



**ANÁLISIS RCM (MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD) PARA
SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE PASTA A SILOS EN PLANTA DE PISOS Y
PAREDES EN COLCERÁMICA, GIRARDOTA.**

Camila Alejandra Ruda Hernández

Ingeniería Mecánica

**Juan Carlos Orrego Barrera
Oscar Darío Botero**

2018

Medellín, Antioquia

Universidad de Antioquia

Análisis RCM (Mantenimiento centrado en confiabilidad) para Sistema de alimentación de pasta a silos en planta de Pisos y Paredes en Colcerámica, Girardota.

RESUMEN

Corona Colceramica, una organización multinacional productora de insumos para la construcción, con presencia en varios países de Centro América, Estados Unidos, Brasil y México que se encuentra en un mercado solido e innovador.

En busca de ser un gran competidor, corona plantea que debe reestructurar la filosofía actual con la que gestiona sus activos, ya que no cuenta con un plan de mantenimiento diseñado estratégicamente, sino que este se basa con un conjunto de tareas creadas con base a las averías ocurridas; sabiendo que esta es una parte importante, para ofrecer un precio que pueda competir en el congestionado mercado del revestimiento cerámico. Busca las opciones disponibles y determino hacer un plan de Mantenimiento basado en RCM.

En conjunto con la Universidad de Antioquia se decide abordar el problema y crear un plan de mantenimiento basado en dicha filosofía.

En este trabajo se trata específicamente del análisis RCM un equipo de la planta, que por su intervención primaria en el proceso, se determinó como crítico, este se denomina como Sistema de Alimentación Pasta a Silos, y lo que se encontró allí, fue que sus tareas de mantenimiento, como en toda la plata, fueron hechas a medida de la ocurrencia de averías, y sus periodicidades estaban definidas de manera empírica; lo que hacía poco eficiente el plan de mantenimiento.

Como resultado se diseñó un plan de mantenimiento basado en confiabilidad, en el cual se entregaron como producto final un despiece total de la máquina, un listado de elementos críticos, sus funciones y fallas funcionales, con sus modos de falla correspondientes y un conjunto de tareas específicas con una periodicidad asociada.

INTRODUCCIÓN

Actualmente la producción de baldosa cerámica se encuentra en un gran momento, el crecimiento de los países emergentes está generando una gran demanda en el sector de la construcción, lo que hace que las empresas productoras de insumos para la construcción tomen medidas para ser más productivas y competitivas a nivel mundial. Aspectos como el costo, la innovación de productos y la capacidad de entrega, marcan la diferencia entre el camino del éxito o no de una empresa. Más precisamente en Colombia, el crecimiento del sector de la construcción ha tenido un comportamiento importante y ha demostrado ser un indicador primordial para la economía del país, lo que ha impulsado el desarrollo de empresas productoras de insumos para la construcción entre ellas la productora de baldosa cerámica, estas son un ingrediente muy importante a la hora de dar un buen acabado final a cualquier tipo de construcción ya sea comercial o residencial.

Corona Colceramica es una multinacional productora de insumos para la construcción tiene participación con 19 plantas de manufactura en Colombia, 3 en Estados Unidos, 3 en Centro América, 3 en México y una en Brasil, así como con una oficina de suministros globales en China y una comercializadora en México. Su portafolio de productos está compuesto principalmente por baldosa cerámica, porcelana sanitaria, vajillas, aisladores eléctricos e insumos para la construcción como la pintura, pegamento para baldosas y accesorios para grifería.

Entre las 19 plantas ubicadas en Colombia, nos centraremos en la que está ubicada en el municipio de Girardota Antioquia, aproximadamente a unos 30 minutos de la ciudad de Medellín, y estratégicamente ubicada cerca de la autopista Medellín - Puerto Berrio, una importante vía perteneciente a la red de autopistas de la prosperidad y de mucha importancia para el transporte de gran cantidad de productos fabricados en el valle de aburra. En esta planta se fabrican 3 productos, baldosa cerámica, porcelana sanitaria y plafones; todo nuestro interés recae sobre la producción de baldosas cerámicas.

Actualmente la industria colombiana, tiene muchas falencias a la hora de ser competitiva mundialmente, especialmente a la hora de aplicar metodologías o filosofías que aumenten el rendimiento y rentabilidad de

sus productos; muchas de estas falencias se deben a obstáculos culturales que impiden hacer grandes inversiones en metodologías que no prometen entregar resultados de manera inmediata; tales metodologías apuntan al mejoramiento de indicadores como la calidad, mantenibilidad y disponibilidad a largo plazo.

Gran parte de las problemáticas de las fábricas se centran en cómo administrar o gestionar el mantenimiento y funcionalidad de sus activos, lo que no permite hacer uso del cien por ciento de la capacidad de sus instalaciones, viéndose esto traducido en baja disponibilidad de los equipos, lo que incrementa el costo final del producto.

Corona en sus ambiciones de ser un gran competidor a nivel mundial, está empezando a implementar algunas de estas herramientas que prometen dar como resultado planes más eficientes de mantenimiento y filosofías de trabajo diferentes a las usadas normalmente, entre ellas se encuentra el TPM.

Entre estas filosofías también se encuentra el Mantenimiento Basado en Confiabilidad, RCM por sus siglas en inglés. Esta filosofía consiste en realizar un análisis minucioso del equipo, el entorno y las condiciones bajo las que opera la máquina; y como aspecto importante, este método de mantenimiento plantea que no deben tener un mismo plan de mantenimiento dos equipos iguales, pero que operan en condiciones diferentes.

Luego de identificar parte por parte la composición del equipo, definir unas funciones bien parametrizadas para cada una de ellas, reconocer cuando una de estas deja de cumplir su función total o parcialmente y establecer sus causas, se tiene como resultado unas tareas de mantenimiento asociadas a las partes más críticas del equipo.

Corona, desde hace un par de años, comenzó con un proyecto en busca de incrementar la disponibilidad de sus equipos y, en conjunto con la Universidad de Antioquia, iniciaron con la construcción e implementación del método de mantenimiento basado en confiabilidad RCM.

El proyecto se está realizando en partes, y la primera fue la de analizar el entorno global de la planta, realizando su contexto operacional, donde se tuvieron en cuenta aspectos como la ubicación geográfica, la temperatura, nivel de producción, entre otros. En la segunda parte se realizó la construcción de una matriz de riesgo, donde se define los niveles de criticidad y frecuencia de falla, con los que posteriormente, en la tercera parte, se definieron cuáles eran los equipos críticos de la planta.

Definiendo así que mantener estos específicamente, era de gran importancia para la compañía, y si alguna de estas fallaba, la funcionalidad de la planta fallaría parcialmente.

En la última parte del proyecto se realizó el análisis RCM, del Sistema de Alimentación de Pasta a Silos, el cual fue definido como el equipo más crítico en todo el proceso de fabricación de la planta, por su papel coyuntural en todo el proceso de almacenamiento y ensamble de las baldosas.

OBJETIVOS

General:

Realizar un análisis total del sistema de alimentación de pasta a silos para determinar un conjunto de actividades que permitan obtener una mayor confiabilidad y disponibilidad del activo.

Específicos:

- Proporcionar al personal técnico de la planta, herramientas de mantenimiento y confiabilidad de activos (RCM).
- Comprender mejor el funcionamiento del activo, obtener la taxonomía de este y definir sus respectivos sistemas y elementos críticos.
- Identificar las funciones de mayor importancia que permitan direccionar el análisis RCM.
- Obtener las fallas y modos de falla asociados a las funciones identificadas en los elementos críticos del equipo.
- Definir un grupo de actividades que permitan tener una mayor confiabilidad y disponibilidad del activo.

MARCO TEÓRICO

RCM: Mantenimiento centrado en confiabilidad). “El objetivo fundamental de la implantación de un Mantenimiento Centrado en Fiabilidad o RCM en una planta industrial es aumentar la disponibilidad y disminuir costes de mantenimiento. El análisis de una planta industrial según esta metodología aporta una serie de resultados.” [1]

Contexto operacional: Descripción de la manera como y donde se utiliza el activo y hace referencia a todos los factores que lo afectan. Se define como todas aquellas condiciones bajo las que opera el activo. Debe incluir aspectos como:

- Seguridad
- Sistemas de gestión
- Factores ambientales
- Alarmas e indicadores
- Tipo de demanda
- Nivel de capacitación
- Tipo de proceso
- Ubicación del activo
- Impacto de fallas

Matriz de Riesgos: Es una herramienta que permite establecer una jerarquía en las instalaciones, sistemas, equipos y dispositivos de mayor relevancia (criticidad) en una planta. Esto con el fin de canalizar esfuerzos y recursos. [2]

Taxonomía de equipos: Es una clasificación de ítems en grupos genéricos, basándose en factores posiblemente comunes a varios de los elementos (ubicación, uso, equipo de subdivisión, etc.). Comúnmente llamado también árbol de equipo refiriéndose a su carácter jerárquico de acceder a un activo. [3]

Para este propósito, se deben identificar y registrar todos los equipos que una organización posee o que al menos es responsable. El ordenamiento de los equipos se puede hacer por su carácter funcional, su dependencia en el proceso, su ubicación espacial. Esto depende de las necesidades y objetivos de cada compañía.

Para la identificación de cada uno de los activos involucrados en el proceso, es necesario un sistema de codificación que sea compatible con

el sistema de gestión de mantenimiento instalado. Para lo cual se tendrá como referencia la norma ISO 14224, esta Norma internacional brinda una base para la recolección de datos de Confiabilidad y Mantenimiento en un formato estándar para las áreas de perforación, producción, refinación transporte de petróleo y gas natural, con criterios que pueden extenderse a otras actividades e industrias. [4]

AMFE: Metodología de investigación basada en la división de un equipo en componentes para el posterior estudio de los fallos que podrían producirse y sus efectos y consecuencias, evaluando el riesgo de fallo del equipo.

- Fallas funcionales: Incapacidad total o parcial de cualquier activo de cumplir una función según el parámetro de funcionamiento que el usuario considere aceptable.
- Modos de falla: Circunstancia que pueda ocasionar la falla funcional de un activo físico, sistema o proceso.
- Efectos de falla: Descripción de lo que ocurre cuando se da un modo de falla, incluye toda la información para evaluar la importancia de la falla. [5]

METODOLOGÍA

- Se realizaron capacitaciones a los técnicos encargados del equipo, donde se les brindaron las herramientas teóricas del RCM y se construyó en conjunto el modelo.
- Se efectuó una búsqueda de información sobre el equipo (catálogos y planos) de donde se obtuvieron datos que fueron analizados a la hora de construir el modelo.
- Se realizaron reuniones periódicas con el asesor para la revisión y corrección de los avances.

RESULTADOS Y ANÁLISIS

Contexto operacional.

La primera etapa, antes de empezar a resolver las preguntas básicas del proceso RCM, es realizar el contexto operacional del equipo; en esta se enumeraran varios aspectos como lo son las condiciones de operación del equipo, el mantenimiento que actualmente se realiza, condiciones ambientales a las que se somete, materias prima que utiliza en su proceso, impacto de las fallas, entre otros.

Para fabricar baldosas cerámicas existen dos procesos, uno es el proceso húmedo y el otro es denominado como proceso seco, en este caso nos interesa el proceso húmedo ya que este es el usado por Colceramica Girardota.

Este inicia con el proceso de transporte y almacenamiento de la materia prima; las minas pertenecientes a la fábrica están ubicadas en el municipio de San Luis Antioquia, aproximadamente a unas 4 horas de transporte hasta la fábrica. Luego de esto esta se almacena en grandes bodegas cubiertas, y los diferentes materiales se almacenan de manera aislada según su tipo, a una temperatura ambiente 28°C promedio.

Luego de su almacenamiento, esta pasa para el proceso de molienda, este se hace cargando una tolva bascula, y para que las proporciones del material se hagan de manera precisa, esta tolva que está diseñada con una celdas pesaje por flexión que tienen una tolerancia de más o menos cinco kilogramos, donde el operario adiciona la cantidad indicada en la receta.

Este material se traslada por un sistema de bandas transportadoras hasta unos molinos de bola de 30 Toneladas, y luego de adicionar todos los ingredientes, tierra, caliza y aditivos químicos y mucha agua, se inicia el proceso de molienda que tarda aproximadamente 4 horas; después de esto se obtiene una mezcla consistente y con una alta densidad que es llamada barbotina; esta mezcla se transporta por medio de bombas neumáticas hasta unos recipientes cisternas que están compuestos por un par de agitadores, diseñados para no dejar sedimentar la preparación, después de estar allí permanecerá aproximadamente por unas 24 horas para el proceso de añejamiento, indispensable para el siguiente paso, que se denomina atomización, en este paso se hace pasar la barbotina por

unas boquillas de aproximadamente 1 milímetro de diámetro, con una bomba de pistones que genera una presión entre 28 a 30 bares para formar una cortina de aspersion de barbotina, para luego ser atravesada por una corriente de aire a una temperatura aproximada a los 650 grados centígrados, para reducir drásticamente la humedad de la barbotina. Después de esto, los gases generados, en su mayoría vapor de agua, son expulsados por un ducto hacia el aire libre y el material restante ya convertido en un material granulado, con una humedad aproximada al 6%, y una temperatura entre 60 y 80°C, cae por gravedad a un sistema de bandas, que transporta el material a un conjunto de 12 silos de almacenamiento con una capacidad de 80 toneladas cada uno.

