- Mantenimiento preventivo sistemático: este superando al mantenimiento correctivo.
- Mantenimiento predictivo: este superando al mantenimiento preventivo sistemático.

El concepto como tal va a depender del sistema de gestión de la empresa donde se apliquen los conceptos, situación que evita la veracidad total del concepto anterior.

Gómez (1998) define que existen clasificaciones del mantenimiento, estas pueden diferir en su etapa de aplicación dentro de la empresa, sin embargo establece los siguientes tipos de mantenimiento:

- Mantenimiento correctivo
- Mantenimiento preventivo
- Mantenimiento predictivo
- Mantenimiento productivo total

Tavares (1996) establece que existen diferencias entre dos tipos de mantenimiento, preventivo y correctivo, estos al tener subdivisiones generan divergencias entre sus fronteras definidas.

## **1.2. Grúas**

Las grúas son equipos claves en muchos procesos industriales, ya que la movilización de productos, es una actividad fundamental para que un proceso sea eficiente.

### **1.2.1. Concepto**

Comesaña (2010) define que las grúas son uno de los elementos más utilizados en el concepto de elevación y transporte de materiales, teniendo actualmente una gran diversificación, la cual genera ventajas que en los años 60 no se tenían, lo cual presentaba grandes problemas.

### **1.2.2. Características de la grúa**

Comesaña (2010) establece que las grúas tienen una gran cantidad de características las cuales las hacen adecuadas para el trabajo; sin embargo se enumeran las más importantes:

- Capacidad de maniobra
- Elevación y transporte
- Maximización de espacio
- Manejo de cargas variables

### **1.2.3. Factores para uso de la grúa**

Comesaña (2010) dispone que una grúa no será útil si está no cumple con los requisitos que una empresa necesita, para poder cumplir con ellos antes de hacer una instalación de un equipo se debe tomar en cuenta los siguientes factores:

- Capacidad de carga
- Factores de seguridad
- Velocidades del equipo (giro, elevación, movimientos axiales)
- Movimientos (repetitivos o eventuales)
- Espacio de trabajo

### **1.2.4. Elementos de una grúa**

Una grúa está compuesta por una serie de elementos los cuales hacen que el movimiento de la misma sea eficiente y capaz de soportar cargas, si uno de estos no posee las características adecuadas que se complementen entre sí, el riesgo de fallo es inminente

#### **1.2.4.1 Elementos estructurales**

Comesaña (2010) establece que los elementos estructurales de una grúa son los destinados a soportar los elementos de elevación y transporte, por tal razón esta siempre debe estar sobredimensionada para cumplir con los requisitos de seguridad en el trabajo.

Los elementos estructurales no pueden ser estandarizados, estos deben ser diseñados específicamente para el trabajo que se va a realizar, ya que se contempla lugar de trabajo, cargas, ubicación, movimiento, entre otros.

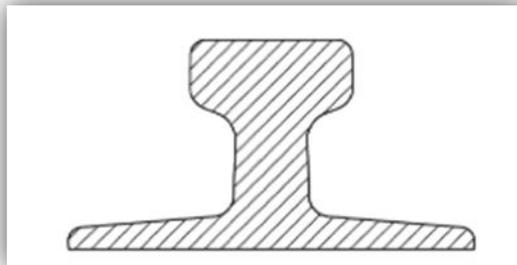
El material más utilizado para los elementos estructurales son vigas de acero en sus diversas presentaciones, usándose de manera individual como en diseños complejos.

#### 1.2.4.2. Carriles y ruedas

Comesaña (2010) establece que los carriles y ruedas son factores primordiales en el uso de una grúa, ya que la carga luego de ser elevada debe tener movimiento. Las ruedas y carriles tienen una relación directa ya que la rueda viene definida con base en el carril donde se recorrerá, por tal razón se enumeran carriles en función de su uso:

- Carriles Burbach: destinados a ser utilizados en grandes cargas.

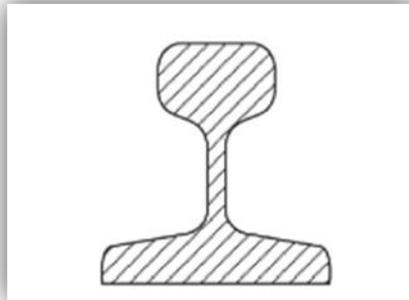
Figura 1: **Perfil carril burbach**



Fuente: Comesaña. (2010). *Montaje e instalación de grúas*.

- Carriles Vignole: estas son utilizadas en bases de hormigón, y estos carriles poseen un elevado módulo de resistencia.

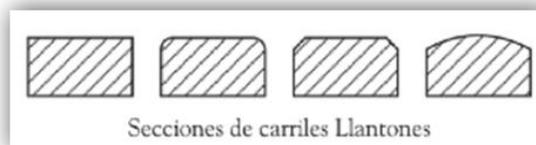
Figura 2: **Perfil carril de Vignole**



Fuente: Comesaña. (2010). *Montaje e instalación de grúas.*

- Carriles llantones: también llamados carriles ordinarios y estos se utilizan para rodadura sobre perfiles laminados, estos pueden ser:
  - Rectangulares
  - Esquinas superiores redondeadas
  - Esquinas angulares
  - Lado superior curvo

Figura 3: **Perfiles de carriles llantones**



Fuente: Comesaña. (2010). *Montaje e instalación de grúas.*

### **1.2.4.3. Elementos de elevación**

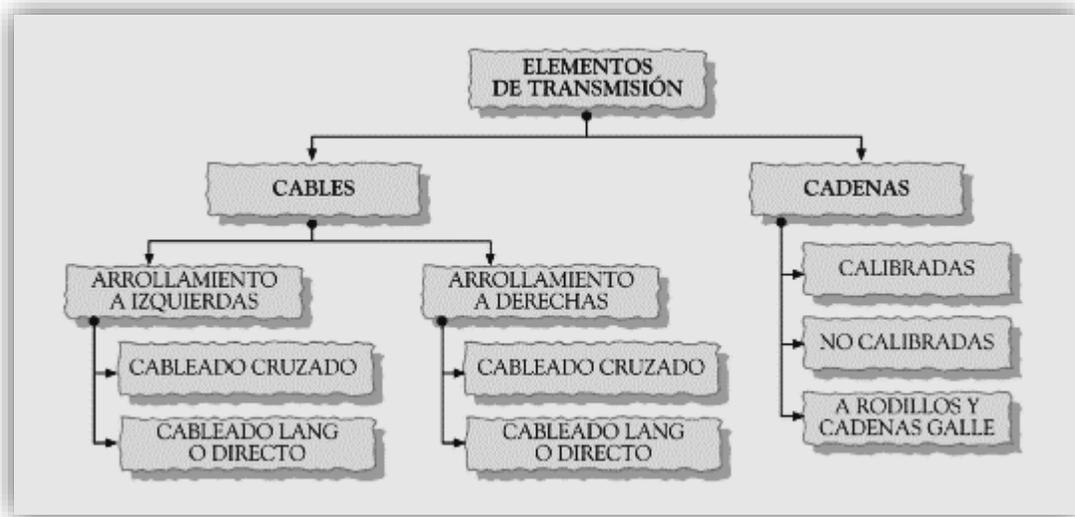
Comesaña (2010) establece que los elementos de elevación son aquellos encargados del movimiento vertical de la carga, el cual hoy en día ya es realizado por equipo eléctrico. Este elemento de la grúa también tiene secciones, las cuales son:

- Motores, reductores y engranajes: estos en general vienen en un sistema ya armado, el cual variará su velocidad con base en la relación de engranajes y de la fuerza a aplicar en la tarea.
- Embragues y frenos: dispositivos que tienen como objetivo proteger los dispositivos tractores de esfuerzos innecesarios al momento de hacer la elevación.
- Tambor de enrollado de cable: dispositivo donde se busca colocar el cable que no está siendo utilizado al momento de elevar una carga o al momento de estar detenida la grúa. Las normas DIN establecen que el tambor debe tener el tamaño adecuado para permitir el enrollado del cable en una sola cama.
- Elementos de traslación: elementos que permite el movimiento de la carga izada a lo largo de la viga.

### **1.2.4.4. Elementos de transmisión**

Comesaña (2010) define que estos elementos son los encargados de transmitir esfuerzos desde la carga hasta el elemento de elevación, regularmente estos son los cables o cadenas. Actualmente el cable ha sustituido a las cadenas en su totalidad para los equipos con motor. Hay que mencionar que las cadenas siguen siendo claves para el uso de polipastos y equipos manuales.

Figura 4: **División de elementos de transmisión**



Fuente: Comesaña. (2010). *Montaje e instalación de grúas.*

#### 1.2.4.5. **Dispositivos de suspensión**

Comesaña (2010) establece que los dispositivos de suspensión son los que se encargan de la sujeción y anclaje de la carga a ser transportada. Cuando se habla de dispositivos de suspensión se refiere a:

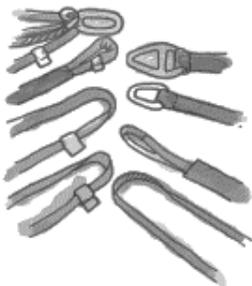
- Ancho de ojal
- Gancho de seguridad
- Gancho doble
- Gancho de hojas

El gancho normalmente está montado sobre el elemento de transmisión. Cuando se mencionan elementos de sujeción, son los dispositivos que abrazan o encierran la carga, entre ellos se tiene:

- Eslingas de acero (cadenas y cables)
- Eslingas de nailon
- Ménsulas de carga de gran longitud
- Plataformas
- Pinzas o cucharas
- Imanes o electroportadores

Sin embargo, en la industria actual se utiliza comúnmente eslingas de metal o de nylon, esto debido a su facilidad de manejo y costos.

Figura 5. **Dispositivos de sujeción**

	<p><b>Eslingas metálicas:</b></p> <p>Normalmente están construidas con cables o cadenas de acero, que precisan de un mantenimiento exhaustivo.</p>
	<p><b>Eslingas de nylon:</b></p> <p>Normalmente son las más usadas debido a su fácil almacenamiento y a que no causan daños a la carga.</p>

Fuente: Comesaña. (2010). *Montaje e instalación de grúas.*

### **1.2.5. Tipos de grúa**

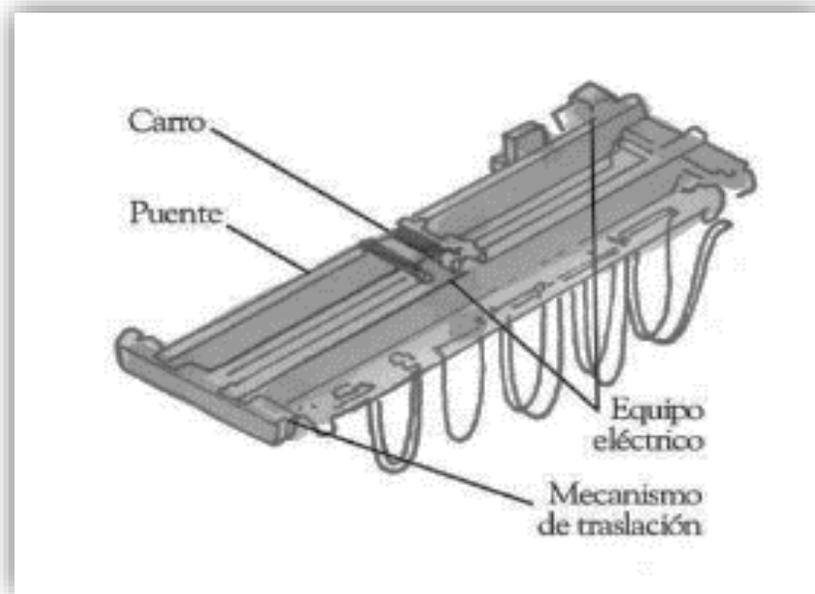
Comesaña (2010) establece que en el mercado actualmente existe una gama amplia de grúas, sin embargo, se mencionarán las más utilizadas.

