

ELABORACION DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PARA UNA GRÚA TIPO
CELOSÍA BUCYRUS 38-B DE LA EMPRESA SUBSUELOS S.A.S EN COTA -
CUNDINAMARCA

NICOLÁS ALFONSO LÓPEZ GAMBOA

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTÁ D.C.
2020

ELABORACION DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PARA UNA GRÚA TIPO
CELOSÍA BUCYRUS 38-B DE LA EMPRESA SUBSUELOS S.A.S EN COTA -
CUNDINAMARCA

NICOLÁS ALFONSO LOPEZ GAMBOA

Proyecto Integral de Grado para optar el título de:
INGENIERO MECÁNICO

UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTÁ D.C.
2020

Nota de aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá DC., septiembre de 2020.

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. MARIO POSADA GARCÍA-PEÑA

Consejero Institucional

Dr. LUIS JAIME POSADA GARCÍA PEÑA

Vicerrectora Académica y de Investigaciones

Dra. MARIA CLAUDIA APONTE GONZALEZ

Vicerrector Administrativo y Financiero

Dr. RICARDO ALFONSO PEÑARANDA CASTRO

Secretaria General

Dra. ALEJANDRA MEJIA JUZMAN

Decano de la Facultad de Ingenierías

Ing. JULIO CESAR FUENTES ARISMENDI

Director Programa de Ingeniería Mecánica

Ing. CARLOS MAURICIO VELOZA

Las directivas de la Fundación Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a la autora.

Este proyecto está dedicado principalmente a mis padres ya que sin ellos no hubiera sido posible lograrlo, gracias por su apoyo y motivación a lo largo de este proceso, también a mis hermanas por sus consejos y a todas las personas que durante estos años me compartieron un poco de su conocimiento y profesionalismo

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	15
1. GENERALIDADES EMPRESA SUBSUELOS S.A.S	16
1.1 POLITICAS DE MANTENIMIENTO	16
1.2 POLITICA DE CALIDAD	16
2. GRÚA TIPO CELOSÍA BUCYRUS 38-B	17
2.1 ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO	18
2.2 SISTEMA DE GENERACIÓN	19
2.3 CADENA DE TRANSMISIÓN	21
2.4 SISTEMA DE TRANSMISIÓN	22
2.5 EJE DE TRANSMISIÓN PRIMARIO	23
2.6 SISTEMA DE GIRO	24
2.7 SISTEMA DE ELEVACION Y DESCENSO DEL BOOM	25
2.8 ESTRUCTURA CELOSÍA DEL BOOM	26
2.9 PENDANTE DE LA ESTRUCTURA CELOSÍA DEL BOOM	27
2.10 SISTEMA DE ELEVACION Y DESCENSO DE CARGA	27
2.11 CABLE DE ACERO	28
2.12 SISTEMA DE DESPLAZAMIENTO	28
2.13 BLOQUEO PRINCIPAL O TRINQUETE	31
3. DIAGNOSTICO	34
3.1 SISTEMA DE GENERACIÓN:	34
3.2 SISTEMA DE DESPLAZAMIENTO:	36
3.3 SISTEMA DE GIRO	38
3.4 SISTEMA DE ELEVACION DE CARGA	39
3.5 SISTEMA DE ELEVACION DEL BOOM	40
3.6 SISTEMA DE TRANSMISIÓN	41

4.	ANALISIS DE CRITICIDAD Y FALLAS	42
4.1	NUMERO PRIORITARIO DE RIESGO	45
4.1.1	Ocurrencia.	46
4.1.2	Detección.	46
4.1.3	Severidad.	47
5.	INDICADORES DE MANTENIMIENTO	53
5.1	DISPONIBILIDAD	53
5.2	MANTENIBILIDAD	54
5.3	CONFIABILIDAD	54
6.	TIPOS DE MANTENIMIENTO	56
6.1	CONCEPTO DEL MANTENIMIENTO	56
6.2	TECNICAS DE MANTENIMIENTO	56
6.2.1	Analisis de vibraciones	56
6.2.2	Analisis de lubricantes.	57
6.2.3	Tintas penetrantes.	57
6.2.4	Analisis por ultrasonido.	57
6.3	TPM MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL	58
6.4	RCM MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD	59
6.5	AMEF ANALISIS DEL MODO Y EFECTO DE FALLA	60
6.6	SELECCIÓN DEL TIPO DE MANTENIMIENTO	60
6.6.1	Disponibilidad.	61
6.6.2	Tareas de mantenimiento.	61
6.6.3	Costos de mantenimiento.	61
6.6.4	Intervencion del operador.	62
6.6.5	Analisis de mejora.	62
6.6.6	Capacitación del operador.	62
6.7	EVALUACIÓN DEL TIPO DE MANTENIMIENTO	63
7.	ANALISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA	64
7.1	AMEF SISTEMA DE ELEVACIÓN Y DESCENSO DE CARGA	65
7.2	AMEF SISTEMA DE GENERACIÓN	71
7.3	AMEF SISTEMA DE DESPLAZAMIENTO	76
7.4	AMEF SISTEMA DE ELEVACIÓN Y DESCENSO DEL BOOM	81
7.5	AMEF SISTEMA DE GIRO	86

8.	ACCIONES PREVENTIVAS	90
8.1	FRECUENCIA.	90
8.2	LUGAR DE INTERVENCION	91
8.3	ESTADO DE LA MAQUINA	91
8.4	TIEMPO DE DURACION	91
8.5	TABLA DE AJUSE Y REPARACIONES	92
9.	LUBRICACION	97
9.1	TIPOS DE LUBRICANTES PARA LA GRUA BUCYRUS 38-B	97
9.2	RECOMENDACIONES DE LUBRICACION BUCYRUS 38-B	98
9.3	CARTAS DE LUBRICACION	99
9.3.1	Carta sistema de desplazamiento	99
9.3.2	Carta sistema de giro	101
9.3.3	Carta sistema de transmisión	102
9.4	INSUMOS PARA LUBRICACIÓN	104
10.	INSPECCION	105
10.1	INSPECCION ANTES DE OPERACIÓN	105
10.2	INSPECCION DURANTE LA OPERACIÓN	106
10.3	INSPECCION AL TERMINAR LA OPERACIÓN	106
10.4	INSPECCION SISTEMA DE ELEVACION DE CARGA	107
10.5	INSPECCION SISTEMA DE GENERACION:	107
10.6	INSPECCION SISTEMA DE DESPLAZAMIENTO:	108
10.7	INSPECCION SISTEMA DE ELEVACION DEL BOOM	108
10.8	INSPECCION SISTEMA DE GIRO	109
10.9	INSUMOS PARA INSPECCION	109
11.	FORMATOS DE REGISTRO Y SEGUIMIENTO	110
11.1	METODO DE RECOLECCION DE DATOS; Error! Marcador no definido.	
11.1.1	Experimentación	110
11.2	REGISTRO Y CONTROL TAREAS DE MANTENIMIENTO	111
11.3	REGISTRO Y CONTROL TAREAS DE LUBRICACION	112
12.	ANALISIS DE IMPACTO AMBIENTAL	113

12.1	FUENTES DE RIESGO	114
12.1.1	Posibilidad.	115
12.1.2	Impacto.	115
12.2	MEDIDAS DE CONTROL	118
13.	ANALISIS DEL COSTO FINANCIERO	119
13.1	COSTO INICIAL	119
13.2	COSTO PERSONAL INVOLUCRADO	120
13.3	COSTO DE RUTAS	121
13.4	COSTO FINAL DEL PROYECTO	122
13.5	COSTO POR INDISPONIBILIDAD	122
14.	CONCLUSIONES	123
15.	RECOMENDACIONES	124
	BIBLIOGRAFIA	¡Error! Marcador no definido.

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Elementos y componentes Grúa Celosía Bucyrus 38-B	32
Tabla 2. Modo de falla, efectos y causas	43
Tabla 3. Ocurrencia	46
Tabla 4. Detección	46
Tabla 5. Severidad	47
Tabla 6. Numero Prioritario de Riesgo	48
Tabla 7 Orden de Criticidad	51
Tabla 8. Rango de valores	52
Tabla 9. Disponibilidad	61
Tabla 10. Acciones de Mantenimiento	61
Tabla 11. Costos	61
Tabla 12. Intervención	62
Tabla 13. Análisis de mejora	62
Tabla 14. Capacitación	62
Tabla 15. Matriz evaluación de estrategias	63
Tabla 16. AMEF Elevación y descenso de Carga	65
Tabla 17. AMEF Elevación y descenso de Carga	66
Tabla 18. AMEF Elevación y descenso de Carga	67
Tabla 19. AMEF Elevación y descenso de Carga	68
Tabla 20. AMEF Elevación y descenso de Carga	69
Tabla 21. AMEF Elevación y descenso de Carga	70
Tabla 22. AMEF Sistema de Generación	71
Tabla 23. AMEF Sistema de Generación	72
Tabla 24. AMEF Sistema de Generación	73
Tabla 25. AMEF Sistema de Generación	74
Tabla 26. AMEF Sistema de Generación	75
Tabla 27. AMEF Sistema de Desplazamiento	76
Tabla 28. AMEF Sistema de Desplazamiento	77
Tabla 29. AMEF Sistema de Desplazamiento	78
Tabla 30. AMEF Sistema de Desplazamiento	79
Tabla 31. AMEF Sistema de Desplazamiento	80
Tabla 32. AMEF Sistema de Elevación del Boom	81
Tabla 33. AMEF Sistema de Elevación del Boom	82
Tabla 34. AMEF Sistema de Elevación del Boom	83
Tabla 35. AMEF Sistema de Elevación del Boom	84
Tabla 36. AMEF Sistema de Elevación del Boom	85
Tabla 37. AMEF Sistema de Giro	86
Tabla 38. AMEF Sistema de Giro	87
Tabla 39. AMEF Sistema de Giro	88
Tabla 40. AMEF Sistema de Giro	89
Tabla 41. Frecuencia	90
Tabla 42. Lugar	91

Tabla 43. Estado	91
Tabla 44. Ajustes y reparaciones	92
Tabla 45. Ajustes y reparaciones	93
Tabla 46. Ajustes y reparaciones	94
Tabla 47. Ajustes y reparaciones	95
Tabla 48. Ajustes y reparaciones	96
Tabla 49. Lubricación sistema de transmisión	103
Tabla 50. Fuentes de Riesgo	114
Tabla 51. Posibilidad	115
Tabla 52. Impacto	115
Tabla 53. Análisis Riesgos ambientales	116
Tabla 54. Matriz nivel de riesgo ambiental	117
Tabla 55. Medidas de control ambiental	118
Tabla 56. Costos iniciales	119
Tabla 57. Costo hora personal involucrado	120
Tabla 58. Costo hora personal en maquina	120
Tabla 59. Costo ruta de lubricación	121
Tabla 60. Costo de rutas	121
Tabla 61. Costos finales del proyecto	122

LISTA DE IMÁGENES

	pág.
Imagen 1. Dimensiones grúa celosía Bucyrus 38-B	17
Imagen 2. Distribución sistemas de la grúa Bucyrus 38-B	18
Imagen 3. Motor Caterpillar D337	19
Imagen 4. Motor Caterpillar D337	20
Imagen 5. Cadena de Rodillos	21
Imagen 6. Cadena de Rodillos de 4 hileras	21
Imagen 7. Plano en vista superior Sistema de transmisión	22
Imagen 8 Plano en vista superior del Eje principal	23
Imagen 9. Tornamesa	24
Imagen 10 Plano en vista lateral y perfil del Tornamesa	24
Imagen 11. Plano en vista superior sistema elevación	25
Imagen 12. Estructura reticular celosía	26
Imagen 13. Estructura Boom celosía	26
Imagen 14. Sistema de elevación y descenso de carga	27
Imagen 15. Cable de acero	28
Imagen 16. Plano en vista de perfil Orugas	29
Imagen 17. Plano en vista frontal sis. de desplazamiento	30
Imagen 18. Plano en vista frontal Orugas	30
Imagen 19. Bloqueo de Trinquete	31
Imagen 20. Motor CAT D337	31
Imagen 21. Motor CAT D337	35
Imagen 22. Motor CAT D337	¡Error! Marcador no definido.
Imagen 23. Cinturón de zapatos y estructura	37
Imagen 24. Zapato de Oruga	37
Imagen 25. Tornamesa	38
Imagen 26. Tornamesa	38
Imagen 27. Tambor de Giro	39
Imagen 28. Cable y tambor	39
Imagen 29. Estructura Celosía	40
Imagen 30. Estructura Celosía	40
Imagen 31. Lubricación sistema de desplazamiento	99
Imagen 32. Lubricación Sistema de Giro	101
Imagen 33. Lubricación Sistema de transmisión	102

RESUMEN

Para lograr el desarrollo total del proyecto presentado a continuación, titulado “PLAN DE MANTENIMIENTO PARA UNA GRÚA TIPO CELOSÍA BUCYRUS 38-B DE LA EMPRESA SUBSUELOS S.A.S EN COTA-CUNDINAMARCA” se empezó por caracterizar los sistemas de la grúa para tener conocimiento de los elementos y componentes presentes, posterior a esto, mediante visitas de campo al taller de mantenimiento se procedió a dar un diagnóstico de los sistemas, conociendo así el estado actual de la máquina, una vez determinado esto se realizó un análisis de criticidad para determinar que sistemas son más críticos que otros y en qué orden se debe implementar el plan de mantenimiento, se realizó una evaluación entre las estrategias de mantenimiento TPM, RCM y AMEF para establecer cuál de estas se acoplaba mejor a las tareas operacionales y condición de la grúa.

Luego de haber realizado la evaluación de estrategias se concluyó que la más adecuada para esta máquina es el análisis de modo y efecto de falla, entonces se procedió a implementar esta estrategia para realizar el plan de mantenimiento, se establecieron diferentes modos de falla para realizar el respectivo AMEF a los sistemas, del mismo modo se asignaron tareas de lubricación e inspección al programa de mantenimiento en donde se tienen en cuenta factores como el tiempo, el lugar de reparación, la persona encarga y diferentes aspectos que permiten realizar mejor este plan de tareas programadas.

Finalmente se realizó un análisis de tipo ambiental para determinar los riesgos e impacto ambiental presentes en la realización de las tareas asignadas, se establecieron controles para mitigar esos riesgos y también se realizó un análisis financiero para determinar los costos de la implementación de este plan de mantenimiento teniendo en cuenta las personas involucradas y los recursos necesarios, también se estableció el dinero que pierde la empresa por indisponibilidad de la máquina.

PALABRAS CLAVE: Grúa Celosía, Izaje de carga, Estructura celosía, Mantenimiento predictivo, Operación segura.

INTRODUCCIÓN

La Grúa tipo celosía Bucyrus 38-B es una grúa móvil usada para la actividad de izaje de carga, actualmente la empresa SUBSUELOS S.A.S cuenta con una de estas máquinas para realizar sus tareas de operación en el municipio de Cota, actualmente la grúa no cuenta con un plan de mantenimiento establecido, no hay un programa de tareas de ajuste, reparación o inspección que permitan a los operarios y técnicos de mantenimiento hacer un control de mantenimiento sobre esta máquina.

El objetivo general de este proyecto es “Elaborar un plan de mantenimiento para una Grúa tipo celosía Bucyrus 38-B de la empresa SUBSUELOS S.A.S en Cota – Cundinamarca”, para lograr con éxito el desarrollo de este objetivo se establecieron los siguientes objetivos específicos

- ✓ Caracterizar cada uno de los sistemas de la grúa tipo celosía Bucyrus 38-B
- ✓ Evaluar la información de la máquina diagnosticando los diferentes sistemas presentes mediante metodologías de criticidad y fallas, para la escogencia del tipo de plan que más se ajuste a la necesidad de la maquina
- ✓ Desarrollar el plan de mantenimiento escogido que mejor se adecua a las tareas operacionales de la grúa
- ✓ Realizar un análisis de impacto ambiental y financiero para determinar los costos de implementación del proyecto

Es evidente que aplicar un plan de mantenimiento adecuado en esta grúa asegura que la máquina va a continuar con el adecuado funcionamiento para el que fue diseñado, también tiene varias ventajas que favorecen a la compañía y a la maquina como tal, ventajas como prolongar la vida útil de la máquina y asegurar su máximo potencial, asegurar la prestación de servicio, aumentar los beneficios económicos no solo por evitar actividades de reparación que pueden ser costosas, sino por la repercusión económica de todo lo que se puede evitar

1. GENERALIDADES EMPRESA SUBSUELOS S.A.S

Subsuelos S.A.S es una empresa colombiana que centra sus operaciones en el área de la construcción, esta es una empresa que ha realizado una gran cantidad de proyectos durante los últimos años en este país, aunque en los últimos años han incursionado en otros países de sur América.

Esta empresa se fundó en el año de 1967 luego de un acuerdo entre trabajadores colombianos que venían de Europa, a partir de ese año inician estudios enfocados en proyectos en el desarrollo turístico de Cartagena, por esto trabajaron en gran cantidad de obras de infraestructura en esta ciudad.

Durante los años 80 SUBSUELOS inicio la renovación de sus máquinas, así se permitieron ampliar proyectos e iniciar un proceso de expansión a nivel nacional especialmente en ciudades como Bogotá, Medellín y Cartagena con la ejecución de importantes obras de cimentación, esto los posiciono como una de las grandes y reconocidas empresas de Cimentación en el país, durante los últimos años esta empresa a seguido creciendo en sus estudios y proyectos realizados a nivel nacional, al día de hoy empiezan a incursionar en el sector marítimo y es así como han ido abriendo camino a una gran cantidad de proyectos en toda Colombia, teniendo ejecución en todos los departamentos del país.

1.1 POLITICAS DE MANTENIMIENTO

Para la realización de actividades de mantenimiento SUBSUELOS tiene uno de sus talleres ubicado en el departamento de Cota – Cundinamarca donde se reparan las maquinas que operan en la ciudad de Bogotá y algunos municipios aledaños, hay que tener en cuenta que no se realizan tareas de inspección ni de mantenimiento preventivo, es decir que únicamente se interviene o repara algún elemento de la grúa cuando esta queda inhabilitada por una falla o cuando presenta una falla que afecta su operación normal.

1.2 POLITICA DE CALIDAD

“SUBSUELOS S.A.S., es una organización dedicada a la construcción de obras civiles, que busca satisfacer las necesidades y expectativas de los clientes, mediante el cumplimiento de los requisitos legales y contractuales aplicables, comprometidos con la mejora continua de los productos y procesos de la organización, contando con el apoyo de personal competente y equipo adecuado”¹

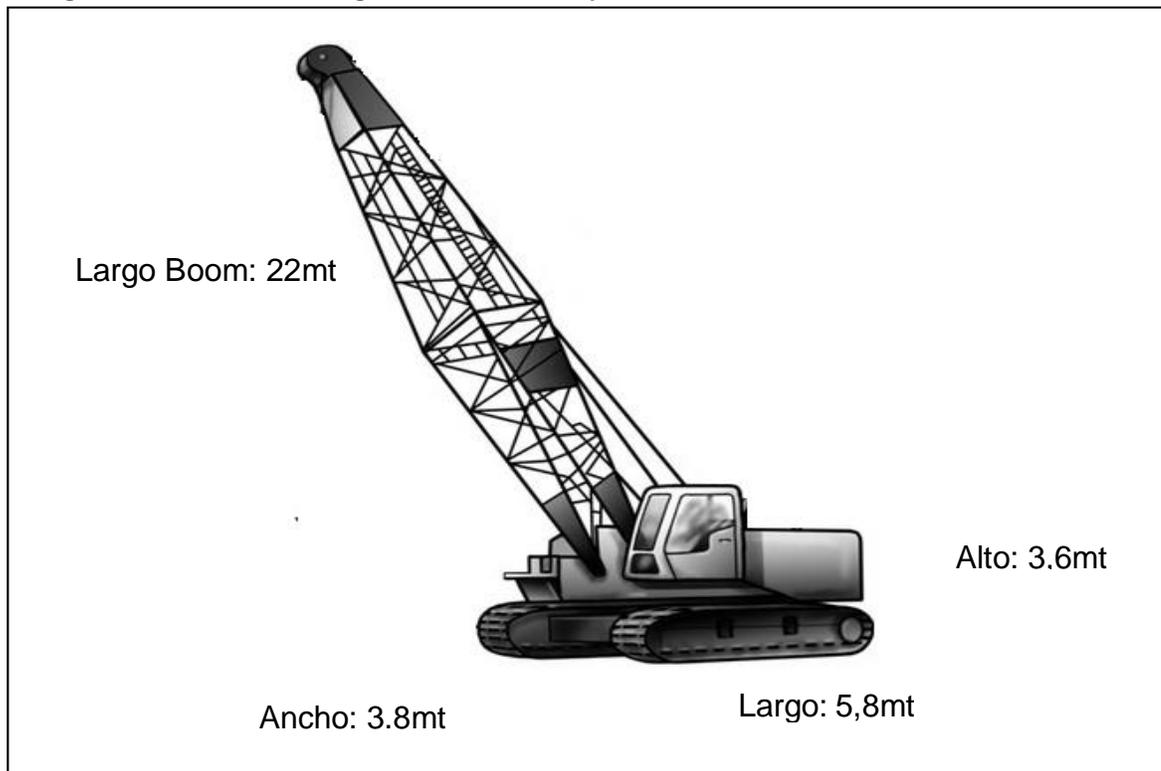
¹ SUBSUELOS S.A.S. SUBSUELOS S.A.S Ingenieros civiles (Pagina WEB). Bogotá D.C. [12, julio, 2020]. Disponible en: <https://www.subsuelos.com.co/nosotros/>

2. GRÚA TIPO CELOSÍA BUCYRUS 38-B

Una grúa móvil tipo celosía Bucyrus 38-B es una máquina con una capacidad de levante de 38 Toneladas, las dimensiones de la grúa son las siguientes: 5,8mt de largo, 3,8mt de ancho y 3,6mt de alto.

Esta compañía diseñó este modelo 38-B con tres finalidades, es decir que esta es una máquina que puede realizar 3 tipos de actividades, esto según los elementos que tenga acoplados al final del cable de izare, la grúa se puede desempeñar como una dragalina, excavadora o grúa, en este caso es de tipo celosía por que cuenta con una estructura denominada Boom la cual es una estructura reticular cuadrada. Esta es una máquina totalmente mecánica, se opera desde el interior donde está la cabina de mando con todas las palancas de control, la grúa se desplaza sobre unas orugas y cuenta con una estructura reticular cuadrada denominada Boom, la potencia principal de la grúa es suministrada por un motor Caterpillar de la serie D337, este motor transmite al sistema de transmisión mediante una cadena de rodillos de cuatro hileras.

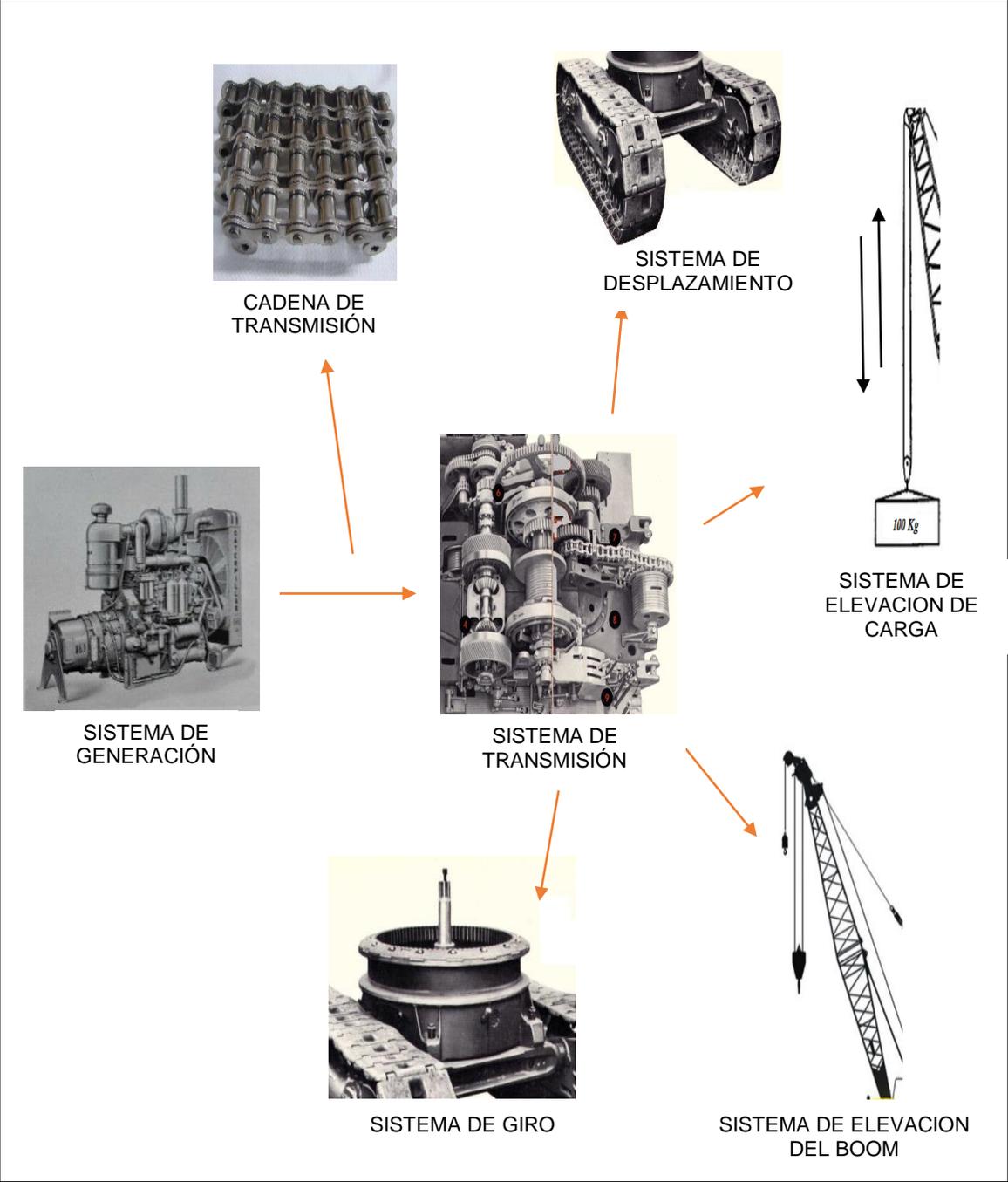
Imagen 1. Dimensiones grúa celosía Bucyrus 38-B



Fuente: elaboración propia

2.1 ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO

Imagen 2. Distribución sistemas de la grúa Bucyrus 38-B



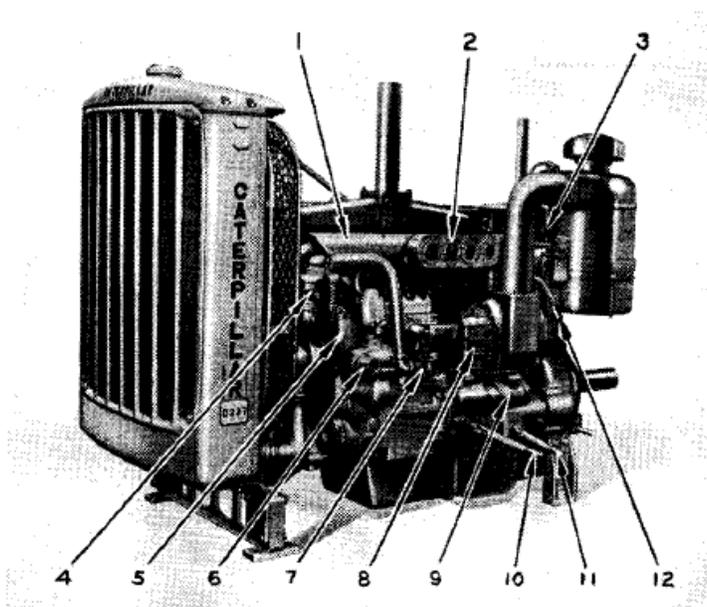
Fuente: elaboración propia basada en BUCYRUS, manual Bucyrus 38-B

2.2 SISTEMA DE GENERACIÓN

El motor CATERPILLAR D337 brinda la energía y movimiento a los sistemas de la grúa tipo celosía Bucyrus 38-B, el motor es una máquina de combustión interna alimentada a gasolina que transfiere energía mecánica mediante una cadena de rodillos a la transmisión de la grúa, este motor tiene un peso aproximado de 38 toneladas y está ubicado en la parte trasera del armazón de la grúa.