Este sistema de transporte a los silos de almacenamiento denominado SAPS, por su siglas que significan Sistema de Alimentación de Pasta a Silos, que se puede observar en la Imagen 1, está compuesto por 4 bandas transportadoras denominadas BT-14, BT-15, BT-16, BT-17 un sistema de selección de carga a silos llamado TRIPER, que básicamente es el encargado de dirigir la pasta hacia un silo indicado dependiendo su disponibilidad de almacenamiento; esta selección la hace de manera pre-programada por el personal operativo.

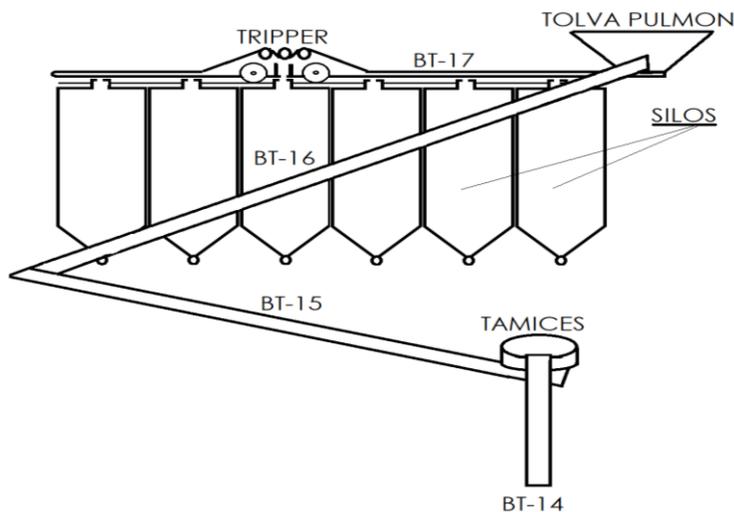


Imagen 1. Sistema de Alimentación de Pasta a Silos.

Cada una de las bandas transportadoras está diseñada de un material termoplástico en el exterior, e internamente está compuestas de un tejido sintético que le da mayor fuerza de tracción y durabilidad a la banda; en sus extremos cuenta con tambores de 350 mm de Diámetro, y están soportadas en toda su longitud por rodillos en "V", que se observan en la Imagen 2, para generar una cavidad que mantenga la totalidad de la producción en su lugar.



Imagen 2. Rodillos en "V"

El recorrido inicia en la BT-14, que se observa en la figura 3, en este momento, la pasta aún conserva una temperatura entre 60 y 80°C. Esta banda tiene una longitud de 8.34 metros, una inclinación de 16 grados, cuenta una velocidad de transporte aproximada de 52 metros por minuto y su tracción es generada por una moto reductora de 4hp.



Imagen 3. Banda BT-14.

Esta banda al igual que todas las bandas pertenecientes al SAPS, cuentan con una guaya de seguridad en toda su longitud, esto con el fin de que sea halada si se presenta algún accidente o emergencia que merezca el paro total del sistema; esta guaya acciona mecánicamente un contacto eléctrico que envía una señal normalmente cerrada hasta el PLC, que es el cerebro de todo el sistema.

Después de que finaliza el recorrido por la BT-14 el material granulado cae a un sistema de tamizaje, que se puede ver en la Imagen 4, que elimina grumos en el material e impurezas. Este sistema está compuesto por dos motores eléctricos de 0.4 Hp que hacen vibrar una lámina con agujeros de aproximadamente 5mm.



Imagen 4. Sistema de Tamizaje.

Luego del sistema de tamizaje, el material ya un poco más consistente, cae a la BT-15, que se observa en la Imagen 5; esta tiene longitud de 24.3 metros y una inclinación de 15 grados, transporta el material a una velocidad de 52 metros por minuto y cuenta con un sistema de detección de movimiento formado por una célula fotoeléctrica enfocada directamente a una lámina metálica circular, con unas ranuras que generan un cambio en el estado de la reflexión de la luz; en principio este

sistema funciona como un encoder, pero en este caso no se hace la conversión de pulsos a velocidad; en la fotocélula, genera un tren de pulsos de 24 voltios de corriente directa, que se envían directamente al PLC, si en algún momento este tren de pulsos se detiene el PLC genera una alarma que indica al operario que hay algún problema de tracción, ya sea mecánico o eléctrico, y también detiene de inmediato todo el proceso, desde el sistema de bombeo hasta el conjunto de bandas.



Imagen 5. Banda BT-15.

Luego de su largo recorrido por esta banda, el material ya con un poco menos de temperatura, cae a la BT-16, que se observa en la Imagen 6; esta tiene una longitud de 40.5 metros, su velocidad alcanza los 52 metros por minuto y la tracción de esta banda es generada por un moto reductor de 4.5 hp.

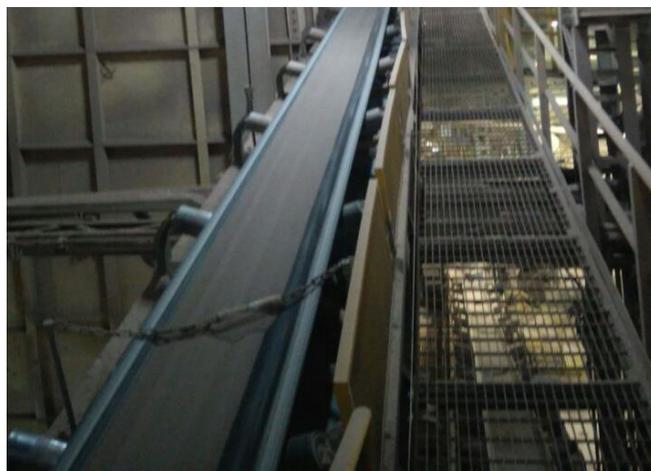


Imagen 6. Banda BT-16.

Al finalizar el recorrido por esta banda el materia cae a una tolva llamada tolva pulmón, y recibe este nombre porque es la encargada de almacenar el material momentáneamente para darle tiempo al tripper, cuando se está desplazando de un silo a otro.

Cuando el tripper está posicionado, la tolva simplemente deja pasar el material hacia la BT-17, que se pueden ver en las Imágenes 7 y 8, pero cuando está en movimiento, el PLC da la orden de cerrar la compuerta de la tolva y así almacenar el material hasta que el tripper se posicione en su nuevo destino; si la tolva alcanza su nivel máximo y el tripper aún no se posiciona, un sensor de nivel electrónico, que se observa en la Imagen 9, envía una señal al PLC y este de inmediato envía una señal que para el bombeo de pasta, para no generar regueros.

Aunque esto generalmente no ocurre; a excepción de cuando el sistema tiene algún tipo de avería eléctrica o mecánica; si no hay ninguno de estos eventos el material granulado continúa su recorrido hacia el silo donde este posicionado el tripper.



Imagen 7. Banda BT-17 Y Tripper.



Imagen 8. Tripper.

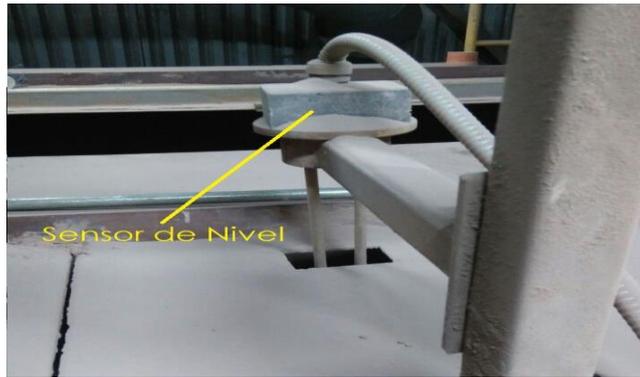


Imagen 9. Sensor de nivel.

Cada uno de estos silos cuenta con una señal de nivel máximo y mínimo que indica al PLC cuál de estos doce silos está disponible; también cada uno de ellos, cuenta con un sensor inductivo que le indica al PLC en cual silo se encuentra posicionado el tripper. La BT-17 cuenta con moto reductor de 4.5 hp y tiene una inclinación de 0 grados ya que esta banda se encuentra posicionada sobre la parte superior de los silos de manera totalmente horizontal.

El tripper es un elemento que se transporta por un par de rieles que tienen la misma longitud de la BT-17, este se desplaza a una velocidad de 0.22 metros por minuto, esta es una velocidad suficiente para desplazarse entre silos. Como el tripper es un sistema que generalmente está en movimiento, todas las señales eléctricas son transportadas por cableado que se mueve en toda la longitud de la banda 17 “el recorrido del tripper”; este cableado esta soportado en toda su trayectoria por patines que se desplazan por un sistema de rieles, que permiten la elongación y compresión del cableado.

Es importante mencionar que el tripper cuenta con dos elementos de seguridad por colisiones, estos están ubicados en dirección de sus dos sentidos de desplazamiento, estos indican a un módulo de seguridad ubicado en el gabinete de control, si alguno de estos elementos tuvo una colisión que generara una fuerza mayor o igual a 72 Newton; igualmente posee indicadores lumínicos y alarmas que se activan cuando detectan un objeto en su recorrido.

Eléctricamente este sistema cuenta con dos gabinetes uno de ellos está ubicado en una cabina de control y el otro en la plataforma de silos. En el primer gabinete se encuentra el PLC el cual es el encargado de controlar todas las operaciones del sistema, a él llegan todas las señales, y de él salen todas las ordenes que indican cuando arrancar o parar algún motor. El PLC está conformado por una fuente de alimentación que es la encargada de

convertir la señal de 110 voltios de corriente alterna a 24 Voltios de Corriente directa, que es la corriente en la que funcionan todos los demás elementos del PLC, entre ellos la CPU que está encargada de almacenar y ejecutar línea por línea, el programa que se diseñó específicamente para este sistema; esta CPU cuenta con una batería de 3.6 voltios, indispensable para que el programa permanezca allí, aun cuando hay desconexiones de energía por grandes lapsos de tiempo.

También encontramos 3 módulos de entradas digitales y 2 módulos de salidas tipo relé; estos últimos son los encargados de recibir las señales del exterior, por ejemplo la señales de confirmación de los contactores, fotocélulas, guayas, y sensores específicamente ubicados en el sistema.

Además del PLC en el gabinete eléctrico se encuentran también los elementos de accionamiento y protección de los motores eléctricos, como contactores, los cuales se encargan de obedecer la orden del PLC y dejar circular corriente hacia los motores; todos estos están conformados por bobinas 110 Voltios de corriente alterna y una terna de contactos eléctricos que soportan hasta 600 Voltios de corriente alterna, pero en nuestro caso toda nuestra red de potencia funciona a 440 Voltios de corriente alterna.

También encontramos protecciones magneto térmicas, que son las que se encargan de proteger los motores de algún exceso de corriente en los motores, ya sea por alguna avería eléctrica o alguna sobre carga mecánica en el sistema; si fuera este el caso, estos elementos eléctricos desconectan el flujo de corriente hacia el motor indicado.

Este sistema es muy estable en cuanto a su disponibilidad de servicio ya que la mayoría de sus elementos son estáticos, lo que disminuye todo tipo de desgastes por fricción.

Este sistema cuenta con unas tareas periódicas de mantenimiento, todas estas se han ido generando por la ocurrencia de averías, sin embargo hay muchas funciones que aún no cuentan con una tarea de mantenimiento específica.

Dentro de los elementos que más tienen desgaste se encuentran todos los componentes del tripper, ya que este por su constante movimiento genera fricción en todas sus partes ya sean mecánicas o eléctricas. Entre las grandes fallas que ha presentado el sistema, se encuentran las que ocurren por cortocircuitos generados por contactos con tierra, del cableado que lleva la alimentación hacia el tripper, ya que este por su constante movimiento y su roce ocasional con la estructura, va perdiendo aislamiento, lo que

finalmente conlleva a cortocircuitos en la red, generando averías en los elementos de control, como el variador electrónico o los dispositivos de protección magneto térmica, incluso hasta generar daños graves en el motor.

De manera importante podemos mencionar también, que el roce de los patines con el riel genera desgaste en los rodamientos de los patines, lo que ha generado en algunas ocasiones atascamientos en el sistema de translación de la cadena y el cable del tripper.

Taxonomía.

Después de realizar el contexto operacional, se procese a desarrollar una clasificación de forma jerárquica de los componentes del equipo.

Esta se desarrolló de la mano de los técnicos de mantenimiento, tanto mecánico como eléctrico, encargados del activo. También se elabora una nomenclatura para la codificación de los diferentes sistemas, subsistemas y componentes.

Esta taxonomía se puede observar en la tabla 1, que se muestra a continuación, y en el diagrama 1.