#### **1.2.5.1 Grúa puente**

Comesaña (2010) define que el equipo está constituido por una viga simple o combinada, la cual se desplaza por dos carriles colocados sobre la estructura del edificio donde se realiza el trabajo. Esta grúa presenta grandes ventajas como:

- Aprovechamiento del espacio
- Aprovechamiento de la altura
- Gran movilidad
- Instalación de varias grúas en el mismo lugar

Figura 6. **Grúa puente**

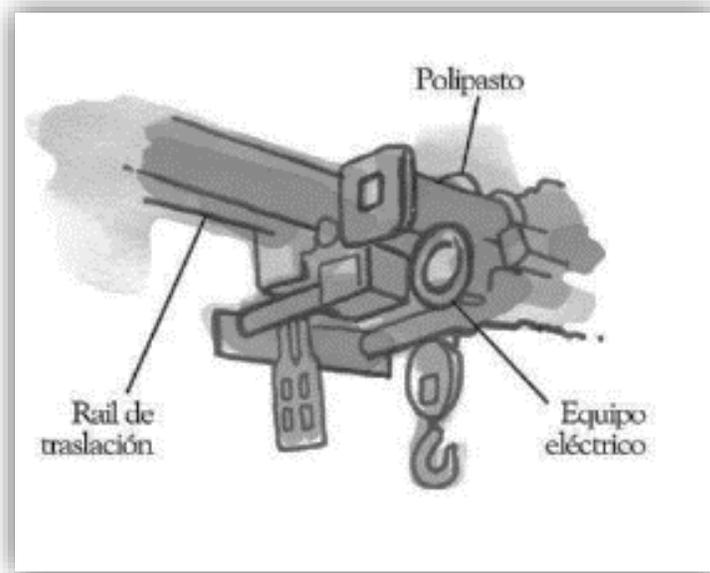


Fuente: Comesaña. (2010). *Montaje e instalación de grúas.*

### 1.2.5.2. **Grúa suspendida**

Comesaña (2010) establece que la grúa suspendida es un polipasto eléctrico el cual se coloca sobre una viga que puede tener movimiento ya sea por rieles o por brazo giratorio. Este equipo está diseñado para cargas no mayores a las 5 toneladas. El equipo es sencillo en operación y movimiento, siendo el objetivo de este un movimiento suave.

Figura 7. **Grúa suspendida**

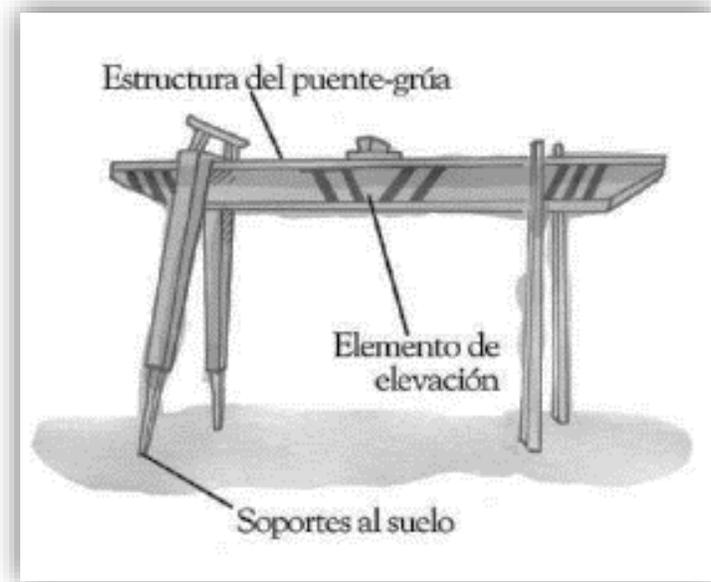


Fuente: Comesaña. (2010). *Montaje e instalación de grúas.*

### 1.2.5.3. **Grúa pórtico**

Comesaña (2010) define que la grúa pórtico se resume en una grúa puente montada sobre bases móviles soportadas en el piso, la cual no logra alcanzar cotas de luces elevadas. Estos equipos son utilizados en las afuera de bodegas y edificios, más utilizadas en puertos y grandes estaciones de almacenamiento.

Figura 8. **Grúa pórtico**



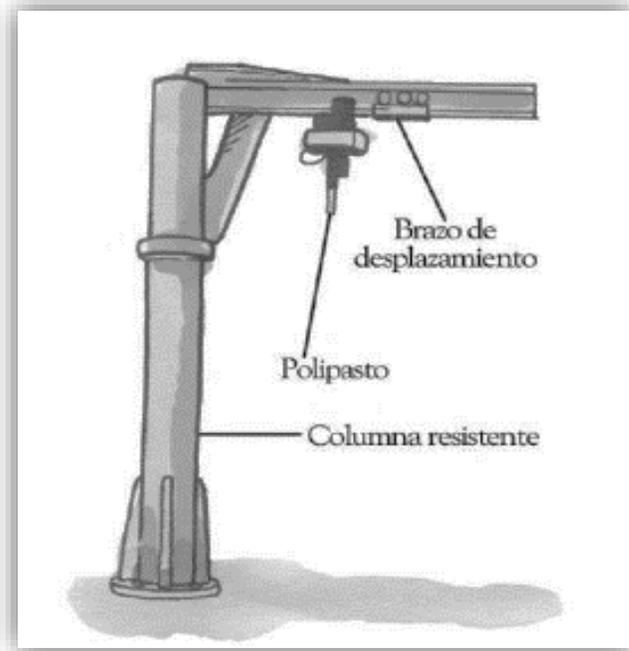
Fuente: Comesaña. (2010). *Montaje e instalación de grúas.*

#### 1.2.5.4. **Grúa giratoria**

Comesaña (2010) define que las grúas giratorias son equipos de elevación y transporte donde el movimiento de la carga es circular en su plano axial. Estos equipos se dividen en dos tipos:

- Grúas radiales
- Grúas de plataforma giratoria

Figura 9. **Grúa giratoria**



Fuente: Comesaña. (2010). *Montaje e instalación de grúas.*

#### 1.2.5.5. **Grúa autopropulsada**

Comesaña (2010) establece que las grúas auto-propulsadas son una variación de las grúas giratorias, donde su diferencia radica en la plataforma donde está montada y el vehículo que la transporta.

El objetivo principal de estas grúas es poder realizar trabajo en *in situ*, la cual puede requerir una capacidad aumentada por lo que las plataformas poseen brazos para aumentar área de base.

Figura 10. **Grúa autopropulsada**



Fuente: Comesaña (2010). *Montaje e instalación de grúas.*

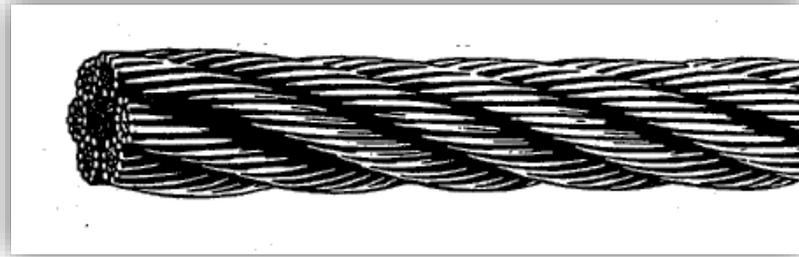
### 1.3 **Cables de acero**

El cable de acero es parte fundamental de muchos procesos o equipos, ya que sus objetivos pueden ser múltiples, como por ejemplo transmitir potencia, sujetar equipos, entre otros.

#### 1.3.1. **Concepto**

CODELCO-Chile (1995) define el cable de acero como un conjunto de alambres de acero trenzados de manera ordenada con el objetivo de desempeñar un trabajo.

Figura 11. **Cable de acero**



Fuente: CODELCO-Chile (1995). *Manejo de cargas con cables de acero, eslingas/estrobos.*

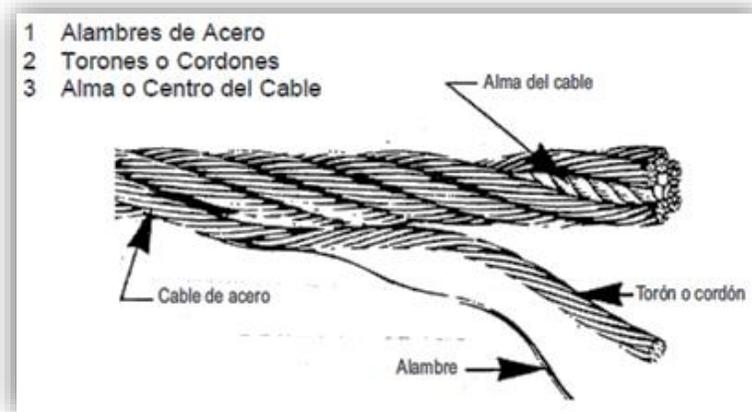
### **1.3.2. Elementos de un cable**

Las partes de cable son:

- Alambre
- Torón o cordón
- Alma

Estas se pueden identificar mejor en la siguiente figura:

Figura 12. **Composición de un cable de acero**



Fuente: CODELCO-Chile (1995). *Manejo de cargas con cables de acero, eslingas/estrobos.*

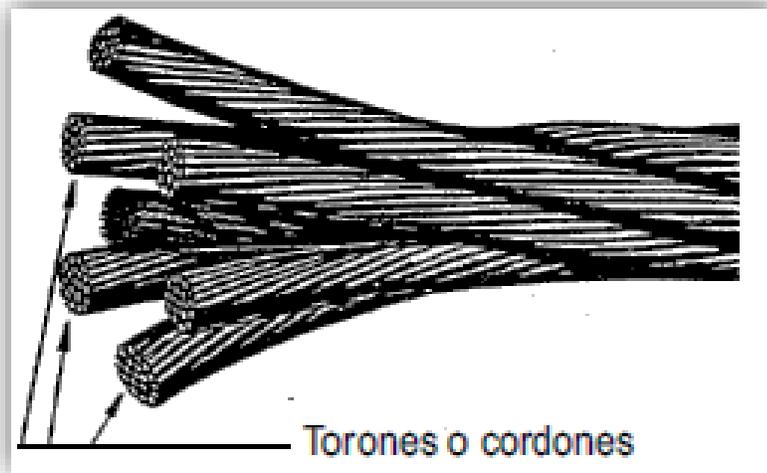
### 1.3.2.1. **Alambres de acero**

CODELCO-Chile (1995) define el alambre de acero como “El componente básico en la construcción de un cable” que al colocarlos de manera helicoidal formarán un torón.

### 1.3.2.2. **Torones**

CODELCO-chile (1995) define un torón como “el conjunto de alambres colocados en una o varias capas y enrollados o trenzados helicoidalmente alrededor de un alambre central o alma.”

Figura 13. **Torones de un cable de acero**



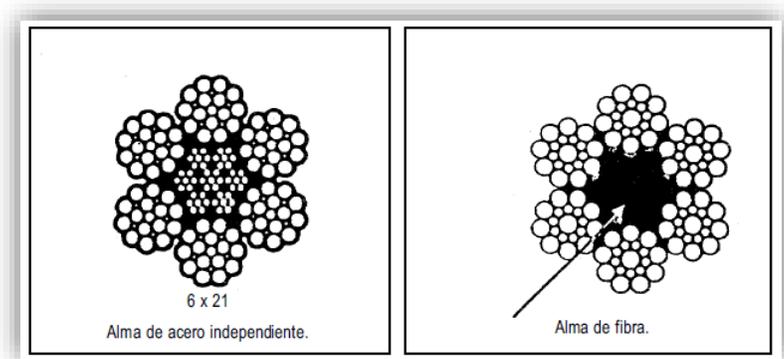
Fuente: CODELCO-Chile. (1995). *Manejo de cargas con cables de acero, eslingas/estrobos.*

### 1.3.2.3. **Alma**

CODELCO-Chile (1995) define "Constituye el núcleo central del cable alrededor del cual se trenzan los torones o cordones y alambres que forman el cable.". Los tipos de alma son:

- Alma metálica
- Alma de fibra
- Alma de fibra sintética
- Alma mixta

Figura 14. Tipos de alma



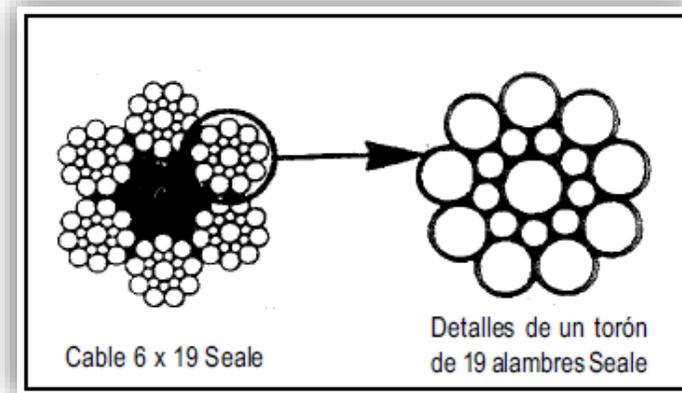
Fuente: CODELCO-Chile. (1995). *Manejo de cargas con cables de acero, eslingas/estrobos.*

### 1.3.3. Construcción de un cable

CODELCO-Chile (1995) establece que la construcción de un cable es la forma de combinar los alambres que los conforman, estos se pueden clasificar en tres grupos básicos como lo son: 6 x 7, 6 x 9 y 6 x 37, donde la primera cifra define el número de torones y la segunda el número de alambres. Los anteriores se definen con los siguientes nombres:

- Construcción Seale: construcción conformada por dos capas de alambres de distinto diámetro.