- Motor de 6 cilindros en línea (5-3/4" x 8") – CATERPILLAR.
- Velocidad a carga completa 143 H.P a 1250 rpm
- Relación de compresión: 5:1
- Torque: 5.900 Lb
- Capacidad tanque de gasolina: 115 galones
- Capacidad del sistema de enfriado: 37 galones

Imagen 3. Motor Caterpillar D337

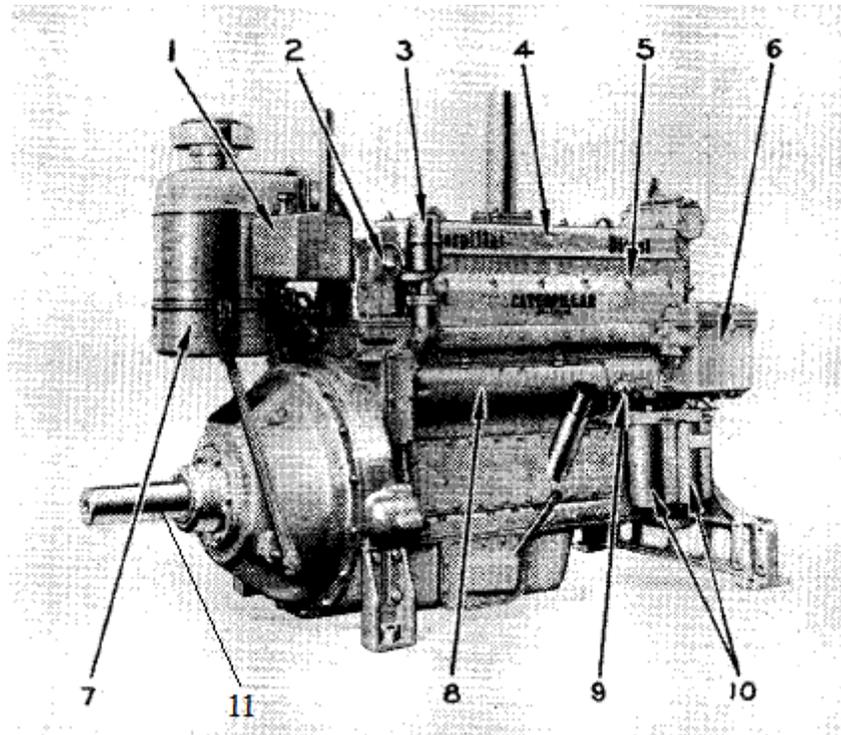


Fuente: BUCYRUS, manual Bucyrus 38-B

1. Tubo de entrada del combustible Diésel
2. Panel de instrumentos de medición
3. Palanca de control del gobernador
4. Filtro de aire del motor de arranque
5. Magneto del motor de arranque
6. Caja de engranajes del motor de arranque
7. Carburador del motor de arranque

8. Compresor de Diésel
9. Arranque eléctrico del motor
10. Palanca de control del embrague del motor
11. Palanca de control del piñón del motor
12. Palanca de control de relación de transmisión

Imagen 4. Motor Caterpillar D337



Fuente: BUCYRUS, manual Bucyrus 38-B

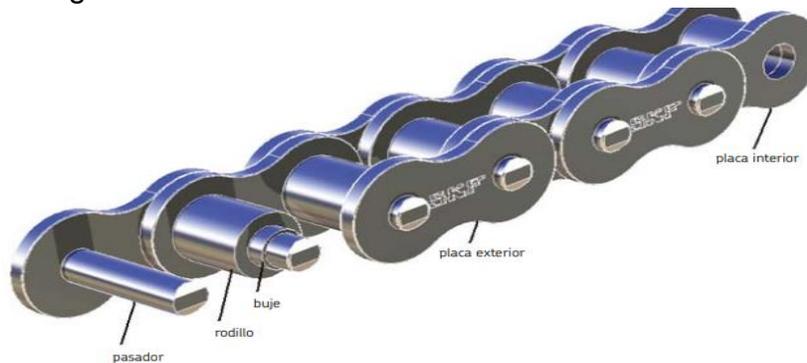
1. Tanque de combustible del motor
2. Regulador del combustible diésel
3. Cigüeñal del motor – Soporte
4. Válvula del motor diésel
5. Árbol de levas del motor
6. Filtro de combustible
7. Filtro de Aire
8. Cobertor del árbol de levas
9. Medidor de horas
10. Filtro de aceite, lubricante del cigüeñal

2.3 CADENA DE TRANSMISIÓN

Una cadena de transmisión de rodillos es un elemento utilizado para transmitir fuerza o movimiento entre dos sistemas o componentes, en este caso entre dos ejes horizontales que componen la grúa y el motor de esta, la cadena está compuesta por bujes, rodillos, pasadores y las placas de retención, tiene una cantidad de cuatro hileras y una longitud aproximada de 3mt. (Ver figura 5)

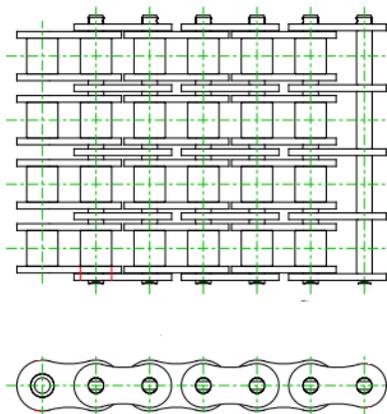
Este elemento es el encargado de transmitir la potencia de salida del motor al eje primario del sistema de transmisión, la cadena va montada sobre dos engranajes, uno sobre el eje del motor y otro sobre el eje primario del sistema de transmisión, esta cadena de rodillos cuenta con una caja de lubricación que es la que permite que la cadena se mantenga lubricada constantemente mediante lo que se denomina lubricación por baño

Imagen 5. Cadena de Rodillos



Fuente. catalogo cadena de transmisión SKF

Imagen 6. Cadena de Rodillos de 4 hileras



Fuente. catalogo cadena de transmisión SKF

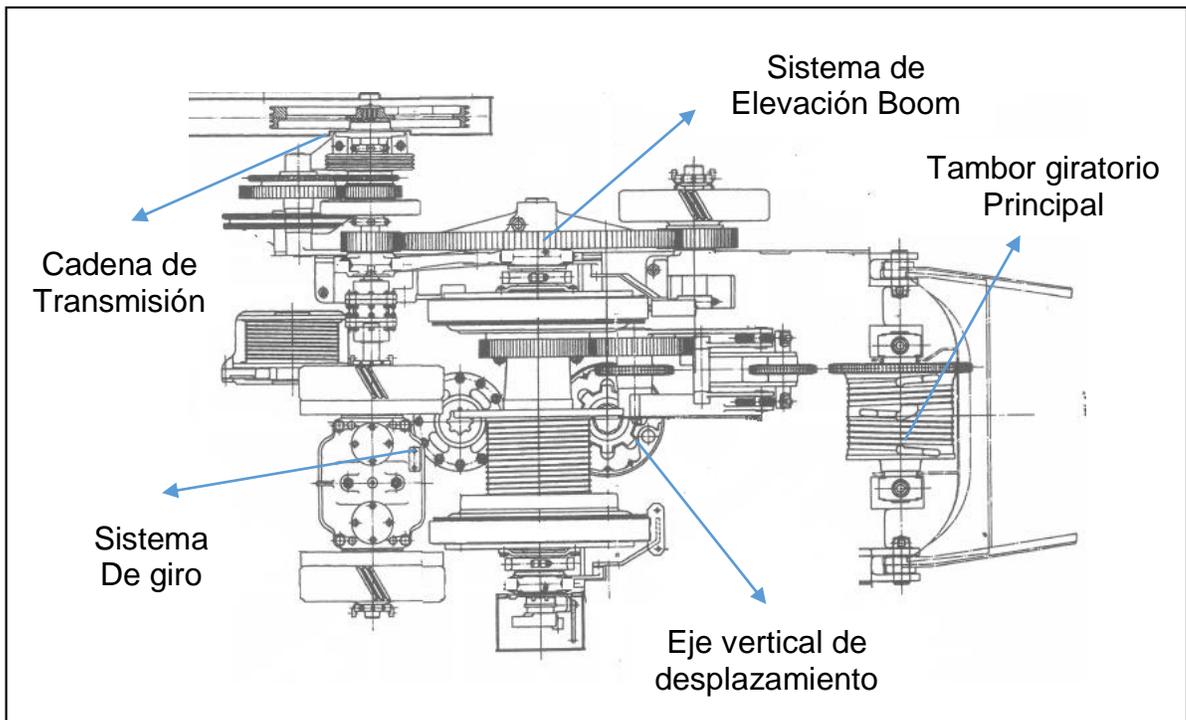
2.4 SISTEMA DE TRANSMISIÓN

Una transmisión es el mecanismo que permite el control y la transmisión de fuerza y velocidad de la máquina. La transmisión mecánica, en combinación con un embrague principal, controla la potencia producida por el motor.

El sistema transmisión en la grúa proporciona el avance y el retroceso de la máquina, controla diferentes velocidades y diferentes fuerzas de empuje, los cambios de velocidades y las multiplicaciones de la fuerza de propulsión, se producen mediante la conexión mecánica de diferentes trenes de engranajes en ejes paralelos y verticales.

Este sistema de transmisión de la grúa Bucyrus 38-B comprende de diferentes elementos, dos ejes horizontales de transmisión y dos ejes verticales de transmisión. A partir de estos ejes se pueden controlar los diferentes sistemas de la máquina tales como el desplazamiento, elevación y descenso del Boom, elevación y descenso de la carga y el sistema de giro

Imagen 7. Plano en vista superior Sistema de transmisión



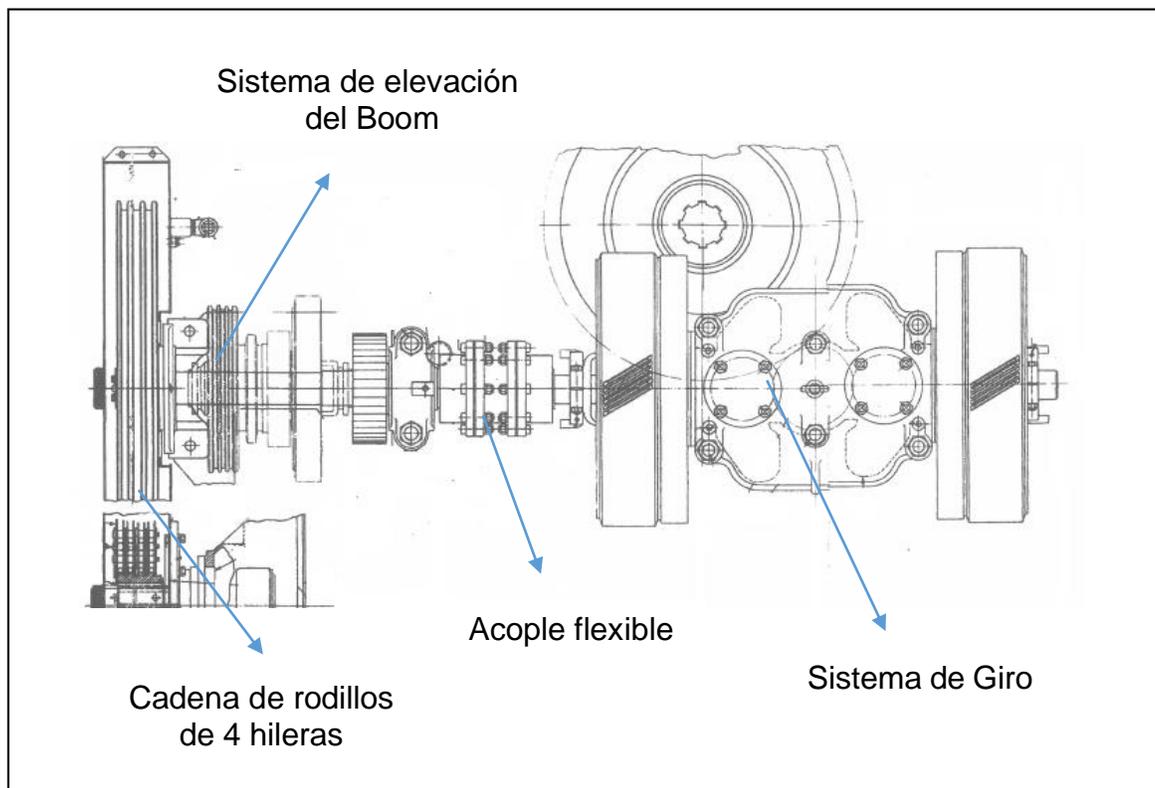
Fuente: elaboración propia basado en BUCYRUS, Manual Bucyrus 38-B

2.5 EJE DE TRANSMISIÓN PRIMARIO

Este elemento es el eje que recibe directamente la energía que transfiere el motor por medio de la cadena de rodillo acoplada entre este eje primario y el eje del motor.

Sobre este eje van acoplados otros sistemas que son los que permiten realizar todos los movimientos de la grúa, estos acoples se pueden activar o desactivar por medio de los embragues del sistema de transmisión. Este eje en especial tiene dos unidades que van acopladas mediante un acople flexible, una parte es la encargada de transmitir la potencia al sistema de elevación del Boom y el otro parte tiene que ver con el sistema de marcha atrás y las acciones de la grúa de desplazamiento y giro (Ver imagen 8)

Imagen 8 Plano en vista superior del Eje principal

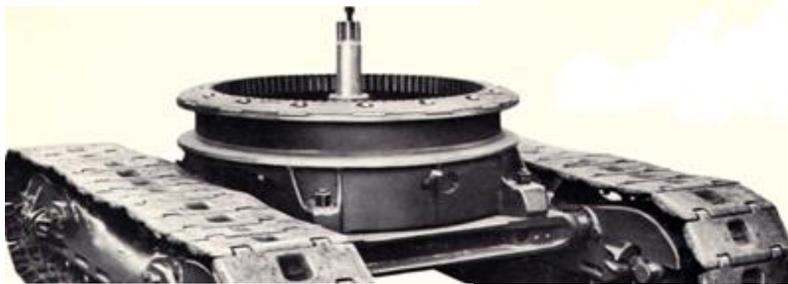


Fuente: elaboración propia basado en BUCYRUS, Manual Bucyrus 38-B

2.6 SISTEMA DE GIRO

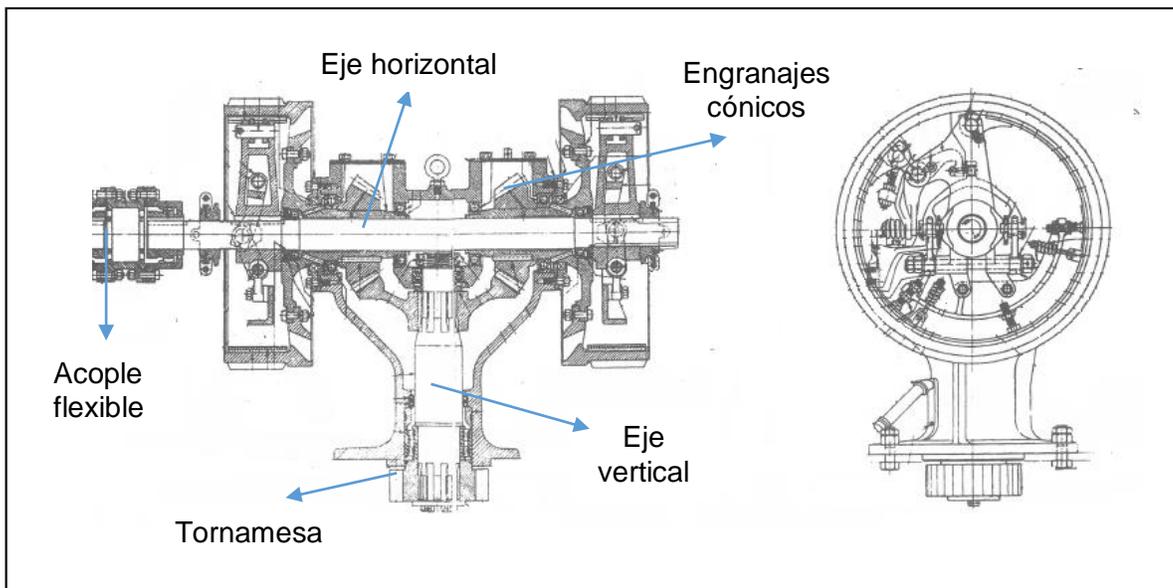
Es el elemento principal del sistema de giro, fue diseñado para tener una larga vida funcional, este elemento recibe movimiento y potencia del eje principal de transmisión mediante dos engranajes cónicos que transmiten a un eje vertical acoplado a la tornamesa, la totalidad de la estructura de este sistema está fabricado con fundición de acero recocido simple, este es el que permite que la grúa pueda realizar movimientos en el plano horizontal si necesidad de moverse, es decir que mediante este mecanismo la grúa puede realizar giros a 360° dependiendo de la tarea que tenga que realizar. (Ver figura 9)

Imagen 9. Tornamesa



Fuente: manual Bucyrus 38-B

Imagen 10 Plano en vista lateral y perfil del Tornamesa



Fuente: elaboración propia basado en. BUCYRUS, Manual Bucyrus 38-B

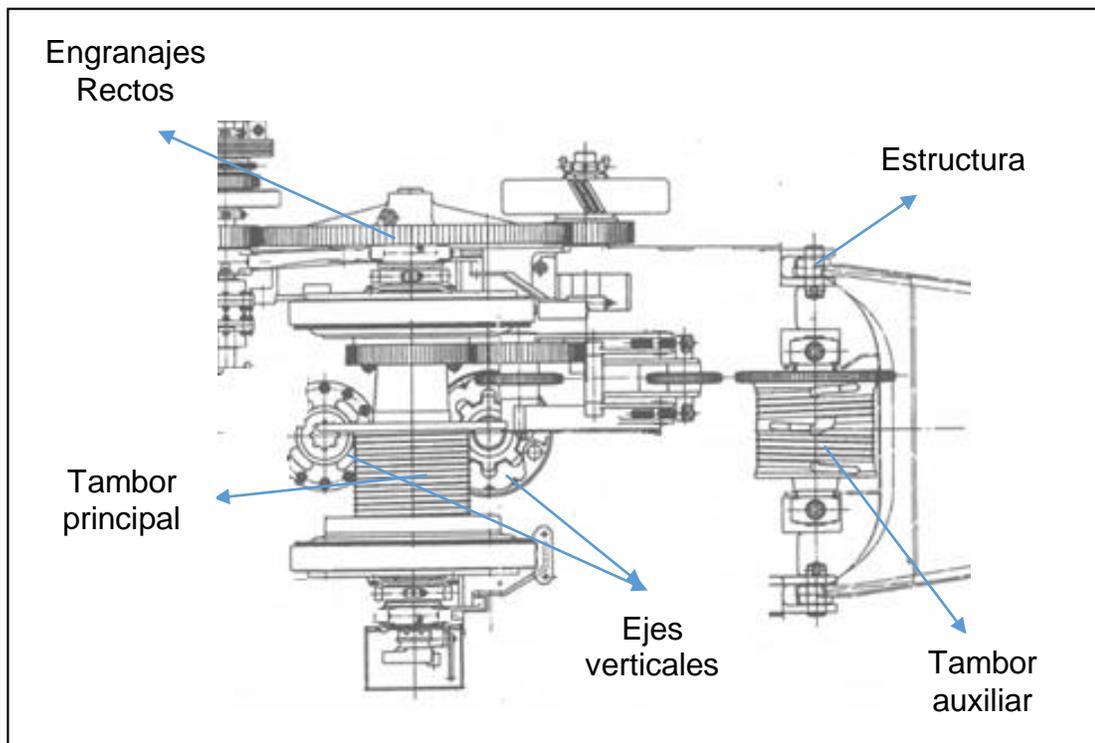
2.7 SISTEMA DE ELEVACION Y DESCENSO DEL BOOM

El sistema cuenta con 1 tambor giratorio donde va enrollado el cable de acero de aproximadamente 80mt, cadena de rodillos de una hilera, 1 freno de banda con un resorte, 2 embragues de banda y 1 trinquete son los elementos que accionan los diferentes ejes y permiten la transmisión del movimiento mediante engranajes y cadenas de transmisión. (Ver figura 11)

Dos embragues de banda de expansión interna están montados en el eje central y estos por embrague de fricción controlan los movimientos de elevación y descenso de la pluma, este sistema también tiene un freno de banda con resorte, el freno se libera automáticamente al subir y bajar la pluma, estos dos elementos, tanto el freno como los embragues son controlados por una palanca ubicada en la posición del operador, es decir en la cabina de mando.

El eje intermedio impulsa el embrague de elevación mediante una cadena de rodillos mientras que el embrague de bajada es igualmente accionado por el eje intermedio en dirección opuesta a través de un engranaje recto. Este mismo eje impulsa el tambor giratorio a través de una cadena de doble hilera

Imagen 11. Plano en vista superior sistema elevación



Fuente: elaboración propia basado en. BUCYRUS, Manual Bucyrus 38-B

2.8 ESTRUCTURA CELOSÍA DEL BOOM

Estructura reticular cuadrada de tipo celosía, tiene una longitud de 22 metros, está unida en un extremo mediante pasadores o pernos a la estructura principal de la grúa celosía Bucyrus 38-B, se utiliza en trabajos de izaje de cargas, esta estructura es el elemento en donde va montado el cable de acero y sujetado desde la parte inferior de la estructura hasta el final de esta, en donde hay cuatro poleas que permiten que el cable de acero pueda bajar o subir carga.

La estructura mantiene la estabilidad mediante un pedante continuo, de este modo se logran tener más puntos de apoyo en la estructura para soportar la carga sin que la estructura se deforme.