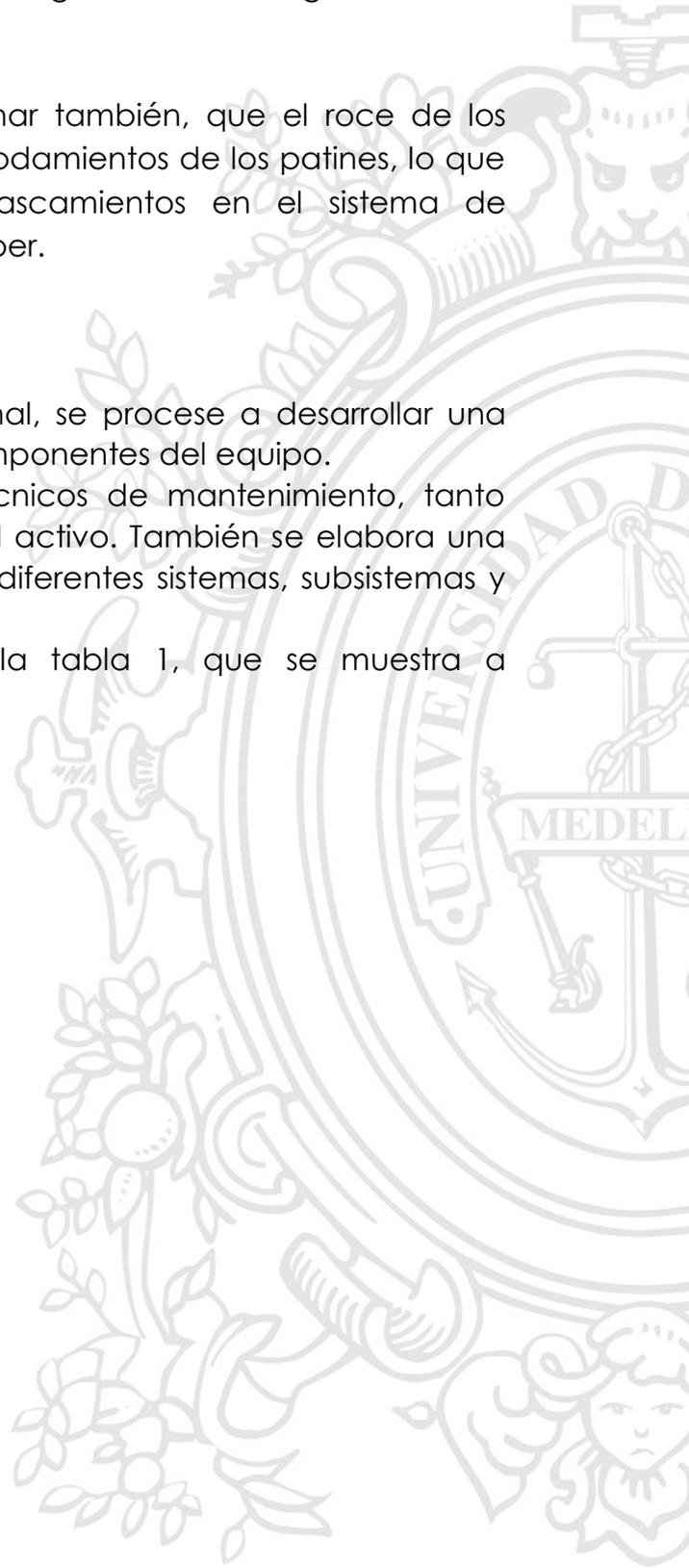


Tabla 1. Taxonomía del equipo.

SISTEMA DEALIMENTACIÓN SILOS			
SAPS			
SISTEMA	SUBSISTEMA	COMPONENTES	NOMENCLATURA
BANDA 14 BT14	SIST. TRANSMISION BT14-ST	MOTOR	BT14-ST-MT
		REDUCTOR	BT14-ST-RD
		TAMBOR	BT14-ST-TB
		CHUMACERA	BT14-ST-CM
		EJE	BT14-ST-EJ
		BANDA	BT14-ST-BD
	ESTRUCTURA BT14-SS	RODILLO DE CARGA	BT14-SS-RC
		RODILLO DE RETORNO	BT14-SS-RR
		BASE	BT14-SS-BS
	SIST. DE LIMPIEZA BT14-SL	PRELIMPIADOR	BT14-SL-PL
		LIMPIADOR	BT14-SL-LP
		BANDEJA DE RECOLECCION	BT14-SL-BR
	SIST. ELECTRICO BT14-SE	CONTACTOR	BT14-SE-CT
		GUARDAMOTOR	BT14-SE-GM
		ESTACION START-STOP	BT14-SE-SS
		TOMA LEGRAND	BT14-SE-TL
		CABLEADO	BT14-SE-CB
		HONGO DE EMERGENCIA	BT14-SE-HE
BANDA 15 BT15	SIST. TANSMISION BT15-ST	MOTOR	BT15-ST-MT
		REDUCTOR	BT15-ST-RD
		TAMBOR	BT15-ST-TB
		CHUMACERA	BT15-ST-CM
		EJE	BT15-ST-EJ
		BANDA	BT15-ST-BD
	ESTRUCTURA BT15-SS	RODILLO DE CARGA	BT15-SS-RC
		RODILLO DE RETORNO	BT15-SS-RR
		BASE	BT15-SS-BS
	SIST. DE LIMPIEZA BT15-SL	PRELIMPIADOR	BT15-SL-PL
		LIMPIADOR	BT15-SL-LP
		BANDEJA DE RECOLECCION	BT15-SL-BR
	SIST. ELECTRICO BT15-SE	GUARDAMOTOR	BT15-SE-GM
		VARIADOR ELECTRONICO	BT15-SE-VE
		FOTOCELDA	BT15-SE-FC
CABLEADO		BT15-SE-CB	
GUAYA DE SEGURIDAD		BT15-SE-GS	

SISTEMA	SUBSISTEMA	COMPONENTES	NOMENCLATURA
BANDA 16 BT16	SIST. TRANSMISION BT16-ST	MOTOR	BT16-ST-MT
		REDUCTOR	BT16-ST-RD
		TAMBOR	BT16-ST-TB
		CHUMACERA	BT16-ST-CM
		EJE	BT16-ST-EJ
		BANDA	BT16-ST-BD
	ESTRUCTURA BT16-SS	RODILLO DE CARGA	BT16-SS-RC
		RODILLO DE RETORNO	BT16-SS-RR
		BASE	BT16-SS-BS
	SIST. DE LIMPIEZA BT16-SL	PRELIMPIADOR	BT16-SL-PL
		LIMPIADOR	BT16-SL-LP
		BANDEJA DE RECOLECCION	BT16-SL-BR
	SIST. SUCCION DE PARTICULAS BT16-SP	CAMPANA DE SUCCION	BT16-SP-CS
	SIST. ELECTRICO BT16-SE	VARIADOR ELECTRONICO	BT16-SE-VE
		GUARDAMOTOR	BT16-SE-GM
FOTOCELDA		BT16-SE-FC	
CABLEADO		BT16-SE-CB	
GUAYA DE SEGURIDAD		BT16-SE-GS	
BANDA 17 BT17	SIST. TRANSMISION BT17-ST	MOTOR	BT17-ST-MT
		REDUCTOR	BT17-ST-RD
		TAMBOR	BT17-ST-TB
		CHUMACERA	BT17-ST-CM
		EJE	BT17-ST-EJ
		BANDA	BT17-ST-BD
	ESTRUCTURA BT17-SS	RODILLO DE CARGA	BT17-SS-RC
		RODILLO DE RETORNO	BT17-SS-RR
		BASE	BT17-SS-BS
		GUARDA	BT17-SS-GD
	SIST. ELECTRICO BT17-SE	GUARDAMOTOR	BT17-SE-GM
		VARIADOR ELECTRONICO	BT17-SE-VE
		GUAYA DE SEGURIDAD	BT17-SE-GS
		HONGO DE EMERGENCIA	BT17-SE-HE
		FOTOCELDA	BT17-SE-FC

SISTEMA	SUBSISTEMA	COMPONENTES	NOMENCLATURA
TRIPPER TRP	SIST. TRANSMISION DE TRANSLACION TRP-ST	MOTOR	TRP-ST-MT
		REDUCTOR	TRP-ST-RD
		PIÑON	TRP-ST-PN
		CADENA	TRP-ST-CD
		RUEDA	TRP-ST-RE
		TAMBOR	TRP-ST-TB
		EJE	TRP-ST-EJ
	ESTRUCTURA TRP-SS	TOLVA	TRP-SS-TV
		GUARDA	TRP-SS-GD
	LINEA FESTONADA TRP-SF	CANAL	TRP-SF-CN
		PATIN	TRP-SF-PT
	SIST. ELECTRICO TRP-SE	GUARDAMOTOR	TRP-SE-GM
		VARIADOR ELECTRONICO	TRP-SE-VE
		SENSOR DE POSICION	TRP-SE-SP
		SENSOR CAPACITIVO	TRP-SE-SC
		BUMPER	TRP-SE-BP
		MODULO DE SEGURIDAD	TRP-SE-MS
		CONTACTOR PARA FRENO	TRP-SE-CF
		GUARDAMOTOR PARA FRENO	TRP-SE-GF
		ALARMA	TRP-SE-AM
INDICADOR LUMINICO		TRP-SE-IL	
BATERIA PLC		TRP-SE-BT	
FUENTE		TRP-SE-FT	
CABLEADO		TRP-SE-CB	
TOLVA PULMON TPL	SIST. DE TRANSMISION TPL-ST	REDUCTOR	TPL-ST-RD
		CADENA	TPL-ST-CD
		EJE	TPL-ST-EJ
		PIÑON	TPL-ST-PN
	ESTRUCTURA TPL-SS	COMPUERTA	TPL-SS-CM
		GUARDA	TPL-SS-GD
	SIST. ELECTRICO TPL-SE	MOTOR ELECTRICO	TPL-SE-MT
		SONDA DE NIVEL	TPL-SE-SN
		AMPLIFICADOR	TPL-SE-AP
		GUARDAMOTOR	TPL-SE-GM
		CONTACTOR	TPL-SE-CT
SENSOR	TPL-SE-SS		

SISTEMA	SUBSISTEMA	COMPONENTES	NOMENCLATURA
OTROS SISTEMAS OST	SIST. DE TAMIZADO OST-ST	LAMINA PERFORADA	OST-ST-LP
		MOTOVIBRADOR	OST-ST-MV
		CONTACTOR	OST-ST-CT
		GUARDAMOTOR	OST-ST-GM
		TOMA LEGRAND	OST-ST-TL
		CABLEADO	OST-ST-CB
	CABINA 1 (OFICINAS) OST-SC1	BREAKER	OST-SC1-BK
		BARRAJE DE TIERRA	OST-SC1-BT
		BARRAJE DE FASE	OST-SC1-BF
		VENTILACION	OST-SC1-VT
		TRANSFORMADOR	OST-SC1-TF
	CABINA 2 (ALTURAS) OST-SC2	BREAKER	OST-SC2-BK
		BARRAJE DE TIERRA	OST-SC2-BT
		BARRAJE DE FASE	OST-SC2-BF
		VENTILACION	OST-SC2-VT
TRANSFORMADOR		OST-SC2-TF	