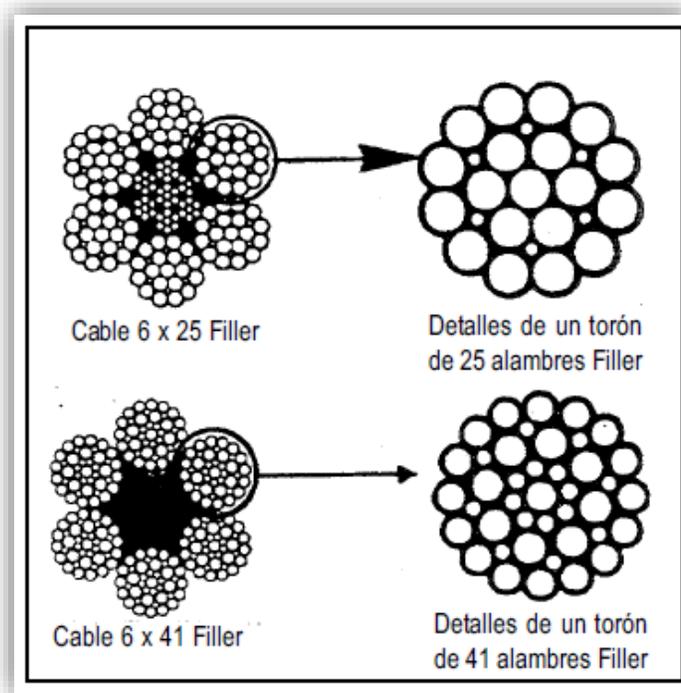
Figura 15. **Construcción Seale**



Fuente: CODELCO-Chile. (1995). *Manejo de cargas con cables de acero, eslingas/estrobos.*

- Construcción Filler: construcción de alambres del mismo diámetro, sin embargo, los espacios que son dejados entre alambres son llenados con alambres de menor diámetro.

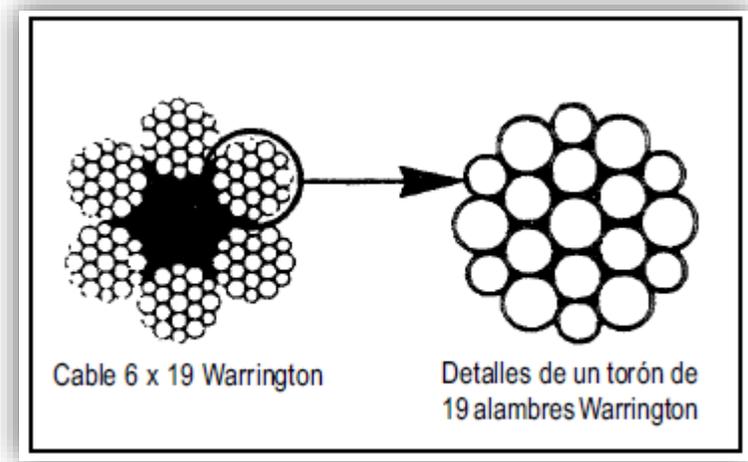
Figura 16. **Construcción Filler**



Fuente: CODELCO-Chile. (1995). *Manejo de cargas con cables de acero, eslingas/estrobos.*

- Construcción Warrington: construcción que se conforma por un centro de alambres del mismo diámetro cubiertos por una capa de alambres de diámetros distintos.

Figura 17. **Construcción Warrington**



Fuente: CODELCO-Chile. (1995). *Manejo de cargas con cables de acero, eslingas/estrobos.*

#### **1.3.4. Aplicaciones**

CODELCO-Chile (1995) establece que las aplicaciones básicas para un cable de acero son las de transmitir movimiento y soportar carga en operaciones de levantado y soporte, las cuales pueden estar en la misma tarea, también menciona que son utilizadas como tirantes o tensores para sujeción de estructuras o equipos.

#### **1.4. Normativas internacionales**

Las normativas internacionales son estándares que sirven como respaldo para poder mejorar procesos definidos, ya que definen lineamientos que ayudan a optimizar y actualizar los mismos.

#### **1.4.1. Organización ISO**

Para ISO (2019) es una organización de ámbito internacional a la cual pertenecen 164 organizaciones nacionales que buscan la normalización, la cual logra reunir expertos quienes comparten su conocimiento.

#### **1.4.2. Historia**

ISO inicia en el año 1946, cuando 25 países se reúnen para crear una organización internacional para la coordinación y unificación de estándares industriales, logrando así en febrero de 1947 iniciar oficialmente sus operaciones. ISO (2019)

#### **1.4.3. Aplicaciones**

ISO (2019) define que las normas internacionales han hecho que las cosas funcionen, ya que estas buscan generar especificaciones de clase mundial para todo proceso que incluya productos, servicios y sistemas, con la idea de buscar la calidad, seguridad y eficiencia.

Se han publicado cerca de 22,856 estándares internacionales y documentos relacionados, los cuales han cubierto casi todas las industrias. ISO (2019)

#### **1.4.4. Beneficios de las normas ISO**

ISO (2019) define que las normas están presentes en todo actualmente, ya que estas son aplicadas desde zapatos hasta redes inalámbricas, y este proceso de inclusión se ha dado durante los últimos 50 años, lo que significa que en el consumidor se ha generado confianza en los productos ya que estos presentan aspectos de seguridad y de calidad.

#### **1.4.5. ISO 4309:2017**

Esta norma fue creada con el objetivo de poder tener una regularización en el uso de los cables que son utilizados en las grúas, ya que estos son equipos que deben ser analizados correctamente para el reemplazo a tiempo, evitando así accidentes innecesarios.

La norma define conceptos básicos para poder diferenciar los tipos de cables, ya que la gama de estos es muy amplia y la aplicación de los mismos demanda conocimiento del tema.

Luego de la conceptualización la norma establece la siguiente estructura:

- Inspección el cable: en esta parte establece parámetros para una inspección correcta en una frecuencia definida.
- Mantenimiento del cable: hace énfasis en la conservación del cable y la compatibilidad de la lubricación definida por el fabricante.
- Criterios de descarte: esta es la parte que más importancia establece la norma, ya que acá se define qué características hacen que un cable sea reemplazado.

## **2. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN**

Durante el desarrollo de la investigación se realizaron visitas de campo para la identificación de los equipos a evaluar, visitas para la revisión del estado de los cables, medición de distancias de punto a falla y evaluación de la falla. La recopilación de información física de los cables fue corte longitudinal. La recopilación del historial de mantenimiento de los equipos se hizo por medio de una solicitud al departamento de mantenimiento de infraestructura. La recopilación de historial de mantenimiento es de corte transversal.

### **2.1. Visita de campo para identificación de equipo**

La visita para la identificación de equipo a evaluar fue realizada el 22 enero de 2020 a las 10:00 horas, en la ubicación de la empresa de estudio. Durante la inspección estuvo presente el encargado de mantenimiento de Infraestructura, Jorge Zúñiga, el jefe de taller Víctor Gonzales y el supervisor de mantenimiento, Alexander de León. Esta visita finalizó a las 10:45 horas.

Figura 18. **Grúas de taller de maquinaria pesada**



Fuente: [Fotografía de Gustavo Perdomo]. (Guatemala, Guatemala. 2021). Colección particular. Guatemala.

Durante la vista se definió que la muestra de grúas a evaluar estará en las siguientes áreas:

- Taller central: área con la mayor ejecución de tareas de mantenimiento y reparación.
- Taller de reconstrucción de maquinaria: área con actividades con mayor tiempo de ejecución en una sola máquina.
- Taller de reconstrucción de motores: área de con necesidad de precisión y exactitud.

## 2.2. Visita para revisión de estado de cables

Esta visita fue realizada en conjunto con el encargado de mantenimiento de Infraestructura, donde se tuvo la coordinación con el área para la delimitación y suspensión de actividades. Como parte de la actividad se puso en funcionamiento la grúa, girándola sobre su eje, verificando su estabilidad. Se bajó y subió por completo el gancho, verificando el buen estado del sistema. Se hizo el levantamiento de carga suspendida, analizando la tensión del cable y la potencia del sistema.

Figura 19. **Revisión General de grúa de 5 toneladas**



Fuente: [Fotografía de Gustavo Perdomo]. (Guatemala, Guatemala. 2021). Colección particular. Guatemala.

Durante esta revisión se evidenció que los cables sufren daños físicos por el manejo y cargas soportadas, ya que el tema de corrosión no es una falla con grandes consideraciones.

### **2.2.1 Revisión de estado general**

En esta etapa se revisaron aspectos de funcionalidad completa de la grúa, ya que estos pueden influir en el tiempo de vida del cable de acero. Entre los puntos de revisión se tuvieron:

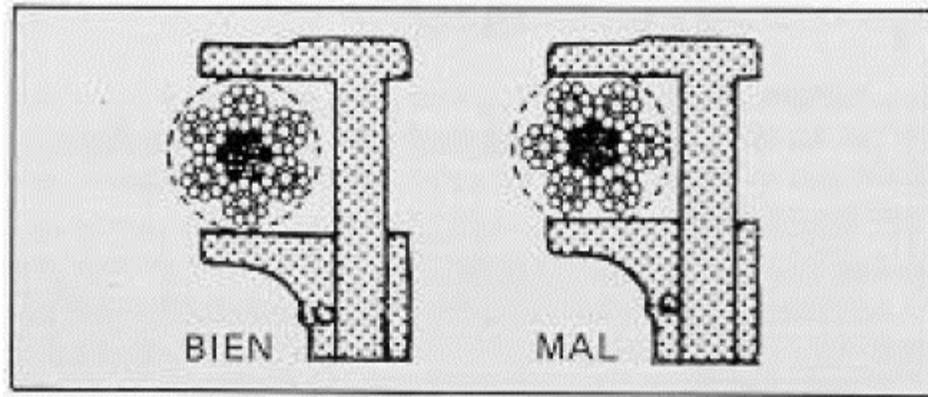
- Estado de motor
- Estado del cilindro de enrollado de cable
- Poleas del gancho
- Poleas del sistema de elevación
- Punto de anclaje de punta de cable

Los puntos anteriores pueden generar factores de fallo como el de tensiones por detención repentina del equipo, intermitencia de movimientos, asimetría del enrollado o movimiento del cable.

### **2.2.2. Verificación de diámetro del cable**

El diámetro del cable es importante conocerlo, ya que esto permite percibir la flexibilidad del mismo ante el movimiento, los diámetros de poleas y cilindros a los que pueden ser sometidos sin causar un daño de deformación permanente. En el caso mostrado, los diámetros fueron verificados, como lo demuestra la figura 20, tomando en cuenta que la medición del diámetro de los cables de acero debe hacerse de cresta a cresta.

Figura 20. **Medición correcta del cable de acero**



Fuente: Servaté (1980). *NTP 155: Cables de acero*.

Estos datos son descritos en el apéndice 1, que son las tablas de datos recolectados durante las inspecciones.

### 2.2.3. **Detección de fallas**

En esta etapa se evaluaron las fallas encontradas en el cable de acero, donde se buscaban fallas como:

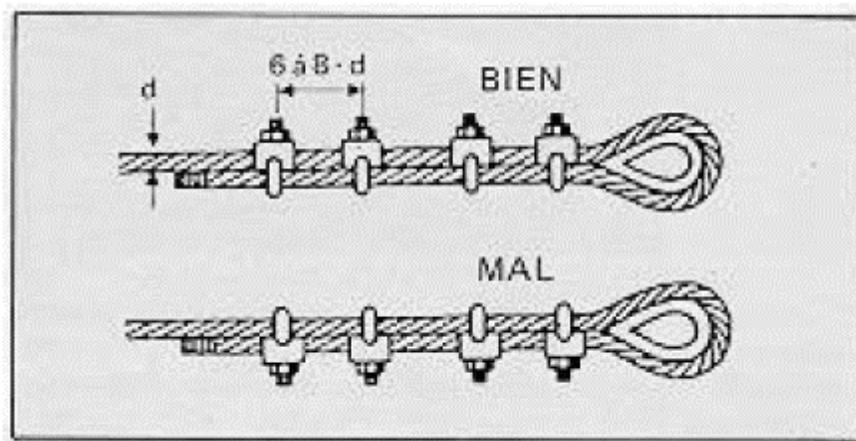
- Corrosión
- Deformación
- Hilos reventados

Esta revisión se realizó en toda la longitud del cable, ya que este no todo está enrollado en el cilindro de sujeción, si no que quedan tramos, los cuales se ubican en las poleas del sistema.

### 2.3. Medición de distancias de punta a falla

Para esta medición es necesario poder contemplar que la distancia a medir es posterior al tramo de sujeción del cable, el cual debe ser de la siguiente manera:

Figura 21. Uniones con abrazaderas



Fuente: Servaté (1980), *NTP 155: Cables de acero*.