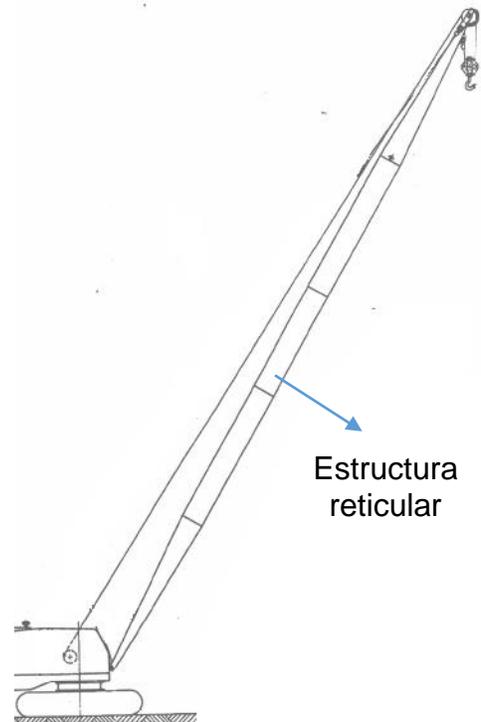
El extremo inferior de la estructura está conectado mediante pasadores a la estructura de la grúa mientras que, en el otro extremo, es decir en la parte superior se encuentra una polea que es elemento sobre el cual se desplaza el cable de acero También puede tener una extensión de pluma para una línea auxiliar, esta extensión se denomina jib, se utiliza en caso de que se necesiten izar dos cargas al mismo tiempo, para esto la grúa cuenta con un tambor giratorio auxiliar, donde va empotrado el cable de acero auxiliar del jib

Imagen 13. Estructura Boom celosía

Imagen 12. Estructura reticular celosía



Fuente: elaboración propia



Fuente: elaboración propia basado en BUCYRUS, manual Bucyrus 38-B

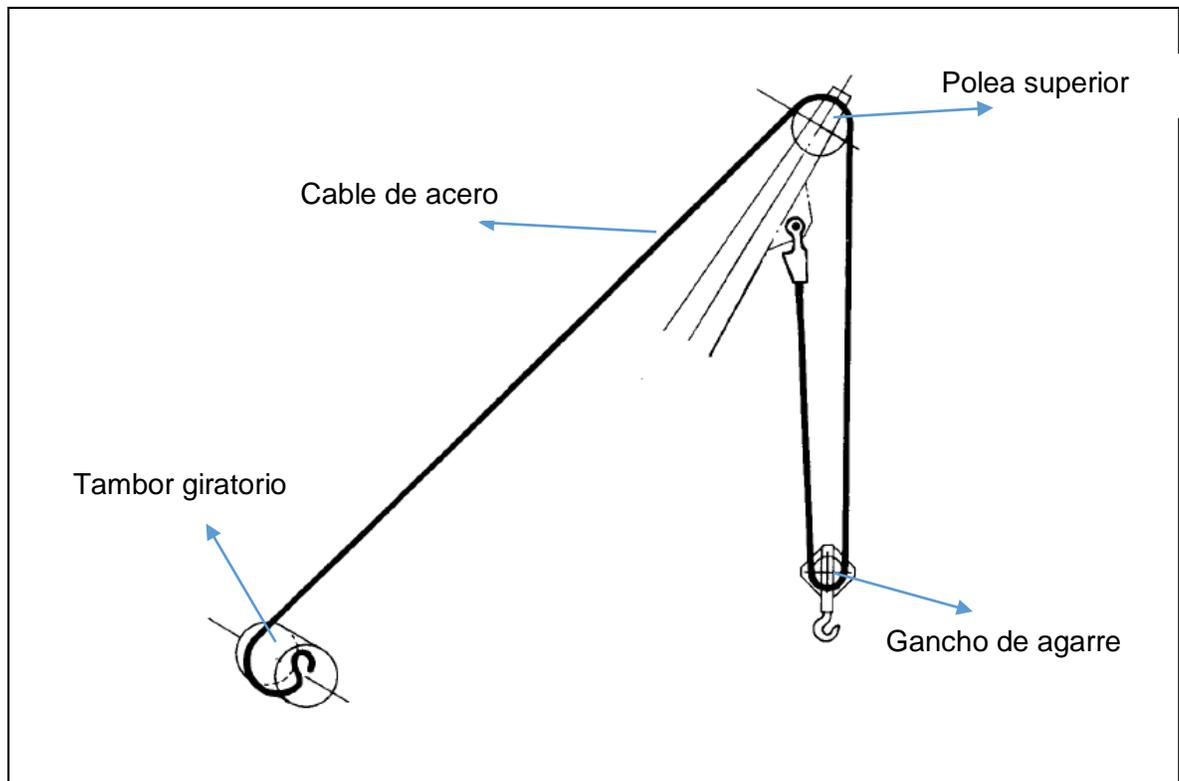
2.9 PENDANTE DE LA ESTRUCTURA CELOSÍA DEL BOOM

Un pendiente continuo es una serie de cables de acero sujetados en un extremo a una parte de la superestructura de la grúa y el otro extremo a la estructura del Boom de celosía, este juego de cables tiene como función dar más estabilidad para que la estructura pueda soportar las cargas ejercidas por la carga izada

2.10 SISTEMA DE ELEVACION Y DESCENSO DE CARGA

Permite la elevación y descenso de la carga mediante un cable de acero que tiene una longitud de 48 mt, el cable esta empotrado a un tambor giratorio montado sobre el eje secundario de la transmisión de la grúa, Este sistema este compuesto del cable de acero principal de grúa y de un tambor giratorio, además del accesorio que tenga acoplado al final del cable, en este caso un gancho de ojo.

Imagen 14. Sistema de elevación y descenso de carga



Fuente: elaboración propia basado en. BUCYRUS, Manual Bucyrus 38-B

2.11 CABLE DE ACERO

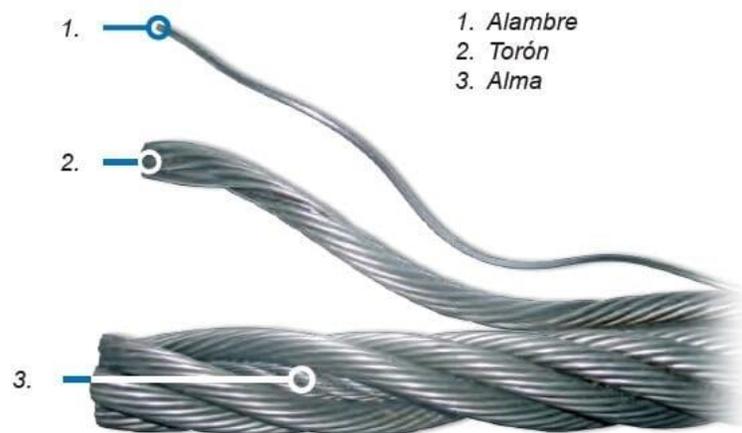
Este elemento es utilizado como el eslabón final de la transmisión de potencia, pues es el que permite que la carga sea elevada, el cable está sujetando la carga en un extremo mediante el gancho de ojo y al otro extremo va empotrado en un tambor giratorio que es el que va girando y permite que la carga suba o baje según el mando que se active.

Este elemento es tan importante como un engranaje o la estructura del boom y requiere tareas de lubricación e inspección programadas para evitar que pierda sus características originales y sea un riesgo para la operación

El cable principal de esta grúa Bucyrus 38-B tiene una longitud de 48 metros y un diámetro de 1 pulgada. Este cable es la unión de varios alambres enrollados entre sí y alrededor de un alma de alambre o fibra sintética.

Varios hilos de alambre enrollados entre si componen un torón y varios torones enrollados alrededor de un alma componen el cable de acero. (Ver imagen 15)

Imagen 15. Cable de acero



Fuente: RTA Respuesta Alterna

2.12 SISTEMA DE DESPLAZAMIENTO

El elemento principal de este sistema son las orugas, este sistema al igual que todos recibe potencia del motor a través del sistema de transmisión. (Ver figura 17)

Este sistema es importante ya que permite que la grúa se desplace sobre cualquier terreno, las orugas son un elemento que da también estabilidad al equipo, el área de contacto entre las orugas y el suelo entre mayor sea, mayor estabilidad va a

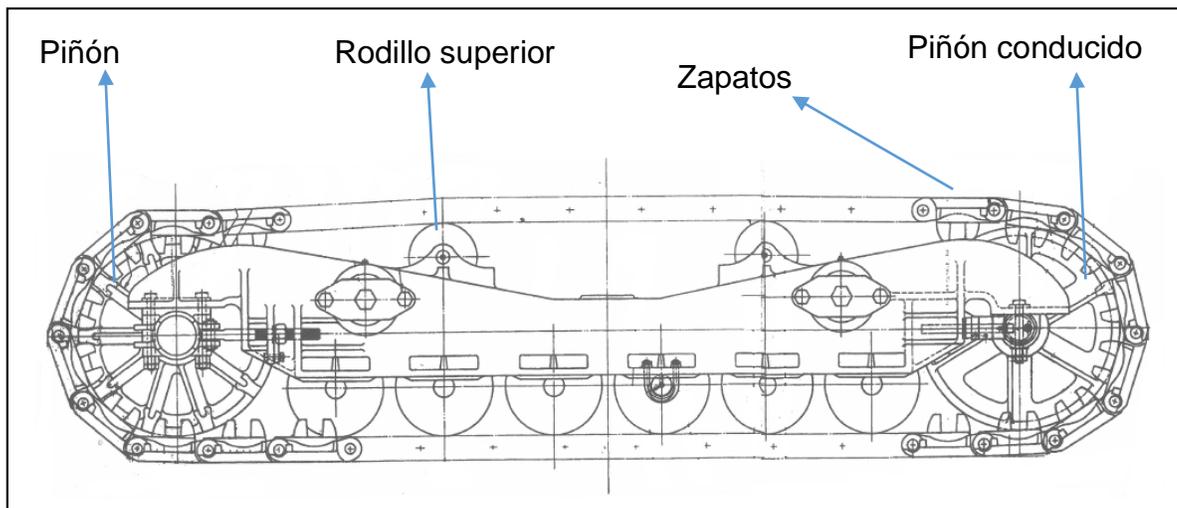
proporcionar, además es donde se apoya toda la estructura de la grúa, se pueden tener dos longitudes de orugas que van a cambiar según la actividad a realizar con la grúa, la longitud más pequeña me permite transportar la grúa sobre un cama baja y llevarla de un lugar geográfico a otro, las orugas de mayor medida permiten que la grúa se desplace con mayor facilidad en terrenos húmedos o lodosos.

Las orugas de este sistema se componen de cuatro rodillos superiores de doble brida, estos permiten tensionar los zapatos de la oruga y distribuir la carga uniformemente a través de la estructura, dos en cada sección de las orugas, los rodillos inferiores por estar sometidos a una fuerza cortante mayor son de un diámetro más grande en comparación con los rodillos superiores.

Dos ruedas dentadas en cada sección de la oruga, una conductora es la que transmite la potencia y la otra rueda dentada que la recibe es la conducida, dos cadenas de rodillos para transmitir la potencia de un engrane a otro.

Dos ejes, uno vertical y uno horizontal estos fabricados en fundición de acero y tratados térmicamente, engranajes cónicos, rodamientos, pasadores, ejes, pernos y demás.

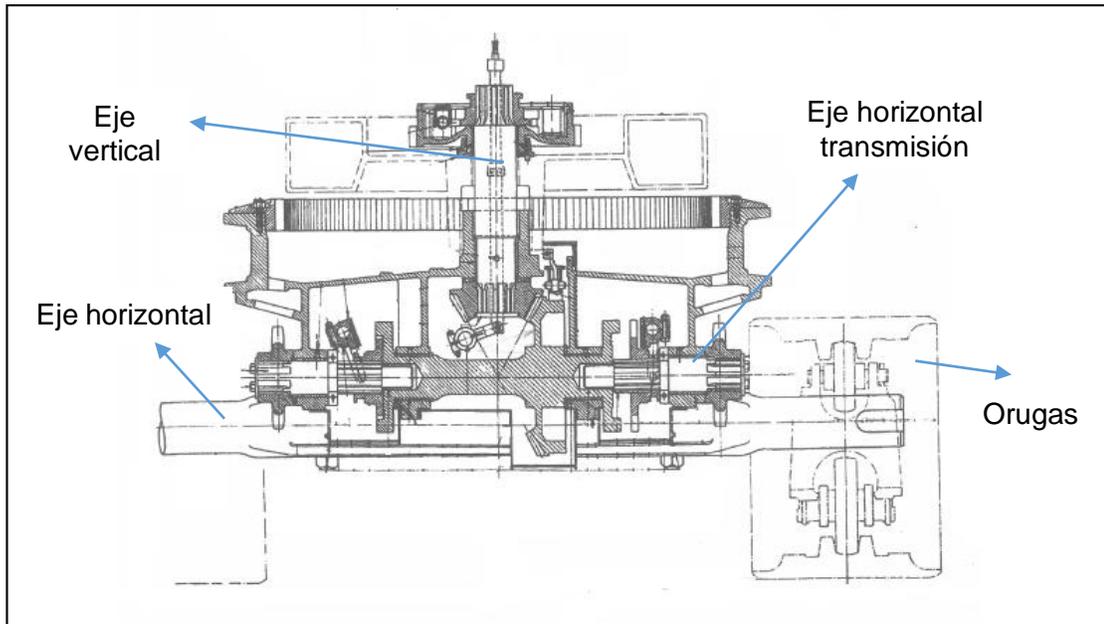
Imagen 16. Plano en vista de perfil Orugas



Fuente: elaboración propia basado en. BUCYRUS, manual Bucyrus 38-B

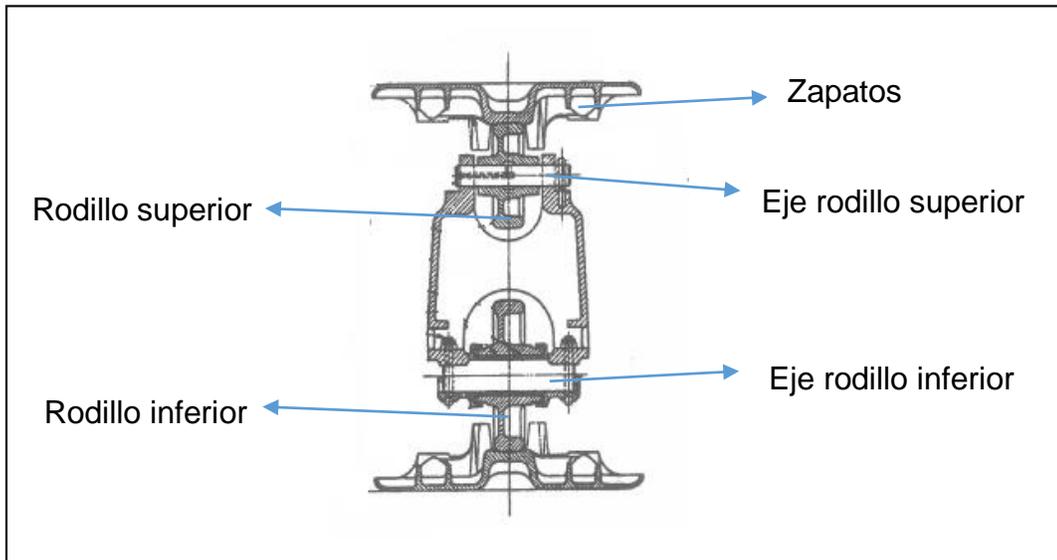
Los engranajes están en lubricación constante desde la cubierta superior de la estructura de las orugas, mediante el método de goteo por botella invertida. Los rodillos son de tipo pestaña sencilla y los zapatos de la oruga son de tipo liso. Las orugas tienen una longitud de 6mt.

Imagen 17. Plano en vista frontal sistema de desplazamiento



Fuente: elaboración propia basado en Manual Bucyrus 38-B

Imagen 18. Plano en vista frontal Orugas



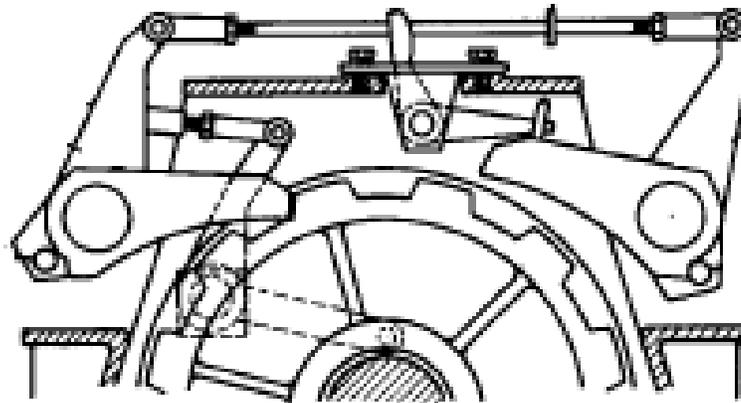
Fuente: elaboración propia basado en Manual Bucyrus 38-B

2.13 BLOQUEO PRINCIPAL O TRINQUETE

Este elemento funciona mediante un trinquete que es activado mediante una palanca ubicada en la cabina en los mandos del operador, una vez el operador ejecuta la función de bloqueo accionando la palanca, la grúa queda inhabilitada para realizar movimientos de desplazamiento, este trinquete tiene la posibilidad de bloquear el movimiento en un sentido, es decir para atrás o para adelante, o el bloqueo total del movimiento de la grúa (Ver figura 19)

Este elemento también se puede considerar como un dispositivo de seguridad, por que al momento de tener un accidente o realizar un Izaje de riesgo, se puede activar el trinquete y así se disminuye el riesgo por accidente, ya sea por desplazamiento de la grúa mientras realiza la operación o por error humano de operación.

Imagen 19. Bloqueo de Trinquete



Fuente: manual Bucyrus 38-B

Tabla 1. Elementos y componentes Grúa Celosía Bucyrus 38-B

MAQUINA	SISTEMA	ELEMENTOS	COMPONENTES
GRUA CELOSÍA BUCYRUS 38-B	Sistema de Generación	Lubricación	Filtro de aceite
			Bomba de aceite
			Mangueras
		Alimentación	Bomba de alimentación
			Bomba de inyección
			Inyectores
		Transmisión	Eje
			Rodamiento
			Engrane
		Refrigeración	Bomba de agua
			Radiador
			Mangueras
	Cadena de transmisión	Rodillos	
		Bujes	
		Pasadores	
		Placas de retención	
	Sistema de elevación del Boom	Cadena de transmisión	Rodillos
			Bujes
			Pasadores
			Placas de retención
		Engranajes rectos	Cojinetes
			Freno de banda
			Embragues
		Tambor giratorio	Embragues
			Cojinetes
		Cables de acero	Hilos de acero
			Pernos
		Estructura del Boom	Pasadores
	Polea superior		
	Cojinetes		
Cables de acero			
Pendente	Estructura		

Tabla 1. (Continuación)

MAQUINA	SISTEMA	ELEMENTOS	COMPONENTES
GRUA CELOSIA BUCYRUS 38-B	Sistema de desplazamiento	Engranajes rectos	Cojinetes
		Eje vertical	Cojinetes
		Orugas	Pasadores, pernos, cojinetes
			Rodillos superiores
			Rodillos inferiores
			Rodillo conducido
			Rodillo conductor
			Zapatas orugas
		Cadena de transmisión	Pasadores
			Rodillos
			Bujes
			Placas de retención
		Sistema de giro	Rodillos de doble brida
	Tornamesa		
	Eje vertical		Cojinetes
	Engranajes rectos		Embragues
			Rodamientos
	Engranajes Cónicos		Cojinetes
			Bujes
	Sistema de elevación de carga	Poleas	Gancho principal
			Cojinetes
			Pasadores
		Tambor giratorio	Cojinetes
Cable de acero			
Pasadores			
Engranajes rectos		Cojinetes	
		Freno de banda	
		Embragues	

Fuente: elaboración propia

3. DIAGNOSTICO

Antes de hacer un diagnóstico detallado de los sistemas que componen la maquina es necesario aclarar que actualmente el departamento de mantenimiento realiza tareas de netamente correctivas en la máquina, es decir que cuando el operador de la grúa detecta una falla que afecta el funcionamiento de la grúa, lo informa a los técnicos de mantenimiento que son los que evalúan la severidad de la falla y empiezan la reparación ya sea en lugar de operación o en el taller de mantenimiento También se debe mencionar que los técnicos de mantenimiento no llevan un registro exacto de la totalidad de reparaciones que se realizan en la máquina, tampoco hay un registro exacto de los repuestos y cantidad de paradas de la grúa.

Por este motivo se hace necesario recopilar información de las bitácoras de los operadores, de las comprobantes de compra de repuestos y de la bitácora del taller de torneado y fresado, luego de haber recopilado esta información se puede determinar el siguiente diagnostico

3.1 SISTEMA DE GENERACIÓN

Actualmente el sistema de generación no presenta un trabajo de mantenimiento programado, los elementos que más tienden a fallar en este sistema son los rodamientos del eje principal puesto que es el encargado de transmitir la potencia mediante la cadena de transmisión, en algunas ocasiones se han presentado averías que como consecuencia han ocasionado alto consumo de combustible y perdidas de potencia, esto según los registros obtenidos en campo, A pesar de ser un motor que sus años de fabricación son aproximadamente los años 90 se realiza inspección al equipo únicamente en el momento en que la máquina termina sus actividades y sale de la obra en la que fue asignada, este periodo de tiempo puede durar entre 20 días y 40 días

Regularmente se le hacen actividades de mantenimiento correctivo, sin embargo, se hace cambio de aceite cada determinado tiempo para prevenir que el motor trabaje con aceite de mala calidad que pueda afectar al motor, del mismo modo se cambia el filtro del aceite, filtro de combustible y filtro de aire cuando estos presentan un deterioro evidente.

El estado actual del motor no es deplorable puesto que aun opera sin generar mayores retrasos, tampoco ha generado fallas que sean de tal magnitud que puedan afectar todos los sistemas de la grúa, visualmente no se evidencian imperfecciones ni reparaciones que puedan afectar el buen funcionamiento del motor, tampoco se pueden evidenciar piezas en mal estado si se realiza una inspección visual.

- Que se hace: Mantenimiento correctivo al motor cuando presenta una falla que afecta el funcionamiento de este
Se hace cambio del aceite del motor cada 700 horas aproximadamente o cuando ese presenta contaminación
Las fallas recientes de este sistema se deben a que el rodamiento ubicado en el eje de salida presento una falla, por este motivo se detuvo la operación y se hizo el cambio del rodamiento, además del cambio de aceite y combustible debido a que presentaba contaminación
El filtro de aceite, el filtro de aire y el filtro de combustible se cambian cuando presentan deterioro evidente o cuando el operario lo crea conveniente
- Estado actual: El motor no evidencia ningún tipo de deformación que pueda afectar su funcionamiento, además de esto este sistema presenta deterioro en la pintura por el tiempo de años en operación, es evidente que no se realiza una limpieza esporádica para evitar deterioro por impurezas.
Fallas comunes: El último cambio de aceite y del filtro de aceite se realizó el 4 de marzo del año en curso, los filtros de aire y combustible fueron cambiados por última vez el 7 de mayo del año 2019, el rodamiento del eje de salida de potencia se cambió el 27 de febrero debido a avería de este
- Componentes faltantes: Este sistema presenta elementos faltantes en su base. Los pernos que sujetan la estructura del motor a la estructura de la grúa no están completos

Imagen 21. Motor CAT D337



Fuente: elaboración propia



Ubicación del rodamiento
que fue reemplazado por
uno nuevo

Fuente: elaboración propia

3.2 SISTEMA DE DESPLAZAMIENTO:

Actualmente el sistema de desplazamiento no tiene un programa de tareas de mantenimiento, es un sistema diseñado para soportar todo el peso de la grúa, por este motivo es demasiado resistente a las fuerzas que tiene que soportar, sin embargo este sistema presenta deterioro por su uso excesivo más cuando está en condiciones de trabajo donde el terreno no es el más adecuado para mantener estas piezas en perfecto estado, por este motivo se han registrado cambios en los rodillos superiores e inferiores por presentar deformaciones, grietas o desgaste, se han realizado ajustes en los pernos de la estructura, además de esto se lubrica en periodos de tiempo demasiado largos por esto algunas piezas presentan abrasión

- Que se hace: Se realizan tareas de mantenimiento cuando el sistema presenta alguna falla o desajuste que afecta el adecuado desplazamiento, se inspecciona esporádicamente y se realizan ajustes únicamente cuando se requiere o el operario lo cree conveniente, se realiza cambio del aceite lubricante cuando presenta contaminación o cuando se cree conveniente.

- Estado actual: Este sistema presenta abrasión en las zonas de contacto con debido al constante contacto de algunos elementos, las impurezas son bastante debido al lodo son evidentes en los zapatos de las orugas, no se evidencian fisuras o deformaciones en la estructura.
- Fallas comunes: La última tarea de mantenimiento que se realizó fue el cambio de aceite lubricante el 14 de enero del año en curso. Además de esto se han realizado algunas reparaciones, se realizó el desmontaje de las orugas para realizar ajustes pernos de los zapatos el 24 de mayo del año 2019, se realizó cambio de los bujes de los rodillos inferiores el 12 de julio de 2019.
- Componentes faltantes: Este sistema no evidencia elementos faltantes.

Imagen 20. Cinturón de zapatos y estructura



Fuente: elaboración propia

Imagen 21. Zapato de Oruga



Fuente: elaboración propia

3.3 SISTEMA DE GIRO

Este sistema no tiene un programa de tareas de mantenimiento definido, algunas las piezas presentan deterioro debido al excesivo uso y a que no se ha realizado una lubricación adecuada del sistema, periódicamente se hacen cambios de aceite cuando este presenta contaminación, cuando se termina o cuando ha tenido un periodo de tiempo excesivo de uso, se han realizado ajustes de los pernos, pasadores y tuercas del sistema, además del cambio de algunos bujes y ejes de los rodillos, es evidente que algunos elementos presentan abrasión y oxido en algunas partes.

- Que se hace: Tareas de mantenimiento correctivo cuando el sistema presenta alguna falla o avería, se realizan inspecciones esporádicas cuando el operario lo cree conveniente, se aplica lubricante en la corona del tornamesa cada vez que esta evidencia que se está terminando, es evidente que no se hace limpieza del sistema para evitar contaminaciones que afecten la estructura
- Estado actual: Es evidente que los rodillos que giran sobre el tornamesa presentan abrasión, los engranajes del sistema de transmisión es esta sección están constantemente lubricados, los ejes y demás componentes no presentan deformaciones ni elementos faltantes
- Fallas comunes: Las fallas comunes de este sistema tienen que ver con la deficiencia de lubricación, por esto se genera exceso de ruido y abrasión
- Componentes faltantes: En la carcasa de la sección de transmisión se evidencia que hay algunos pernos faltantes

Imagen 22. Tornamesa



Fuente: elaboración propia

Imagen 23. Tornamesa



Fuente: elaboración propia

3.4 SISTEMA DE ELEVACION DE CARGA

Este sistema no tiene un programa de tareas de mantenimiento o inspección establecido, se ha realizado el cambio del cable principal en el mes de marzo del año 2019 y durante este periodo de tiempo no ha presentado fallas como deformaciones o aplastamiento, en este sistema también se realizó mantenimiento correctivo a los pasadores del winche ya que algunos presentaban desajuste por deformaciones o algunos eran elementos faltantes, al igual que la mayoría de elementos de la grúa se puede evidenciar principios de óxido en algunas piezas

- Que se hace: No hay un programa de tareas definidas y que se tengan que realizar cada cierto tiempo, no hay rutinas de inspección del cable ni del tambor, este sistema únicamente se interviene cuando hay una falla o cuando el operario lo cree conveniente
- Estado actual: El cable principal no presenta abrasión, sin embargo, no se lubrica constantemente, el tambor giratorio presenta abrasión en algunas zonas, sin embargo, no se evidencia aplastamiento o rotura de hilos en la superficie, el gancho principal de elevación presenta picaduras y abrasión debido al uso constante, las poleas de la estructura están en buen estado, sin embargo no se evidencia lubricante en los ejes de las mismas
- Fallas comunes: El 26 de marzo de 2019 se realizó el cambio del cable principal debido a que este presentaba deformación y aplastamiento en algunas zonas.
- Componentes faltantes: No se evidencian componentes faltantes

Imagen 25. Cable y tambor



Fuente: elaboración propia

Imagen 24. Tambor de Giro



Fuente: elaboración propia

3.5 SISTEMA DE ELEVACION DEL BOOM

Este sistema no tiene un programa de tareas de mantenimiento o inspección definido, en este sistema se realizó cambio del cable principal, cambio del aceite lubricante para la zona de los engranajes cada vez que el técnico lo cree conveniente, el sistema presenta pequeños focos de corrosión debido a la exposición constante al aire, el estado actual del sistema no es deplorable, ya que sus elementos no presentan deformaciones y el cable que es el elemento principal se evidencia nuevo y sin ningún daño

- Que se hace: Actualmente en este sistema no hay un plan de tareas definidas, no se realiza inspección del sistema, únicamente se hacen ajustes de tipo preventivo cuando el operador lo cree conveniente
- Estado actual: La estructura del boom no presenta deformaciones ni es evidente que falten elemento de la estructura, el tambor giratorio presenta abrasión en algunas zonas, los cables de la sujeción a la estructura presentan
- Fallas comunes: El 4 de enero del presente año se realizó reparación en las poleas de la estructura, ya que no giraban con facilidad
- Componentes faltantes: En la base de la estructura del sistema pendiente hace falta un perno de sujeción.