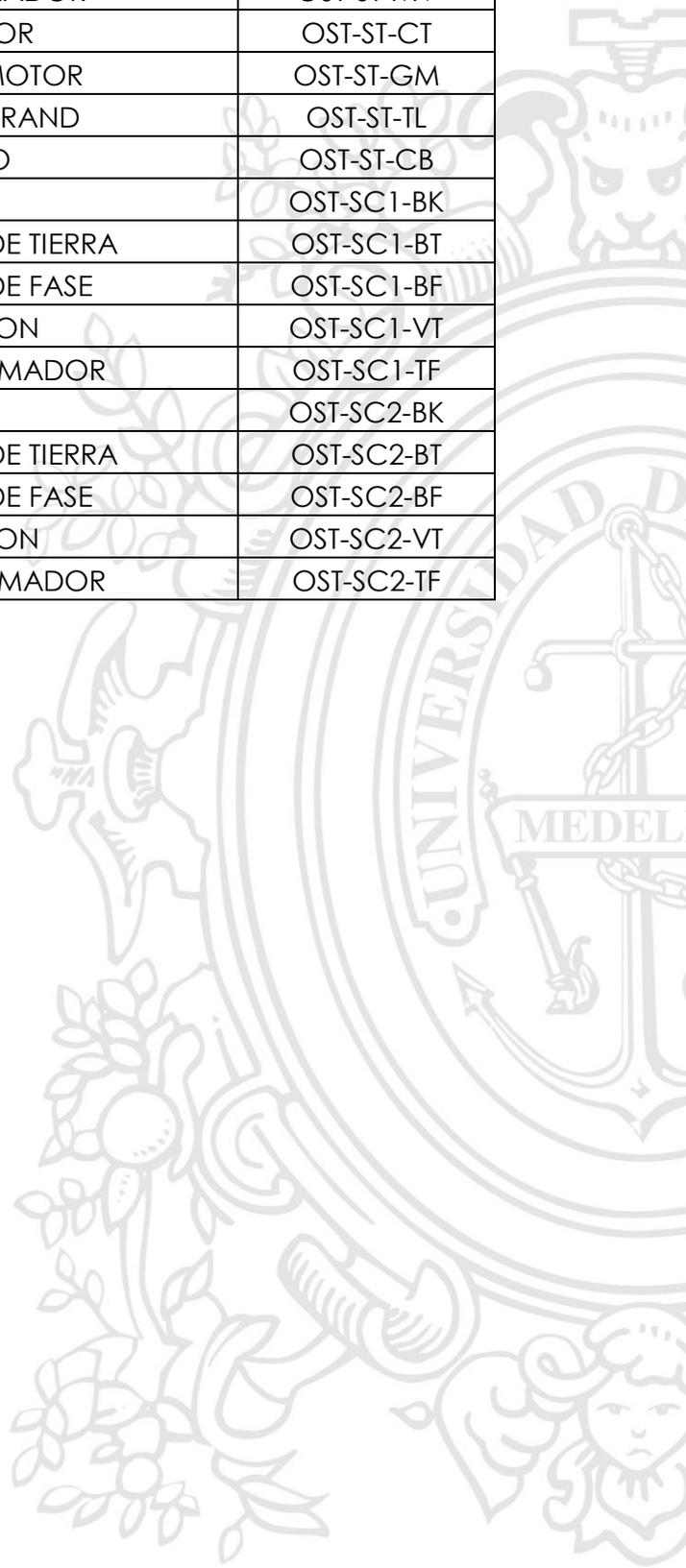
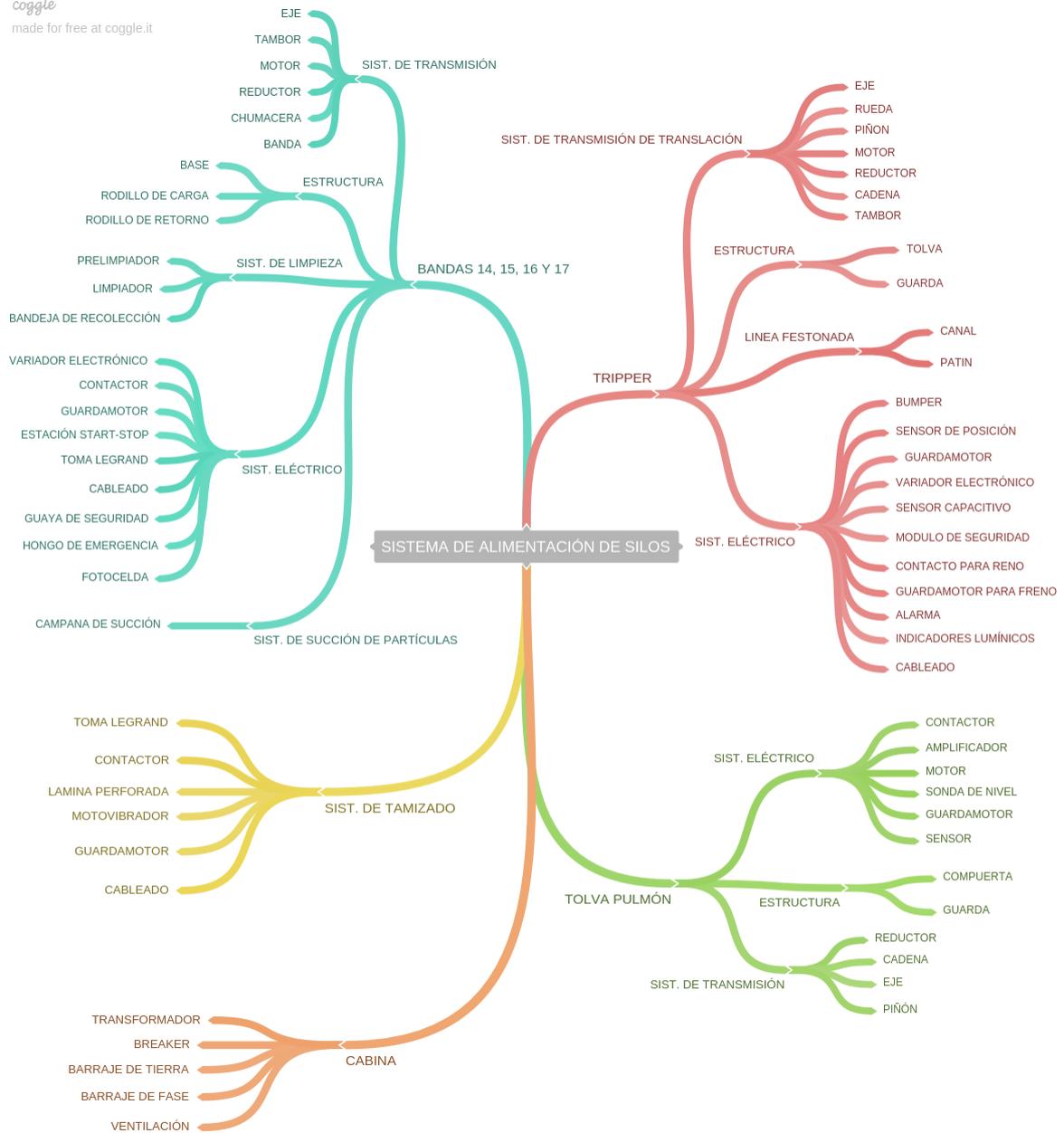


Diagrama 1. Taxonomía del equipo.

coggle
made for free at coggle.it



Elementos críticos.

Antes de empezar a hacer el análisis RCM, se debe definir cuáles son los elementos críticos del sistema, en base a una matriz de riesgos ya definida con anterioridad, la cual ira anexada a este informe, donde se analiza cada sistema, subsistema y componente, en base a su consecuencia y probabilidad de falla. En la tabla 2 se puede observar los elementos que, después de este análisis resultaron críticos; y los cuales serán analizados posteriormente.

Tabla 2. Elementos críticos.

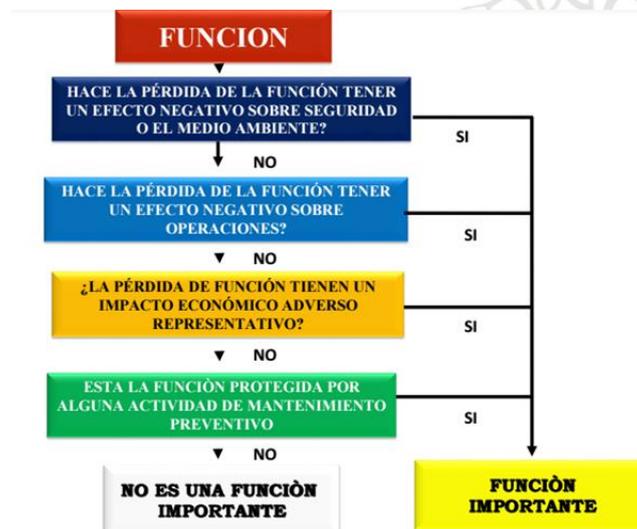
SISTEMA	SUBSISTEMA	COMPONENTES	NOMENCLATURA
BANDA 14	SIST. TRANSMISION	MOTOR	SAPS-BT14-ST-MT
		REDUCTOR	SAPS-BT14-ST-RD
		EJES	SAPS-BT14-ST-EJ
	ESTRUCTURA	RODILLOS DE CARGA	SAPS-BT14-SS-RC
		RODILLOS DE RETORNO	SAPS-BT14-SS-RR
BANDA 15	SIST. TANSMISION	MOTOR	SAPS-BT15-ST-MT
		REDUCTOR	SAPS-BT15-ST-RD
		EJES	SAPS-BT15-ST-EJ
	ESTRUCTURA	RODILLOS DE CARGA	SAPS-BT15-SS-RC
		RODILLOS DE RETORNO	SAPS-BT15-SS-RR
SIST. ELECTRICO	VARIADOR ELECTRONICO	SAPS-BT15-SE-VE	
BANDA 16	SIST. TANSMISION	MOTOR	SAPS-BT16-ST-MT
		REDUCTOR	SAPS-BT16-ST-RD
		EJES	SAPS-BT16-ST-EJ
	ESTRUCTURA	RODILLOS DE CARGA	SAPS-BT16-SS-RC
		RODILLOS DE RETORNO	SAPS-BT16-SS-RR
SIST. ELECTRICO	VARIADOR ELECTRONICO	SAPS-BT16-SE-VE	
BANDA17	SIST. TRANSMISION	MOTOR	SAPS-BT17-ST-MT
		REDUCTOR	SAPS-BT17-ST-RD
		EJES	SAPS-BT17-ST-EJ
	ESTRUCTURA	RODILLOS DE CARGA	SAPS-BT17-SS-RC
		RODILLOS DE RETORNO	SAPS-BT17-SS-RR
VARIADOR ELECTRONICO	SAPS-BT17-SE-VE		
TRIPPER	SIST. TRANSMISION DE TRANSLACION	MOTOR	SAPS-TRP-ST-MT
		REDUCTOR	SAPS-TRP-ST-RD
		EJES	SAPS-TRP-ST-EJ
	LINEA FESTONADA	PATIN	SAPS-TRP-SF-PT
	SIST. ELECTRICO	VARIADOR ELECTRONICO	SAPS-TRP-SE-VE
		BUMPER	SAPS-TRP-SE-BP
		CABLEADO	SAPS-TRP-SE-CB
BATERIA CPU		SAPS-TRP-SE-BT	
FUENTE	SAPS-TRP-SE-FT		

Funciones y fallas funcionales

Las dos primeras etapas del proceso RCM consiste en responder las siguientes preguntas ¿Cuáles son las funciones y parámetros de funcionamiento asociados al activo en el actual contexto operacional? y ¿De qué manera falla en satisfacer dichas funciones?

Para la primera abordamos lo que son las funciones de cada elemento, esto con el fin de comprender la existencia de este e identificar con mayor facilidad, cuando este se encuentra en un estado de falla. La metodología que se empleó, fue listar todas las funciones que tuviera cada elemento y someterla al árbol de decisión mostrado en el diagrama 2, para definir si esta era una función importante o no.

Diagrama 2. Árbol de decisión: Funciones importantes.



Para la segunda pregunta se plantearon las fallas funcionales asociadas a cada función que se determinó como importante, en estas se define cuáles son los estados de falla en los que se puede encontrar el elemento, saliendo del funcionamiento deseado de este. Para esto se tuvieron en cuenta tres tipos de fallas: Falla total, superior e inferior, y se definieron dependiendo de la tolerancia que se le diera al estándar de funcionamiento deseado en la función.

A continuación se listan todas las funciones importantes de cada elemento crítico y sus respectivas fallas funcionales:

- ✓ BANDA BT14 (SAS-BT14)
 - La banda avanza a una velocidad lineal de 52 m/min (± 2)
 - La banda no avanza
 - La banda avanza a una velocidad superior a 54 m/min
 - La banda avanza a una velocidad inferior a 50 m/min
 - La banda soportar una carga de 12 ton/h (± 1)
 - La banda no soporta ninguna carga
 - La banda soporta una carga inferior a 11 ton/h
- ✓ MOTOR (SAS-BT14-ST-MT)
 - El motor entrega una potencia de 1,8 HP (-0.2)
 - El motor no entrega ninguna potencia
 - El motor entregar una potencia inferior a 1.6 HP
 - El motor entrega una velocidad angular de 1725 RPM (± 25)
 - El motor no entrega ninguna velocidad angular
 - El motor entrega una velocidad angular mayor a 1750 RPM
 - El motor entrega una velocidad angular menor a 1700 RPM
- ✓ REDUCTOR (SAS-BT14-ST-RD)
 - El reductor transmite una potencia de 3,6 HP (-0.2)
 - El motor no transmite potencia
 - El motor transmite una potencia inferior a 3,4 HP
 - El reductor transmite una velocidad angular de 45 RPM (-2)
 - El reductor no transmite velocidad angular
 - El reductor transmite una velocidad angular menor a 43 RPM
- ✓ EJE (SAS-BT14-ST-EJ)
 - El eje transmite una potencia de 3,6 HP (-0.2)
 - El eje no transmite potencia
 - El eje transmite una potencia inferior a 3,4 HP
 - El eje transmite una velocidad angular de 45 RPM (-2)
 - El eje no transmite velocidad angular
 - El eje transmite una velocidad angular menor a 43 RPM
- ✓ RODAMIENTO DE RODILLO DE CARGA (SAS-BT14-SS-RC)
 - El rodamiento soportar una carga de 8 Kg (-1)
 - El rodamiento no soporta ninguna carga
 - El rodamiento soporta una carga menor a 7 Kg

- ✓ RODILLO DE RETORNO (SAS-BT14-SS-RR)
 - El rodillo alinea la banda
 - El rodillo no alinea la banda