Por lo que la medición será efectiva desde la unión de la punta anclada al brazo de la grúa, hasta punto de sujeción de cilindro de enrollado de cable. Siempre recordando que el cable que está colocado dentro de las poleas del sistema sí debe ser tomado en cuenta.

## 2.4. Estado físico de los cables acerados

Luego de poder revisar de manera física los cables de acero, se evidencia que los cables poseen un estado físico con condiciones que necesitan atención, donde se encontraron las siguientes fallas recurrentes:

- Elongación: el cable presenta una longitud total más grande en comparación a la longitud con la que fue instalado
- Dobleces: donde el cable pierde su característica elástica y se queda en una posición plástica total:

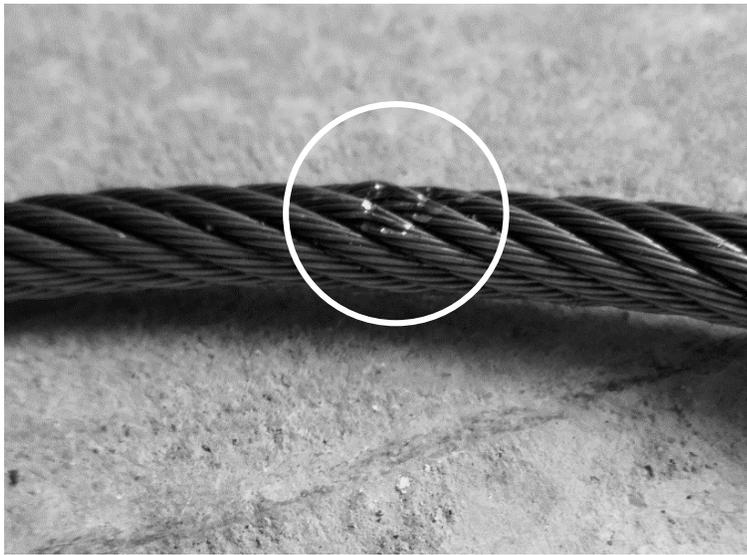
Figura 22. **Deformación de cable de acero**



Fuente: [Fotografía de Gustavo Perdomo]. (Guatemala, Guatemala. 2021). Colección particular. Guatemala.

- Torones con lesión: cortes o lesiones que presenta los torones sin llegar al punto de reventar los hilos del cable.

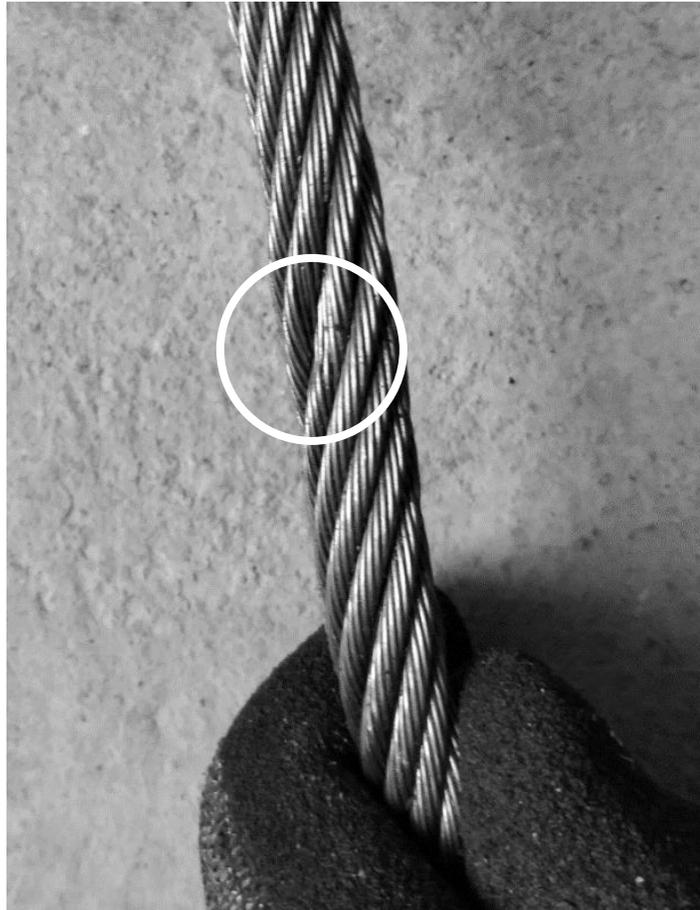
Figura 23. **Lesión en torón**



Fuente: [Fotografía de Gustavo Perdomo]. (Guatemala, Guatemala. 2021). Colección particular.  
Guatemala

- Torones con deformación: Torones que presentan deformación en sus hilos, donde no hay lesión, solo dobleces o deformación.

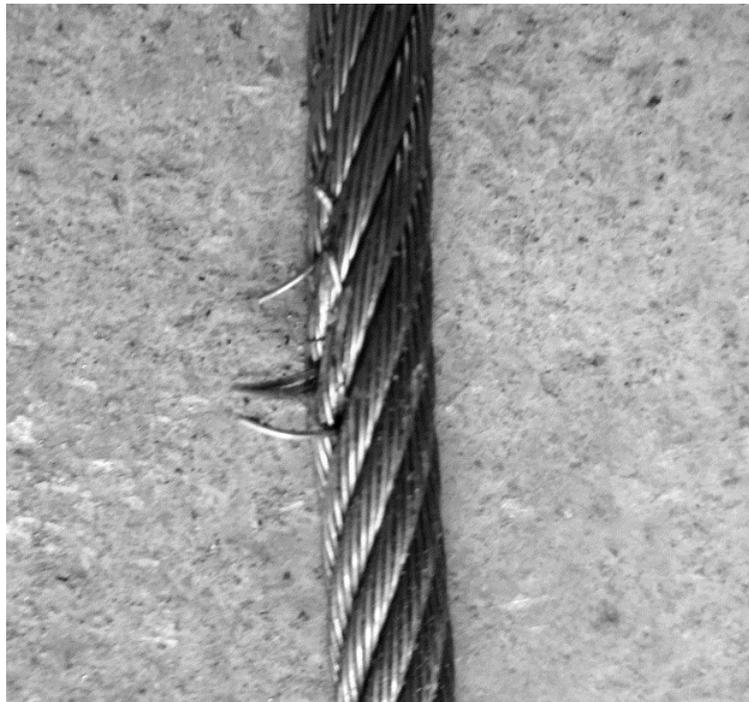
Figura 24. Deformación en torón



Fuente: [Fotografía de Gustavo Perdomo]. (Guatemala, Guatemala. 2021). Colección particular. Guatemala.

- Hilos reventados: hilos que salen de la formación normal del cable

Figura 25. **Hilos reventados en cable de acero**



Fuente: [Fotografía de Gustavo Perdomo]. (Guatemala, Guatemala. 2021). Colección particular. Guatemala.

Al revisar los informes de mantenimiento se evidencia que el trabajo relacionado al cable de acero iba enfocado a engrasar el mismo, revisarlo de manera que hilos no estuvieran reventados, criterio estándar para la inspección del cable. Sin embargo, el giro del mantenimiento principal era poder garantizar los movimientos axiales de la grúa.

## **2.5. Estado de condición de fallas encontradas**

Luego de hacer la evaluación de los factores que influyen en la vida y función del cable acerado, se encontró que los daños con mayor presencia son las deformaciones del cable, incluyendo la elongación de su longitud y dobleces.

Al determinar estos factores, se evidencia que el material pasó a una etapa plástica, etapa donde permite que el material se estire, pero no regrese a su estado normal, donde sus características son reducidas y la probabilidad de falla se aumenta. Si se menciona las características secundarias se tienen lesiones en los torones, que se pueden llegar a interpretar como posibles hilos reventados sumando que el cable ya presenta hilos en este estado.



### **3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS**

En este capítulo se presentarán resultados de los análisis realizados a los cables de acero y se establecerá la propuesta para los procedimientos técnicos para la planificación del mantenimiento preventivo para los cables de acero.

#### **3.1. Resultados de análisis inicial**

Se analizaron 4 cables de acero, los cuales son utilizados en 4 grúas distintas en áreas definidas en el capítulo 2, teniendo como resultado los siguientes comportamientos en cada una de las grúas:

##### **3.1.1. Grúa 1: Taller Central**

Esta es una grúa giratoria de 5 toneladas de capacidad máxima, ubicada en el taller central, la cual es utilizada con una frecuencia más amplia, ya que esta es utilizada para realizar mantenimientos, reparaciones y revisiones de diagnósticos específicos, el acceso de la maquinaria a la grúa es práctico y puede ver hasta 4 equipos en una semana. Los daños encontrados son los siguientes:

Tabla I. **Fallas detectadas en grúa No.1**

<b>Grúa No. 1</b>			
<b>Longitud</b>	<b>Inicial (m)</b>	<b>Final (m)</b>	<b>Porcentaje de elongación</b>
	38.5	38.71	0.545%
<b>Fallas detectadas</b>			<b>Cantidad</b>
<b>Cantidad de dobleces en cable</b>			3
<b>Torones deformados</b>			5
<b>Torones con lesión</b>			2
<b>Hilos reventados</b>			6

Fuente: elaboración propia.

### 3.1.2. **Grúa 2: Taller Central**

Esta es una grúa giratoria con capacidad máxima de 5 toneladas, ubicada en el taller central. La cual es utilizada para revisión de maquinaria que llega fallando, pero no se conoce el diagnóstico. La maquinaria pesada en esta grúa puede pasar hasta una semana en lo que se logra definir la falla de la misma, por tal razón su frecuencia de uso se reduce en comparación a la grúa No.1. Los daños encontrados en esta grúa son los siguientes:

Tabla II. **Fallas detectadas en grúa No. 2**

<b>Grúa No. 2</b>			
<b>Longitud</b>	Inicial (m)	Final (m)	Porcentaje de elongación
	35.5	35.62	0.338%
<b>Fallas detectadas</b>			<b>Cantidad</b>
<b>Cantidad de dobleces en cable</b>			3
<b>Torones deformados</b>			3
<b>Torones con lesión</b>			2
<b>Hilos reventados</b>			2

Fuente: elaboración propia.

### 3.1.3. **Grúa 3: taller de reconstrucción de maquinaria**

Esta es una grúa giratoria de 5 toneladas de capacidad máxima, ubicada en el taller de reconstrucción de maquinaria pesada, la cual es utilizada netamente para montar y desmontar piezas y equipos. Esta grúa su frecuencia de uso es muy limitada, ya que la reconstrucción de un equipo no es una tarea muy recurrente. Las fallas encontradas en esta grúa son:

Tabla III. **Fallas detectadas en grúa No.3**

<b>Grúa No. 3</b>			
<b>Longitud</b>	<b>Inicial (m)</b>	<b>Final (m)</b>	<b>Porcentaje de elongación</b>
	35	35.11	0.314%
<b>Fallas detectadas</b>			<b>Cantidad</b>
<b>Cantidad de dobleces en cable</b>			5
<b>Torones deformados</b>			5
<b>Torones con lesión</b>			1
<b>Hilos reventados</b>			4

Fuente: elaboración propia.

#### **3.1.4. Grúa 4: taller de reconstrucción de motores**

Esta es una grúa giratoria con capacidad máxima de 3 toneladas, ubicada en el taller de reconstrucción de motores, la cual es utilizada para montar y desmontar componentes en bloques de motores de maquinaria pesada, su frecuencia de uso es diaria, pero sus condiciones de trabajo son controladas, ya que el ambiente es aislado, y los trabajos son con procedimientos definidos. Las fallas encontradas en la misma son:

Tabla IV. **Fallas detectadas en grúa no. 4**

<b>Grúa No. 4</b>			
<b>Longitud</b>	Inicial (m)	Final (m)	Porcentaje de elongación
	20	20.04	0.200%
<b>Fallas detectadas</b>			<b>Cantidad</b>
<b>Cantidad de dobleces en cable</b>			4
<b>Torones deformados</b>			7
<b>Torones con lesión</b>			0
<b>Hilos reventados</b>			5

Fuente: elaboración propia

### 3.2. Establecimiento de fallas claves para control

En el punto anterior se puede observar que las grúas son utilizadas en diferentes giros de trabajo, algunas más exigidas en cuanto a capacidades y otras en cuanto a frecuencia de uso. Por la razón anterior no se puede llegar a un punto de comparación entre los cables, ya que una comparativa no genera valor a la investigación.