Imagen 27. Estructura Celosía



Fuente: elaboración propia

Imagen 26. Estructura Celosía



Fuente: elaboración propia

3.6 SISTEMA DE TRANSMISIÓN

Este sistema no tiene un programa de tareas de ajuste inspección o mantenimiento, las tareas que se realizan son netamente correctivas, se realizan actividades de lubricación de los engranes y cadenas cada vez que el operario lo cree conveniente o cuando es evidente la falta de lubricación.

- Que se hace: Actualmente en este sistema no hay un plan de tareas definidas, no se realiza inspección del sistema, únicamente se hacen ajustes de tipo preventivo cuando el operador lo cree conveniente
- Estado actual: La estructura del boom no presenta deformaciones ni es evidente que falten elemento de la estructura, el tambor giratorio presenta abrasión en algunas zonas, los cables de la sujeción a la estructura presentan
- Fallas comunes: El 4 de enero del presente año se realizó reparación en las poleas de la estructura, ya que no giraban con facilidad

4. ANALISIS DE CRITICIDAD Y FALLAS

Un estudio de criticidad permite conocer que sistemas o elementos son más críticos que otros, pues algunos sistemas de esta máquina tienden a ser más propensos a presentar fallas o son más complejos para realizar las tareas de mantenimiento, además este análisis se hace con el fin de centrar las tareas correctivas en esas partes que son más propensas a fallar.

Después de haber caracterizado cada uno de los sistemas presentes en la grúa para conocer los elementos y componentes que están presentes en la máquina, se procederá a realizar un análisis de modo y efecto de falla para conocer las principales causas y efectos que ocasionan averías en la grúa, posterior a esto se realizara un estudio de Numero prioritario de riesgo para conocer la criticidad de cada uno de los sistemas según las fallas previamente establecidas.

Esto también permitirá establecer o jerarquizar el orden para realizar el plan de mantenimiento dependiendo de la criticidad de cada sistema evaluado

Las fallas que se pueden presentar en una máquina se pueden clasificar en dos, fallas técnicas y fallas funcionales, esto dependiendo de la severidad y la repercusión que estas tengas en el funcionamiento adecuado de la maquina

- Las fallas funcionales son aquellas que impiden que algún sistema o componente de la máquina no realice su función de diseño, es decir, este inhabilitada para realizar la actividad para la que fue diseñada, en estos casos se debe inspeccionar para identificar la falla técnica que genera esto
- Las fallas técnicas son aquellas que generan una anomalía en el sistema, por esto son fallas que tienen una menor consecuencia sobre el funcionamiento de la máquina, pero esto no quiere decir que no sean importantes, pues una falla técnica representa un riesgo alto si no se repara, pues puede convertirse en una falla funcional que puede ser igualmente de difícil detección

Tabla 2. Modo de falla, efectos y causas

Proceso	Sistema	Modo de falla	Efectos	Causa	Controles de prevención y detección
Compactación dinámica del suelo e izaje de carga	Generación (Motor CAT D337)	No prenda	No inicia la operación	Nivel bajo de combustible	Suministro de combustible al iniciar la operación
				avería bomba de alimentación	
				Filtro contaminado	
		Perdida de potencia y bajas revoluciones	Baja producción	Sobrealimentación	Cambio de filtros periódicamente
				Dificultad al elevar la carga	Filtro de aire saturado
				Filtro de aceite obstruido	
			Dificultad al movilizar la grúa	Fallo en los inyectores	No hay
				Avería bomba de alimentación	
			Dificultad al realizar giros 360°	Contaminación	No hay
				Elemento obstruido	
	Daño de rodamientos	Desalineamiento, fricción de piezas	Avería de los rodamientos	Ninguno	
			Sobrecarga de la máquina		
			Operación inadecuada		
	Desplazamiento (Orugas)	No acciona	No hay desplazamiento	Avería de la transmisión	No hay
				Avería en la cadena de rodillos	
				Avería rodillo conductor	
		Baja potencia	No hay desplazamiento	Falla en el motor	Liberación en rodamientos
avería en los rodamientos					
Descarrilamiento		Atascamiento	Avería rueda tensora	No hay	
			Avería rodillos inferiores		
Desalineamiento		Cadena suelta	Avería del eslabón	No hay	
			Avería del pin		
Desestabilización		Perdida de estabilidad	Rotura de elementos	No hay	
	Desacople de rodamientos				

Tabla 2. Continuación

compactación dinámica del suelo e izaje de carga	Elevación de carga (Cable principal)	No acciona	No hay movimiento de elevación a través del cable	avería en el winche principal	Ninguno	
				Falla en el cable principal		
				Atascamiento del cable principal		
		Se frena	Queda bloqueada al movimiento	Se desliza el cable en el winche		Ninguno
				Daño en las poleas		
				El winche no gira		
		Rotura cable	Caída de la carga	Abrasión excesiva	Ninguno	
				avería en el cable principal		
		Pierde potencia	Contacto entre piezas (bloqueo)	Atrapamiento del cable	Revisión esporádica	
				Avería en la polea		
	Avería en el de la polea					
	Giro en 360° (Tomam esa)	No acciona	Bloqueo de las piezas	Desalineamiento de engranes	Revisión esporádica	
				Avería en los cojinetes		
				Bloqueo de rodillos		
		Se frena	Atascamiento	Rodamiento atascado	No hay	
				Rodamiento descarrilado		
		Pierde potencia	Dificultad al giro	Fallas en el motor	No hay	
				Fallas en transmisión		
	Se estrella	Parada repentina	Error en los mandos	No hay		
			parada de producción			
Elevación del Boom de celosía	Deformación estructura del Boom	No se puede operar la grúa	Exceso de carga	No hay		
			operación inadecuada			
	No acciona	No se puede elevar el Boom	Aplastamiento del cable	No hay		
			Deformación del cable			
	Deformación en la estructura del pendiente	No se puede elevar el Boom	Exceso de carga	Revisión esporádica		
			Falta de algún componente			
	Se frena	Atascamiento al elevar el Boom	Averías en el tambor	No hay		
			Daños en el cable			

Tabla 2. Continuación

Compactación dinámica del suelo e Izaje de carna	Sistema de transmisión	Se frena	Atascamiento al elevar el Boom	Averías en el tambor	No hay
				Daños en el cable	
		No acciona	Rotura de cadena de transmisión	Avería de pin	Revisión esporádica
				Avería de eslabón	
		Se bloquea	Queda bloqueada al movimiento	Se desliza el cable en el winche	Ninguno
				Daño en las poleas	
				El winche no gira	
		Pierde potencia	No transmite potencia	Avería en el de la polea	No hay
				Desalineamiento de engranes	

Fuente: elaboración propia

4.1 NUMERO PRIORITARIO DE RIESGO

El número prioritario de riesgo es un indicador que generalmente resulta de haber hecho un estudio previo de las fallas y la consecuencia que estas tienen en la máquina y en la operación de la misma.

Posterior a esto se asigna un valor de ocurrencia, detección y severidad de cada falla y para cada sistema, así se determinan que sistemas son más críticos con respecto a otros, dependiendo de sus características e historial, de este modo se establece un orden para efectuar la estrategia de mantenimiento elegida mediante unos indicadores definidos.

4.1.1 Ocurrencia. Es la probabilidad de que se presente una falla en un elemento o sistema determinado, para la ocurrencia se asignaron valores de 1 a 5, donde el 5 es la probabilidad que una falla se presente repetidamente y el 1 representa aquella falla que es poco común.

Tabla 3. Ocurrencia

OCURRENCIA		
Valor	Ocurrencia	Probabilidad
10	Muy alta	16 o mas
8	Alta	12 de 20
6	Frecuente	8 de 20
4	baja	4 de 20
2	Muy baja	1 de 20

Fuente. elaboración propia

4.1.2 Detección. Es la probabilidad de que la falla sea detectada antes de que genere una avería que afecte la operación de la máquina, para la detección se asignaron valores de 1 a 4, donde el 4 es la probabilidad de que la falla sea difícil de detectar y el 1 representa aquella falla que es detectable apenas ocurre.

Tabla 4. Detección

DETECCIÓN		
Valor	Detección	Criterio
10	Muy baja	No es evidente, únicamente se evidencia bajo análisis de fallas como tintas penetrantes
8	Baja	No es evidente, únicamente cuando se desmontas los elementos involucrados
6	Moderada	No es una falla evidente ni siquiera durante una inspección detallada
4	Alta	Se detecta inmediatamente, pero requiere de una inspección detallada
2	Muy alta	Se detecta inmediatamente sin necesidad de inspección detallada

Fuente. elaboración propia

4.1.3 Severidad. Es el grado de afectación que tiene la falla sobre el proceso realizado con la máquina, se asignaron valores de 1 a 10, donde 10 es aquella falla crítica que representa un riesgo alto para el medio ambiente, la operación, la vida del operador la máquina y el personal presente en la zona y el 1 es aquella falla que se presenta y no ninguna afectación en la maquina ni representa un riesgo inminente.

Tabla 5. Severidad

SEVERIDAD		
Valor	Efecto	Criterio
10	Critico (Sin aviso)	Pone en riesgo la vida del operador y el personal presente en el área delimitada, ocurre repentinamente y sin aviso, afecta el medio ambiente y la maquina seriamente
9	Critico (Con aviso)	Pone en riesgo la vida del operador y el personal presente en el área delimitada, ocurre con aviso, afecta el medio ambiente y la maquina
8	Muy alto	No es posible operar la máquina por un periodo mayor a 8 días, requiere intervención de terceros en las tareas de mantenimiento y el cliente se molesta
7	Alto	No es posible operar la máquina por un periodo mayor a 5 días, requiere intervención de terceros en las tareas de mantenimiento
6	Considerable	No es posible operar la máquina por un periodo no mayor a 2 días y requiere la intervención del área de mantenimiento
5	Moderado	No es posible operar la máquina durante 1 día y requiere la intervención del área de mantenimiento
4	Menor	Genera interrupciones durante la operación de la máquina que generan retazos de tiempo, requiere inspección y seguimiento
3	Bajo	Genera interrupciones durante la operación de la máquina y requiere inspección
2	Muy bajo	No genera ningún tipo de interrupción en la operación
1	Ninguno	Ningún efecto

Fuente. elaboración propia

Una vez definidos unos criterios para evaluar cada falla y consecuencia se asignan a cada falla para conocer el valor de cada una

Tabla 6. Numero Prioritario de Riesgo

Proceso	Sistema	Modo de falla	Efectos	Causa	Controles de prevención y detección	S	O	D	Total	NPR					
compactación dinámica del suelo e izaje de carga	Generación (Motor CAT D337)	No prenda	No inicia la operación	Nivel bajo de combustible	Suministro de combustible al iniciar la operación	8	8	8	512	449					
				avería bomba de alimentación											
				avería bomba de alimentación											
		Perdida de potencia y bajas revoluciones	Baja producción	Sobrealimentación	Cambio de filtros periódicamente	9	6	6	324						
			Dificultad al elevar la carga	Filtro de aire saturado	No hay										
				Filtro de aceite obstruido											
			Dificultad al movilizar la grúa	Avería de rodamiento	No hay										
				Des alineamiento de engranes											
			Dificultad al realizar giros 360°	Deformación rodillos	No hay										
				Elemento obstruido											
			Daño de rodamientos	Sonidos ajenos al funcionamiento adecuado	Avería de los rodamientos						Ninguno	8	8	8	512
					Sobrecarga de la maquina										
		Operación inadecuada													

Tabla 6. Continuación

compactación dinámica del suelo e izaje de carga	Desplazamiento	No acciona	No hay desplazamiento	Avería de la transmisión	No hay	7	6	6	252
				Avería en la cadena de rodillos		6	6	6	
				Avería rodillo conductor		6	6	6	
		Baja potencia	No hay desplazamiento	Falla en el motor	Lubricación en rodamientos	6	6	6	288
				cadena de zapatos suelta		6	6	6	
		Descarrilamiento	Atascamiento	avería rueda tensora	No hay	6	8	8	384
				avería rodillos inferiores		6	8	8	
		Desalineamiento	Cadena suelta	Avería del eslabón	No hay	7	8	6	336
				rotura del pin		6	6	6	
		Desestabilización	Pérdida de estabilidad	Rotura de elementos	No hay	8	8	4	256
	Desacople de rodamientos			8		8	4		
	Elevación de carga	No acciona	No hay movimiento de elevación a través del cable	Avería en el winche principal	Ninguno	10	4	8	320
				Falla en el cable principal		10	4	8	
				Atascamiento del cable principal		10	4	8	
		Se frena	Queda bloqueada al movimiento	Se desliza el cable en el winche	Ninguno	10	8	8	640
				Daño en las poleas		10	8	8	
				El winche no gira		10	8	8	
		Se estrella	Caída de la carga	Falla en operación	Ninguno	10	2	4	880
				Corrosión en el cable principal		10	2	4	
Pierde potencia		Contacto entre piezas (bloqueo)	Atrapamiento del cable	Revisión esporádica	8	6	6	288	
			Avería en la polea o rodillos		8	6	6		
	Avería en el de la polea		8		6	6			
303									
532									

Tabla 6. (Continuación)

Compactación dinámica del suelo e izaje de carga	Giro en 360° (Torna mesa)	No acciona	Avería en el sistema de transmisión	Des alineamiento de engranes	Revisión esporádica	7	4	6	168	
				Avería en los rodamientos		7	4	6		
				No hay desplazamiento		6	8	6		
		Se frena	Atascamiento	Rodamiento atascado	No hay	6	8	6		288
				Rodamiento descarrilado		7	6	6		
		Pierde potencia	Dificultad al giro	Fallas en el motor	No hay	7	6	6		252
				Fallas en transmisión		6	4	6		
		Se estrella	Parada repentina	Error en los mandos	No hay	6	4	6		144
	parada de producción			10		2	6			
	Elevación del Boom de celosía	Deformación estructura del Boom	No se puede operar la grúa	Exceso de carga(sobredimensionada)	No hay	10	2	6	120	
				operación inadecuada		8	6	6		
		No acciona	No se puede elevar el Boom	Aplastamiento del cable	No hay	8	6	6	288	
				Des formación del cable		8	6	6		
		Se bloquea	No se puede elevar el Boom	Exceso de carga(sobredimensionada)	Revisión esporádica	8	6	6	288	
				Avería de la cadena		8	4	6		
		Se frena	Atascamiento al elevar el Boom	Averías en el tambor	No hay	8	4	6	192	
Daños en el cable				8		4	6			

Tabla 6. (Continuación)

Compactación dinámica del suelo e lizaje de carga	Sistema de transmisión	Se frena	Atascamiento al elevar el Boom	Averías en el tambor	No hay	7	4	4	144
				Daños en el cable					
		No acciona	Rotura de cadena de transmisión	Avería de pin	Revisión esporádica	6	4	6	96
				Avería de eslabón					
		Se bloquea	Queda bloqueada al movimiento	Se desliza el cable en el winche	Ninguno	7	6	8	336
				Daño en las poleas					
				El winche no gira					
		Pierde potencia	No transmite potencia	Avería en el de la polea	No hay	6	4	6	144
				Desalineamiento de engranes					
		208							

Fuente. elaboración propia

Luego de haber asignado un grado valor de detección, ocurrencia y severidad a cada posible falla de los sistemas se procede a calcular un valor para cada falla en cada sistema, de este modo se establece un numero de riesgo por sistema y un orden para elaborar el plan de mantenimiento según la criticidad de cada sistema, el NPR se divide en cuatro categorías. (Ver tabla 8)

Tabla 7 Resultados de Criticidad

SISTEMA	NPR	CRITICIDAD
Generación	449	
Desplazamiento	303	
Elevación de carga	532	
Sistema de giro	213	
Elevación del Boom	223	

Fuente. elaboración propia

Tabla 8. Rango de valores

Calificación		Valor
Riesgo Alto		400-1000
Riesgo Medio		125-399
Riesgo Bajo		1-124
No existe riesgo		0

Fuente: elaboración propia basada en la estrategia AMEF

Según el cuadro anterior se puede evidenciar que, así como la máquina se compone de 5 sistemas, cada uno de ellos tiene un índice de criticidad que permite dar orden a las tareas de mantenimiento, inspección y lubricación.

Haber analizado las posibles fallas y asignando a cada una un valor de severidad, ocurrencia y detección permitió establecer un orden en el cual debe desarrollarse el plan de mantenimiento, primero se empezará por el sistema de elevación de carga luego se continuará con el sistema de generación, seguido del sistema de desplazamiento, y por último y no menos importantes los sistemas de elevación del Boom y giro

Adicionalmente se procede a calcular el indicador de disponibilidad, mantenibilidad y confiabilidad de la grúa para conocer principalmente el porcentaje de tiempo en el cual la grúa está disponible para cualquier actividad, esto en base a los meses de Noviembre y Diciembre de 2019 y enero y febrero del presente año

5. INDICADORES DE MANTENIMIENTO

Los indicadores de mantenimiento son datos numéricos que me permiten tener un conocimiento acerca de la gestión de mantenimiento que se está dando a una máquina, dependiendo de la evolución de estos valores se puede tomar decisiones con respecto al programa de mantenimiento aplicado.

5.1 DISPONIBILIDAD

Es el porcentaje del mes en que la maquina está disponible para realizar cualquier tarea, para desarrollar este indicador se tienen en cuenta datos como horas operativas de la máquina, tiempo de reparación y numero de fallas.

“La disponibilidad se define en términos matemáticos, mediante el índice de la disponibilidad, como la probabilidad de que un equipo o sistema sea operable satisfactoriamente a lo largo de un periodo de tiempo dado.

La disponibilidad depende de la confiabilidad y de la mantenibilidad. Tener como objetivo una alta disponibilidad, significa reducir al máximo el número de paradas para obtener una operación exitosa, económica y rentable.”²

Tabla 9. Indicador de Disponibilidad

Indicador de Disponibilidad						
Periodo	Horas en operación	tiempo de reparación	Numero de fallas	Tiempo medio entre fallas	Tiempo medio para reparar	Disponibilidad
Noviembre	151	37	3	50,3	12,3	80.3%
Diciembre	137	40	2	68,5	20	77.4%
Enero	139	30	2	69,2	15	82.3%
Febrero	210	45	3	70	15	82.3%

Fuente. elaboración propia

² CAMPOS L, Francisco J. Indicadores de mantenimiento. En: Principios mantenimiento. Bogotá D.C, 2017. 84-55.

5.2 MANTENIBILIDAD

Es la probabilidad que se tiene de reparar una maquina en un periodo de tiempo determinado y después de haber tenido una falla funcional, para este indicador de necesitan datos como tiempo de reparación y numero de fallas.

“La mantenibilidad es la probabilidad de un equipo pueda ser puesto en condiciones operacionales en un periodo de tiempo dado, cuando el mantenimiento es efectuado de acuerdo con unos procedimientos preestablecidos. Ser reparado en un periodo de tiempo dado, este tiempo no es otro que el tiempo promedio para reparar.”²

Tabla 10. Indicador de mantenibilidad

Indicador de Mantenibilidad				
Periodo	Horas en operación	tiempo de reparación	Numero de fallas	Mantenibilidad
Noviembre	151	37	3	12,3
Diciembre	137	40	2	20
Enero	139	30	2	15
Febrero	210	45	3	15

Fuente. elaboración propia

5.3 CONFIABILIDAD

Es el probabilidad de que una maquina no falle durante un periodo de tiempo determinado, para este indicador se necesitan datos como horas en operación, tiempos de reparación y numero de fallas.

“Se define como la probabilidad de que un equipo no falle en servicio durante un periodo de tiempo dado. El tiempo promedio de fallas (TPMF) es un indicativo de confiabilidad.”²

Tabla 11. Indicador de confiabilidad

Indicador de Confiabilidad				
Periodo	Horas en operación	tiempo de reparación	Numero de fallas	Confiabilidad
Noviembre	151	37	3	50,30%
Diciembre	137	40	2	68,50%
Enero	139	30	2	69,20%
Febrero	210	45	3	70%

Fuente: elaboración propia

Después de analizar los indicadores calculados se puede concluir que es necesario implementar tareas de reparación, inspección y ajuste en la máquina para lograr aumentar los porcentajes bajos y que del mismo modo representarían una mejor gestión del mantenimiento sobre esta máquina.

6. TIPOS DE MANTENIMIENTO

6.1 CONCEPTO DEL MANTENIMIENTO.

Reparar un equipo hasta el punto de reestablecerlo mediante tareas programadas de reparación y además conservar su buen estado y garantizar su adecuado funcionamiento es de vital importancia, mediante estas actividades se prolonga la vida útil de la máquina y se evitan pérdidas en producción, aplicar esta serie de tareas es aplicar un plan de mantenimiento, cada máquina tiene un plan de mantenimiento debidamente elaborado para su funcionamiento, se pueden aplicar distintas estrategias para predecir fallas e intervenir las máquinas, estas estrategias dependen de las condiciones de operación de cada máquina.

Se define mantenimiento como: “Definimos habitualmente mantenimiento como el conjunto de técnicas destinado a conservar equipos e instalaciones en servicio durante el mayor tiempo posible (buscando la más alta disponibilidad) y con el máximo rendimiento”³

6.2 TECNICAS DE MANTENIMIENTO

6.2.1 Análisis de vibraciones. Esta es una técnica de mantenimiento que permite diagnosticar el estado de una máquina o un sistema determinado de la máquina, permitiendo identificar fallas como, desalineamiento, mal estado de lubricantes, ejes deformados, desajuste de elementos y demás que sean evidentes y detectables mediante vibraciones.

“El análisis de vibraciones mecánicas frente los otros métodos generales del mantenimiento reduce los costos y aumenta la confiabilidad sobre el funcionamiento de los equipos.

De esta manera el mantenimiento predictivo por análisis de vibraciones, a través de mediciones continuas o periódicas, el análisis y control de determinados parámetros conjuntamente con la opinión técnica de los operarios con experiencia definen las condiciones de la salud de las máquinas”⁴

³ BOTERO, Camilo. ¿Qué es el mantenimiento?. En: “Manual de Mantenimiento”. Bogotá D.C: Ed. Fedemetal. Sena, 1991. 10-22.

⁴ Penkova, María. Mantenimiento y Análisis de vibraciones [En línea]. Santo Domingo: 2007. [16.Agosto.2020]. Disponible en: <http://repositoriobiblioteca.intec.edu.do/handle/123456789/1250>

6.2.2 Análisis de lubricantes. Esta técnica de análisis de lubricantes permite dar un diagnóstico del estado de la maquina así como el estado del mismo aceite, ya que analizando el aceite y el tipo de contaminante se puede conocer por ejemplo el tipo de falla presente en la máquina que causa esa impureza presente en el aceite, del mismo modo se pueden diagnosticar otras fallas como cavitación, altas y bajas temperaturas en los sistemas, aceite contaminado por agua o gasolina, etc.

“El Análisis de los lubricantes, estudiando sus propiedades tanto físicas como químicas, arroja resultados acerca de posibles desgastes en el equipo, posibilidad de seguir trabajando con ese lubricante y presencia de fallos incipientes, que en caso de no actuar a tiempo van a desembocar en una avería de la maquina”⁵

6.2.3 Tintas penetrantes. Esta técnica de ultrasonido es un método de diagnóstico que permite conocer el estado actual de una máquina.

“Es una técnica empleada para la detección de discontinuidades o pequeñas fisuras en el material de las piezas que forman un conjunto mecánico. El procedimiento se basa en la aplicación de un líquido coloreado o fluorescente en la superficie de la pieza a estudiar puede penetrar en las posibles fisuras superficiales. Después de un tiempo se retira el exceso de tinta de la superficie y se aplica una película de material absorbente, denominado revelador, y con ello se detectara la existencia de fisuras”⁴

6.2.4 Análisis por ultrasonido. Esta técnica es utilizada para diagnosticar elementos de una máquina, especialmente en estructuras que tienen diferentes concentraciones de esfuerzos.

“Esta técnica estudia las ondas de sonido de alta frecuencia emitidas por los componentes de los equipos durante su funcionamiento y que no son perceptibles al oído humano (aproximadamente 20000Hz). Por tanto, se transforma un sonido que si lo es y que además y que además suele ser característico para cada tipo de fallo.

Con este tipo de análisis se pueden localizar problemas de fricción por falta de lubricación, fugas de fluidos (tales como aire comprimido y vapor de agua), presencia de arcos eléctricos, cavitación en bombas, rodamientos dañados, etc”⁴

⁵ CASTILLO, Rafael. Ajuste, puesta en marcha y regulación de los sistemas mecánicos. España. IC Editorial, 2013. 154 p. ISBN 978-84-15792-39-0

6.3 TPM MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL

El mantenimiento productivo total es una estrategia de mantenimiento que surgió en Japón, se originó con la finalidad de eliminar las pérdidas de producción debido a fallas ocasionadas por el mal estado de la máquina.