- ✓ BANDA BT15 (SAS-BT15)
 - La banda avanza a una velocidad lineal de 52 m/min (± 2)
 - La banda no avanza
 - La banda avanza a una velocidad superior a 54 m/min
 - La banda avanza a una velocidad inferior a 50 m/min

 - La banda soporta una carga de 12 ton/h (± 1)
 - La banda no soporta ninguna carga
 - La banda soporta una carga inferior a 11 ton/h

- ✓ MOTOR (SAS-BT15-ST-MT)
 - El motor entrega una potencia de 4,8 HP (-0.2)
 - El motor no entrega ninguna potencia
 - El motor entregar una potencia inferior a 4,6 HP

 - El motor entrega una velocidad angular de 1725 RPM (± 25)
 - El motor no entrega ninguna velocidad angular
 - El motor entrega una velocidad angular mayor a 1750 RPM
 - El motor entrega una velocidad angular menor a 1700 RPM

- ✓ REDUCTOR (SAS-BT15-ST-RD)
 - El reductor transmite una potencia de 3,6 HP (-0.2)
 - El reductor no transmite potencia
 - El reductor transmite una potencia inferior a 3,4 HP

 - El reductor transmite una velocidad angular de 45 RPM (-2)
 - El reductor no transmite velocidad angular
 - El reductor transmite una velocidad angular menor a 43 RPM

- ✓ EJES (SAS-BT15-ST-EJ)
 - El eje transmite una potencia de 3,6 HP (-0.2)
 - El eje no transmite potencia
 - El eje transmite una potencia inferior a 3,4 HP

 - El eje transmite una velocidad angular de 45 RPM (-2)
 - El eje no transmite velocidad angular
 - El eje transmite una velocidad angular menor a 43 RPM

- ✓ RODAMIENTO DE RODILLO DE CARGA (SAS-BT15-SS-RC)
 - El rodamiento soporta una carga de 8 Kg (-1)
 - El rodamiento no soporta ninguna carga
 - El rodamiento soporta una carga inferior a 7 Kg

- ✓ RODILLO DE RETORNO (SAS-BT15-SS-RR)
 - El rodillo alinea la banda
 - El rodillo no alinea la banda

- ✓ VARIADOR ELECTRONICO (SAS-BT15-SE-VE)
 - El variador electrónico alimenta el motor a una frecuencia de 60 Hz (± 2)
 - El variador electrónico no alimenta el motor
 - El variador electrónico alimenta el motor a una frecuencia mayor a 62 Hz
 - El variador electrónico alimenta el motor a una frecuencia menor a 58 Hz

 - El variador electrónico suministra un voltaje de 440 V (± 20)
 - El variador electrónico no suministra ningún voltaje
 - El variador electrónico suministra un voltaje superior a 460 V
 - El variador electrónico suministra un voltaje inferior a 420 V

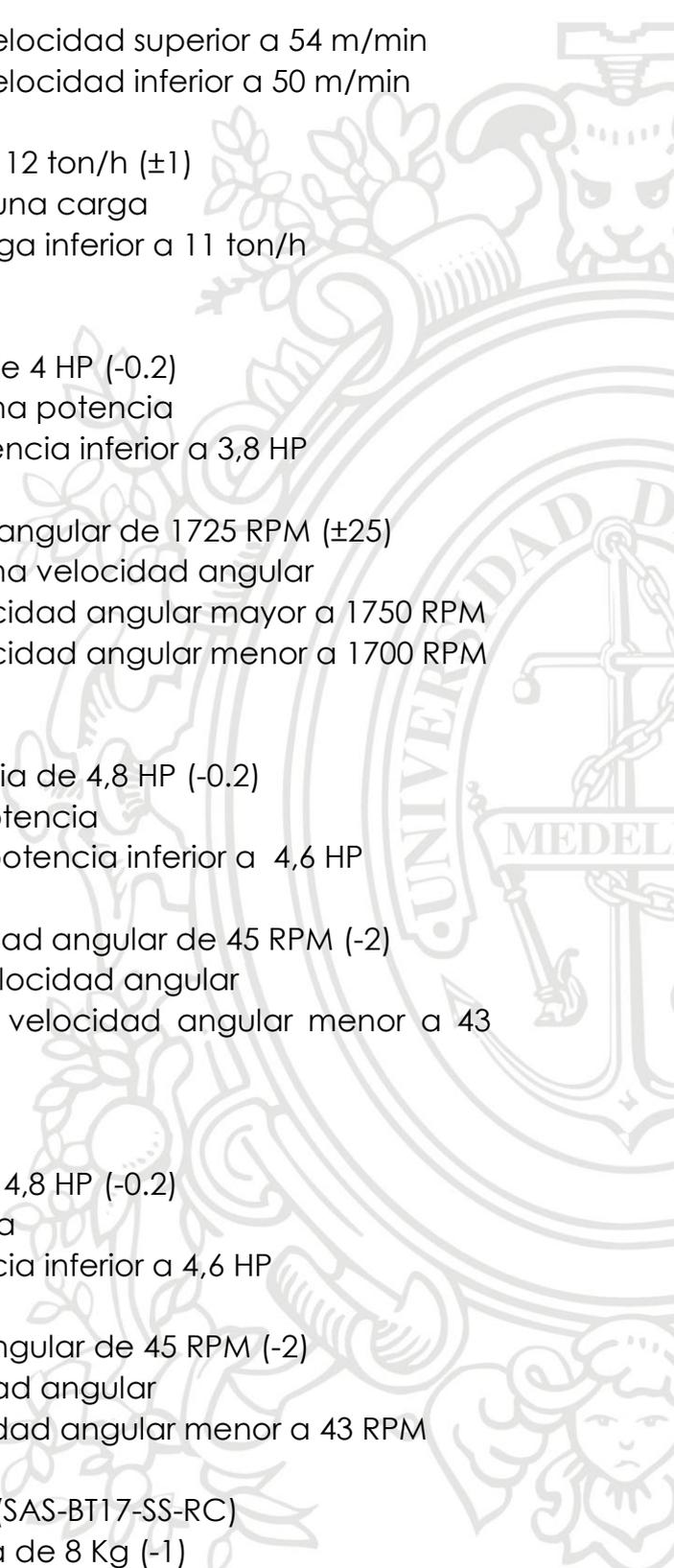
- ✓ BANDA BT16 (SAS-BT16)
 - La banda avanza a una velocidad lineal de 52 m/min (± 2)
 - La banda no avanza
 - La banda avanza a una velocidad superior a 54 m/min
 - La banda avanza a una velocidad inferior a 50 m/min

 - La banda soporta una carga de 12 ton/h (± 1)
 - La banda no soporta ninguna carga
 - La banda soporta una carga inferior a 11 ton/h

- ✓ MOTOR (SAS-BT16-ST-MT)
 - El motor entrega una potencia de 6,6 HP (-0.2)
 - El motor no entrega ninguna potencia
 - El motor entrega una potencia inferior a 6,4 HP

 - El motor entrega una velocidad angular de 1725 RPM (± 25)
 - El motor no entrega ninguna velocidad angular
 - El motor entrega una velocidad angular mayor a 1750 RPM
 - El motor entrega una velocidad angular menor a 1700 RPM

- ✓ REDUCTOR (SAS-BT16-ST-RD)
 - El reductor transmite una potencia de 6,4 HP (-0.2)
 - El reductor no transmite potencia
 - El reductor transmite una potencia inferior a 6,2 HP
 - El reductor transmite una velocidad angular de 42 RPM (-2)
 - El reductor no transmite velocidad angular
 - El reductor transmite una velocidad angular menor a 40 RPM
- ✓ EJE (SAS-BT16-ST-EJ)
 - El eje transmite una potencia de 6,4 HP (-0.2)
 - El eje no transmite potencia
 - El eje transmite una potencia inferior a 6,2 HP
 - El eje transmite una velocidad angular de 42 RPM (-2)
 - El eje no transmite velocidad angular
 - El eje transmite una velocidad angular menor a 40 RPM
- ✓ RODAMIENTO DE RODILLO DE CARGA (SAS-BT16-SS-RC)
 - El rodamiento soportar una carga de 8 Kg (-1)
 - El rodamiento no soporta ninguna carga
 - El rodamiento soporta una carga menor a 7 Kg
- ✓ RODILLOS DE RETORNO (SAS-BT16-SE-RR)
 - El rodillo alinea la banda
 - El rodillo no alinea la banda
- ✓ VARIADOR ELECTRONICO (SAS-BT16-SE-VE)
 - El variador electrónico alimenta el motor a una frecuencia de 60 Hz (± 2)
 - El variador electrónico no alimenta el motor
 - El variador electrónico alimenta el motor a una frecuencia mayor a 62 Hz
 - El variador electrónico alimenta el motor a una frecuencia menor a 58 Hz
 - El variador electrónico suministra un voltaje de 440 V (± 25)
 - El variador electrónico no suministra ningún voltaje
 - El variador electrónico suministra un voltaje superior a 460 V
 - El variador electrónico suministra un voltaje inferior a 420 V

- 
- ✓ BANDA BT17 (SAS-BT17)
 - La banda avanza a una velocidad lineal de 52 m/min (± 2)
 - La banda no avanza
 - La banda avanza a una velocidad superior a 54 m/min
 - La banda avanza a una velocidad inferior a 50 m/min
 - La banda soporta una carga de 12 ton/h (± 1)
 - La banda no soporta ninguna carga
 - La banda soporta una carga inferior a 11 ton/h
 - ✓ MOTOR (SAS-BT17-SE-MT)
 - El motor entrega una potencia de 4 HP (-0.2)
 - El motor no entrega ninguna potencia
 - El motor entregar una potencia inferior a 3,8 HP
 - El motor entrega una velocidad angular de 1725 RPM (± 25)
 - El motor no entrega ninguna velocidad angular
 - El motor entrega una velocidad angular mayor a 1750 RPM
 - El motor entrega una velocidad angular menor a 1700 RPM
 - ✓ REDUCTOR (SAS-BT17-SE-RD)
 - El reductor transmite una potencia de 4,8 HP (-0.2)
 - El reductor no transmite potencia
 - El reductor transmite una potencia inferior a 4,6 HP
 - El reductor transmite una velocidad angular de 45 RPM (-2)
 - El reductor no transmite velocidad angular
 - El reductor transmite una velocidad angular menor a 43 RPM
 - ✓ EJES (SAS-BT17-ST-EJ)
 - El eje transmite una potencia de 4,8 HP (-0.2)
 - El eje no transmite potencia
 - El eje transmite una potencia inferior a 4,6 HP
 - El eje transmite una velocidad angular de 45 RPM (-2)
 - El eje no transmite velocidad angular
 - El eje transmite una velocidad angular menor a 43 RPM
 - ✓ RODAMIENTO DE RODILLO DE CARGA (SAS-BT17-SS-RC)
 - El rodamiento soporta una carga de 8 Kg (-1)
 - El rodamiento no soporta ninguna carga
 - El rodamiento soporta una carga menor a 7 Kg

- ✓ RODILLO DE RETORNO (SAS-BT17-SS-RR)
 - El rodillo alinea la banda
 - El rodillo no alinea la banda

- ✓ VARIADOR ELECTRONICO (SAS-BT17-SE-VE)
 - El variador electrónico alimenta el motor a una frecuencia de 60 Hz (± 2)
 - El variador electrónico no alimenta el motor
 - El variador electrónico alimenta el motor a una frecuencia mayor a 62 Hz
 - El variador electrónico alimenta el motor a una frecuencia menor a 58 Hz

 - El variador electrónico suministra un voltaje de 440 V (± 25)
 - El variador electrónico no suministra ningún voltaje
 - El variador electrónico suministra un voltaje superior a 460 V
 - El variador electrónico suministra un voltaje inferior a 420 V

- ✓ TRIPPER (SAS-TRP)
 - El tripper avanza a una velocidad 0.22 m/min (± 0.02)
 - El tripper no avanza
 - El tripper avanza a una velocidad mayor a 0.22 m/min
 - El tripper avanza a una velocidad menor a 0.20 m/min

- ✓ MOTOR AUTOFRENANTE (SAS-TRP-ST-MT)
 - El motor entrega una potencia de 2,4 HP (-0.2)
 - El motor no entrega ninguna potencia
 - El motor entregar una potencia inferior a 2,2 HP

 - El motor entrega una velocidad angular de 750 RPM (± 25)
 - El motor no entrega ninguna velocidad angular
 - El motor entrega una velocidad angular mayor a 775 RPM
 - El motor entrega una velocidad angular menor a 725 RPM

- ✓ REDUCTOR (SAS-TRP-ST-RD)
 - El reductor transmite una potencia de 1.8 HP (-0.2)
 - El reductor no transmite potencia
 - El reductor transmite una potencia inferior a 1.6 HP

 - El reductor transmite una velocidad angular de 45 RPM (-2)
 - El reductor no transmite velocidad angular
 - El reductor transmite una vel. angular mayor a 47 RPM
 - El reductor transmite una vel. angular menor a 43 RPM