Uno de los puntos claves a resaltar en este trabajo es el tipo de cable que se está estudiando, siendo sus características las siguientes:

- Tipo: cable de acero arado mejorado
- Clasificación: 6 x 19
- Tipo de alma: alma de cable independiente (IWRC)
- Tipo de trenzado: regular Derecho (RHRL)

Estos datos se aclaran al inicio de este punto para poder describir las fallas claves y hacer referencias hacia puntos posteriores de este documento. Este documento puede ser aplicado a otro tipo de cable, siempre y cuando se verifiquen las características del mismo y se comparen con las tablas y descripciones contenidas en los anexos de “A” a la “I” de la norma ISO 4309:2017.

Conociendo los datos anteriores se definen los siguientes criterios de falla:

### **3.2.1. Elongación de Cable**

La elongación del cable puede estar relacionada a dos factores claves, los cuales son:

- Temperatura: esta puede tener como causas a la fricción entre hilos o torones, sin embargo la causa principal es el roce que se tiene entre poleas al momento de su manipulación.
- Exceso de carga: esto puede darse en casos extremos donde el personal no evalúe bien la carga y esta sobrepase el límite que se define para cada grúa.

### **3.2.2. Doblec es en Cable**

Esta característica podría parecer algo normal en el cable de acero, sin embargo, bajo las condiciones de la norma ISO 4309:2017, en su inciso 6.7.2, menciona que puede ser este un estado de descarte del cable de acero, ya que la deformación del cable es evidente por estar en estado plástico.

Las características de descarte se definen en el capítulo 4 de este documento tomando en cuenta el cable en estudio.

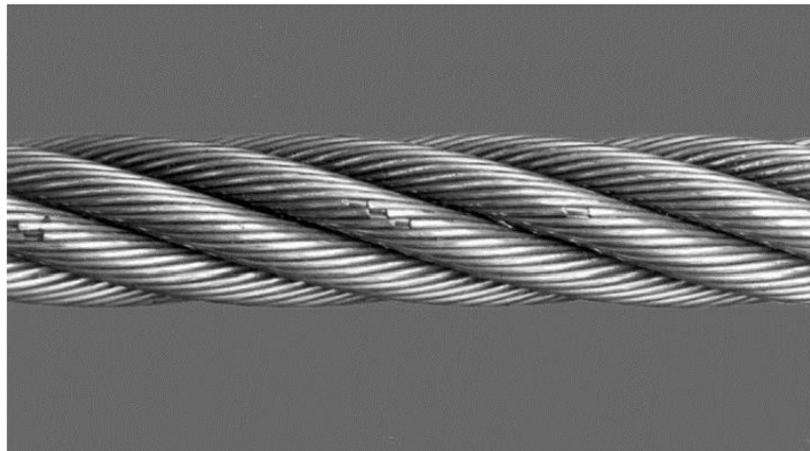
### **3.2.3. Hilos reventados**

En esta sección se debe analizar dos factores presentados como fallas en los cables, y son:

- Torones con lesión
- Hilos reventados

Esto se debe considerar de esta manera ya que los hilos reventados son evidentes dentro de la inspección visual, sin embargo, a estos se le deben sumar los hilos que se evidencien con daño muy grande en los torones con lesión, debe tener una revisión exhaustiva, esto basado en la imagen B.2 del anexo C de la norma ISO 4309:2017.

Figura 26. **Hilos reventados en corona de cable**



Fuente: ISO 4309 (2017). *Cranes - Wire ropes - Care and maintenance, inspection and discard.*

Esto se debe considerar de esta manera ya que los hilos están a punto de romperse o reventar, esto puede ocasionarse por los mismos movimientos y cargas que el cable tenga durante su operación.

### **3.3. Propuesta de procedimientos técnicos para control de fallas**

Para controlar de buena manera las fallas detectadas y poder decidir si el cable debe ser o no reemplazado se debe llevar un control de los cables en funcionamiento donde se deben registrar los siguientes datos:

- Temperatura: se debe tomar una imagen termográfica de las poleas de la grúa durante su operación, para determinar la temperatura a la cual está operando y así poderla comparar con tablas de temperaturas máximas permitidas por el material del cual está construido el cable.
- Longitud total del cable: medir la longitud del cable en su totalidad para verificar si el mismo está teniendo una deformación.
- Dobleces de cable: verificar si el cable presenta dobleces en su longitud total y medir la distancia de cresta. (Ver figura 28)
- Hilos reventados: contabilizar los hilos reventados que presenta el cable de acero en toda su longitud.
- Hilos golpeados: verificar si el cable tiene lesiones (cortes en torones) y contabilizar la cantidad de hilos que tiene una lesión, esto para contabilizarlos como hilos reventados.

Todas las características anteriores deberán ser contabilizadas en el formulario de inspección de cable de grúa (Apéndice 1), con base en la frecuencia de inspección definida en el plan de mantenimiento del cable, basado en la propuesta del capítulo 4.

## **4. PROPUESTA DE SOLUCIÓN**

### **4.1. Propuesta de plan de mantenimiento**

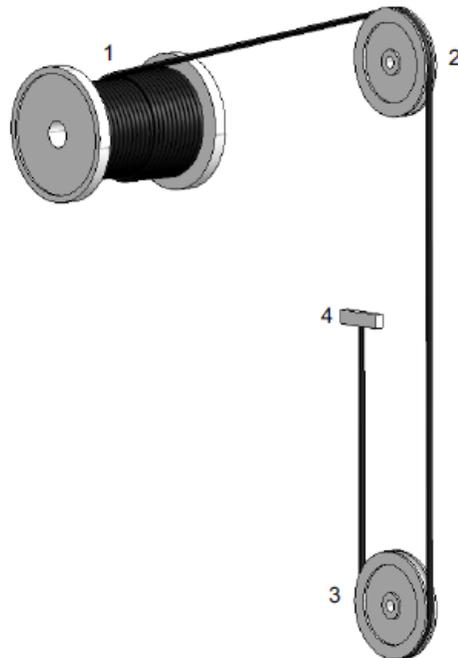
El plan de mantenimiento para cables de acero utilizados en grúas será basado en las recomendaciones establecidas en la norma ISO 4309:2017, donde existirán tablas de referencia de definición de datos para algunos factores necesarios. Todas estas tablas serán documentadas en los anexos de este documento.

El plan de mantenimiento establece una secuencia de pasos a seguir para garantizar que los cables puedan tener una vida útil prolongada, pero de detectarse alguna falla, poder reemplazar el mismo antes que genere un daño humano o material dentro de la organización.

#### **4.1.1. Inspección del cable**

La inspección del cable debe en toda su longitud, según inciso 5.3.3 de la norma ISO 4309:2017, y se debe tomar en cuenta lo siguiente:

Figura 27. **Puntos clave de inspección en cable usado en grúa**



Fuente: ISO 4309 (2017). *Cranes - Wire ropes - Care and maintenance, inspection and discard.*

El diagrama de la figura 28 muestra los puntos claves a inspeccionar siendo estos:

- (1) zonas de cruce y las secciones que sufran mayor intervención
- (2) sección donde la cuerda entra en la polea principal en el punto de la carga que se está levantando
- (3) sección(es) que entra(n) en la(s) polea(s) inferior(es) en el punto de elevación de la carga
- (4) Punto de sujeción a la base de la grúa

La frecuencia y el tipo de inspecciones deben ser definidos y validados por el departamento de mantenimiento, en la cual deben incluir los siguientes factores:

Tabla V. **Factores a inspeccionar y métodos de evaluación**

<b>Factores a inspeccionar</b>	<b>Método de evaluación</b>
Número de cables rotos visibles (incluidos los que están distribuidos aleatoriamente, agrupaciones localizadas, roturas de cables de valle y aquellos que se encuentran en la terminación o en sus proximidades)	Contando
Corrosión o resequedad en el cable	Visual
Disminución del diámetro del cable (como resultado de desgaste / abrasión externos, desgaste interno y deterioro del núcleo)	Visual o Por medida
Pérdida de área metálica causada por un mecanismo que no sea cables rotos Por ejemplo: corrosión, desgaste, entre otros.	Visual
Fractura de hebra(s) (torones con lesión)	Visual
Corrosión (externa, interna y por rozamiento)	Visual
Deformación	Visual y por medición (solo onda)
Daños mecánicos	Visual
Daño por calor (incluido el arco eléctrico)	Visual
Daños en terminación	Visual

Fuente: ISO 4309 (2017). *Cranes - Wire ropes - Care and maintenance, inspection and discard.*

La recomendación para la frecuencia de inspección es la siguiente:

- Diaria: revisar el cable previo al inicio de jornada laboral, para garantizar que el cable no presente daños superficiales que puedan evidenciar un factor de fallo.
- Mensual: inspeccionar a profundidad el cable, teniendo la grúa detenida, revisando toda la longitud del cable y llenando el formulario de inspección de cable de grúa.

Las inspecciones mensuales deben quedar documentadas para garantizar un historial de fallas y poder determinar con tiempo el reemplazo del cable, por tal razón en cada inspección mensual se deberá llenar el formulario de inspección de cable de grúa (Apéndice 1).

#### **4.1.1.1. Accidentes**

Al tener un accidente dentro del taller donde se vea involucrado el uso de la grúa se debe tener obligatoriamente una inspección completa del cable, similar a la inspección mensual, verificando cada uno de los factores que se mencionan en la tabla 5.

#### **4.1.2. Mantenimiento de los cables de acero**

El mantenimiento del cable de acero dependerá del tipo de grúa, frecuencia de uso y las condiciones ambientales, según la norma ISO 4309:2017 en su inciso 4.7, sin embargo, el punto a dar mantenimiento en el cable es la lubricación, de lo contrario, en otros puntos de falla, se procede al reemplazo del cable como tal, tema desarrollado den el inciso 4.1.3 de este documento.

#### **4.1.2.1. Lubricación**

La Lubricación del cable dependerá básicamente de las indicaciones del fabricante, ya que él establece las características de la grasa a utilizar, sin embargo, basado en las inspecciones se podrá detectar una resequedad en tramos donde se tenga más contacto con poleas, esto se derivará de los siguientes factores:

- Temperatura: el roce de las poleas con el cable de acero aumenta la temperatura, donde la grasa al no ser la adecuada para la temperatura obtenida por el trabajo se irá retirando del cable. Se recomienda tomar termografía en los equipos para evidenciar la temperatura de trabajo en las poleas.
- Fricción: la fricción que existe entre el cable, las poleas y el cilindro de almacenaje del cable pueden generar que la grasa del cable se quede impregnada en las superficies, la cual al mezclarse con la suciedad del entorno se pierda.

Ante las menciones anteriores para poder determinar la grasa a aplicar deben evaluarse las siguientes características:

- Viscosidad: garantizar la presencia del material siempre en el cable y evite el contacto metal con metal.
- Refrigerante: garantizar que reduzca la temperatura de trabajo.
- Compatibilidad: sea compatible con la grasa que trae de fábrica el cable.

#### **4.1.3. Criterios de descarte de cable**

El mantenimiento del cable puede ser básico, sin embargo, las fallas dentro de este son claves para determinar si el mismo debe seguir en funcionamiento o debe ser reemplazado.

Dentro de las inspecciones se define cuáles son los puntos a inspeccionar, sin embargo, en la investigación y en los datos recopilados en el capítulo 3 de este documento se definió que los puntos detectados son:

- Deformación del cable

- Dobleces del cable
- Hilos reventados

Estos criterios permitirán definir los niveles de aceptación para continuidad del uso del cable o el reemplazo del mismo, siempre basado en la norma ISO 4309:2017.

Para poder establecer un análisis adecuado del cable se debe definir el tipo de cable según la norma, nombrado como secciones transversales de cables y el correspondiente número de categoría de cable (RCN), la cual se define en el anexo H de la norma, siendo el anexo 1 de este documento.

#### **4.1.3.1. Descarte por deformación de cable**

Se define este criterio de falla para controlar la elongación máxima que puede tener el cable durante su trabajo, este dato puede ser obtenido con la siguiente fórmula:

$$Deformación\ total = \frac{P*L}{A*E} \quad [1]$$

Donde:

- P: Fuerza de tensión
- L: Longitud inicial del cable
- A: Área transversal del cable
- E: Módulo de elasticidad

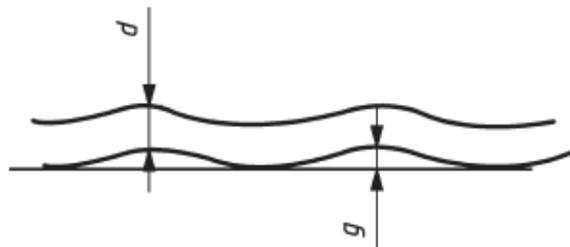
Para garantizar la seguridad de los operadores y del equipo el resultado de la operación anterior, se debe multiplicar por el 50 % y ese será el valor a comparar contra la elongación medida para descarte por temas de deformación.

#### 4.1.3.2. Descarte por dobleces del cable

La norma establece que los dobleces son fallas donde el cable ya pasó a estado plástico, por lo que sus características dejaron de ser las adecuadas y debe evaluarse con detenimiento.