Con esta estrategia se pretende mejorar un sistema o una maquina en cuanto a que sea más eficiente durante la operación, reducir las inversiones en costos de reparaciones o defectos del proceso y el aumento de flexibilidad en la operación.

Esta estrategia de mantenimiento se centra en lo que se conoce como “Justo a tiempo”, puesto que se tiene la idea que si la maquina no presenta fallas durante la operación y su estado de disponibilidad es alto en el momento que se requiera esta no va a generar pérdidas de tiempo ni de recursos económicos, en decir, lograr que la maquina este en la condición de operar sin tener averías inesperadas, sin tener tiempo muerto de operación, sin generar defectos en el producto final y sin tener pérdidas de rendimiento.

“El resultado final que se persigue con la implementación del Mantenimiento Productivo Total es lograr un conjunto de equipos e instalaciones productivas más eficaces, una reducción de las inversiones necesarias en ellos y un aumento de la flexibilidad del sistema productivo.”⁶

Este modelo de mantenimiento tiene como ideología que una maquina averiada que no trabaja en su punto máximo de rendimiento o una máquina que genera retrasos por fallas o defectos del producto es una maquina en una situación poco rentable para la empresa, por este motivo el TPM se enfoca en lo que denominan como las 6 grandes pérdidas que afectan el proceso y la máquina de forma directa o indirecta, estas 6 perdidas se ven reflejadas en los tiempos muertos de operación por paradas y en el mal funcionamiento de la máquina que genera un rendimiento inferior posiblemente por alguna falla técnica que tengo la misma.

“El TPM es un tipo de gestión de mantenimiento basado en la implicación del personal de producción en el mantenimiento de los equipos. Esta mayor implicación se traduce en que las tareas de mantenimiento básicas y la solución de pequeños problemas corren por cuenta del personal que normalmente opera los equipos.

Las tareas que se delegan en este personal son las siguientes:

- Limpieza.
- Lubricación.
- Reapriete de tornillos.
- Comprobación, lectura y registro de parámetros.”⁷

⁶ LEFCOVICH, Mauricio. Mantenimiento productivo total. Un paso más hacia la excelencia empresarial. España: El cid Editor. 2009. 17 p.

⁷ GARCIA GARRIDO, Santiago. Organización y gestión integral del mantenimiento. Madrid: Ediciones Diaz de santo S.A, 2003. 321p. 84-7978-548-9.

Un plan de mantenimiento realizado e implementado según la estrategia del TPM va a lograr en la empresa una reducción de costos, un aumento en la producción y un aumento en la disponibilidad de la máquina.

6.4 RCM MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD

El mantenimiento centrado en la confiabilidad fue desarrollado o tuvo sus orígenes en el sector de la aviación, esto con el fin de diseñar una estrategia que permitiera determinar lo que se debe hacer una determinada maquina bajo un contexto operacional determinado, esto con el fin de evitar que las empresas de aviación tuvieran pérdidas de dinero pues los repuestos de estas máquinas tienen un costo bastante elevado que podía poner la empresa en riesgo de operación.

Es decir que este modelo de mantenimiento permite formular estrategias de gestión en máquinas o procesos con el fin de generar un mejor rendimiento para esa máquina bajo un ambiente de operación determinado

“RCM se llama Mantenimiento centrado en la Confiabilidad porque reconoce que el mantenimiento no puede hacer más que asegurar que los elementos físicos continúan consiguiendo su capacidad incorporada confiabilidad inherente

No se puede lograr mayor confiabilidad que la diseñada al interior de los activos y sistemas que la brindada por sus diseñadores. Cada componente tiene sus propias y únicas combinaciones de modos de falla, con sus propias intensidades de falla. Cada combinación de componentes es única y las fallas en un componente pueden conducir a fallas en otros componentes. Cada sistema opera en un ambiente único consistente de ubicación altitud, profundidad, atmósfera, presión, temperatura, humedad, salinidad, exposición a procesar fluidos o productos, velocidad, aceleración, entre otros”⁸

Esta estrategia pretende involucrar al funcionario con el proceso o la maquina con el fin de que este también se involucre en las tareas de mantenimiento para mantener el proceso o la maquina en adecuado funcionamiento.

Para realizar un plan de mantenimiento aplicando esta estrategia se deben contestar o plantear 7 preguntas enfocadas al funcionamiento de la máquina, sus posibles fallas y consecuencias, lo que se debe hacer para detectarlas. Estas preguntas son realmente importantes porque permiten trazar una ruta y conocer adecuadamente la situación de la máquina.

⁸ MOUBRAY, John. Mantenimiento centrado en la confiabilidad. Madrid: Aladon Ltd. 2004. 446p. 09539603-2-3.

6.5 AMEF ANALISIS DEL MODO Y EFECTO DE FALLA

El AMEF es una estrategia de mantenimiento que se originó en ejército estadounidense con el fin de mejorar los procesos mediante evaluaciones y diagnósticos de las máquinas, con el fin de determinar un nivel de confiabilidad y así determinar las posibles fallas y consecuencias que se generan durante la operación de estas máquinas, dando así la oportunidad de establecer tareas de mejora para poder evitar pérdidas en producción y cumplir las metas establecidas, este modo de análisis y efecto de falla no solo se utilizó en el ejército de estados unidos, con el tiempo se implementó en gran cantidad de industrias a nivel mundial

Esta estrategia de análisis de mantenimiento se centra en aquellas máquinas que son potenciales a presentar fallas ya sea por su condición o por el ambiente operacional al que son sometidas.

Los pasos para aplicar la estrategia de AMEF correctamente en un plan de mantenimiento son varios, primero se debe empezar por conocer al detalle los sistemas de la maquina o el proceso que se está realizando, esto permitirá realizar un diagrama para tener claridad del paso a paso del proceso o del funcionamiento de la máquina.

Una vez realizado esto se procede a identificar aquellos posibles modos de fallas funcionales y técnicas que pueden afectar el proceso, se describe los efectos de estas posibles fallas dependiendo si pueden afectar el medio ambiente, la maquina o los operadores presentes. Al conocer estos modos de falla se determinan valores de ocurrencia, severidad y detección para cada falla y así conocer el número prioritario de riesgo que es el que va a permitir establecer un análisis de criticidad para identificar el orden con el que se debe realizar el plan de mantenimiento.

Estas acciones a tomar pueden ser varias, por ejemplo establecer tareas de inspección, seleccionar componentes o materiales diferentes a los que están siendo empleados, cambiar algunas condiciones ambientales para mejorar el proceso o establecer tareas de mantenimiento preventivo, una vez estas tareas se han establecido se procede a implementarlas con el fin de hacer un nuevo análisis del comportamiento de la maquina o del proceso y así poder determinar acciones de mejora, esto porque las condiciones de operación muchas veces tienden a cambiar con el tiempo

6.6 SELECCIÓN DEL TIPO DE MANTENIMIENTO

Para la selección del tipo de mantenimiento que mejor se adecua a las condiciones de la grúa tipo celosía Bucyrus 38-B se definen algunos parámetros que tienen gran importancia en la implementación del plan, se hará una comparación de cada parámetro en las diferentes estrategias planteadas

6.6.1 Disponibilidad. Este indicador tiene como referencia la importancia que representa la disponibilidad de la maquina en cada estrategia de mantenimiento a evaluar.

Tabla 12. Disponibilidad

Disponibilidad	
1	No se preocupa por la disponibilidad de la maquina
2	Mantiene o asegura la disponibilidad
3	Elevar la disponibilidad de la maquina al 100%

Fuente. elaboración Propia

6.6.2 Tareas de mantenimiento. Este indicador refiere a la manera en que se aplican las tareas en cada estrategia, ya sea que disminuyan, aumenten o se concentren en un sistema específico.

Tabla 13. Acciones de Mantenimiento

Acciones de Mantenimiento	
1	Reduce la cantidad de tareas de mtto.
2	Mantiene la cantidad de tareas
3	Aumenta la cantidad de tareas en la maquina

Fuente: elaboración propia

6.6.3 Costos de mantenimiento. Este indicador refiere a los costos que implicarían al aplicar alguna de las estrategias en cuestión, si los costos aumentarían, serían los mismos o disminuirían

Tabla 14. Costos

Costos del Mantenimiento	
1	Altos costos en tareas de mantenimiento
2	Se mantiene los mismos costos
3	Reducción de costos

Fuente: elaboración propia

6.6.4 Intervención del operador. Este indicador tiene que ver con que tanto incluye la estrategia de mantenimiento al operador dentro de las tareas para mantener la máquina en un buen estado

Tabla 15. Intervención

Operador y mantenimiento	
1	No involucra al operador en las tareas de mejora
2	Involucra al operador en las tareas mínimas de mtto
3	Involucra al operador en todas las tareas de mejora

Fuente: elaboración propia

6.6.5 Análisis de mejora. Este indicador refiere al análisis que se hace luego de haber implementado el plan de mantenimiento con el fin de plantear acciones de mejor

Tabla 16. Análisis de mejora

Análisis de mejora	
1	No se hace un análisis luego de haber aplicado el plan
2	Se hace un análisis para mejorar el plan implementado

Fuente. elaboración propia

6.6.6 Capacitación del operador. Este indicador refiere a que planes de capacitación se dictan al operador para que cumpla de forma correcta tanto como con el plan de mantenimiento como con la operación de la máquina

Tabla 17. Capacitación

Capacitación	
1	El operador no se capacita
2	El operador se capacita una vez
3	El operador se capacita constantemente

Fuente: elaboración propia

6.7 EVALUACIÓN DEL TIPO DE MANTENIMIENTO

Luego de haber establecido los parámetros para evaluar las estrategias, se hace una matriz para evaluar estos parámetros, la estrategia que obtenga un mayor número será la que mejor se adecua a las condiciones de esta maquina

Tabla 18. Matriz evaluación de estrategias

	Estrategias de Mantenimiento		
	TPM	RCM	AMEF
Disponibilidad	3	2	3
Tareas de mantenimiento	2	2	3
Costos de mantenimiento	2	2	2
Análisis de mejora	2	2	3
Operador y mantenimiento	3	3	3
Mantenibilidad	3	2	3
Capacitaciones	3	3	2
	18	16	19

Fuente: elaboración propia

Según el análisis realizado previamente se puede concluir que la estrategia de mantenimiento que mejor se adecua a las condiciones operacionales y el estado de la grúa tipo celosía Bucyrus 38-B es el AMEF ya que mediante este se tiene un control adecuado del estado de la grúa, teniendo en cuenta las tareas en la cuales se desempeña y las condiciones de operación.

7. ANALISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA

Luego de haber realizado la selección de la estrategia de mantenimiento adecuada se procede a establecer una serie de modos de falla, de este modo se pretende establecer un efecto de falla y los controles que existan sobre esta, se asignan valores de severidad, ocurrencia y detección para cada una.

Obteniendo un número prioritario de riesgo se pretende conocer la criticidad de cada falla para poder tomar acciones de mejora sobre la misma y establecer un responsable

La estrategia de modo y efecto de falla se divide en diferentes secciones que pretenden sugerir un orden para la aplicación de este

- Primero de se debe describir la maquina o proceso, caracterizar de modo que se tenga mayor claridad del proceso
- Diagramar o representar con imágenes el flujo del proceso, es decir, el paso a paso de los sistemas de la maquina o proceso
- Identificar los diferentes y posibles modos de falla, conociendo los efectos en la maquina asociadas a estas fallas
- Se deben asignar valores de severidad, ocurrencia y detección con el fin de jerarquizar y asignar un valor a cada falla
- Estimar el valor del número prioritario de riesgo para determinar la criticidad de unos procesos sobre otros y establecer un orden jerarquizado
- Determinar acciones de corrección para estas falencias, establecer cambios, inspecciones, controles y procesos que permitan mejorar o evitar los posibles modos de falla previamente establecidos
- Hacer un control y análisis de mejora de las acciones tomadas evidenciando la eficiencia de las mismas con el paso del tiempo

Durante la asignación de tareas de inspección, lubricación, ajuste y limpieza se pretende involucrar al operar en gran parte, pues de esta manera el operador va a tener más conocimiento acerca de los elementos y el estado de cada uno de ellos, algunas de las fallas en esta grúa se presentan por error humano en la operación de la máquina.

7.1 AMEF SISTEMA DE ELEVACIÓN Y DESCENSO DE CARGA

Tabla 19. AMEF Elevación y descenso de Carga

Maquina:	Grúa Celosía Bucyrus 38-B		Descripción	Encargado de elevar y bajar la carga a través del cable de acero (elevación de carga)		
Sistema	Sistema de elevación de carga					
Modo de falla	Efecto de falla	Causa	Control	Detección	Acciones a tomar	Responsable
Deformación del eje de la polea	La polea no gira y el cable se desliza con fricción, lo que genera atascamiento y daño en el cable	Por una carga sobredimensionada el eje de la polea no soporta el peso y se deforma,	Ninguno	8	Realizar el cambio del eje e inspeccionar frecuentemente	Departamento de mantenimiento
				Ocurrencia		
				4		
				Severidad		
				10		
				NPR		
	320					
Actividad	Descripción	Análisis (AMEF)	Inspección	Tiempo		
Realizar el cambio del eje de la polea	Bajar la pluma al nivel del suelo, desinstalar la polea y reemplazar el eje dañado, lubricar	Al generarse fricción entre la polea y el cable, se pueden desgastar ambas superficies y generar daños mayores	Inspeccione la unidad del eje principal	120min		
			Lugar	Frecuencia		
			Taller de mantenimiento Cota	Por condición		

Fuente: elaboración propia

Tabla 20. AMEF Elevación y descenso de Carga

Maquina:	Grúa Celosía Bucyrus 38-B		Descripción	Encargado de elevar y bajar la carga a través del cable de acero (elevación de carga)		
Sistema	Sistema de elevación de carga					
Modo de falla	Efecto de falla	Causa	Control	Detección	Acciones a tomar	Responsable
Rotura del cable de acero (Tensión)	El cable se rompe y la carga cae al suelo repentinamente	Rotura de uno o varios hilos del cable, si se somete a tensión se rompe por completo	Ninguno	4	Instalar un cable de acero nuevo	Departamento de mantenimiento
				Ocurrencia		
				2		
				Severidad		
				10		
				NPR		
				800		
	Actividad	Descripción	Análisis (AMEF)	Inspección	Tiempo	
	Instalar un cable de acero nuevo	Bajar la pluma a nivel del suelo, instalar el cable nuevo, la instalación se debe hacer desde el tambor de giro	Las roturas de tensión son causadas por la aplicación repentina de una carga a una cuerda floja, ha sido sometida a una tensión demasiado grande	Inspeccione el tambor de giro y poleas que puedan dañar el cable	180min	
				Lugar	Frecuencia	
			Taller de mantenimiento o Cota	Por condición		

Fuente: elaboración propia

Tabla 21. AMEF Elevación y descenso de Carga

Maquina:	Grúa Celosía Bucyrus 38-B		Descripción	Encargado de elevar y bajar la carga a través del cable de acero (elevación de carga)		
Sistema	Sistema de elevación de carga			Control	Detección	Acciones a tomar
Modo de falla	Efecto de falla	Causa	Control	Detección	Acciones a tomar	Responsable
El cable de acero se suelta del tambor de giro	El cable se suelta del tambor de giro y el sistema queda inoperable	El elemento de sujeción no aguanto la tensión y se rompió, posiblemente error de operación	Ninguno	8	Reemplazar el perno de sujeción del tambor de giro	Departamento de mantenimiento
				Ocurrencia		
				6		
				Severidad		
				8		
				NPR		
	384					
	Actividad	Descripción	Análisis (AMEF)		Inspección	Tiempo
	Reemplazar el perno de sujeción del tambor de giro	Quitar el perno que se rompió e instalar uno nuevo, sujetar el cable y verificar	Una vez instalado el perno debe dar dos vueltas de tambor para verificar su adecuada instalación		Inspeccione la estabilidad del perno y estado del cable en esa zona	150min
					Lugar	Frecuencia
				Taller de mantenimiento o Cota	Por condición	

Fuente: elaboración propia

Tabla 22. AMEF Elevación y descenso de Carga

Maquina:	Grúa Celosía Bucyrus 38-B		Descripción	Encargado de elevar y bajar la carga a través del cable de acero (elevación de carga)		
Sistema	Sistema de elevación de carga					
Modo de falla	Efecto de falla	Causa	Control	Detección	Acciones a tomar	Responsable
Abrasión en el cable (Riesgo potencial)	El cable puede romperse y generar un accidente	Debido a una lubricación deficiente se genera fricción entre el cable y la polea o el tambor	Ninguno	6	Aplicar lubricante manualmente en las zonas de fricción	Depto. De mantenimiento y operador de la grúa
				Ocurrencia		
				8		
				Severidad		
				6		
				NPR		
	288					
	Actividad	Descripción	Análisis (AMEF)	Inspección	Tiempo	
	Aplicar grasa manualmente al cable de acero	Bajar la pluma y desinstalar el cable, aplicar lubricante en el cable y zonas de fricción	El desgaste abrasivo se concentrará en los puntos que la cuerda se frota constantemente, generalmente con las poleas y tambores que la cuerda entra en contacto.	Inspección en zonas de contacto	120min	
					Lugar	Frecuencia
			Taller de mantenimiento Cota o en obra	Por condición		

Fuente: elaboración propia

Tabla 23. AMEF Elevación y descenso de Carga

Maquina:	Grúa Celosía Bucyrus 38-B		Descripción	Encargado de elevar y bajar la carga a través del cable de acero (elevación de carga)		
Sistema	Sistema de elevación de carga					
Modo de falla	Efecto de falla	Causa	Control	Detección	Acciones a tomar	Responsable
Rotura de las ranuras de los tambores	Debido a un error en operación, el cable genero rompimiento de las ranuras debido a la tensión y error humano	El cable se enrolló mal y debido a la tensión se fracturo una ranura	Ninguno	6	Cambiar el tambor de giro o aplicar soldadura si es posible	Depto. De mantenimiento y operador de la grúa
				Ocurrencia		
				6		
				Severidad		
				8		
				NPR		
	288					
	Actividad	Descripción	Análisis (AMEF)		Inspección	Tiempo
	Cambiar el tambor de giro o aplicar soldadura si es posible	Desmontar la unidad de ese tambor giratorio para poder hacer el cambio	Si se rompe una ranura del tambor de giro es probable que este no enrolle bien y genere un bloqueo		Verificar la superficie y estado del tambor giratorio	180min
					Lugar	Frecuencia
				Taller de mantenimiento o Cota o en obra	Por condición	

Fuente: elaboración propia

Tabla 24. AMEF Elevación y descenso de Carga

Maquina:	Grúa Celosía Bucyrus 38-B		Descripción	Encargado de elevar y bajar la carga a través del cable de acero (elevación de carga)		
Sistema	Sistema de elevación de carga			Control	Detección	Acciones a tomar
Modo de falla	Efecto de falla	Causa	Control	Detección	Acciones a tomar	Responsable
Corrosión del cable (Riesgo potencial)	El cable puede romperse y generar un accidente (caída de carga)	Lubricación deficiente, es una de las causas más peligrosas de deterioro del cable, pues el núcleo del cable se va a deteriorar	Ninguno	4	Aplicar grasa manualmente e al cable de acero	Depto. De mantenimiento y operador de la grúa
				Ocurrencia		
				6		
				Severidad		
				8		
				NPR		
	192					
	Actividad	Descripción	Análisis (AMEF)	Inspección	Tiempo	
	Aplicar grasa manualmente al cable de acero	Bajar la pluma y desinstalar el cable, aplicar grasa de forma manual o cambiar si es necesario	Puede notarse fácilmente por la superficie picada del cable y causa una marcada reducción en el diámetro del cable y un desgaste interno extremo	Verifique que el cable no tenga exceso de lubricante	120min	
				Lugar	Frecuencia	
			Taller de mantenimiento Cota o en obra	Por condición		

Fuente: elaboración propia

7.2 AMEF SISTEMA DE GENERACIÓN

Tabla 25. AMEF Sistema de Generación

Maquina:	Grúa Celosía Bucyrus 38-B		Descripción	Suministra la potencia y movimiento a todos los sistemas de la grúa		
Sistema	Sistema de generación					
Modo de falla	Efecto de falla	Causa	Control	Detección	Acciones a tomar	Responsable
El motor no prende	No se puede iniciar la operación, el motor no prende	El combustible se acabó y no se llenó el tanque antes de iniciar operación	Ninguno	8	verificar el nivel de combustible al iniciar operación	Depto. De mantenimiento
				Ocurrencia		
				6		
				Severidad		
				8		
				NPR		
	384					
	Actividad	Descripción	Análisis (AMEF)	Inspección	Tiempo	
	Llenar el tanque de combustible totalmente	Sacar la máquina del área de trabajo y llenar el tanque de combustible	El motor no prende debido a que el combustible se acabó y no se revisó antes	Inspeccione el tanque antes, durante y al terminar	30min	
				Lugar	Frecuencia	
			Taller de mantenimiento Cota o en obra	Cada turno		

Fuente: elaboración propia

Tabla 26. AMEF Sistema de Generación

Maquina:	Grúa Celosía Bucyrus 38-B		Descripción	Suministra la potencia y movimiento a todos los sistemas de la grúa		
Sistema	Sistema de generación		Control	Detección	Acciones a tomar	Responsable
Modo de falla	Efecto de falla	Causa	Control	Detección	Acciones a tomar	Responsable
Baja potencia de salida	El eje de salida de potencia gira con dificultad	El rodamiento se dañó por exceso de peso o deficiente lubricación	Ninguno	6	Reemplace el rodamiento que esta averiado por uno nuevo	Depto. De mantenimiento
				Ocurrencia		
				6		
				Severidad		
				9		
				NPR		
	324					
	Actividad	Descripción	Análisis (AMEF)	Inspección	Tiempo	
	Reemplace el rodamiento que esta averiado por uno nuevo	Desmontar la cadena de transmisión, y desmontar esa parte del motor para cambiar el rodamiento	El motor tiene baja potencia de salida, por falla de rodamiento	Inspeccioné el motor y que el eje gire sin dificultad	180min	
					Lugar	Frecuencia
			Taller de mantenimiento o Cota o en obra	Cada turno		

Fuente: elaboración propia

Tabla 27. AMEF Sistema de Generación

Maquina:	Grúa Celosía Bucyrus 38-B		Descripción	Suministra la potencia y movimiento a todos los sistemas de la grúa		
Sistema	Sistema de generación		Control	Detección	Acciones a tomar	Responsable
Modo de falla	Efecto de falla	Causa	Control	Detección	Acciones a tomar	Responsable
Perdida de potencia	La grúa no tiene la potencia suficiente para realizar las tareas	Falla en la bomba de aceite	Ninguno	8	Reparar la bomba, puede estar tapada por alguna suciedad	Depto. De mantenimiento
				Ocurrencia		
				8		
				Severidad		
				7		
				NPR		
	448					
	Actividad	Descripción	Análisis (AMEF)		Inspección	Tiempo
	Reparar la bomba, puede estar tapada por alguna suciedad	Se deben cambiar los filtros del motor cuando estos presentan contaminación	El motor tiene bajas revoluciones debido a contaminación de aceite y gasolina		Inspeccione el estado de la bomba de aceite	120min
					Lugar	Frecuencia
				Taller de mantenimiento o Cota o en obra	Cada turno	

Fuente: elaboración propia

Tabla 28. AMEF Sistema de Generación

Maquina:	Grúa Celosía Bucyrus 38-B		Descripción	Suministra la potencia y movimiento a todos los sistemas de la grúa		
Sistema	Sistema de generación					
Modo de falla	Efecto de falla	Causa	Control	Detección	Acciones a tomar	Responsable
Mangueras rotas o taponadas	El líquido no fluye y el motor empieza a fallar	Alguna impureza o elemento contaminante quedo atrapado en la manguera la tapo o rompió	Ninguno	4	Desinstalar la manguera para limpiarla o cambiarla	Depto. De mantenimient o y operador de la grúa
				Ocurrencia		
				6		
				Severidad		
				8		
				NPR		
				448		
	Actividad	Descripción	Análisis (AMEF)		Inspección	Tiempo
	Desinstalar la manguera para limpiarla o cambiarla	Liberar las mangueras de las abrazaderas para desmontarla, limpiarla o cambiarla si tiene grietas	Al tener una manguera taponada el líquido se retiene y es posible que el motor se apague o se recaliente y falle		Inspeccionar el estado de las mangueras y que el líquido fluya	180min
					Lugar	Frecuencia
				Taller de mantenimient o Cota o en obra	Por condición	

Fuente: elaboración propia

Tabla 29. AMEF Sistema de Generación

Maquina:	Grúa Celosía Bucyrus 38-B		Descripción	Suministra la potencia y movimiento a todos los sistemas de la grúa		
Sistema	Sistema de generación		Control	Detección	Acciones a tomar	Responsable
Modo de falla	Efecto de falla	Causa	Control	Detección	Acciones a tomar	Responsable
Fuga en el obturador y anticongelante	El líquido se derrama y el motor empieza a fallar	Por rotura de manguera de alimentación o mala instalación de esta	Ninguno	8	Desinstalar la manguera para limpiarla o cambiarla si está rota	Depto. De mantenimiento y operador de la grúa
				Ocurrencia		
				6		
				Severidad		
				8		
				NPR		
	384					
	Actividad	Descripción	Análisis (AMEF)		Inspección	Tiempo
	Desinstalar la manguera para limpiarla o cambiarla	Liberar las mangueras de las abrazaderas para desmontarla, limpiarla o cambiarla si tiene grietas	Si se rompe una manguera se debe cambiar ya que durante la operación el líquido se va a derramar y el nivel bajara notablemente		Inspeccionar fugas en las mangueras	160min
					Lugar	Frecuencia
				Taller de mantenimiento o Cota o en obra	Por condición	