- ✓ EJE (SAS-TRP-ST-EJ)
 - El eje transmite una potencia de 1.8 HP (-0.2)
 - El eje no transmite potencia
 - El eje transmite una potencia inferior a 1.6 HP
 - El eje transmite una velocidad angular de 45 RPM (-2)
 - El eje no transmite velocidad angular
 - El eje transmite una velocidad angular mayor a 47 RPM
 - El eje transmite una velocidad angular menor a 43 RPM
- ✓ PATIN (SAS-TRP-SF-PT)
 - El patín soporta una carga de 1.5 Kg
 - El patín no soporta ninguna carga
- ✓ VARIADOR ELECTRONICO (SAS-TRP-SE-VE)
 - El variador electrónico alimenta el motor a una frecuencia de 25 Hz (± 2)
 - El variador electrónico no alimenta el motor
 - El variador electrónico alimenta el motor a una frecuencia mayor a 27 Hz
 - El variador electrónico alimenta el motor a una frecuencia menor a 23 Hz
 - El variador electrónico suministra un voltaje 440 V (± 20)
 - El variador electrónico no suministra ningún voltaje
 - El variador electrónico suministra un voltaje superior a 460 V
 - El variador electrónico suministra un voltaje inferior a 420 V
- ✓ BUMPER (SAS-TRP-SE-BP)
 - El bumper indica un impacto de una fuerza desde 72 N (± 5)
 - El bumper no indica ningún impacto
 - El bumper indica un impacto de una fuerza mayor de 77 N
 - El bumper indica un impacto de una fuerza menor a 67 N
 - El bumper protege de un impacto de máximo 200 N (-20)
 - El bumper no protege de ningún impacto
 - El bumper protege de un impacto inferior a 180 N
- ✓ CABLE (SAS-TRP-SE-CB)
 - El cable transporta un voltaje de 440 V (-20)
 - El cable no transporta voltaje
 - El cable transporta un voltaje menor a 420 V

- ✓ BATERIA CPU (SAS-TRP-SE-BT)
 - La batería genera un voltaje de 3,6 V (-0.3)
 - La batería no genera voltaje
 - La batería genera un voltaje menor s 3,3 V

- ✓ FUENTE (SAS-TRP-SE-FT)
 - La fuente genera un voltaje de 24 V (± 2)
 - La fuente no genera voltaje
 - La fuente genera un voltaje mayor a 26 V
 - La fuente genera un voltaje menor a 22 V

Análisis de causa raíz.

Para dar respuesta a la siguiente pregunta del análisis RCM, ¿Cuál es la causa de cada falla funcional?, se realiza un análisis de causa raíz de cada una de las fallas funcionales que se listaron anteriormente, hasta llegar a la causa inicial de estas. A continuación, en los diagramas 3 al 22, se realiza este análisis.

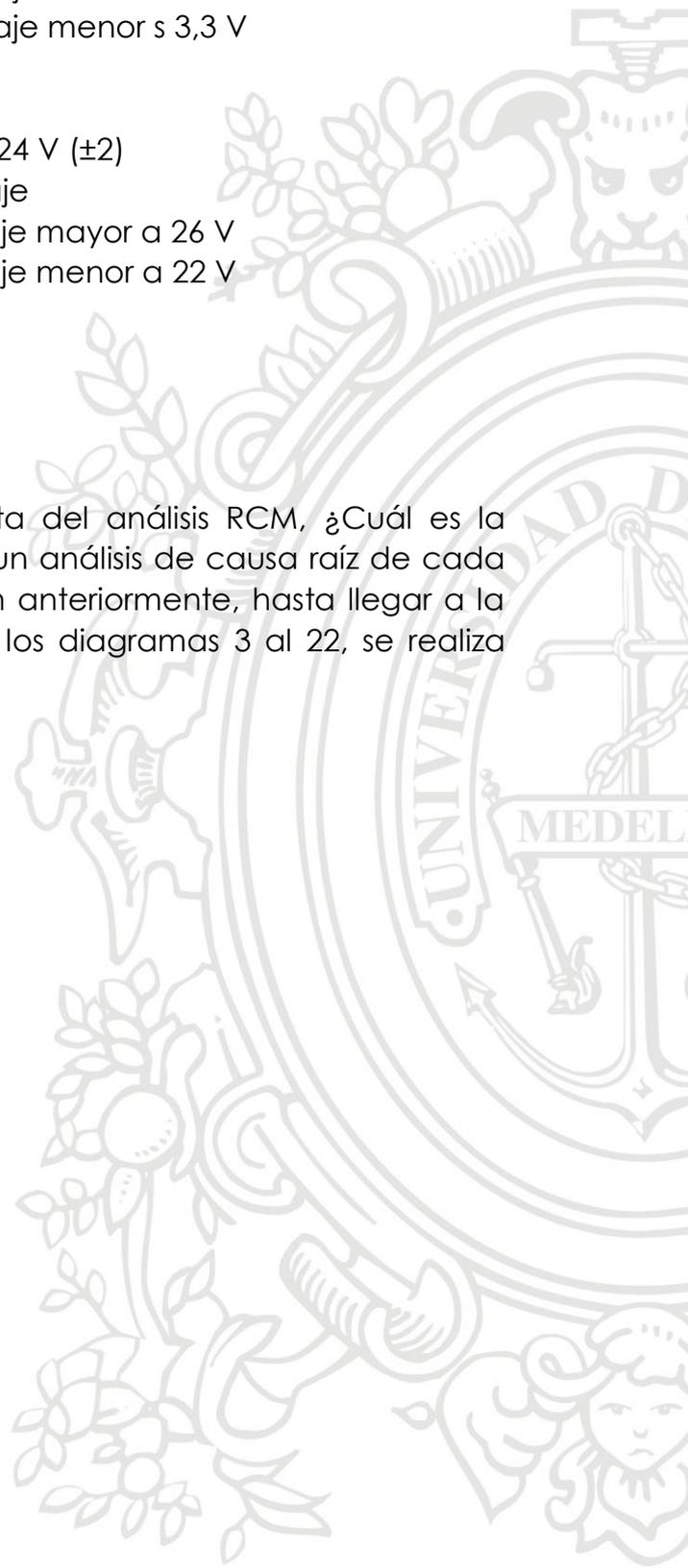


Diagrama 3. Análisis causa-raíz: El motor no entrega potencia o velocidad.

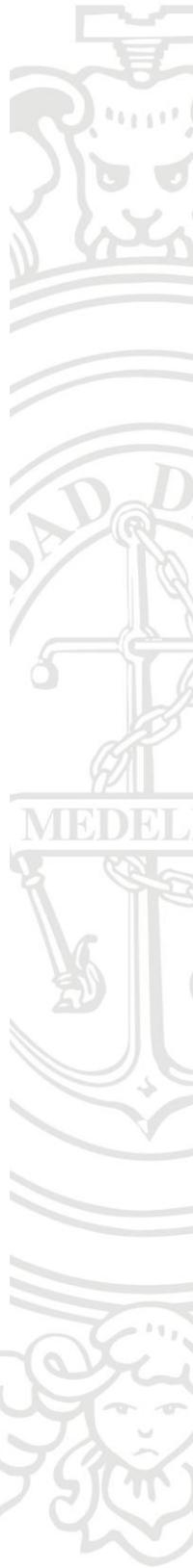
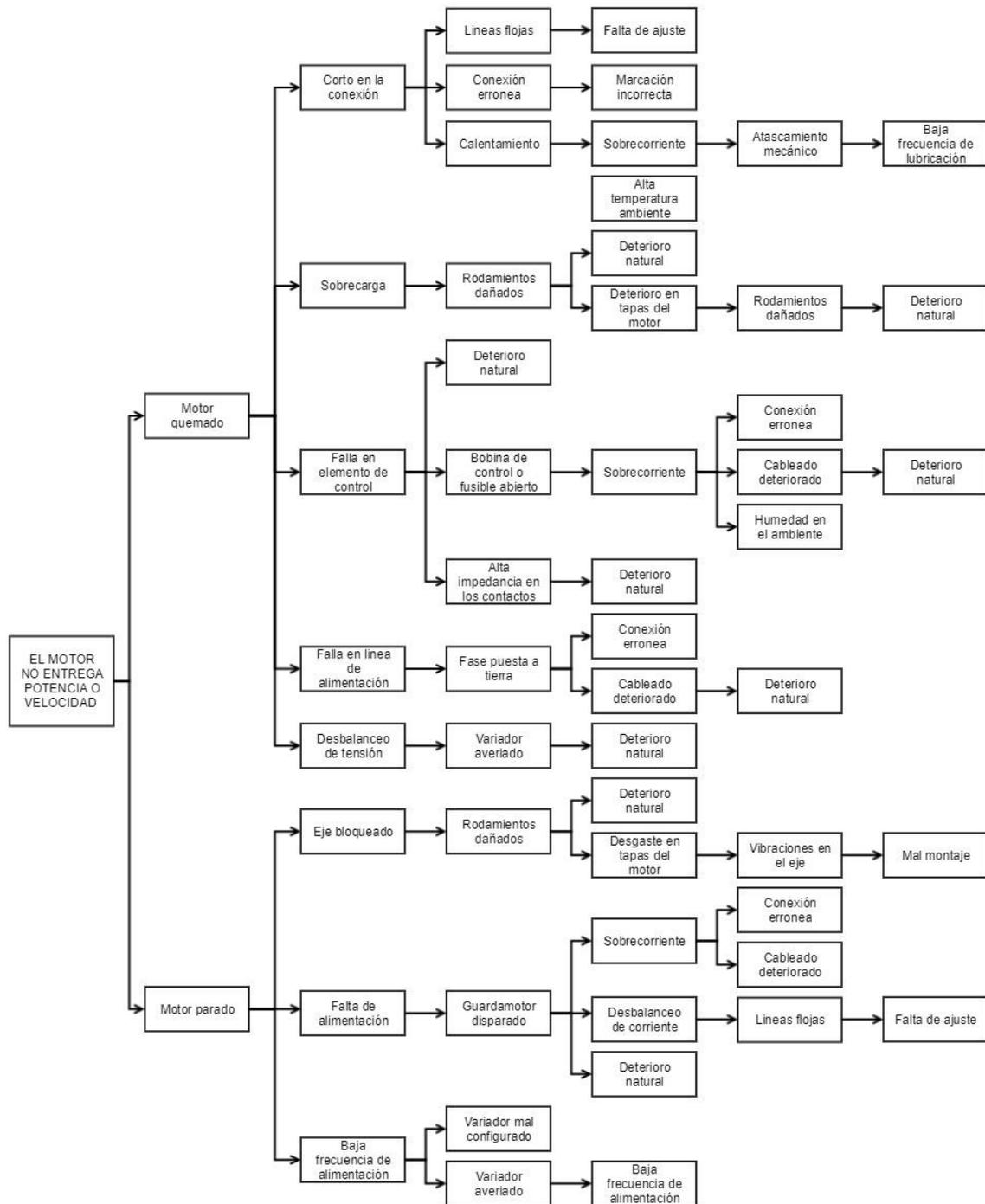


Diagrama 4. Análisis causa-raíz: El motor entrega una potencia o velocidad inferior.

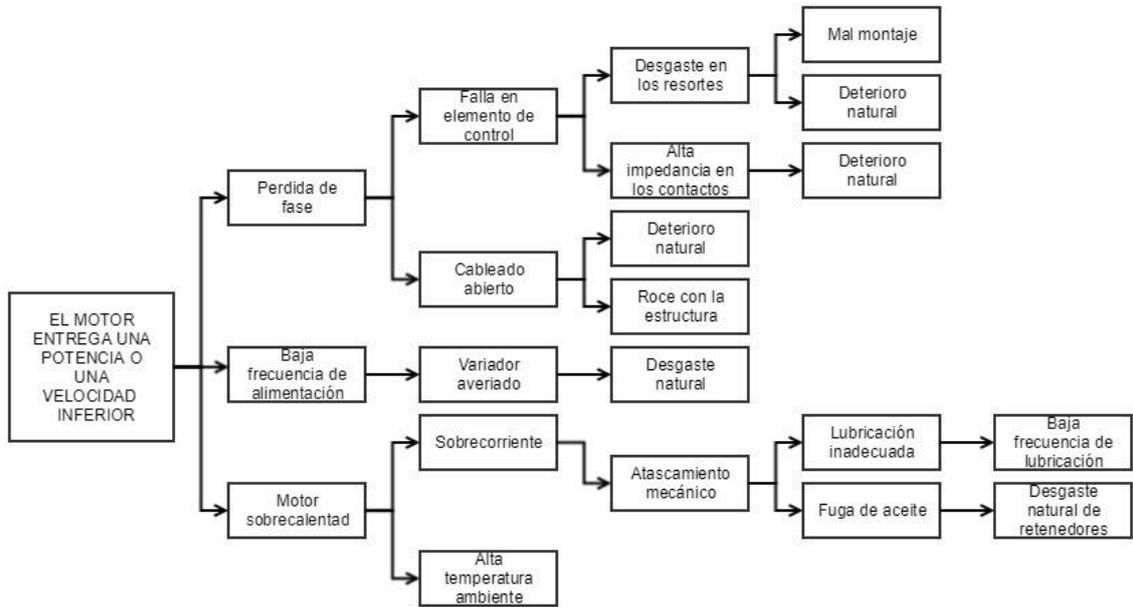


Diagrama 5. Análisis causa-raíz: El reductor no transmite potencia o velocidad.