La norma ISO 4309:2017, en su inciso 6.7.2, define que si una parte del cable que pasa por poleas o carretes tiene una deformación, debe medirse sobre una superficie plana de la siguiente manera:

Figura 28. Dimensiones para descarte por dobleces de cable



**Key**

*d* nominal rope diameter

*g* gap

Fuente: ISO 4309 (2017). *Cranes - Wire ropes - Care and maintenance, inspection and discard.*

Donde:

- *d*: diámetro del cable
- *g*: distancia entre superficie plana y cresta inferior del doblez

Para el descarte del cable el valor de  $g$  debe cumplir con la siguiente condicional:

$$g \geq \frac{d}{10} \quad [2]$$

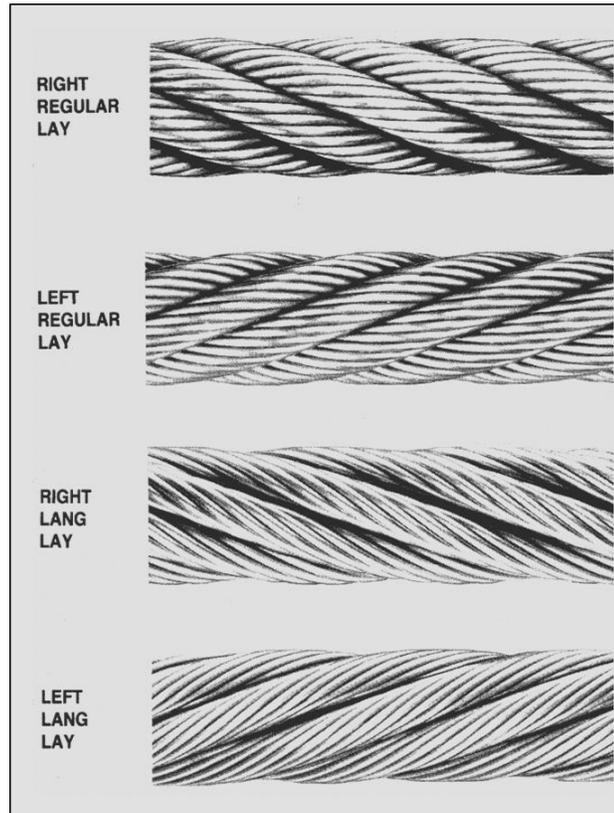
#### **4.1.3.3. Descarte por hilos reventados**

El descarte por hilos reventados es un tema más delicado, ya que en este caso el cable debe categorizarse por el RCN mencionado en el inciso 4.1.3 de este documento y la dirección que toman los hilos al momento del trenzado del cable, que la norma lo define como:

- *Ordinary or Regular Lay:* (Tendido Regular) denota la cuerda en la que los alambres se tuercen en una dirección, y los filamentos en la dirección opuesta para formar la cuerda. Los alambres parecen correr aproximadamente paralelos a la línea central de la cuerda.
- *Lang Lay:* (Tendido Transversal) es lo opuesto; los alambres y los filamentos giran en la misma dirección y parecen correr en diagonal a la línea central de la cuerda.

La definición gráfica de las anteriores se define de la siguiente manera:

Figura 29. Definición gráfica de *ordinary lay* (Tendido Regular) y *lang lay* (Tendido Transversal)



Fuente: <https://www.assemblyspecialty.com/guide-to-wire-rope/wire-rope-selection/wire-rope-lay-2/> (2020). *Wire Rope Lay*.

Toda la información anterior nos permitirá encontrar la cantidad de hilos reventados máxima que se pueden aceptar dentro del cable, y esto lo define la siguiente tabla:

Tabla VI. Cantidad de alambres rotos por tipo de cable

Número de categoría de cable (RCN) (basado en Anexo H de la norma)	El número total de alambres de carga en la capa exterior de los filamentos del cable <sup>a</sup> <i>n</i>	Número de alambres externos rotos visibles <sup>b</sup>					
		Secciones de cable trabajando en poleas de acero y/o enrollado en un tambor de una sola capa (roturas de cable distribuidas aleatoriamente)  Clases M1 a M4 (ISO 4301-1:1986) o clases desconocidas <sup>d</sup>				Secciones de cuerda enrolladas en un tambor multicapa <sup>c</sup>  Todas las clases	
		Tendido Regular		Tendido Transversal		Tendido regular y transversal	
		Sobre el largo de 6d <sup>e</sup>	Sobre el largo de 30d <sup>e</sup>	Sobre el largo de 6d <sup>e</sup>	Sobre el largo de 30d <sup>e</sup>	Sobre el largo de 6d <sup>e</sup>	Sobre el largo de 30d <sup>e</sup>
01	$n \leq 50$	2	4	1	2	4	8
02	$51 \leq n \leq 75$	3	6	2	3	6	12
03	$76 \leq n \leq 100$	4	8	2	4	8	16
04	$101 \leq n \leq 120$	5	10	2	5	10	20
05	$121 \leq n \leq 140$	6	11	3	6	12	22
06	$141 \leq n \leq 160$	6	13	3	6	12	26
07	$161 \leq n \leq 180$	7	14	4	7	14	28
08	$181 \leq n \leq 200$	8	16	4	8	16	32
09	$201 \leq n \leq 220$	9	18	4	9	18	36
10	$221 \leq n \leq 240$	10	19	5	10	20	38
11	$241 \leq n \leq 260$	10	21	5	10	20	42
12	$261 \leq n \leq 280$	11	22	6	11	22	44
13	$281 \leq n \leq 300$	12	24	6	12	24	48
	<i>norte</i> > 300	0,04 × n	0,08 × n	0,02 × n	0,04 × n	0,08 × n	0,16 × n

## Continuación tabla VI

**NOTA** Los cables que tienen hebras exteriores de construcción Seale donde el número de alambres en cada hebra es 19 o menos (por ejemplo, 6 × 19 Seale) se colocan en esta tabla dos filas por encima de la fila en la que normalmente se colocaría la construcción según el número de alambres que soportan carga en la capa exterior de hebras.

<sup>a</sup> los efectos de este documento, los alambres de relleno no se consideran alambres de carga y no se incluyen en los valores de  $n$ .

<sup>b</sup> Un alambre roto tiene dos extremos (contados como un alambre).

<sup>c</sup> Los valores se aplican al deterioro que se produce en las zonas de cruce y a la interferencia entre enrollamientos debido a los efectos del ángulo de la flota (y no a aquellas secciones de cable que solo trabajan en poleas y no se enrollan en el tambor).

<sup>d</sup> Puede aplicarse el doble del número de alambres rotos enumerados a los cables de los mecanismos cuya clasificación se conoce como M5 a M8 [ISO 4301-1: 1986].

<sup>e</sup>  $d$  es el diámetro nominal de la cuerda.

Fuente: ISO 4309 (2017). *Cranes - Wire ropes - Care and maintenance, inspection and discard.*

Para conocer el número máximo de alambres rotos que podemos permitir dentro del cable debemos seguir los siguientes pasos:

- 1) Definir el RCN del cable (punto 4.1.3 de este documento)
- 2) Definir si el cable es enrollado en una sola capa o varias capas en el cilindro o tambor de almacenamiento
- 3) Definir si el cable es *ordinary lay* o *lang lay*
- 4) Definir si el largo del cable está entre 6 y 30 veces su diámetro o si es superior a 30 veces su diámetro

### 4.2. Comunicación asertiva para detección de fallas

La comunicación de este documento es vital para poder evitar un accidente que puede ser letal para un colaborador y un costo elevado para la operación, por tal razón la comunicación de este será de la siguiente manera:

- Capacitación: la capacitación constará de dos tipos:
  - Inspección básica: se capacitará a todo el personal que utilice los cables con el objetivo de poder detectar en una inspección visual diaria fallas y poderlas reportar al departamento de mantenimiento.
  - Inspección Completa: se capacitará a gerentes, supervisores de mantenimiento, jefe de mantenimiento de infraestructura y empresa contratista que realiza mantenimiento del equipo en las fallas que se puedan encontrar y la metodología de descarte de cables de acero.
- Acceso a plan de mantenimiento: el plan de mantenimiento establecido en este documento será colocado en una carpeta compartida en la cual tendrá acceso gerentes, supervisores, encargados de mantenimiento y jefe de mantenimiento de infraestructura.

Las capacitaciones serán por medio de charlas de 5 minutos, en donde se comunicarán las fallas a los grupos de interés. Las charlas de 5 minutos son las siguientes:

Tabla VII. **Charla de 5 minutos para inspección básica**

<b>Charla de inspección básica para cables de acero en grúas</b>
<b>Alcance:</b> operarios, supervisores de producción
<b>Objetivo:</b> definir las fallas previo a uso de grúa
<b>Capacitador:</b>
<b>Fecha de capacitación:</b>
<b>Finalidad:</b> esta inspección busca que el operario de la grúa puede hacer una inspección superficial previo al uso de la misma, la cual no debe tardar más de 10 minutos.

Continuación tabla VII

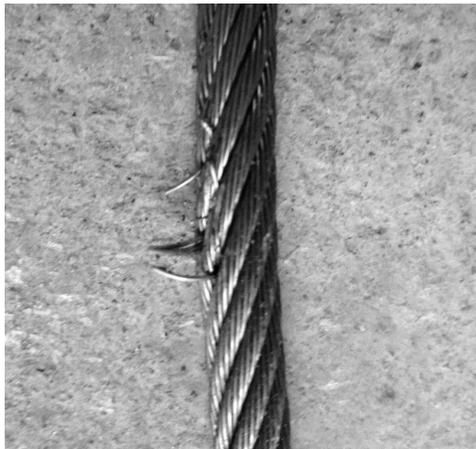
**Contenido:**

Las fallas dentro del cable de acero son factores que puede generar un accidente, por tal razón se debe revisar visualmente el mismo buscando lo siguiente:

- Dobleces del cable: si el cable tiene una deformación visible en la longitud del mismo, por ejemplo:



- Hilos reventados: revisar si se tienen alambres que se salgan del cable de acero, por ejemplo:



**NOTA:** Como operarios debemos reportar cualquier daño que sufra el cable, ya que esto se define como accidente

Continuación tabla VII

<b>Participantes</b>	
Nombre	Firma

Fuente: elaboración propia.

Se sugiere que la charla se inicie con el enfoque en el alcance y objetivo de las inspecciones, buscando hacer conciencia en el beneficio que obtendrá el operador y técnico en temas de seguridad. Al tener la atención del colaborador en temas de beneficio se recomienda conceptualizar y mostrar las imágenes de las fallas que se deben buscar, así mismo recordar que la inspección y el uso de una grúa tienen implícitos peligros mecánicos, eléctricos y en sitio, los cuales deben verificar en la matriz de riesgo de sus operaciones. Cada uno de los participantes debe entender que si se tiene un accidente donde está relacionada la grúa, deben detener la operación y reportar lo sucedido inmediatamente

Tabla VIII. **Charla de 5 minutos para inspección completa**

<b>Charla de inspección completa para cables de acero en grúas</b>
<b>Alcance:</b> gerentes, supervisores de mantenimiento, jefe de mantenimiento de infraestructura, empresa contratista de mantenimiento de grúas
<b>Objetivo:</b> definir las fallas en inspección completa de cable
<b>Capacitador:</b>
<b>Fecha de capacitación:</b>

Continuación tabla VIII

**Finalidad:** la inspección completa busca detener el proceso y realizar una inspección detallada a profundidad, donde la misma puede tardar hasta 30 minutos dependiendo de los hallazgos que se tengan.

**Contenido:**

Las fallas deben ser detectadas a tiempo dentro de las inspecciones completas del cable de acero que se utiliza en la grúa.

- Documentación: como encargados de poder descartar un cable ante la inspección del cable, se debe llenar el formato de “Inspección de cables de grúa”, así ir registrando las fallas y tener un historial del comportamiento del mismo
- Inspección: las fallas que se deben detectar son:
  - Deformación total del cable: medir la longitud del cable y compararla contra la longitud que tenía al instalarla.
  - Dobleces en cable: verificar los dobleces que se presenten, y hacer mediciones en base los parámetros de descarte.
  - Hilos reventados: contra los hilos de alambre que salen del cable, solo se deben contar los que sean de capa superior, y verificar si no hay daño en torones para evitar prontos hilos sueltos, si existieran daños muy grandes, tomarlos como hilos reventados.
- Frecuencia: la inspección completa debe realizarse 1 vez por mes para verificar las condiciones actuales, sin embargo, previo a esto se debe buscar el historial. Se hará una inspección completa si se tiene un accidente en la operación de la grúa.
- Descarte de cable: para poder descartar un cable de la operación se deben seguir las instrucciones que están en el plan de mantenimiento, el cual está en las carpetas compartidas del corporativo. Para que el

Continuación tabla VIII

contratista deberá revisarlo en conjunto con el jefe de mantenimiento de infraestructura	
Se recomienda que las inspecciones sean realizadas por 2 personas de diferente área, con el objetivo de tener evaluaciones objetivas y con puntos de vista complementados.	
<b>Participantes</b>	
Nombre	Firma

Fuente: elaboración propia.