Fuente: elaboración propia

7.3 AMEF SISTEMA DE DESPLAZAMIENTO

Tabla 30. AMEF Sistema de Desplazamiento

Maquina:	Grúa Celosía Bucyrus 38-B		Descripción	Encargado de permitir que la grúa se desplace (Orugas)		
Sistema	Sistema de desplazamiento			Detección	Acciones a tomar	Responsable
Modo de falla	Efecto de falla	Causa	Control	Detección	Acciones a tomar	Responsable
El cinturón de zapatos se suelta y cae	El cinturón de zapatos se suelta y cae, dejando los demás elementos de la estructura sin protección además de la rúa inoperable	Uno de los pernos de unión de los zapatos se rompió	Ninguno	8	Reemplazar perno roto y ajustar el cinturón	Depto. De mantenimiento y operador de la grúa
				Ocurrencia		
				6		
				Severidad		
				8		
				NPR		
				384		
	Actividad	Descripción	Análisis (AMEF)	Inspección	Tiempo	
	Reemplazar perno roto y ajustar el cinturón	Detener la grúa y reemplazar el perno, este elemento mantiene la unión de los zapatos	El motor no prende debido a que el combustible se acabó y no se revisó antes	Inspeccione el estado de los pernos y que estén ajustados	120min	
				Lugar	Frecuencia	
			Taller de mantenimiento o Cota	Por condición		

Fuente: elaboración propia

Tabla 31. AMEF Sistema de Desplazamiento

Maquina:	Grúa Celosía Bucyrus 38-B		Descripción	Encargado de permitir que la grúa se desplace (Orugas)		
Sistema	Sistema de desplazamiento					
Modo de falla	Efecto de falla	Causa	Control	Detección	Acciones a tomar	Responsable
Des alineamiento del cinturón de zapatos	Uno de los rodillos superiores esta desalineado	El eje se deforma debido al peso soportado	Ninguno	9	Reemplazar el eje deformado por uno nuevo	Depto. De mantenimiento
				Ocurrencia		
				6		
				Severidad		
				6		
				NPR		
	324					
	Actividad	Descripción	Análisis (AMEF)		Inspección	Tiempo
	Reemplazar el eje deformado por uno nuevo	Desmontar el rodillo afectado para cambiar el eje por uno nuevo, instalarlo y montar el rodillo de nuevo	Debido a la compresión soportada, el eje del rodillo se deforma y género que el rodillo se desalineara, provocando que el		Verifique que todos los rodillos estén bien alineados	160min
					Lugar	Frecuencia
				Taller de mantenimiento o Cota	Por condición	

Fuente: elaboración propia

Tabla 32. AMEF Sistema de Desplazamiento

Maquina:	Grúa Celosía Bucyrus 38-B		Descripción	Encargado de permitir que la grúa se desplace (Orugas)		
Sistema	Sistema de desplazamiento					
Modo de falla	Efecto de falla	Causa	Control	Detección	Acciones a tomar	Responsable
La cadena de transmisión se salió del engrane	La grúa no tiene la capacidad de moverse debido a la cadena suelta	Debido a la cantidad de contaminación en los engranes, la cadena de transmisión salto los dientes y se salió del engrane	Ninguno	7	Limpiar la cadena y el engrane, lubricar y montaros de nuevo	Depto. De mantenimiento
				Ocurrencia		
				8		
				Severidad		
				8		
				NPR		
	448					
	Actividad	Descripción	Análisis (AMEF)		Inspección	Tiempo
	Limpiar la cadena y el engrane, lubricar y acoplarlos de nuevo	Durante el desplazamiento de la grúa la cadena se salta y por ende la grúa queda sin movimiento	La cadena de transmisión se salta constantemente		Inspeccione que la cadena no tenga contaminantes	90min
					Lugar	Frecuencia
				Taller de mantenimiento o Cota	Por condición	

Fuente: elaboración propia

Tabla 33. AMEF Sistema de Desplazamiento

Maquina:	Grúa Celosía Bucyrus 38-B		Descripción	Encargado de permitir que la grúa se desplace (Orugas)		
Sistema	Sistema de desplazamiento					
Modo de falla	Efecto de falla	Causa	Control	Detección	Acciones a tomar	Responsable
El cinturón de zapatos no tiene tensión	Excesivo ruido y posible daño de otros elementos	Debido a que uno de los rodillos se desalineo el cinturón perdió tensión	Ninguno	6	Reemplazar la pieza dañada para recuperar la tensión	Depto. De mantenimiento
				Ocurrencia		
				6		
				Severidad		
				8		
				NPR		
	288					
	Actividad	Descripción	Análisis (AMEF)	Inspección	Tiempo	
	Tensionar el cinturón de zapatos	El cinturón de zapatos no puede hundirse más de 8 pulgadas, se debe mantener la tensión	Si la tensión del cinturón se pierde es posible que este se salga de las orugas y genere daños mayores	Inspeccione la tensión de las orugas, no debe hundirse más de 8"	200min	
				Lugar	Frecuencia	
			Taller de mantenimiento o Cota	Por condición		

Fuente: elaboración propia

Tabla 34. AMEF Sistema de Desplazamiento

Maquina:	Grúa Celosía Bucyrus 38-B		Descripción	Encargado de permitir que la grúa se desplace (Orugas)		
Sistema	Sistema de desplazamiento					
Modo de falla	Efecto de falla	Causa	Control	Detección	Acciones a tomar	Responsable
Abrasión excesiva en los rodillos	Abrasión excesiva en los rodillos inferiores que soportan mayor peso	Lubricación deficiente genera abrasión en las piezas en contacto	Ninguno	6	Desinstalar los rodillos para lubricar o cambiarlos si es necesario	Depto. de mantenimiento y operador de la grúa
				Ocurrencia		
				6		
				Severidad		
				7		
				NPR		
	252					
	Actividad	Descripción	Análisis (AMEF)	Inspección	Tiempo	
	Desinstalar los rodillos para lubricar o cambiarlos si es necesario	Desmontar los rodillos, lubricar ejes y cojinetes y volver a montar los rodillos	Si la deformación presente es bastante se debe cambiar el rodillo pues ya puede estar desgastado	Inspeccionar el nivel de lubricante	180min	
				Lugar	Frecuencia	
Taller de mantenimiento o Cota	Por condición					

Fuente: elaboración propia

7.4 AMEF SISTEMA DE ELEVACIÓN Y DESCENSO DEL BOOM

Tabla 35. AMEF Sistema de Elevación del Boom

Maquina:	Grúa Celosía Bucyrus 38-B		Descripción	Encargado del movimiento de elevación y descenso de la estructura Celosía		
Sistema	Sistema de elevación y descenso del Boom			Control	Detección	Acciones a tomar
Modo de falla	Efecto de falla	Causa	Detección			
Rotura del cable de acero (Tensión)	El cable se rompe y la carga cae al suelo repentinamente	Rotura de uno o varios hilos del cable, si se somete a tensión se rompe por completo	Ninguno	4	Instalar un cable de acero nuevo	Depto. de mantenimiento
				Ocurrencia		
				2		
				Severidad		
				10		
				NPR		
	800					
	Actividad	Descripción	Análisis (AMEF)	Inspección	Tiempo	
	Instalar un cable de acero nuevo	Bajar la pluma a nivel del suelo, instalar el cable nuevo, la instalación se debe hacer desde el tambor de giro	Las roturas de tensión son causadas por la aplicación repentina de una carga a una cuerda floja, ha sido sometida a una tensión demasiado grande	Inspeccion e el tambor de giro y poleas	250min	
				Lugar	Frecuencia	
Taller de mantenimiento Cota	Por condición					

Fuente: elaboración propia

Tabla 36. AMEF Sistema de Elevación del Boom

Maquina:	Grúa Celosía Bucyrus 38-B		Descripción	Encargado del movimiento de elevación y descenso de la estructura Celosía		
Sistema	Sistema de elevación y descenso del Boom			Control	Detección	Acciones a tomar
Modo de falla	Efecto de falla	Causa	Control			
Daño en la polea de la estructura	La polea no gira libremente debido a la deformación	El eje o cojinete del eje de la estructura se dañó y la polea no gira	Ninguno	8	Reemplazar el cojinete de la polea	Depto. de mantenimiento
				Ocurrencia		
				4		
				Severidad		
				6		
				NPR		
	192					
	Actividad	Descripción	Análisis (AMEF)		Inspección	Tiempo
	Reemplazar el cojinete de la polea	Si la polea no gira con facilidad el cable se va dañar por la fricción constante	La polea ubicada al final de la estructura no debe tener problemas para girar pues es la polea principal de la grúa		Inspeccione el estado de la polea	160min
					Lugar	Frecuencia
				Taller de mantenimiento Cota	Por condición	

Fuente: elaboración propia

Tabla 37. AMEF Sistema de Elevación del Boom

Maquina:	Grúa Celosía Bucyrus 38-B		Descripción	Encargado del movimiento de elevación y descenso de la estructura Celosía		
Sistema	Sistema de elevación y descenso del Boom			Detección	Acciones a tomar	Responsable
Modo de falla	Efecto de falla	Causa	Control	Detección	Acciones a tomar	Responsable
Abrasión en la estructura (Riesgo potencial)	El cable puede romperse y generar un accidente	Debido a una lubricación deficiente se genera fricción entre el cable y la polea o el tambor	Ninguno	6	Aplicar lubricante manualmente en las zonas de fricción	Depto. de mantenimiento y operador de la grúa
				Ocurrencia		
				6		
				Severidad		
				7		
				NPR		
	288					
	Actividad	Descripción	Análisis (AMEF)		Inspección	Tiempo
	Aplicar grasa manualmente al cable de acero	Bajar la pluma y desinstalar el cable, aplicar lubricante en el cable y zonas de fricción	El desgaste abrasivo se concentrará en los puntos que la cuerda presenta fricción, generalmente con las poleas y tambores		Inspeccione el estado de lubricación	180min
					Lugar	Frecuencia
				Taller de mantenimiento Cota	Por condición	

Fuente: elaboración propia

Tabla 38. AMEF Sistema de Elevación del Boom

Maquina:	Grúa Celosía Bucyrus 38-B		Descripción	Encargado del movimiento de elevación y descenso de la estructura Celosía		
Sistema	Sistema de elevación y descenso del Boom			Control	Detección	Acciones a tomar
Modo de falla	Efecto de falla	Causa	Control			
Rotura de las ranuras de los tambores	Debido a un error en operación, el cable genero rompimiento de las ranuras debido a la compresión y error humano	El cable se enrolló mal y debido a la compresión se fracturo una ranura	Ninguno	6	Cambiar el tambor de giro o aplicar soldadura si es posible	Depto. de mantenimiento
				Ocurrencia		
				8		
				Severidad		
				6		
				NPR		
	288					
	Actividad	Descripción	Análisis (AMEF)		Inspección	Tiempo
	Cambiar el tambor de giro o aplicar soldadura si es posible	Desmontar la unidad de ese tambor giratorio para poder hacer el cambio	Si se rompe una ranura del tambor de giro es probable que este no enrolle bien y genere un bloqueo		Verificar la superficie y estado del tambor giratorio	180min
					Lugar	Frecuencia
				Taller de mantenimiento Cota	Por condición	

Fuente: elaboración propia

Tabla 39. AMEF Sistema de Elevación del Boom

Maquina:	Grúa Celosía Bucyrus 38-B		Descripción	Encargado del movimiento de elevación y descenso de la estructura Celosía					
Sistema	Sistema de elevación y descenso del Boom			Modo de falla	Efecto de falla	Causa	Control	Detección	Acciones a tomar
Deformación de la estructura Celosía	Grietas en la estructura que acortan la vida útil de la misma	Una sobrecarga o carga repentina que no daño la estructura, pero causo grietas	Ninguno	6	Inspeccionar el impacto que pueden tener las grietas mediante tintas penetrantes	Depto. de mantenimiento y operador de la grúa	Ocurrencia		
				8					
				Severidad					
				6					
				NPR					
				213					
	Actividad	Descripción	Análisis (AMEF)	Inspección	Tiempo				
	Inspeccionar el impacto que pueden tener las grietas mediante tintas penetrantes	Si la estructura presenta grietas bastante evidentes se debe reemplazar por una nueva	Debido a una sobrecarga o la estructura no soporto y se deforma, presentando una o varias grietas que acortan la vida de esta	Inspeccionar grietas o deformaciones	180min				
				Lugar	Frecuencia				
				Taller de mantenimiento Cota	Por condición				

Fuente: elaboración propia

7.5 AMEF SISTEMA DE GIRO

Tabla 40. AMEF Sistema de Giro

Maquina:	Grúa Celosía Bucyrus 38-B		Descripción	Encargado del movimiento de giro 360°		
Sistema	Sistema de Giro			Detección	Acciones a tomar	Responsable
Modo de falla	Efecto de falla	Causa	Control	Ocurrencia	Severidad	NPR
Atascamiento de uno de rodillos de giro	Estancamiento del sistema de giro y un posible daño en los rodillos cónicos	Algún contaminante solido obstruyo los rodillos y el sistema quedo bloqueado	Ninguno	4	Eliminar contaminación e inspeccionar rodillos	Depto. de mantenimiento y operador de la grúa
				Ocurrencia		
				4		
				Severidad		
				9		
				NPR		
	144					
	Actividad	Descripción	Análisis (AMEF)	Inspección	Tiempo	
	Eliminar contaminación e inspeccionar rodillos	Bloquee la grúa al movimiento y retire lo que obstruye los rodillos, aplique lubricante de ser necesario	Una contaminante sólido como una piedra puede bloquear los rodillos y generar daños como grietas o picaduras	Inspeccione los rodillos y la superficie del tornamesa	100min	
				Lugar	Frecuencia	
			Taller de mantenimiento Cota	Por condición		

Fuente: elaboración propia

Tabla 41. AMEF Sistema de Giro

Maquina:	Grúa Celosía Bucyrus 38-B		Descripción	Encargado del movimiento de giro 360°		
Sistema	Sistema de giro		Control	Detección	Acciones a tomar	Responsable
Modo de falla	Efecto de falla	Causa	Control	Detección	Acciones a tomar	Responsable
Atascamiento de uno de rodillos de giro	El rodillo no gira lo que genera que la grúa se atasque	Daño en uno de los cojinetes de los rodillos	Ninguno	8	Reemplazar cojinete del eje cónico	Depto. de mantenimiento y operador de la grúa
				Ocurrencia		
				8		
				Severidad		
				6		
				NPR		
	384					
	Actividad	Descripción	Análisis (AMEF)	Inspección	Tiempo	
	Reemplazar cojinete del eje cónico	Bloquee la grúa al movimiento y retire los rodillos afectados, cambie los cojinetes y lubrique nuevamente	Si uno de los cojinetes se avería, la grúa va a girar con dificultad y que es sobre ellos que gira la estructura de la grúa	Inspeccione el estado de los rodillos y lubricante	120min	
				Lugar	Frecuencia	
			Taller de mantenimiento Cota	Por condición		

Fuente: elaboración propia

Tabla 42. AMEF Sistema de Giro

Maquina:	Grúa Celosía Bucyrus 38-B		Descripción	Encargado del movimiento de giro 360°		
Sistema	Sistema de giro			Control	Detección	Acciones a tomar
Modo de falla	Efecto de falla	Causa	Control			
Atascamiento de uno de rodillos de giro	El rodillo no gira lo que genera que la rúa se atasque	Deformación excesiva del rodillo (inoperativo)	Ninguno	8	Reemplazar el rodillo deformado	Depto. de mantenimiento
				Ocurrencia		
				8		
				Severidad		
				6		
				NPR		
				288		
	Actividad	Descripción	Análisis (AMEF)	Inspección	Tiempo	
	Reemplazar el rodillo deformado	Bloquee la grúa al movimiento y retire los rodillos afectados reemplazando por unos nuevos o en buen estado	Si uno de los cojinetes se avería, la rúa va a girar con dificultad y que es sobre ellos que gira la estructura de la grúa	Inspeccione el estado de los rodillos y lubricante	100min	
				Lugar	Frecuencia	
			Taller de mantenimiento Cota	Por condición		

Fuente: elaboración propia

Tabla 43. AMEF Sistema de Giro

Maquina:	Grúa Celosía Bucyrus 38-B		Descripción	Encargado del movimiento de giro 360°				
Sistema	Sistema de giro			Detección	Acciones a tomar	Responsable		
Modo de falla	Efecto de falla	Causa	Control				7	Limpiar las impurezas y reparar las piezas dañadas
Atascamiento de uno de rodillos de giro	El rodillo no gira fácilmente, debido a la deformación de la superficie se genera fricción	Daño en la superficie del tornamesa	Ninguno	Ocurrencia	Limpiar las impurezas y reparar las piezas dañadas	Depto. de mantenimiento		
				8				
				Severidad				
				6				
				NPR				
				252				
				Actividad			Descripción	Análisis (AMEF)
	Limpiar las impurezas y reparar las piezas dañadas	Bloquee la grúa y manualmente limpie la tornamesa, ajuste los rodillos de ser necesario	Si las impurezas están presentes en el tornamesa la fricción aumentara y el giro se dificulta	Inspeccione el estado de los rodillos y lubricante	140min			
				Lugar	Frecuencia			
				Taller de mantenimiento Cota	Por condición			

Fuente: elaboración propia

8. ACCIONES PREVENTIVAS

Las acciones correctivas en una máquina se pueden enfocar en dos aspectos principales, el tiempo y el estado del elemento, es decir, se puede programar tareas de prevención en una maquina basándose en el tiempo en que esta ha estado en servicio, ya que es durante este tiempo que las piezas y sistemas están en funcionamiento y en cierto modo es cuando pueden generarse desgastes o averías de estas.

Igualmente se pueden programar tareas preventivas basándose en ese estado de los elementos, es decir por condición, algunas piezas con el tiempo de operación no tienen a tener desgastes notorios, es por esto que se establecen parámetros para cambiar el elemento por deformaciones, por reducción de alguna de sus medidas, por rotura o alguna otra señal de falla que no tenga relación con el tiempo de uso de la misma.

Las acciones preventivas tienen como finalidad evitar fallas potenciales que afecten el funcionamiento correcto de la grúa, hay que tener en cuenta que por ser una grúa de Izaje de carga que trabaja con demasiado peso, el riesgo que se corre es demasiado y se debe brindar seguridad tanto para el operario como para la empresa

8.1 FRECUENCIA.

Algunas actividades preventivas se basan en el tiempo que la máquina ha estado en servicio, en esta ocasión se definirán 5 niveles basados en los turnos y la duración promedio de cada turno, se define así un promedio de 6 a 8 horas un turno operacional de esta grúa en la empresa, teniendo en cuenta que la grúa en algunas ocasiones esta más de dos meses en obra, se define así la siguiente tabla donde el tiempo está en horas y refiere al intervalo de tiempo en que se debe hacer la tarea, ese mismo tiempo equivalente en una cantidad de turno y el indicativo respectivo

Tabla 44. Frecuencia

Tiempo	Turnos	Indicación
6 a 8	1	A
30 a 40	5	B
60 a 80	10	C
90 a 120	15	D
120 a 160	20	E
180 a 240	30	F

Fuente: elaboración propia

8.2 LUGAR DE INTERVENCION

Debido a que la grúa opera en un lugar diferente al taller de cota donde se repara se sugieren los lugares en donde se deben realizar o llevar a cabo estas tareas, es decir, algunas se realizaran en el taller de mantenimiento por su complejidad y otras se podrán realizar en el lugar de operación, sin importar el lugar que sea, ya que son tareas que no requieren mayor acción o intervención en la grúa

Tabla 45. Lugar

Lugar de realización	Indicación
En obra	*
En taller	/

Fuente: elaboración propia

8.3 ESTADO DE LA MAQUINA

El estado de la maquina refiere a si la maquina debe estar prendida o apagada, ya que algunas tareas representarías un peligro de alto riesgo si se realizan con la grúa prendida, pero del mismo modo algunas tareas requieren que la maquina este prendida para dar movimiento a alguno componentes, también se puede presentar que simplemente la tarea y el operador no se ve afectada por esto, es decir indiferente a si está apagada o prendida, de este modo se define la siguiente tabla

Tabla 46. Estado

Estado de la maquina	Indicación
Apagado	1
Encendido	2
Indiferente	3

Fuente: elaboración propia

8.4 TIEMPO DE DURACION

Dado que cada tarea tiene una complejidad y necesita de una forma de ejecución diferente dependiendo del sistema, se establece un tiempo promedio que debe durar la tarea asignada

8.5 TABLA DE AJUSE Y REPARACIONES

Tabla 47. Ajustes y reparaciones

Sistema	Estado	Lugar	Tiempo	Actividad	Frec.	Herramienta	Encargado	Observación
Sistema de elevación y descenso de carga	3	*	30	Inspeccione el cable de acero	B	Guantes y gratas metálicas	Técnico de mtto y operador de la grúa	Busque señales de aplastamiento o hilos rotos
	2	/	30	Lubrique el cable de acero totalmente	B	Guantes y gratas metálicas	Técnico de mantenimiento	Limpie contaminantes
	1	/	20	Inspeccione la polea	C		Técnico de mtto y operador de la grúa	Busque deformaciones o rotura
	3	*	20	Inspeccione el tambor giratorio	C		Técnico de mtto y operador de la grúa	Busque bridas rotas
	3	*	30	Lubrique el tambor giratorio	B	Guantes y gratas	Técnico de mantenimiento	
	2	*	20	Ajustar perno de sujeción del cable al tambor	A	Llave inglesa	Técnico de mtto y operador de la grúa	
	3	*	20	Inspeccione el gancho principal	A		Técnico de mantenimiento	Busque deformación
	1	/*	20	inspeccione la unidad del eje principal	C		Técnico de mtto y operador de la grúa	Busque deformación o bridas rotas
	1	*	20	Inspeccionar eslabones de la cadena de rodillos	B		Operador de la grúa	En busca de contaminación o roturas

Fuente: elaboración propia

Tabla 48. Ajustes y reparaciones

Sistema	Esta	Lug	Tie	Actividad	Frec.	Herramienta	Encargado	Observación
Sistema de generación	1	*	30	Limpiar los filtros de aire y combustible del motor	A	Gafas, guantes, llave inglesa y destornilladores	Técnico de mtto y operador de la grúa	Verifique al terminar que los filtros estén bien instalados
	1	*	40	Cambiar aceite lubricante	B	Guantes, llave inglesa y destornilladores	Operador de la grúa	Deposite el aceite viejo en el tanque adecuado
	3	*	15	Inspeccione el nivel de aceite y combustible	A	N/A	Operador de la grúa	N/A
	1	*	40	Limpiar filtro de aceite aire	B	Sopladora de aire a presión	Técnico de mtto y operador de la grúa	N/A
	3	*	15	Ajustar pernos de la base	C	Llaves inglesas	Técnico de mtto y operador de la grúa	N/A
	1	*	20	Inspeccionar eslabones de la cadena de rodillos	B		Operador de la grúa	En busca de contaminación o roturas
	1	/	20	Ajustar todos los pernos del motor	C	Llaves inglesas	Técnico de mtto y operador de la grúa	
	3	*/	20	Drene el agua a que se haya acumulado	F	Llaves inglesas y guantes	Técnico de mtto y operador de la grúa	Si no se opera hace varios días
	3	*/	30	Cambio de filtros de aire y aceite	C		Técnico de mtto	Verifique que estén bien montados y ajustados
	2	*/	15	Verifique cualquier ruido anormal e inusual	A		Operador de la grúa	Justo al momento de prenderlo
	1	*/	20	Verifique que el agua y el aceite	B		Operador de la grúa	No debe tener contaminación

Tabla 49. Ajustes y reparaciones

Sistema	Estado	Lugar	Tiempo	Actividad	Frec	Herramienta	Encargado	Observación
Sistema de desplazamiento	1	/*	40	Ajuste todos y cada uno de los pasadores	B	Llave inglesa	Técnico de mantenimiento	
	1	/	30	Limpie los rodillos e inspeccione	C	Gratas metálicas	Técnico de mantenimiento	En busca de fisuras o deformación
	2	/	15	Compruebe tensión del cinturón	B		Técnico de mantenimiento	No puede hundirse más de 8"
	3	*	20	Inspeccione la cadena de transmisión	B	Gratas metálicas	Técnico de mtto y operador de la grúa	En busca de eslabones rotos
	1	/	30	Lubrique la cadena de transmisión	C	Gratas metálicas	Técnico de mantenimiento	
	2	/*	20	Verifique la unidad del eje primario	D		Técnico de mtto y operador de la grúa	Sonidos anormales
	2	*	25	Comprobar el funcionamiento del trinquete	C		Técnico de mantenimiento	Bloquea cualquier sentido
	1	/	30	Lubricar los cojinetes de ejes	A		Técnico de mantenimiento	
	3	/*	15	Inspeccione alrededor de las orugas	A		Técnico de mtto y operador de la grúa	Fisuras o desajuste
	1	/	25	Ajuste los pernos de la estructura	C	Llaves inglesa y destornilladores	Técnico de mantenimiento	
	1	/*	30	Limpie la suciedad de las superficies	A	Gratas metálicas	Técnico de mtto y operador de la grúa	Con el fin de evitar bloqueo

Fuente: elaboración propia

Tabla 50. Ajustes y reparaciones

Sistema	Estado	Lugar	Tiempo	Actividad	Frec.	Herramienta	Encargado	Observación
Sistema de elevación del Boom	3	*	30	Inspeccionar la estructura	C		Técnico de mtto y operador de la grúa	Busque deformación
	1	*	30	Limpiar y ajustar pernos de sujeción	B	Guantes, gratas metálicas y llave inglesa	Técnico de mtto y operador de la grúa	Cada perno debe estar bien ajustado
	1	*/	20	Ajustar y limpiar polea	B		Técnico de mantenimiento	Revise estado cojinetes
	1	*/	15	Lubricar polea	C		Técnico de mtto y operador de la grúa	
	1	/	25	Ajustar pernos de la estructura	B	Llave inglesa	Técnico de mantenimiento	
	2	*	20	Lubricar el tambor de giro	B		Técnico de mtto y operador de la grúa	
	1	/*	20	Limpiar e inspeccionar tambor de giro	C		Técnico de mantenimiento	Busque bridas rotas
	3	*	20	Inspeccionar los cables de acero	B		Técnico de mtto y operador de la grúa	Busque deformación o corrosión
	1	/	30	Lubricar los cables de acero	C	Guantes, gratas metálicas	Técnico de mtto y operador de la grúa	
	2	/*	15	Inspeccionar unidad del segundo eje de transmisión	B		Técnico de mtto y operador de la grúa	Busque sonidos anormales
2	*	25	Inspeccionar funcionamiento	A		Técnico de mantenimiento	Verifique la estructura suba y baje	

Fuente: elaboración propia

Tabla 51. Ajustes y reparaciones

Sistema	Estado	Lugar	Tiempo	Actividad	Frec.	Herramienta	Encargado	Observación
Sistema de giro	1	*	15	Inspeccionar superficie tornamesa	B	Guantes, gratas metálicas	Técnico de mtto y operador de la grúa	
	1	/	60	Lubricar la corona	F		Técnico de mantenimiento	Dos veces por año
	1	*	40	Ajustar los pernos del sistema	B	Llave inglesa	Técnico de mantenimiento	
	3	/*	30	Verificar la unidad del eje de transmisión	D		Técnico de mtto y operador de la grúa	
	2	/	40	Lubricar el eje vertical de transmisión	E		Técnico de mantenimiento	
	1		25	Lubricar todos los cojinetes de los rodillos	B		Técnico de mantenimiento	
	2	*	25	Inspeccionar funcionamiento	A		Técnico de mantenimiento	Verifique la estructura

Fuente: elaboración propia

9. LUBRICACION

La lubricación refiere a la acción de aplicar una sustancia como aceite o grasa entre dos superficies que están en constante movimiento y contacto, esto con el fin de reducir la fricción producida que genera desgaste de las piezas, calor en la zona de contacto y pérdida de energía

Se debe aplicar el lubricante adecuado, en el lugar requerido y en la cantidad correcta, cuando este se aplica se genera una película protectora entre las dos superficies con el fin de evitar desgaste por fricción, elevadas temperaturas o sencillamente para disminuir ruidos.