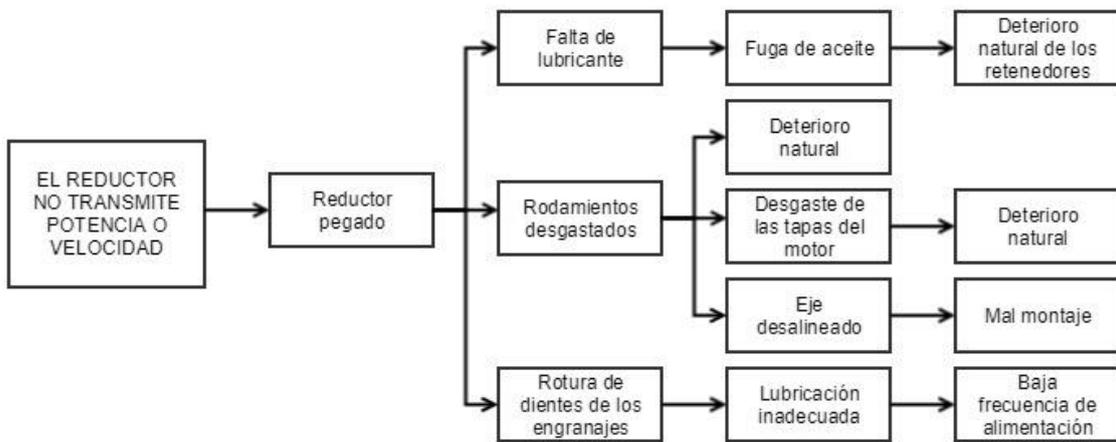


Diagrama 6. Análisis causa-raíz: El reductor transmite una potencia o velocidad inferior.

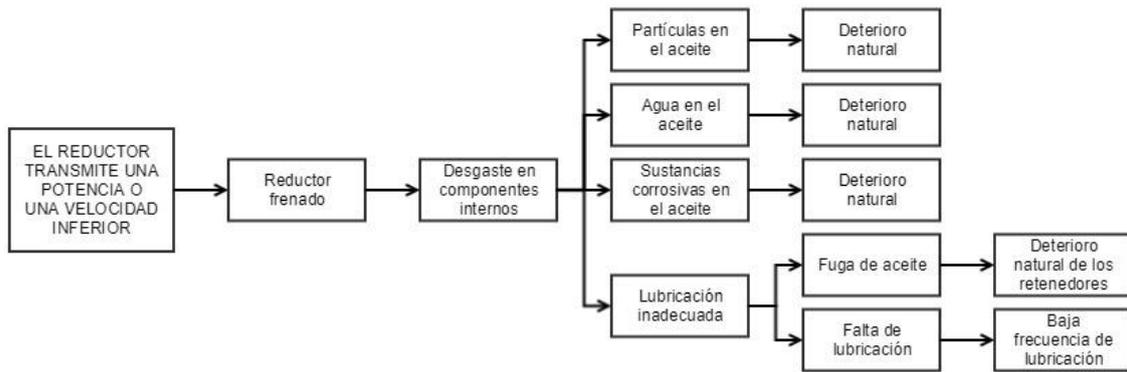


Diagrama 7. Análisis causa-raíz: El eje no transmite potencia o velocidad.



Diagrama 8. Análisis causa-raíz: El eje transmite una potencia o velocidad inferior.

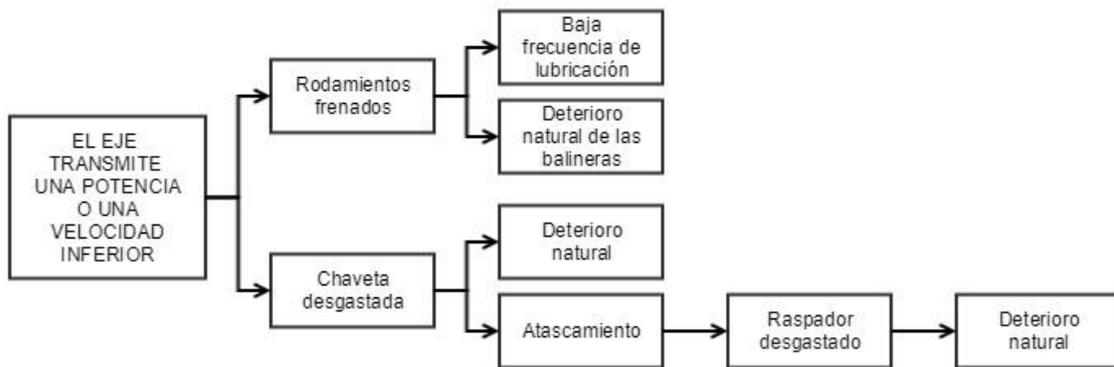


Diagrama 9. Análisis causa-raíz: El rodamiento no soporta ninguna carga.

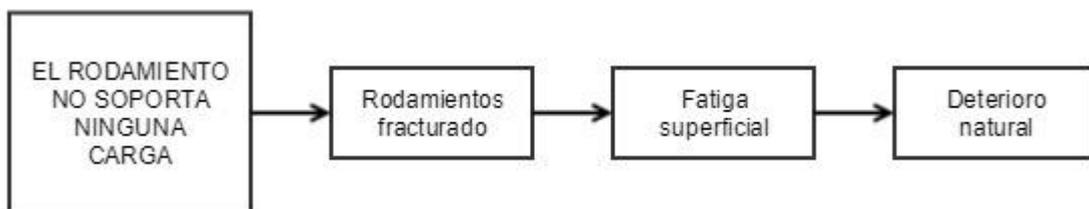


Diagrama 10. Análisis causa-raíz: El rodamiento soporta una carga inferior.

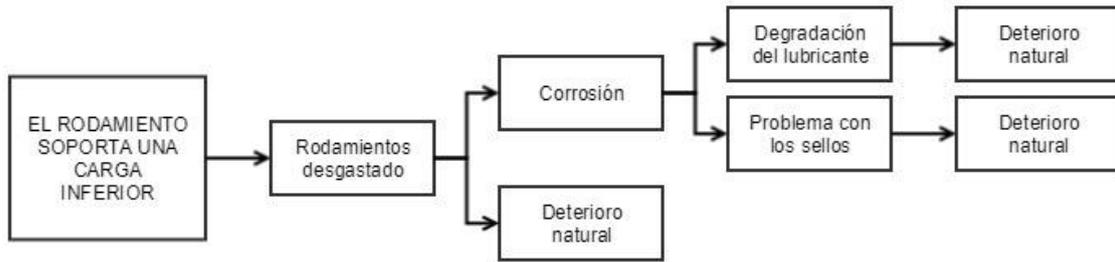


Diagrama 21. Análisis causa-raíz: El variador electrónico no alimenta el motor ni suministra voltaje.

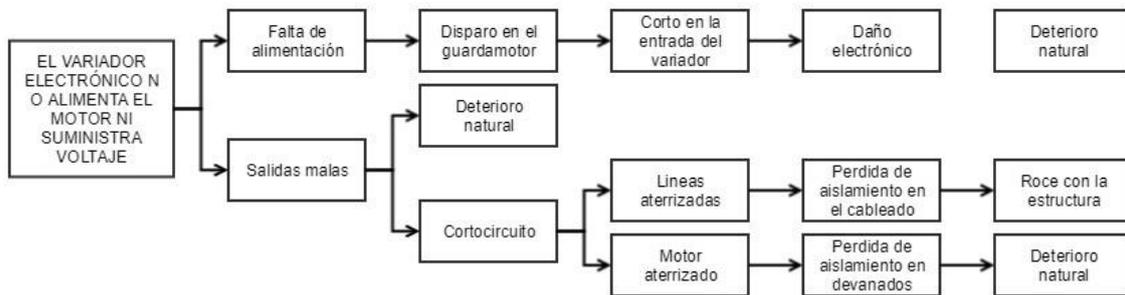


Diagrama 13. Análisis causa-raíz: El variador electrónico alimenta el motor a una frecuencia mayor.

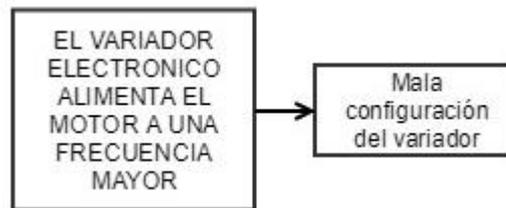


Diagrama 14. Análisis causa-raíz: El variador electrónico alimenta el motor a una frecuencia menor.

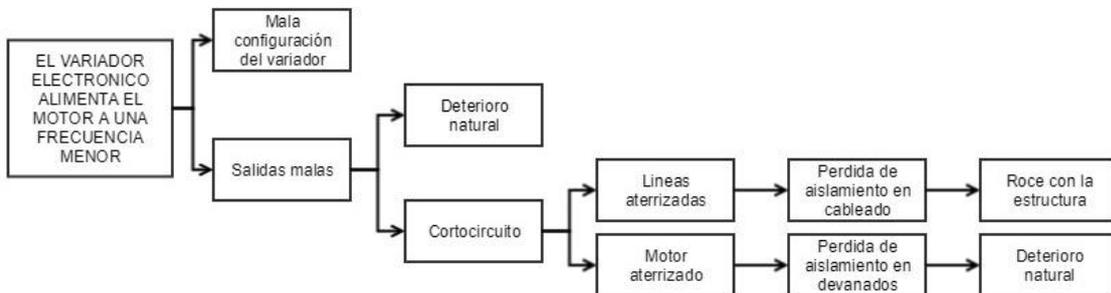


Diagrama 15. Análisis causa-raíz: El variador electrónico suministra un voltaje superior o inferior.

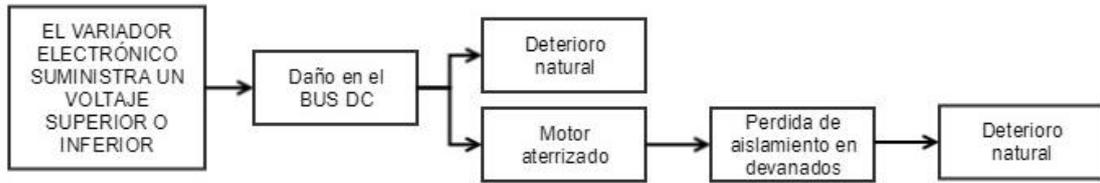


Diagrama 16. Análisis causa-raíz: El patín no soporta ninguna carga.

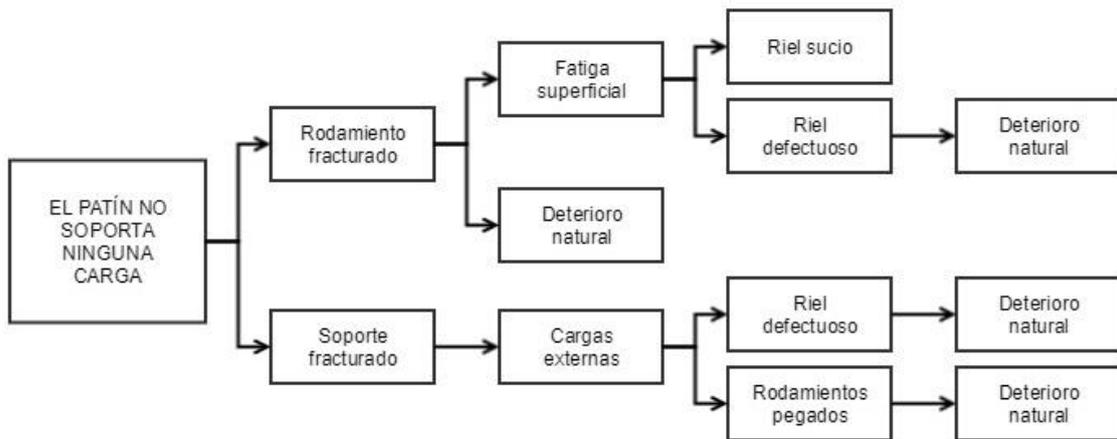


Diagrama 17. Análisis causa-raíz: El cableado no transporta voltaje.

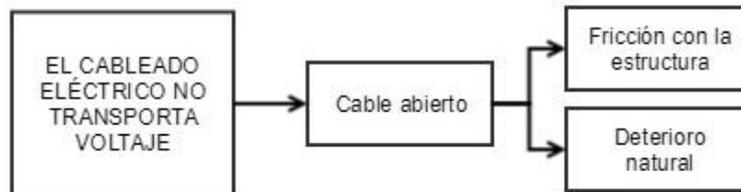


Diagrama 18. Análisis causa-raíz: El cableado transporta un voltaje menor.