Se sugiere que la charla se inicie con el enfoque en el alcance y objetivo de las inspecciones, buscando hacer conciencia en el beneficio que obtendrá el personal en temas de seguridad y beneficio en la operación. Al tener la atención del colaborador en temas de beneficio se recomienda conceptualizar y hacer énfasis en que el plan de mantenimiento es la base para poder tomar decisiones frente a los hallazgos, así mismo recordar que las inspección y uso de una grúa tiene implícitos peligros mecánicos, eléctricos y en sitio, los cuales deben verificar en la matriz de riesgo de sus operaciones.

#### **4.3. Análisis externo**

Las fallas básicas en los cables de acero que se presentan en las grúas analizadas son deformación, dobleces de los cables y alambres reventados, siendo estos los criterios de análisis para descarte de cables según la norma ISO

4309:2017, coincidiendo con el análisis que muestra Espejo y Martínez (2007), ya que ellos mencionan en su estudio que dentro de las fallas que tuvieron como muestra las que más persistencia y presencia se tuvo fueron los dobleces y las deformaciones.

La revisión y análisis del comportamiento de los cables es necesario realizarlo en cada uno de las inspecciones y mantenimiento que se realice, ya que esto evitará que existan fallos en la operación, ya que en el plan de mantenimiento se definen criterios de descarte de los cables, tema que hace que el análisis de Ossa y Paniagua (2005) deje de aportar valor, ya que su análisis es de tipo forense, donde las causas de fallo será determinadas post evento, tema que para efectos de este trabajo no es un tema de análisis.

La detección de la falla de un cable debe ser predictiva, conociendo los criterios que nos permite decidir el descarte de un cable antes de que exista un fallo por un factor que se conocía, el plan de mantenimiento define los factores de descarte y detección de fallo dando con esto validez al estudio realizado por Verbal (1987), donde describe posibles fallas en grúas puentes, teniendo como puntos clave el desgaste general y las fallas en el mantenimiento del equipo, incluyendo el cable de acero.

Las fallas por fatiga o por mal mantenimiento son factores que se pueden evitar teniendo un plan de inspección y mantenimiento eficiente, como se propone en el trabajo de graduación, ya los factores de descarte van relacionadas a las fallas mencionadas teniendo así una validez el trabajo de Gómez y Winches (2003), donde estos analizan el cable luego de una falla, tomando en cuenta la carga máxima, la cual va directamente relacionada a la deformación máxima del cable y la falta de mantenimiento y lubricación fueron factores que aumentaron la probabilidad de falla.

La carga máxima a la cual puede ser expuesto un cable de acero en un trabajo específico es un dato que el fabricante establece en su ficha técnica basado en un estudio de laboratorio con una muestra de su producto, este dato sirve para la selección del cable y para la definición de la deformación máxima del cable que sirve como método de descarte según el plan de mantenimiento propuesto, con lo anterior el estudio que presenta Aguilar y García (2008), tiene una validez ya que ellos presentan un sistema de evaluación grafica para definir la carga máxima para definir su límite de ruptura, el cual puede servir para definir el límite del cable en función.

#### **4.4. Análisis interno**

El trabajo de graduación buscó tener un análisis de equipos que estuvieran en uso constante logrando con esto tener una validez y valor para los procesos que se llevan dentro de la empresa que permitió el estudio.

La muestra de las grúas a analizar se realizó por medio de la fórmula estadística de tamaño de muestra

$$n = \frac{N * Z\alpha^2 * p * q}{d^2 * (N - 1) + Z\alpha^2 * p * q} \quad [3]$$

Donde al ingresar los valores dio como resultado un total de 4 grúas a analizar, teniendo como objetivo principal el que fueran aleatorias. Sin embargo, al hacer el recorrido de campo con las personas involucradas de la empresa, se indicó que deseaban que fueran analizadas las grúas que se presentaron en el capítulo 3 de este trabajo, lo que hace perder la validez interna de este trabajo ya que se perdió la aleatoriedad del estudio.

La selección de las grúas se realizó de esta manera ya que los interesados evidenciaron que son las que mayor criticidad tiene en sus procesos por su frecuencia de uso y accesibilidad a las mismas.



## CONCLUSIONES

1. Los cables de acero utilizados en las grúas seleccionadas para el análisis son de diámetro de 3/4". Estos presentan un estado con fallas de deformación plástica, lesiones por mala manipulación e hilos reventados, factores los cuales son claves para definir el descarte de las mismas ya que en la operación estos generan riesgos de lesión, amputación o muerte para el operador; y paro de la continuidad de la operación.
2. La sustitución de los cables de acero utilizados en las grúas de los diferentes talleres se debe realizar basados en las características de descarte que son deformación de cable, donde la deformación máxima es el 50% de la deformación total, dobleces del cable, donde la distancia entre una superficie plana y la altura máxima del dobléz no debe superar 1/10 del diámetro del cable e hilos reventados de la superficie de los torones que van relacionados a cada tipo de cable.
3. La planificación del mantenimiento de los cables de acero debe ser basado en los hallazgos de las inspecciones, las cuales pueden ser básica, la cual se realiza previo a cada uso de la grúa, y completa, la cual se realiza de manera programada ya que se debe detener el proceso debido a la profundidad de la inspección, las cuales se establecen en el plan de mantenimiento definido en este trabajo y ser validados por el departamento de mantenimiento de infraestructura y gerencia de talleres.

4. La comunicación del plan de mantenimiento e inspección se hará por medio de charlas de 5 minutos para todo el personal involucrado, y el plan de mantenimiento se colocará en la red interna de empresa para su revisión constante.
  
5. La vida útil de los cables de acero se puede prolongar siguiendo las directrices definidas el plan de mantenimiento basado en la norma ISO 4309:2017, las cuales definen aspectos de inspección y mantenimiento claves para el equipo, sin dejar por un lado los criterios de descarte de los mismos, el cual puede ser necesario para evitar lesiones o pérdidas humanas y pérdidas materiales.

## RECOMENDACIONES

1. Es necesario el cambio de los cables que se inspeccionaron en el estudio presente, ya que estos presentan un estado físico muy deteriorado con daños perceptibles en el tramo de mayor impacto por uso de poleas que tienen las grúas.
2. Los parámetros de descarte y sustitución de los cables deben ser estandarizados para todas las grúas, donde se definan los criterios máximos de aceptación conforme el plan de mantenimiento establecido en este trabajo y los puntos de descarte detectados durante las inspecciones básica o completa, en periodicidad programada o sustitución inmediata.
3. La frecuencia de inspección de los cables se recomienda que sea de dos tipos, inspección básica, la cual debe ser diaria previo al uso de las grúas y la inspección completa, la cual debe ser en una frecuencia mensual como recomendación y el mantenimiento ser basado en los parámetros de inspección.
4. Las charlas de inspección de cables deben realizarse con una periodicidad bimensual, buscando su innovación con base en los hallazgos, para garantizar que el conocimiento y la habilidad de detección de fallas sea eficiente y determinar adecuadamente las condiciones de descarte.

5. El plan de mantenimiento para cables de acero basado en la norma ISO 4309-2017 debe ser conocido por todo el personal que está involucrado en la operación, uso, inspección y mantenimiento de las grúas que se encuentran dentro de los talleres de reparación de maquinaria pesada, buscando que tenga la capacidad de determinar una falla en el cable y evitar lesiones humanas o pérdidas en el proceso.

## REFERENCIAS

1. Aguilar, F. y García, J. (2008). *Determinación de límite de rotura de un cable por Método de los Elementos Finitos. Ingeniería Mecánica*, 11(3), 57-62. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=225115162009>
2. Alleri, C. (2018). *Cables, ganchos y elementos de eslingaje. Curso de izaje de cargas.* Recuperado de <https://es.slideshare.net/romaoalleri/curso-de-izaje-de-cargas>
3. Assembly Specialty Products. (2020). *Tendido de Cables de Acero.* Recuperado de <https://www.assemblyspecialty.com/guide-to-wire-rope/wire-rope-selection/wire-rope-lay-2/>
4. Bravo, R. y Barrantes, A. (1989). *Administración del mantenimiento insutrial.* Editorial Universidad Estatal a Distancia. San Jose, Costarrica.
5. Castro, D. y Serrano , P. (2008). *Los cables de acero y sus aplicaciones.* Santander: Universidad de Cantabria. Recuperado de [https://catalogo.rebiun.org/rebiun/doc?q=978-84-8102-479-1+%7C%7C+9788481024791&start=0&rows=1&sort=score%20desc&fq=msstored\\_mlt172&fv=LIB&fo=and&redo\\_advanced=false](https://catalogo.rebiun.org/rebiun/doc?q=978-84-8102-479-1+%7C%7C+9788481024791&start=0&rows=1&sort=score%20desc&fq=msstored_mlt172&fv=LIB&fo=and&redo_advanced=false)
6. CODELCO-Chile. (1995). *Manejo de Cargas con cables de Acero, Eslingas/Estrobo. Norma/Estándar Operacional.* Chuquicamata, Chile: Dirección de Ambiente y Protección de los Recursos. Recuperado de

[https://www.academia.edu/9572291/MANEJO\\_DE\\_CARGAS\\_CON\\_CABLES\\_DE\\_ACERO\\_ESLINGAS\\_ESTROBOS](https://www.academia.edu/9572291/MANEJO_DE_CARGAS_CON_CABLES_DE_ACERO_ESLINGAS_ESTROBOS)

7. Comesaña, P. (2010). *Montaje e Instalación de Grúas. Procedimientos básicos para montar, maniobrar e instalar mecanismos de elevación y traslación*. Vigo, España: Ideasporpías. Recuperado de <https://www.iberlibro.com/Montaje-instalaci%C3%B3n-gr%C3%BAas-Procedimientos-b%C3%A1sicos-montar/19183497621/bd>
8. de Bona, J. (1999). *Gestión del mantenimiento: guía para el responsable de la conservación de locales e instalaciones*. Fundación confemetal. Recuperado de <https://books.google.com.gt/books?id=3OvqHD02nY8C&pg=PA21&dq=que+es+el+mantenimiento&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwiTh5iewt3sAhVPxVkkHbykABAQ6AEwAXoECAEQAg#v=onepage&q=que%20es%20el%20mantenimiento&f=false>
9. Espejo, E., y Martínez, J. (2007). *Caracterización de modos de falla típicos en cables de transmisión mecánica*. *Ingeniería E Investigación*, 27(1), 77 - 83. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=64327111>
10. García, S. *Organización y gestión integral del mantenimiento*. Ediciones Díaz santos. Madrid, España.
11. Gómez, F. (1998). *Tecnología del mantenimiento industrial*. Murcia, España: Servicio de Publicaciones. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=382938>

12. Gómez , H., y Winches, B. (2003). *Mecanismos y modos de falla en cables metálicos. Ingeniería y Desarrollo*(14), 125-140. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85201407>
13. Gonzales, F. *Teoría y práctica del mantenimiento industrial avanzado, 2da edicion.* Artegraf, S. A. Madrid, España.
14. Gonzales, J. *Manipulación de cargas con puentes-grúa y polipastos.* IC Editorial. Recuperado de <https://books.google.com.gt/books?id=bZLwAgAAQBAJ&pg=PT60&dq=Mantenimiento+de+Gr%C3%BAas&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwiC99z4gN7sAhUt1VkKHbBGATA4ChD oATAJegQIBBAC#v=onepage&q=Mantenimiento%20de%20Gr%C3%BAas&f=false>
15. Iberica del Cable y Elevación. (2016). *Sistema de Amarre y Tracción.* Recuperado de <https://ibericadelcableyelevacion.com/cable-de-acero-uso-y-descripcion/>
16. International Organization for Standarization [ISO]. (2017).ISO 4309:2018 Cranes — Wire ropes — Care and maintenance, inspection and discard. 5a ed. Suiza.
17. López, F. (2012). *ISO 9000 y la planificación de la calidad.* Colombia: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificaciones (ICONTEC). Recuperado de [https://books.google.com.gt/books/about/Iso\\_9000\\_y\\_la\\_planificaci%C3%B3n\\_de\\_la\\_calid.html?id=rXJXtAEACAAJ&redir\\_esc=y](https://books.google.com.gt/books/about/Iso_9000_y_la_planificaci%C3%B3n_de_la_calid.html?id=rXJXtAEACAAJ&redir_esc=y)
18. Miralbeta, A., Larrodé, E., Castejon L. y Cuartero, J. *Los transportes en la ingeniería industrial, Área de ingeniería e infraestructura de transportes.* Universidad de Zaragoza. Zaragoza, España.