9.1 TIPOS DE LUBRICANTES PARA LA GRUA BUCYRUS 38-B

Para realizar lubricación a una máquina como la grúa celosía Bucyrus 38-B se deben contar con dos tipos de lubricante: aceite y grasa.

- **Aceite:** Es una sustancia líquida que tiende a fluir por sus propiedades, este aceite generalmente tiene algunos aditivos que ayudan a que se desempeñe mejor como una sustancia lubricante
- El aceite lubricante se divide en dos grupos, livianos y pesados, esto según su viscosidad, para este tipo de máquina donde se realizan trabajos con cargas de gran peso y se trabaja a velocidades bajas es recomendable usar aceites pesados, es decir más viscosos para permitir que estos tengan mejor adherencia a las superficies en movimiento.
- **Grasa:** Es un semifluido lubricante, se compone de un aceite líquido y un aditivo espesante que se encarga de darle las características a esta sustancia para que permanezca siempre adherida a la zona que se desea lubricar, a diferencia de los aceites, estas son sustancias mucho más viscosas y por lo tanto con mejor adherencia a las superficies.
- Las grasas crean una fuerte película de protección entre las dos superficies, esto permite evitar el desgaste, la oxidación y la corrosión, al igual que los aceites también tiene una cantidad de aditivos que permiten mejorar sus características de lubricación

9.2 RECOMENDACIONES DE LUBRICACION BUCYRUS 38-B

De acuerdo con la información obtenida el proceso de lubricación en esta máquina no tiene una guía ni registros establecidos no se lubrican todos los puntos de la maquina con la frecuencia que se debería y tampoco se sabe qué tipo de lubricante se debe aplicar, todo esto se hace bajo las recomendaciones del operador, es decir de la manera que él lo vea conveniente.

Finalmente se definieron algunas tareas que permitirán una mejor lubricación en los diferentes sistemas de la máquina, dado que es una maquina netamente mecánica la mayoría de sus componentes requieren un cuidado especial en esta tarea, por lo que se establece un formato para llevar un registro de los puntos de lubricación

- La cadena de rodillos de 4 hileras que transmite potencia del motor al sistema de transmisión se debe lubricar con un aceite de grado SAE 20 ó SAE 30 en los pasadores y rodillos
- Los rodamientos y ejes del sistema de giro deberían ser lubricados con un aceite lubricante de grado SAE 140
- Los rodamientos, engranajes y partes móviles del sistema de desplazamiento deben tener un lubricante de grado SAE 90 ó SAE 80.

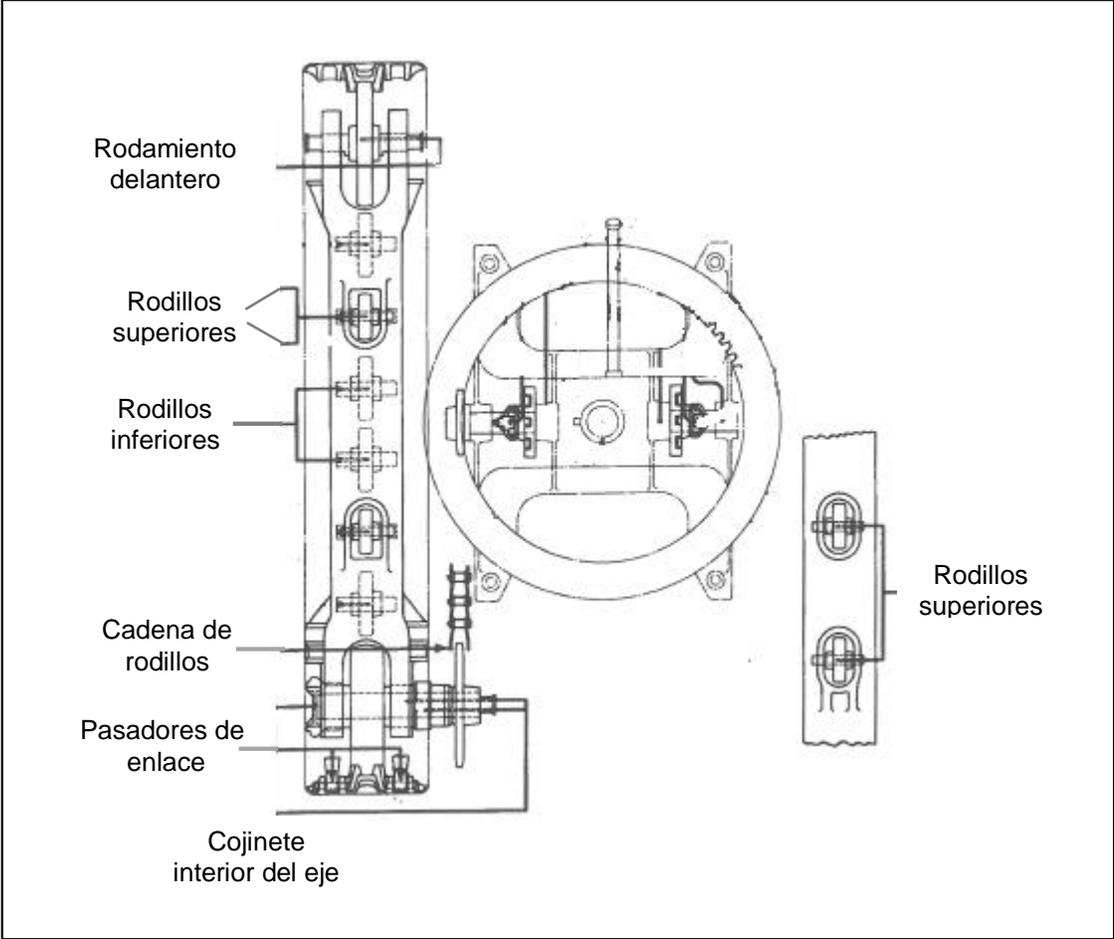
Es muy importante mencionar que se debe mantener limpio el lubricante pues si este tiene alguna suciedad o contaminante va a tender a perder sus propiedades de lubricación y se puede convertir en un contaminante de los sistemas de la máquina, provocando así cualquier tipo de falla técnica o funcional.

- Mantener bien cubierto y cerrado el contenedor donde se almacena el lubricante, para evitar que se contamine mientras está almacenado
- Limpiar todas las aberturas del tanque de almacenaje frecuentemente
- Limpiar muy bien antes de usar cada uno de los elementos que se utilizan para aplicar el lubricante, tales como embudos, latas de aceite, pistolas de engrase, igualmente al terminar de usarlos, almacénelos en un lugar limpio
- Limpie las aberturas de los puntos de la maquina donde va a aplicar lubricante antes y después de hacerlo, de este modo se evitará que el lubricante se contamine durante su aplicación.

9.3 CARTAS DE LUBRICACION

9.3.1 Carta sistema de desplazamiento.

Imagen 28. Lubricación sistema de desplazamiento.

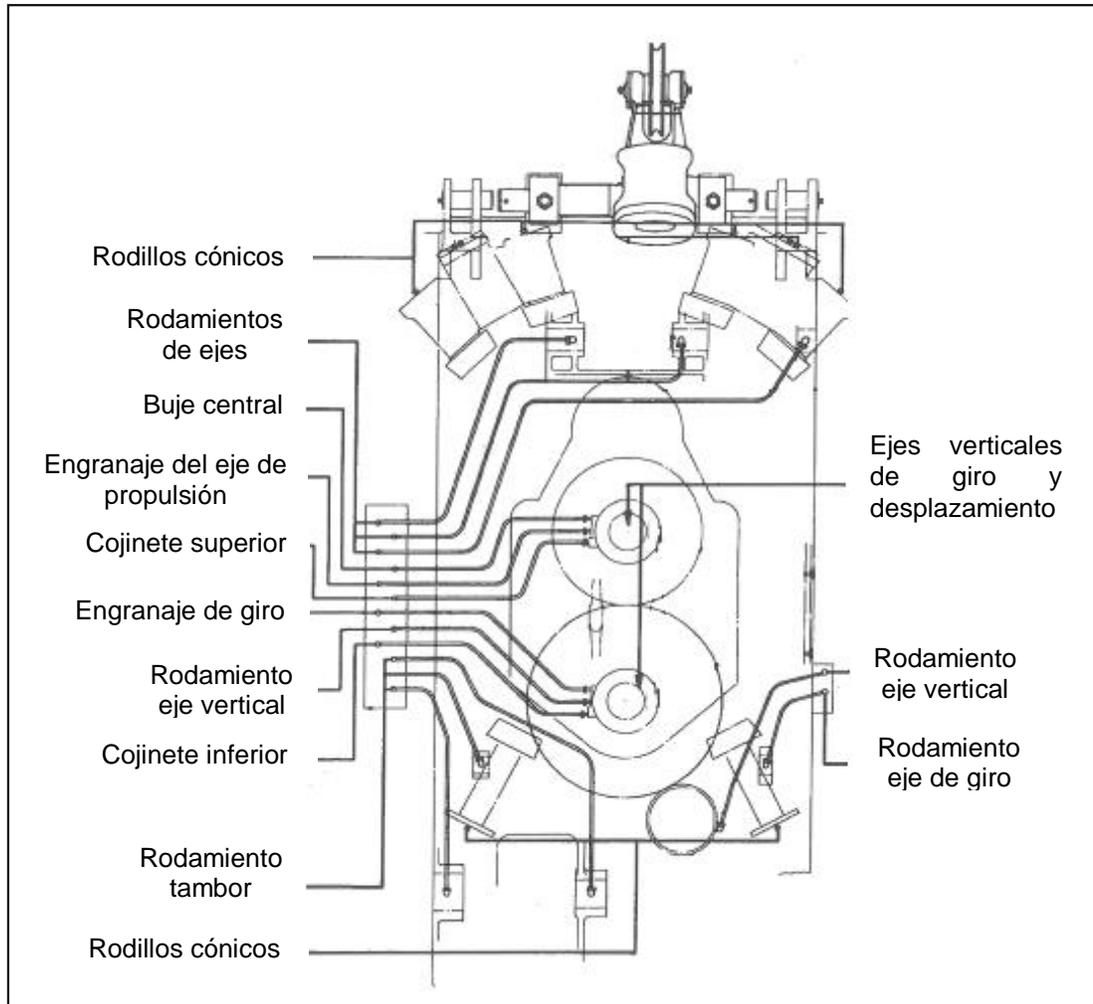


Fuente: elaboración propia basado en manual

- Lubrique los rodillos superiores e inferiores, se deben lubricar cada turno de operación, es decir, aproximadamente entre 6 u 8 horas de operación, del mismo modo lubrique los cojinetes de los ejes y rodamientos
- La cadena de transmisión de las orugas y los pasadores de enlace del cinturón de zapatos se deben lubricar aproximadamente cada 5 turnos, es decir entre 30 y 40 horas.
- Es recomendable que cuando la grúa se opere en condiciones de lluvia o sobre el agua, verifiquen al terminar el turno que el nivel de aceite sea el adecuado y drenar los lugares donde se haya podido estancar el agua.
- Verificar el nivel de aceite de las orugas cada 6 u 8 horas y agregar más si es necesario, para evitar el contacto entre las piezas
- Si la grúa se ha desplazado una cantidad de kilómetros considerable, debe lubricar los pasadores de enlace del cinturón de zapatos. Ya que el lubricante se acaba por la fricción excesiva o puede haberse contaminado debido al terreno recorrido
- Es aconsejable que al menos cada 15 turnos, es decir entre 90 y 120 horas, retire los embragues de dirección, y limpie cualquier suciedad que se halla acumulado en las ranuras, cubra los embragues mientras los desmonta para evitar que se contaminen

9.3.2 Carta sistema de giro.

Imagen 29. Lubricación Sistema de Giro



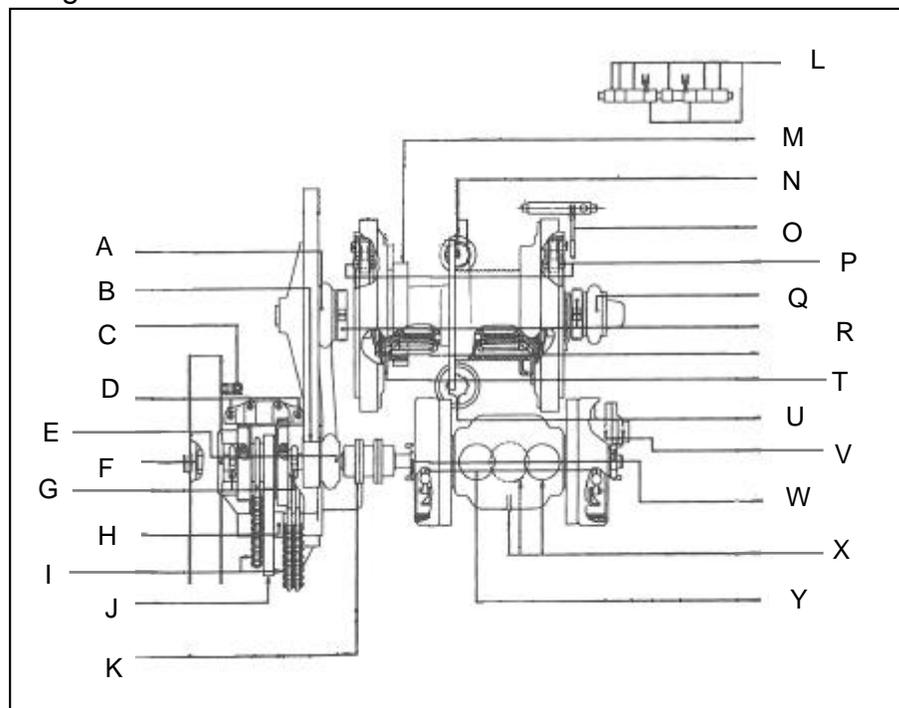
Fuente: elaboración propia basado en manual

- La corona de tornamesa se lubrica una vez al año o cuando la temperatura ambiente afecte las propiedades del lubricante, en este proceso debe llenar esta zona con tres y medio galones de lubricante
- Es aconsejable recubrir finamente con un compuesto lubricante la superficie por la que se desplaza el rodillo de doble brida, si hay alguna suciedad en esta superficie debe limpiar con liquido solvente y aplicar el recubrimiento.
- Es importante que limpie los que está utilizando para aplicar el lubricante, de este modo se evita que el lubricante se contamine con agentes externos

- Si los rodillos cónicos están demasiado calientes lubríquelos, esto es una señal de una lubricación deficiente, del mismo modo limpie los rodillos si presentan contaminación
- El eje vertical de engrase se debe lubricar cada 70 turnos o cuando se pueda evidenciar bajo nivel de este.
- Todos los rodamientos y cojinetes se deben lubricar una vez cada turno pues son piezas que por estar en constante giro pierden la lubricación rápidamente
- Todos los bujes, cojinetes y rodillos cónicos y engranajes se deben lubricar dos veces por turno
- Los ejes verticales de giro y desplazamiento se deben lubricar cada 60 turnos, es decir, entre 380 y 480 horas de servicio

9.3.3 Carta sistema de transmisión.

Imagen 30. Lubricación Sistema de transmisión



Fuente: elaboración propia basado en manual

Tabla 52. Lubricación sistema de transmisión

INDICE		INDICE	
A	Eje del tambor izquierdo	N	Embragues de propulsión y ejes
B	Engranaje y piñón de izaje	O	Control de embrague
C	Caja cadena de transmisión	P	Pines del embrague principal
D	Rodamientos eje de pluma	Q	Eje del tambor derecho
E	Rodamientos eje transmisión	R	Collarín de embrague
F	Rodamiento embrague Boom izaje	S	Rodamientos de embrague
G	Collarines embrague Boom izaje	T	Rodamiento de tambor
H	Rodamiento engrane intermedio	U	Embrague de mordaza
I	Cadena de rodillos Boom Izaje	V	Rodamientos de eje
J	Engrane Bajo	W	Collarines de transmisión reversa
K	Unión eje de transmisión	X	Caja transmisión inversa
L	Controles de mano	Y	Embrague de reversa
M	Multitud de engranajes		

Fuente: elaboración propia

- La caja de la cadena de transmisión y los engranes del sistema de giro se deben lubricar cada 5 turnos, es decir, entre 30 y 40 horas de servicio, cada uno con 5 galones de lubricante.
- Ubique la grúa en un terreno nivelado y verifique el nivel del lubricante, si es necesario aplique más o si la temperatura ambiente cambió las propiedades del mismo también debe cambiarlo por uno nuevo.
- El eje de desplazamiento se debe lubricar cada 20 turnos, es decir, entre 120 y 160 horas de servicio, vierta el aceite en la parte superior del eje y sobre los dientes para lubricar todos los elementos giratorios del sistema
- Pasadores de enlace y pernos se deben lubricar cada turno, es decir, entre 6 y 8 horas de servicio
- Los rodamientos de los tambores de giro se deben engrasar cada 70 turnos, es decir, entre 420 y 560 horas de servicio, aplique con los accesorios necesarios (pistola de engrase) y asegúrese de no forzar la grasa al aplicarla o esta se puede salir durante la operación de la máquina
- Los rodamientos del tambor de giro de la estructura se deben lubricar cada 70 turnos, es decir, entre 420 y 560 horas, retire la tapa en el extremo izquierdo del

eje y aplique grasa en los cojinetes, tenga cuidado de no aplicar en exceso ya que la grasa puede llegar a las bandas y afectar su función

- La cadena de rodillos es aconsejable cepillarla frecuentemente con un cepillo para quitar impureza que pueda tener, una vez que la cepille aplique lubricante, esto se debería hacer cada 5 turnos, es decir, entre 30 y 40 horas de servicio.
- El rodamiento intermedio del eje se debe lubricar cada turno, es decir entre 6 y 8 horas de servicio, mantenga los dientes de los engranes y piñones recubiertos con un compuesto lubricante.

9.4 INSUMOS PARA LUBRICACIÓN

Para implementar estas tareas de lubricación es necesario contar con las herramientas adecuadas que permitan realizar la tarea sin generar un riesgo para el encargado y también para facilitar la ejecución de la tarea y evitar que el lubricante se contamine.

Se debe contar con insumos tales como guantes desechables resistentes a líquidos que permitan proteger la piel de la persona que realiza la tarea, pistolas engrasadoras o herramientas engrasadoras para zonas como rodamientos y cojinetes, bayetillas para limpiar superficies que representen un riesgo de contaminación, recipientes o tanques de almacenamiento para transportar el aceite usado desde la maquina hasta el punto de recolección, recipientes para manipular aceite de transportarlo de forma segura

Se puede también contar con lubricantes en spray o semisólidos, los lubricantes en spray son de fácil transporte a diferencia de los otros este no contiene aceites ni grasas, consta de gas de petróleo y cumple la misma función de lubricar, permite lubricar diferentes materiales y crea una película protectora igual que los demás lubricantes.

Los lubricantes semisólidos como las grasas tienen la característica de poder adherirse a superficies inclinadas, estas grasas tienen diferentes compuestos que se utilizan según la finalidad de la grasa, por ejemplo, grasas de litio son aconsejadas para rodamientos, grasas al aluminio para cadenas, engranajes y cables y grasas sódicas para rodamientos y cojinetes.

10. INSPECCION

Inspeccionar una maquina se hace con la finalidad de buscar elementos o características que no sean propias del diseño original, fallas producto de alguna mala operación o avería de elementos, estas anomalías que se presentan pueden afectar el adecuado funcionamiento de la máquina, generando así cualquier tipo de falla funcional o técnica con mayor consecuencia

Generalmente estas rutinas de inspección no generan un costo al aplicarse pues la persona que las realiza es la misma que opera la máquina, de este modo también se pretende involucrar al operador de la máquina con las tareas de la máquina que permitan mantener su disponibilidad y confiabilidad

Realizar tareas de inspección rutinarias ayuda a mantener la maquina en adecuadas condiciones antes, durante y después de la operación, también es un paso importante para lograr disminuir costos por averías, pues si se detecta una posible falla esta se puede evitar y así reducir el impacto operacional y de costos que esta generaría

10.1 INSPECCION ANTES DE OPERACIÓN

Antes de usar la maquina se deben establece una serie de tareas de inspección con el fin de evitar operar la maquina con alguna falla presente o con alguna situación que pueda afectar el adecuado funcionamiento de esta

- Inspeccione la zona de las orugas y debajo de la estructura de la grúa para evidenciar que no haya fugas de agua, combustible y aceite lubricante
- Revise el tanque de combustible para asegurar que haya suficiente del mismo y no se acabe durante la operación de la grúa
- Si la grúa no se opera hace varias horas (días) drene el agua o sedimento que probablemente se estancó en el depósito de combustible, verifique también el aceite del depósito y el agua del radiador
- Verifique los elementos del motor con el fin de verificar que este ajustados e instalados correctamente, inspeccione el filtro y las correas del ventilador
- Verifique el funcionamiento de todos los embragues operativos para comprobar que funcionen libremente sin atascarse, realice ajustes de ser necesario
- Consulte el registro de lubricación y lubrique los puntos críticos al iniciar y cada 4 horas durante la operación
- Inicie el motor ligeramente para evidenciar que no esté presente alguna falla en el sistema de transmisión, es decir, algún elemento suelto
- Verifique el estado de todos los cables de acero en buscar de hilos rotos

10.2 INSPECCION DURANTE LA OPERACIÓN

Es importante realizar una inspección rutinaria durante la operación de la máquina, pues esta no está exenta a fallar o desajustarse por las condiciones operacionales o alguna falla humana en la operación

- Inspeccione el motor en busca de algún ruido inusual por desajuste de algún elemento, pérdida de potencia, sobrecalentamiento o alguna falla evidente visualmente.
- Verifique el medidor de presión de aceite, en caso de que presión este por debajo de lo requerido, pare inmediatamente el motor y realice reparaciones.
- Inspeccione el sistema de desplazamiento, especialmente las cadenas de transmisión no deben azotar en exceso debido a las vibraciones y tampoco debe saltarse dientes del piñón de transmisión
- Verifique el movimiento de la rueda conductora en las orugas, si es necesario ajuste para evitar que el cinturón de zapatas se desalinee

10.3 INSPECCION AL TERMINAR LA OPERACIÓN

Al terminar la operación es importante inspeccionar algunos elementos para buscar alguna evidencia de desgaste o daño que se halla originado durante la operación

- Inspeccione todos los cables de acero del sistema de elevación de carga y el sistema de elevación del boom, esto con el fin de buscar hilos rotos, elongación del cable o disminución de su diámetro o alguna evidencia de debilidad a lo largo del cable.
- Inspeccione y limpie las zonas donde se haya acumulado cualquier suciedad o exceso de grasa que se haya acumulado durante la operación de la maquina
- Inspeccione y limpie exceso de lodo o suciedad en los cinturones de zapatos de la oruga, si es posible evitar dejar la grúa estacionada en lugares lodosos

10.4 INSPECCION SISTEMA DE ELEVACION DE CARGA

- El cable de acero se debe cambiar ante cualquier signo de debilidad como deformación, aplastamiento o reducción del diámetro en un 5%, esto con el fin de evitar fallas repentinas
- La longitud del cable debe ser precisa, pues si es más larga puede dañar el tambor de giro en el momento del enrollado, pero si es demasiado corta puede dañar los accesorios conectados al final de este
- Inspeccione la cuerda de acero al menos una vez por turno esta no puede tener una reducción de diámetro en ninguna parte
- Todas las cuerdas que no están en funcionamiento se deben guardar en un lugar seco, de tal modo que no aplaste con su propio peso y lubricándola al menos dos veces por año
- Debe inspeccionar el tabor de giro y la polea de la estructura, pues cualquier efecto en estos puede acortar la vida del cable de manera significativa
- Verificar que las poleas tambores no tengan bridas rotas o ranuras desgastadas, si lo tienen se deben reemplazar inmediatamente
- Se debe verificar el enrollado del cable en el tambor durante la operación, si la cuerda no enrolla uniformemente de debe detener inmediatamente y corregir el error

10.5 INSPECCION SISTEMA DE GENERACION:

- Inspeccione los filtros de aire y aceite, bomba de agua, el radiado embrague del motor, buscando contaminación o roturas.
- Inspeccione que el combustible no tenga ningún tipo de suciedad que pueda causar daño en los inyectores
- Inspeccione el estado de los tanques y los filtros en busca de algún elemento o suciedad, que pueda tapar las manqueras
- Inspeccione el estado de la estructura, desde la base hasta la parte superior, revise el estado de los tanques del almacenamiento, todo esto buscando algún golpe o rotura que afecte el funcionamiento del motor
- Verifique que el aceite lubricante esté libre de granos de arena o agua que puedan afectar su composición y se genere desgaste de los elementos móviles
- Verifique el agua del sistema de refrigeración, esta no debe tener ningún tipo de contaminación que pueda generar una obstrucción del liquido

10.6 INSPECCION SISTEMA DE DESPLAZAMIENTO:

- Inspeccionar que no haya ningún perno faltante pues se pudo haber caído durante la operación si no estaba bien ajustado y el terreno era difícil
- Inspeccione las cadenas de transmisión de las orugas al eje vertical, no debe haber ninguna placa o rodillo suelto que genere que el cinturón se suelte
- Inspeccione el cinturón de zapatos de las orugas en busca de alguna deformación o fisura, que pueda generar la rotura del zapato
- Inspeccione los rodillos superiores e inferiores, estos deben girar sin dificultad, además verifique que no tengan deformaciones o fisuras.
- Inspeccione y verifique que los rodillos superiores e inferiores no tengan ningún tipo de contaminación que pueda generar bloqueo de los elementos
- Inspeccione la tensión del cinturón de zapatos en las orugas, este no debe hundirse más de 6 pulgadas si se le aplica una carga axial

10.7 INSPECCION SISTEMA DE ELEVACION DEL BOOM

- Inspeccionar los cables de acero, no deben tener aplastamiento u evidencia de una lubricación deficiente, esto puede generar un riesgo para la operación y la vida de los operarios presentes
- Inspeccionar la estructura de celosía detalladamente, cualquier deformación por mínima que sea debe ser reportada al ingeniero encargado, el deberá tomar acciones y verificar que tanto afecta la deformación a la estructura
- Inspeccionar el tambor giratorio, no debe haber fisuras o bridas rotas, del mismo modo este debe girar con facilidad, inspeccione también que el cable este enrollado sobre el tambor de forma adecuada
- Inspeccionar la cadena de rodillos de doble hilera, no debe haber placas rotas o contaminación que provoque que la cadena se salte de los engranes o se pueda romper debido a la tensión
- Inspeccionar los pernos de sujeción de la estructura a la grúa y los pernos presentes en la misma estructura, no deben estar deformados y del mismo modo no puede haber ningún perno faltante
- Inspeccione la polea ubicada en la parte superior de la estructura, esta debe girar con facilidad para evitar que se genere fricción con el cable de acero y así evitar abrasión en estos dos elementos.

10.8 INSPECCION SISTEMA DE GIRO

- Inspeccionar el estado de la superficie del tornamesa, no debe tener ningún contaminante que pueda bloquear el movimiento de los rodillos o deformar la superficie del tornamesa
- Inspeccionar los rodillos de doble brida en busca de fisuras, deformación o algún rasgo que evidencie una deficiente lubricación, también puede mirar la superficie del tornamesa, si la lubricación es deficiente se verá reflejado también en esta zona
- Inspeccionar el sistema de transmisión en la segunda unidad del eje principal de transmisión, verificar el adecuado funcionamiento y si hay algún ruido anormal que sea consecuencia de una falla técnica
- Inspeccione el estado de los cojinetes de los rodillos, en busca de deformaciones, picaduras, abrasión o alguna señal de que el elemento puede fallar en corto o largo plazo
- Verifique que la estructura general del sistema no tenga ningún tipo de golpe o deformación por golpes durante la operación, esto puede afectar el funcionamiento del sistema.

10.9 INSUMOS PARA INSPECCION

Para implementar estas tareas de lubricación es importante contar con ciertos instrumentos de medición que permitan tomar datos y medidas de forma exacta, por ejemplo, para inspeccionar el diámetro del cable de acero es necesario contar con un pie de rey que permita tomar la medida exacta y determinar si el diámetro se ha reducido, del mismo modo serán necesarios instrumentos como cinta métrica y flexómetro para aquellos elementos de grandes dimensiones, distanciómetro para verificar la distancia del boom y la distancia de los cables instalados sobre el mismo, un nivel y un goniómetro para determinar la inclinación de la grúa y los ángulos a los que se encuentra esta o el boom de celosía.

Es importante contar con estos insumos porque así se tiene confiabilidad de los datos que se obtienen y llevan en registro, de este modo también facilitar la toma de decisiones en cuanto a cambios de piezas ya sea por deformación o pérdidas de las dimensiones de fabricación, es decir, por tiempo de uso.

11. FORMATOS DE REGISTRO Y SEGUIMIENTO

11.1 METODO DE RECOLECCION DE DATOS

Para llevar a cabo una recolección de datos acertada, que permita tener información disponible y precisa de las tareas realizadas en la máquina, se establece una metodología por experimentación, ya que mediante esta se puede recopilar información durante la ejecución de la tarea.

Al tomar datos directamente durante la ejecución de la tarea se tiene más validez de los mismos, igualmente se pretende que la mayoría de los datos necesarios se puedan recopilar para hacer un seguimiento de las tareas adecuadamente

11.1.1 Experimentación. "Método el cual las variables pueden ser manipuladas en condiciones que permiten la reunión de datos, conociendo los efectos de los estímulos recibidos y creados para su apreciación. En el experimento existe un control directo sobre un factor de los que se va analizar.

La experimentación exige seleccionar grupos pareados de sujetos, someterlos a tratamientos distintos, controlar las variables y comprobar si las diferencias observadas son significativas. La finalidad de la investigación experimental es descubrir las relaciones causales, descartando para ello las explicaciones alternas de los resultados.

El método experimental suministra los datos más convincentes si se aplican los controles adecuados. En la medida en que el diseño y la ejecución del experimento excluyan otras hipótesis que expliquen los mismos resultados, el gerente de investigación y el de mercado técnica estarán seguros de la veracidad de las conclusiones."⁹

⁹ Mariela, Torres. Métodos de recolección de datos para una investigación. [en línea]. Guatemala: 2019. [13, Agosto, 2020]. Disponible en: <http://148.202.167.116:8080/jspui/handle/123456789/2817>

11.2 REGISTRO Y CONTROL DE TAREAS DE MANTENIMIENTO

		Registro de tareas de mantenimiento					Versión 1
							Agosto.2020
Máquina: Grúa Celosía Bucyrus 38-B							
Fecha de ejecución	Tarea realizada	Herramientas	Encargado	Tiempo empleado	Horometro	Observaciones	
1	Día/Mes/Año						
2	Día/Mes/Año						
3	Día/Mes/Año						
4	Día/Mes/Año						
5	Día/Mes/Año						
6	Día/Mes/Año						
7	Día/Mes/Año						
8	Día/Mes/Año						
9	Día/Mes/Año						
10	Día/Mes/Año						

Fuente: elaboración propia

10.3 REGISTRO Y CONTROL DE TAREAS DE LUBRICACION

 SUBSUELOS S.A. Ingenieros Civiles		Registro de tareas de lubricación					Versión 1
							Agosto.2020
Máquina: Grúa Celosía Bucyrus 38-B							
Fecha de ejecución	Parte a lubricar	Lubricante	Encargado	Tiempo empleado	Cantidad	Observaciones	
1	Día/Mes/Año						
2	Día/Mes/Año						
3	Día/Mes/Año						
4	Día/Mes/Año						
5	Día/Mes/Año						
6	Día/Mes/Año						
7	Día/Mes/Año						
8	Día/Mes/Año						
9	Día/Mes/Año						
10	Día/Mes/Año						

Fuente: elaboración propia

12. ANALISIS DE IMPACTO AMBIENTAL

Un análisis ambiental permite identificar las consecuencias que tiene un tarea es específico, para la implementación de este plan de mantenimiento se recopiló información tomada en campo, exactamente en el lugar en donde se realizan las tareas de reparación a la máquina, esta visita de campo permitió evidenciar principalmente que el taller está ubicado en una zona rural del municipio de Cota por esto la contaminación auditiva es muy baja, la exposición al sol durante la reparación de la maquina es inevitable, sin embargo hay zonas adecuadas como casetas y edificaciones donde los operaciones y técnicos se resguardan en caso de un sol excesivo o una fuerte lluvia.

Del mismo modo es importante mencionar que realizar actividades de reparación, ajuste o inspección a esta máquina no genera ningún contaminante sólido o gaseoso que pueda causar la muerte de los operarios, sin embargo, se generan residuos de líquidos que deben ser debidamente controlados ya que pueden generar una afectación para el ecosistema.

El área delimitada para hacer reparaciones a esta grúa es un área de libre circulación de personas, además de que se cuenta con algunos depósitos como tanques en donde se almacenan los residuos que se generan allí, el aceite lubricante que se cambia del motor se deposita en un tanque que posteriormente es recogido por una empresa que lo recicla, en este taller también se reparan otras máquinas y por esto se cuenta con un torno y una fresadora, estas máquinas generan viruta que también es almacenada en un tanque para evitar que sea un riesgo para los operarios y pueda generar cortaduras.

Algunos elementos que se tienen para realizar las diferentes tareas y que no son reutilizables se depositan en la basura, esta está dividida en dos, los materiales reciclables y los materiales no reciclables y orgánicos, de este modo también se pretende eliminar todo tipo de sustancias o elementos que puedan contaminar las piezas durante la reparación correctiva o preventiva que se esté realizando

Mediante este análisis ambiental se identificarán las fuentes de riesgo presentes durante la ejecución del plan de mantenimiento, se determinará la consecuencia que tienen estos riesgos y la posibilidad de que ocurran durante la ejecución de la tarea establecida, del mismo modo se identificarán los controles que existan para cada una de estas fuentes de riesgo, con el fin de establecer medidas de control sobre las mismas.

12.1 FUENTES DE RIESGO

En la siguiente tabla se establecen las fuentes de riesgo que se presentan durante la ejecución de las tareas previamente programadas

Tabla 53. Fuentes de Riesgo

IDENTIFICACION DE RIESGOS AMBIENTALES POTENCIALES				
Proceso	Fuente del riesgo	Consecuencia	Posibilidad	Controles existentes
Lubricación y mantenimiento	Cambio de filtros	Residuos contaminantes como filtros y bayetillas, aceite derramado al suelo	Es una consecuencia del cambio de filtros	Se cubre el suelo con un cartón para evitar que el lubricante caiga al suelo
	Llenar el tanque de combustible	Derrame de combustible en el suelo	Es posible que se derrame una mínima cantidad de líquido al suelo	Ninguno
	Cambiar manguera	Derrame de aceite al piso	Muy probable, más si se cambia por fugas	Se ubica un balde o recipiente para contener el líquido que cae
	Limpiar grasa	Residuos contaminantes como bayetillas y líquido solvente derramado al suelo	Muy probable	Ninguno
	Cambio de aceite	Derrame de aceite al piso	Inevitable	Almacenaje de aceite usado en contenedores
	Limpieza de orugas	Derrame de agua contaminada al suelo	Muy probable	Ninguno
	Engrase del cable	Residuos contaminados como bayetillas	Posiblemente si se hace manualmente	Almacenamiento de bayetillas en bolsas para basura
	Elementos rotos	Residuos de acero	Poco probable	Almacenamiento de acero para fabricación de otras piezas

Fuente: elaboración propia

Una vez identificadas las fuentes de riesgo se definen dos indicadores para determinar el grado de impacto ambiental de cada fuente de riesgo en la implementación del plan de mantenimiento

12.1.1 Posibilidad. La posibilidad refiere a la probabilidad o grado de que una fuente de riesgo tenga una consecuencia, esto teniendo en cuenta la actividad que se esté realizando

Tabla 54. Posibilidad

Posibilidad		
1	Inevitable	Es inevitable que ocurra
2	Muy probable	ocurrirá 8 de cada 10 veces
3	Probable	Puede ocurrir
4	Poco probable	ocurrirá 2 o menos veces

Fuente: elaboración propia

12.1.2 Impacto. El impacto refiere al daño producido en el ambiente, si es un daño que puede revertirse mediante algunas acciones o si es un daño permanente al ecosistema, también si genera muerte al ecosistema debido al tipo de contaminante.

Tabla 55. Impacto

Impacto		
A	catastrófico	Daños irreparables. Muerte
B	Impactante	Daños notorios al ambiente y reparables a largo plazo
C	Moderado	Genera contaminación controlable
D	Bajo	No genera contaminación ni riesgos

Fuente: elaboración propia

Después de haber establecido las fuentes de riesgo se asigna un grado de impacto y posibilidad a cada una, para así poder conocer el nivel de riesgo de cada fuente

Tabla 56. Análisis Riesgos ambientales

IDENTIFICACION DE RIESGOS AMBIENTALES POTENCIALES						
Proceso	Fuente del riesgo	Consecuencia	Posibilidad	Controles existentes	P	I
Lubricación y mantenimiento	Cambio de filtros	Residuos contaminantes como filtros y bayetillas, aceite derramado al suelo	Es una consecuencia del cambio de filtros	Se cubre el suelo con un cartón para evitar que el lubricante caiga al suelo	2	C
	Llenar el tanque de combustible	Derrame de combustible en el suelo	Es posible que se derrame una mínima cantidad de líquido al suelo	Ninguno	3	B
	Cambiar manguera	Derrame de aceite al piso	Muy probable, más si se cambia por fugas	Se ubica un balde o recipiente para contener el líquido que cae	2	C
	Limpiar grasa	Residuos contaminantes como bayetillas y líquido solvente derramado al suelo	Muy probable	Ninguno	1	B
	Cambio de aceite	Derrame de aceite al piso	Inevitable	Almacenaje de aceite usado en contenedores	1	D
	Limpieza de orugas	Derrame de agua contaminada al suelo	Muy probable	Ninguno	2	D
	Engrase del cable	Residuos contaminados como bayetillas	Posiblemente si se hace manualmente	Almacenamiento de bayetillas en bolsas para basura	4	C
	Elementos rotos	Residuos de acero	Poco probable	Almacenamiento de acero para fabricación de otras piezas	3	C

Fuente: elaboración propia

Después de haber asignado un valor de posibilidad e impacto a cada fuente de riesgo, se procede a identificar el nivel de impacto ambiental mediante los indicativos que tiene asignada cada fuente de riesgo

Según la siguiente tabla se identifica el nivel de riesgo dependiendo la zona donde se ubique, es decir que

Tabla 57. Matriz nivel de riesgo ambiental

Posibilidad	Impacto			
	Catastrófico	Considerable	Moderado	Bajo
Inevitable	A	A	M	M
Muy probable	A	A	M	M
Probable	M	M	M	B
Poco probable	M	M	B	B

Fuente: elaboración propia basada norma GTC 45

Donde el nivel de severidad de jerarquiza así:

- A: Impacto ambiental alto. Se deben establecer controles para la prevención de las consecuencias que tiene la implementación de esta tarea y suspender actividades hasta que se establezcan controles.
- M: Impacto ambiental moderado. Se recomienda mejorar los controles existentes de ser posible, no es necesario suspender las actividades, pero si tener un control rutinario
- B. Impacto ambiental bajo. Se recomienda mantener las medidas de control establecidas si las hay, hacer un control periódico para tener control de la fuente de riesgo, aunque sea baja¹⁰

¹⁰ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACION. GUIA PARA LA IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS Y LA VALORACIÓN DE LOS RIESGOS EN SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL. GTC 45. Bogotá D.C. ICONTEC. 2010. 38p.

12.2 MEDIDAS DE CONTROL

Una vez determinado el nivel de impacto ambiental para cada riesgo se establecen unas medidas de control establecidas en la siguiente tabla, donde se mitiga la fuente de riesgo a partir del manejo que se le da a los residuos y elementos presentes en cada riesgo

Tabla 58. Medidas de control ambiental

Tipo de residuo	Clasificación		Deposito	Manejo y control
No peligroso	Reciclable	cartón y Papel	Caneca de reciclaje gris	Reciclaje y reutilización
		Fotocopias		
		cartón		
		Periódico		
		Plásticos	Caneca de reciclaje azul	Reciclaje y reutilización
		Bolsas		
		Envolturas		
		Botellas		
		Textiles	Caneca de Reciclaje gris	Reciclaje y reutilización
		Bayetillas		
		Ropa		
		Material Residuo	Caneca de Reciclaje amarilla	Reciclaje y reutilización
		Acero		
	Metal			
No reciclables	Materiales de papel y cartón contaminados por aceite o grasa	Caneca de Reciclaje verde	Disposición final	
	Residuos orgánicos			
Peligrosos		Filtros	Caneca de Reciclaje roja	Entrega de residuos a prestador de servicios de recolección
		Mangueras		
		Empaques		
		Aceite usado		
		Lubricante usado		
		Solventes		

Fuente: elaboración propia basado en norma GTC 24

13. ANALISIS DEL COSTO FINANCIERO

Un análisis económico permitirá conocer los costos de implementación del proyecto, para esto se tendrá en cuenta los costos de implementar cada una de las rutas de lubricación, inspección y ajuste, del mismo modo se calcularon los costos del personal involucrado en las tareas propuestas en este plan de mantenimiento

13.1 COSTO INICIAL

Para determinar el costo inicial del proyecto se tendrá en cuenta el valor de hora del proponente del proyecto, así como fungibles y otros gastos asociados y evidenciados en la siguiente tabla

Tabla 59. Costos iniciales

ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR COP	TOTAL
Recurso humano				
Proponente	Horas	550	18.000	9'900.000
Recurso tecnológico				
Computador	Unidad	1	1'000.000	1'000.000
Licencia	Unidad	1	190.000	190.000
Fungibles				
Libros	Unidad	2	530.000	530.000
Papel	Resma	2	8.000	16.000
Tinta		1	10.000	10.000
Otros gastos				
Visitas a taller	Pasajes	22	5.300	116.600
Costo Total				11'762.000

Fuente: elaboración propia

13.2 COSTO PERSONAL INVOLUCRADO

Se tendrán en cuenta también los costos del personal involucrado en el desarrollo de las tareas propuestas en el plan de mantenimiento, es decir, el operario de la grúa, el técnico de mantenimiento y el jefe de mantenimiento del taller

Tabla 60. Costo hora personal involucrado

Empleado	Salario mensual	Costo H-H
Técnico de Mantenimiento	1'800.000	11.250
Jefe de Mantenimiento	2'800.000	17.500
Operador de la grúa	1'500.000	9.375

Fuente: elaboración propia basado en datos suministrados por la empresa

Teniendo en cuenta que la grúa no está en funcionamiento todos los días hábiles del semestre, si no únicamente cuando está en obra y cuando la actividad de la obra lo requiere, se establece una tabla donde se relaciona el costo de hora de cada empleado y el tiempo que cada uno emplea en esta grúa durante su operación.

Tabla 61. Costo hora personal en maquina

Empleado	Costo H-H	Costo anual
Técnico de Mantenimiento	11.250	5'400.000
Jefe de Mantenimiento	17.500	8'400.000
Operador de grúa	9.375	4'500.000
Total		18'300.000

Fuente: elaboración propia basado en datos suministrados por la empresa

13.3 COSTO DE RUTAS

Del mismo modo se calculan los costos de implementar las rutas de lubricación, inspección y ajuste, en este caso, se calculan los costos de la ruta de inspección ya que los elementos necesarios no se cuentan dentro del inventario del taller, es decir los técnicos no cuentan con ellos

Tabla 62. Costo ruta de inspección

Ruta de Inspección				
Instrumento	Alcance	Resolución	Cantidad	Valor c/u COP
Pie de rey	150mm	0.254mm	2	110.000
Flexómetro	10mt	1cm	3	20.000
Cinta métrica	30mt	1cm	2	50.000
Nivel	--	---	3	20.000
Goniómetro	180°	1°	2	18.000
Distanciómetro	50mt	1cm	1	200.000
Total				676.000

Fuente: elaboración propia

El costo de las rutas se calculó en base al costo de hora de cada persona involucrada en las rutas y los elementos necesarios en cada una

Tabla 63. Costo de rutas

Actividad	Costo
Ruta de inspección	1'500.000
Ruta de lubricación	12'450.043
Ruta de mantenimiento	17'583.083

Fuente: elaboración propia

13.4 COSTO FINAL DEL PROYECTO

Finalmente se estableció el costo total de la implementación del proyecto, teniendo en cuenta el costo inicial, el costo del personal involucrado y el costo de implementación de las diferentes cartas

Tabla 64. Costos finales del proyecto

Criterio	Costo
Ruta de inspección	1'500.000
Ruta de lubricación	12'450.043
Ruta de mantenimiento	17'583.083
Personal implicado	18'300.000
Costo total del proyecto	49'833,126

Fuente: elaboración propia

13.5 COSTO POR INDISPONIBILIDAD

Teniendo en cuenta que esta grúa es alquilada a otras empresas para el desarrollo de diferentes actividades y que del mismo modo subsuelos la usa para sus propias tareas, se presenta el valor por hora de alquiler de la grúa, de este modo, calculando el tiempo de indisponibilidad se puede hacer una estimación de la cantidad de dinero que se pierde cuando la maquina entra en reparación

Tabla 65. Costo por Indisponibilidad

Maquina	Valor alquiler COP	Tiempo	Hora COP
Grúa celosía Bucyrus 38-B	32'000.000	160h	200.000

Fuente: elaboración propia

Teniendo en cuenta el indicador de disponibilidad previamente hallado, donde se evidencia que el tiempo promedio para reparar la maquina por mes es de 38 horas por mes lo que representa pérdidas de \$ 7'200.000, de este se concluye que si se aplica el plan de mantenimiento propuesto la empresa SUBSUELOS SAS vera una reducción en las horas de reparación y por lo tanto una reducción en el dinero perdido por reparaciones, permitiendo también aumentar las horas de disponibilidad de la máquina.

14. CONCLUSIONES

- La empresa SUBSUELOS SAS tiene una filosofía de mantenimiento en la que únicamente interviene sus máquinas para temas de reparaciones y ajustes, cuando estas presentan alguna falla se interviene la máquina para volver a ponerla en funcionamiento
- Se caracterizó la grúa celosía de tal manera que se conocieron los sistemas presentes, identificando que es una grúa netamente mecánica, ya que tiene más de 30 años de fabricación, sin embargo, es algo común en esta industria ya que el costo de una maquina nueva es de miles de millones.
- Se diagnosticó la maquina teniendo en cuenta el estado actual de la misma, las bitácoras de los operadores y facturas de repuestos, estableciendo así un historial de mantenimiento claro y un diagnóstico preciso
- El análisis de criticidad permitió identificar cuales sistemas son más críticos con respecto a otros, del mismo modo dar un orden para el desarrollo del plan de mantenimiento según la estrategia
- Teniendo en cuenta el contexto operacional de esta máquina, se determinó mediante la evaluación de selección de mantenimiento que la estrategia más adecuada es Análisis del Modo y Efecto de la Falla.
- El desarrollo del plan de mantenimiento permitió involucrar al operario en las actividades de inspección de la grúa, lo cual es importante porque de este modo se familiariza al operario con la maquina además de que tiene conocimiento exacto de estado de la grúa diariamente
- Se plantearon tareas de lubricación e inspección con el fin de extender la vida útil de algunos elementos que tienden a fallar más que otros, se pretende lograr así el porcentaje de disponibilidad de la maquina
- Del análisis ambiental se logró identificar que, aunque se tiene los controles necesarios, falta capacitar al personal involucrado en la recolección de residuos para de este modo darle un adecuado manejo a los mismos
- Mediante el análisis de costos se logró establecer los costos de implantación del proyecto, teniendo en cuenta el personal involucrado, el proponente y los recursos necesarios para el desarrollo del plan, igualmente conociendo el beneficio económico por indisponibilidad

15. RECOMENDACIONES

- Implementar el plan de mantenimiento planteado en este proyecto para reducir los costos por indisponibilidad de la maquina
- Capacitar al personal involucrado en las tareas programadas, con el fin de lograr una adecuada interpretación y aplicación de las tareas descritas
- Hacer un seguimiento al programa de tareas establecido previamente y del mismo modo establecer acciones de mejora de ser necesario
- Estudiar nuevas tecnologías que se puedan llevar y aplicar en la grúa para mejorar la prestación de servicios con esta maquina
- Inspeccionar la grúa con un ente de inspección acreditado por la ONAC para poder acreditarla como un máquina que cumple con los requerimientos mínimos para un Izaje seguro

BIBLIOGRAFIA

BOTERO, Camilo. Manual de Mantenimiento: ¿Qué es el mantenimiento?. 10-22 Responsabilidad subordinada. Ed. 1991. Bogotá D.C. [Consultado el 09 de septiembre del 2019].

BUCYRUS ERIE Co, Instruction manual for Bucyrus Erie Model 38-B, Care, maintenance and operation instructions. Responsabilidad subordinada. [Consultado el 20 de septiembre del 2019]. Volumen 1. Serial 113221

CAMPOS, L y Francisco, J. Principios mantenimiento: Indicadores de mantenimiento. Responsabilidad subordinada. Ed 1991. Bogotá D.C, 2017. [Consultado el 20 de septiembre del 2019].

CASTILLO, Rafael. Ajuste, puesta en marcha y regulación de los sistemas mecánicos. [En línea] Responsabilidad subordinada. España, 2013. [Consultado el 20 de septiembre del 2019].

GARCIA GARRIDO, Santiago. Organización y gestión integral del mantenimiento. 321p. Responsabilidad subordinada. Madrid, 2003. [Consultado el 20 de septiembre del 2019].

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Compendio de normas para trabajos escritos. NTC-1486-6166. Bogotá D.C. El instituto, 2018 ISBN 9789588585673 153 p.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACION. Guía para la identificación de los peligros y la valoración de los riesgos en seguridad y salud ocupacional. GTC 45. Bogotá D.C. Colombia, 2010. [Consultado 25 de abril 2020]

LEFCOVICH, Mauricio. Mantenimiento productivo total: Un paso más hacia la excelencia empresarial. 17p. Responsabilidad subordinada. España, 2009. [Consultado el 20 de septiembre del 2019].

MOUBRAY, John. Mantenimiento centrado en la confiabilidad. [En línea] Responsabilidad subordinada. Madrid: 2004. [Consultado el 20 de septiembre del 2019].