19. Monchy, F. (1990). *Teoría y práctica del mantenimiento industrial*. Barcelona: Masson, S.A. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=22373>
20. Ossa, E., y Paniagua, M. (septiembre de 2005). *Análisis de falla en cable de Acero. Ingeniería y Ciencia*, 1(2), 97-103. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=83510207>
21. Rey, F. (2001). *Manual del mantenimiento Integral en la Empresa*. Madrid, España: Fundación Confemetal. Recuperado de [www.fundaciónconfemetal.com](http://www.fundaciónconfemetal.com)
22. Souris, J. (1992). *Mantenimiento: Fuente de beneficios*. Madrid: Díaz de Santos, S. A. Recuperado de [https://books.google.com.gt/books/about/El\\_mantenimiento\\_fuente\\_de\\_beneficios.html?id=XgnUny4SjjMC&redir\\_esc=y](https://books.google.com.gt/books/about/El_mantenimiento_fuente_de_beneficios.html?id=XgnUny4SjjMC&redir_esc=y)
23. Standardization, I. Autor ISO.ORG (2019). *ISO*. (I. C. Secretariat, Editor) Recuperado de ISO: [www.iso.org](http://www.iso.org)
24. Tabares, L. (1996). *Administración Moderna del Mantenimiento*. Brazil: Novo Polo . Recuperado de <https://soportec.files.wordpress.com/2010/06/administracion-moderna-de-mantenimiento.pdf> TYCSA. (1971). *TYCSA. Catálogo general: Trenzas y Cables de Acero*. Recuperado de <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.4/1135>
25. Verbal H. (marzo de 1987). *Prevención de defectos en puentes grúa. Ingeniería de Construcción*(2), 80-87. Recuperado de <https://www.ricuc.cl/index.php/ric/article/download/306/pdf>

## APÉNDICE

### Apéndice 1: Formulario de inspección de cable de grúa

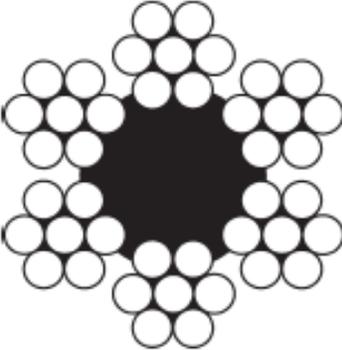
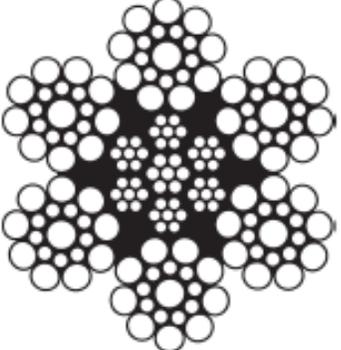
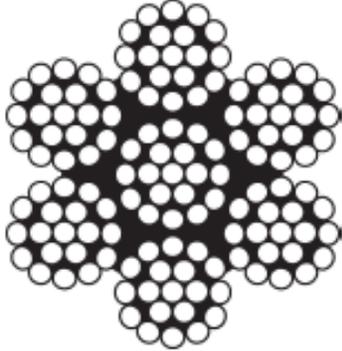
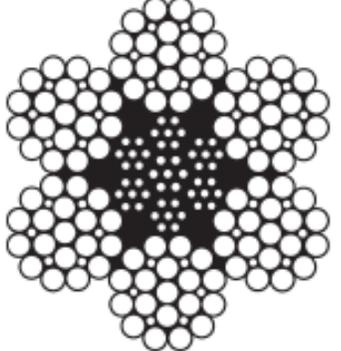
<b>Inspección de cables de grúa</b>				
<b>Número de la grúa</b>				
<b>Ubicación</b>				
<b>Encargado</b>				
<b>Ultima fecha de mantenimiento</b>				
<b>Longitud total del cable</b>				
<b>Diámetro del cable</b>				
<b>Instrucciones:</b> Marque con Una "x" las casilla que describa mejor el estado del cable				
<b>Estatus general</b>	<b>Excelente</b>	<b>Buena</b>	<b>Regular</b>	<b>Mala</b>
<b>Lubricación general</b>				
<b>Instrucciones:</b> Marque con una "x" las casilla que describa mejor el estado del cable, y conteste las preguntas puntuales				
<b>Estatus específico</b>	<b>SI</b>	<b>NO</b>		
<b>Corrosión</b>				
<b>Dobleces</b>				
<b>Hilos reventados</b>				
<b>Dobleces de cable</b>				
No.	Diámetro del cable "d"	Distancia "g"	Posición (distancia de punta a daño)	
1				
2				
3				
<b>Cantidad hilos reventados</b>			<b>Suma de hilos</b>	
<b>Cantidad hilos dañados en torones</b>				

Fuente: elaboración propia.

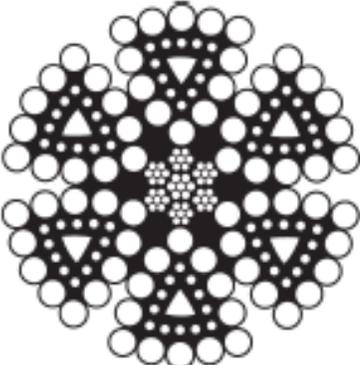
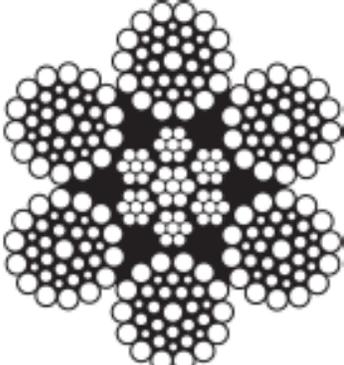
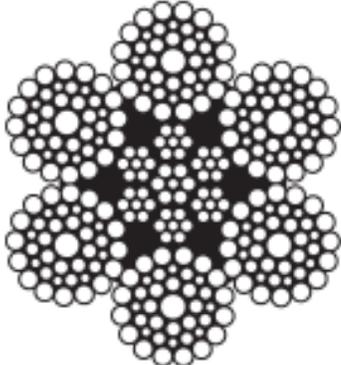
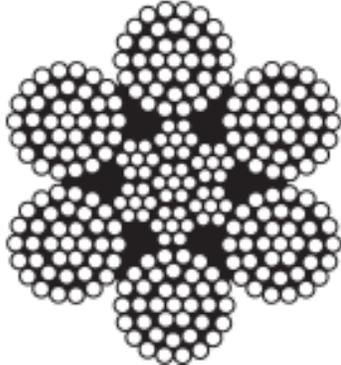
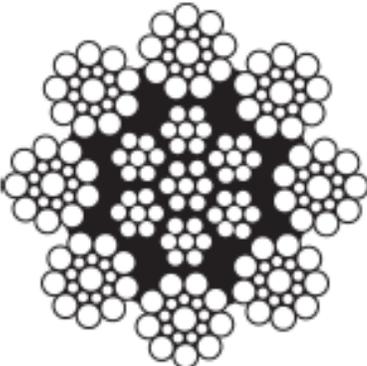
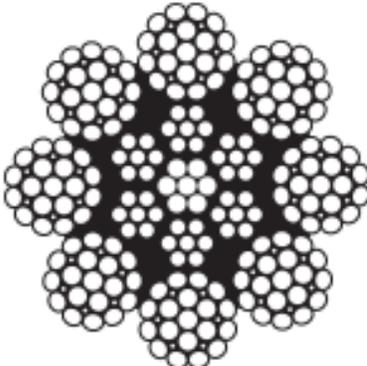


# ANEXOS

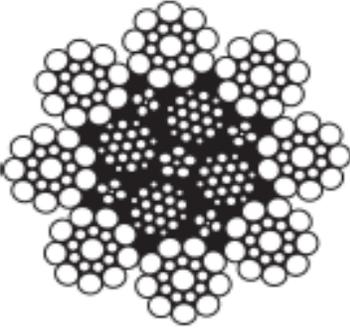
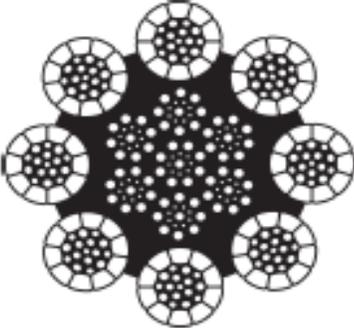
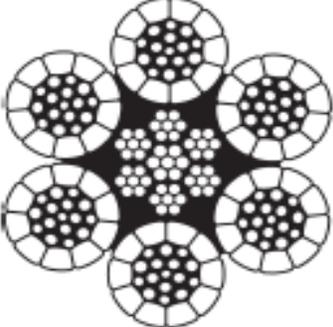
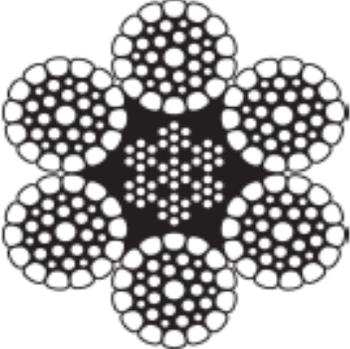
## Anexo 1. Referencia de (RCN)

<p>Construction: <math>6 \times 7</math>-FC Single layer</p>  <p>RCN.01</p>	<p>Construction: <math>6 \times 19</math>S-IWRC Single-layer rope</p>  <p>RCN.02</p>
<p>Construction: <math>6 \times 19</math>M-WSC Single-layer rope</p>  <p>RCN.04</p>	<p>Construction: <math>6 \times 25</math>F-IWRC Single-layer rope</p>  <p>RCN.04</p>

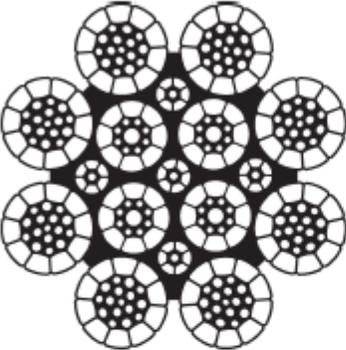
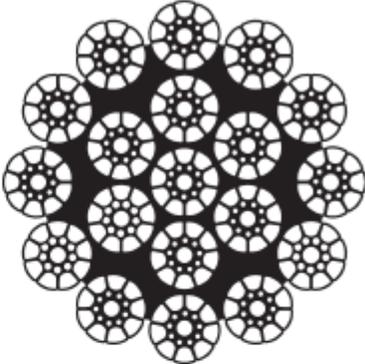
Continuación anexo 1

<p>Construction: <math>6 \times 25\text{TS-IWRC}</math> Single-layer rope</p>  <p>RCN.04</p>	<p>Construction: <math>6 \times 36\text{WS-IWRC}</math> Single-layer rope</p>  <p>RCN.09</p>
<p>Construction: <math>6 \times 41\text{WS-IWRC}</math> Single-layer rope</p>  <p>RCN.11</p>	<p>Construction: <math>6 \times 37\text{M-IWRC}</math> Single-layer rope</p>  <p>RCN.10</p>
<p>Construction: <math>8 \times 19\text{S-IWRC}</math> Single-layer rope</p>  <p>RCN.04</p>	<p>Construction: <math>8 \times 25\text{F-IWRC}</math> Single-layer rope</p>  <p>RCN.06</p>

Continuación anexo 1

<p>Construction: <math>8 \times 19S</math>-PWRC Parallel-closed rope</p>  <p>RCN.04</p>	<p>Construction: <math>8 \times K26WS</math>-IWRC Single-layer rope with compacted strands</p>  <p>RCN.09</p>
	<p>Construction: <math>4 \times K26WS</math> Single-layer rope/Rotation-resistant rope with compacted strands</p>  <p>RCN.22</p>
<p>Construction: <math>6 \times K26WS</math>-IWRC Single-layer rope with compacted strands</p>  <p>RCN.06</p>	<p>Construction: <math>6 \times K36WS</math>-IWRC Single-layer rope with compacted strands</p>  <p>RCN.09</p>

Continuación anexo 1

<p>Construction: <math>8 \times K26WS-PWRC</math> Parallel-closed rope with compacted strands</p>  <p>RCN.09</p>	<p>Construction: <math>18 \times K19S-WSC</math> or <math>19 \times K19S</math> Rotation-resistant rope with compacted strands</p>  <p>RCN.26</p>
	<p>Construction: <math>4 \times 29F</math> Single-layer rope/Rotation-resistant rope <math>4 \times 29F</math></p>  <p>RCN.21</p>

Fuente: ISO 4309 (2017). *Cranes - Wire ropes - Care and maintenance, inspection and discard*