Diagrama 18. Análisis causa-raíz: La batería CPU no genera voltaje.

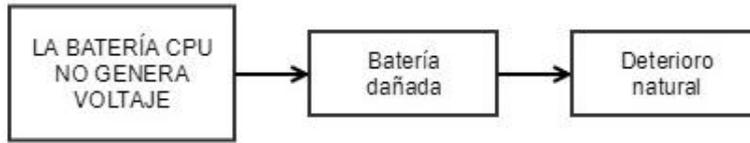


Diagrama 19. Análisis causa-raíz: La batería CPU genera un voltaje menor.

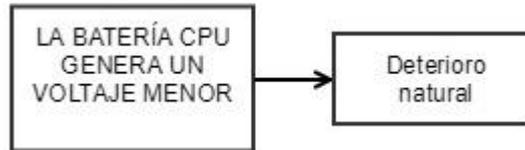


Diagrama 20. Análisis causa-raíz: La fuente no genera voltaje.



Diagrama 21. Análisis causa-raíz: La fuente genera un voltaje mayor.

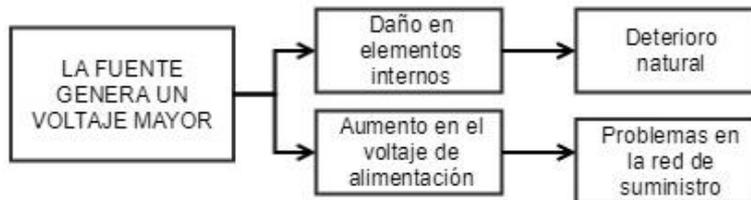
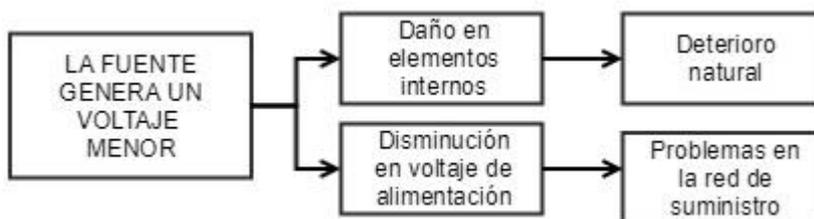


Diagrama 22. Análisis causa-raíz: La fuente genera un voltaje menor.



Modos de falla.

Después de realizar el análisis anterior, a continuación se listan todos los modos de fallas encontrados.

- ✓ Motor quemado por falta de ajuste en las líneas
- ✓ Motor quemado por marcación errónea de las conexiones
- ✓ Motor quemado por frecuencia inadecuada de lubricación del reductor
- ✓ Motor quemado por alta temperatura en el ambiente
- ✓ Motor quemado por deterioro natural de los rodamientos
- ✓ Motor quemado por deterioro natural de las tapas del motor
- ✓ Motor quemado por deterioro natural del elemento de control
- ✓ Motor quemado por conexión errónea al elemento de control
- ✓ Motor quemado por cableado de elemento de control deteriorado
- ✓ Motor quemado por desgaste natural del cable de la línea de alimentación
- ✓ Motor quemado por desgaste natural del variador
- ✓ Motor parado por conexión errónea del guardamotor
- ✓ Motor parado por cableado del guardamotor deteriorado
- ✓ Elemento de control deteriorado por mal montaje de los resortes
- ✓ Elemento de control deteriorado por desgaste natural de los resortes
- ✓ Elemento de control deteriorado por desgaste natural
- ✓ Cableado abierto por deterioro natural
- ✓ Variador averiado por deterioro natural
- ✓ Motor sobrecalentado por baja frecuencia de lubricación
- ✓ Motor sobrecalentado por deterioro natural de los retenedores
- ✓ Motor sobrecalentado por alta temperatura ambiente
- ✓ Reductor pegado por desgaste natural de los retenedores
- ✓ Reductor pegado por baja frecuencia de lubricación
- ✓ Reductor pegado por desgaste natural de los rodamientos
- ✓ Reductor pegado por desgaste natural de las tapas del motor
- ✓ Reductor frenado por presencia de partículas en el aceite
- ✓ Reductor frenado por presencia de agua en el aceite
- ✓ Reductor frenado por presencia de sustancias corrosivas en el aceite
- ✓ Reductor frenado por retenedores desgastados
- ✓ Reductor frenado por baja frecuencia de lubricación
- ✓ Cuña rota por desgaste natural del cuñero
- ✓ Rodamiento frenado por baja frecuencia de lubricación
- ✓ Rodamiento frenado por desgaste natural de las balineras
- ✓ Chaveta desgastada por deterioro natural
- ✓ Chaveta desgastada por deterioro natural del raspador
- ✓ Chaveta desgastada por deterioro natural de los rodamientos

- ✓ Chaveta desgastada por baja frecuencia de lubricación de los rodamientos
- ✓ Rodamiento fracturado por deterioro natural
- ✓ Rodamiento desgastado por degradación del lubricante
- ✓ Rodamiento desgastado por sellos deficientes
- ✓ Rodamiento desgastado por deterioro natural
- ✓ Salidas deterioradas por desgaste natural
- ✓ Salidas deterioradas por roce del cableado con la estructura
- ✓ Salidas deterioradas por deterioro natural del aislamiento de los devanados del motor
- ✓ BUS DC dañado por deterioro natural
- ✓ BUS DC dañado por deterioro natural del aislamiento de los devanados del motor
- ✓ Rodamiento fracturado por riel sucio
- ✓ Rodamiento fracturado por deterioro natural del riel
- ✓ Rodamiento fracturado por deterioro natural
- ✓ Soporte fracturado por desgaste natural del riel
- ✓ Soporte fracturado por desgaste natural de los rodamientos del patín
- ✓ Cable abierto por desgaste natural
- ✓ Cable abierto por fricción con la estructura
- ✓ Conexiones deficientes por bornera del motor desajustadas
- ✓ Conexiones deficientes por bornes del motor sulfatado

Actividades de mantenimiento.

Para terminar el análisis RCM, se tomaron cada uno de los modos de falla que arrojó el análisis de causa raíz y se definieron actividades de mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo, que permitieran reducir significativamente el riesgo de falla.

A continuación, en la tabla 3, se listan las actividades de mantenimiento correspondientes a cada sistema.

Tabla 3. Actividades de mantenimiento.

SISTEMA	ACTIVIDAD	FRECUENCIA (DIAS)	DESCRIPCION
BANDA 14	Inspección la temperatura del motor	30	Que la temperatura no supere los 70° C
	Inspección de rodamientos	30	Verificar que la aceleración envolvente no supere 1.95 gE (Programar cambio si esta medida se supera)
		30	Chaquear con estetoscopio que no presente cascabeleo
	Inspección de tapas del motor	30	Verificar que la aceleración envolvente no supere 1.95 gE
		30	Verificar ajuste en tapas y rodamientos (Programar rectificación de tapas)
	Inspección de fugas	30	Verificar que no se presenten fugas en el reductor y cambiar sello si es necesario
	Inspección de estado de aceite	45	Ajustar hasta asegurar que no se presente juego
	Ajustar líneas	60	Completar si no está en el nivel adecuado
	Inspección de nivel de lubricante en reductor	60	Asegurar que no supere 1 Ohm
	Inspección contactos del contactor estando accionado	60	Asegurarse que el raspador no interfiera en el movimiento de la banda
	Inspección en marcación de líneas	90	Inspeccionar la temperatura con cámara termografía, asegurándose que no supere 50° C, en caso contrario ajustar las líneas
	Inspección de aislamiento del cableado de elemento de control	90	Inspección visual del estado del cable
		90	Inspeccionar la temperatura con cámara termografía, asegurándose que no supere 50° C, en caso contrario ajustar las líneas
	Inspección de aislamiento del cableado del	90	

	guardamotor		
	Lubricar rodamientos	90	
	Ajuste de bornera al motor	90	Verificar que la bornera no presente juego
	Cambio de aceite	365	
	Inspección de aislamiento interno del motor	365	Verificar con el meguer que el valor del aislamiento sea superior a 100 MΩ
	Cambio de retenedores	720	O cuando se encuentren cristalizados
BANDA 15	Inspeccionar la temperatura del motor	30	Que la temperatura no supere los 70° C
	Inspección de rodamientos	30	Verificar que la aceleración envolvente no supere 1.95 gE (Programar cambio si esta medida se supera)
		30	Chaquear con estetoscopio que no presente cascabeleo
	Inspección de tapas del motor	30	Verificar que la aceleración envolvente no supere 1.95 gE
		30	Verificar ajuste en tapas y rodamientos (Programar rectificación de tapas)
	Inspección de fugas	30	Verificar que no se presenten fugas en el reductor y cambiar sello si es necesario
	Inspección de estado de aceite	45	Ajustar hasta asegurar que no se presente juego
	Ajustar líneas	60	Completar si no está en el nivel adecuado
	Inspección de nivel de lubricante en reductor	60	Asegurar que no supere 1 Ohm
	Inspección en marcación de líneas	90	Inspeccionar la temperatura con cámara termográfica, asegurándose que no supere 50° C, en caso contrario ajustar las líneas
	Inspección de aislamiento del cableado del guardamotor	90	
	Lubricar	90	

	rodamientos		
	Ajuste de bornera al motor	90	Verificar que la bornera no presente juego
	Cambio de aceite	365	
	Inspección de aislamiento interno del motor	365	Verificar con el megger que el valor del aislamiento sea superior a 100 MΩ
	Cambio de retenedores	720	O cuando se encuentren cristalizados
	Cambio del variador electrónico		Cuando falle
BANDA 16	Inspeccionar la temperatura del motor	30	Que la temperatura no supere los 70° C
	Inspección de rodamientos	30	Verificar que la aceleración envolvente no supere 1.95 gE (Programar cambio si esta medida se supera)
		30	Chaquear con estetoscopio que no presente cascabeleo
	Inspección de tapas del motor	30	Verificar que la aceleración envolvente no supere 1.95 gE
		30	Verificar ajuste en tapas y rodamientos (Programar rectificación de tapas)
	Inspección de fugas	30	Verificar que no se presenten fugas en el reductor y cambiar sello si es necesario
	Inspección de estado de aceite	45	Ajustar hasta asegurar que no se presente juego
	Ajustar líneas	60	Completar si no está en el nivel adecuado
	Inspección de nivel de lubricante en reductor	60	Asegurar que no supere 1 Ohm
	Inspección en marcación de líneas	90	Inspeccionar la temperatura con cámara termográfica, asegurándose que no supere 50° C, en caso contrario ajustar las líneas
	Inspección de aislamiento del cableado del guardamotor	90	
	Lubricar	90	

	rodamientos		
	Ajuste de bornera al motor	90	Verificar que la bornera no presente juego
	Cambio de aceite	365	
	Inspección de aislamiento interno del motor	365	Verificar con el megger que el valor del aislamiento sea superior a 100 MΩ
	Cambio de retenedores	720	O cuando se encuentren cristalizados
	Cambio del variador electrónico		Cuando falle
BANDA 17	Inspeccionar la temperatura del motor	30	Que la temperatura no supere los 70° C
	Inspección de rodamientos	30	Verificar que la aceleración envolvente no supere 1.95 gE (Programar cambio si esta medida se supera)
		30	Chaquear con estetoscopio que no presente cascabeleo
	Inspección de tapas del motor	30	Verificar que la aceleración envolvente no supere 1.95 gE
		30	Verificar ajuste en tapas y rodamientos (Programar rectificación de tapas)
	Inspección de fugas	30	Verificar que no se presenten fugas en el reductor y cambiar sello si es necesario
	Inspección de estado de aceite	45	Ajustar hasta asegurar que no se presente juego
	Ajustar líneas	60	Completar si no está en el nivel adecuado
	Inspección de nivel de lubricante en reductor	60	Asegurar que no supere 1 Ohm
	Inspección del ajuste entre raspador y la banda	60	
	Inspección en marcación de líneas	90	Inspeccionar la temperatura con cámara termográfica, asegurándose que no supere 50° C, en caso contrario ajustar las líneas

	Inspección de aislamiento del cableado del guardamotor	90	
	Lubricar rodamientos	90	
	Ajuste de bornera al motor	90	Verificar que la bornera no presente juego
	Cambio de aceite	365	
	Inspección de aislamiento interno del motor	365	Verificar con el meguer que el valor del aislamiento sea superior a 100 MΩ
	Cambio de retenedores	720	O cuando se encuentren cristalizados
	Cambio del variador electrónico		Cuando falle
TRIPPER	Inspección de roces con la estructura	30	Verificar que durante el movimiento de tripper, el cableado no presente roces con la estructura
	Inspección contactos del contactor estando accionado	60	Asegurarse que el raspador no interfiera en el movimiento de la banda
	Limpieza del riel	60	Verificar que la superficie no presente irregularidades
	Inspección del estado del riel	60	Verificar que la longitud del cable sea mayor a la de la cadena
	Inspección del estado de la cadena y el cable	60	Verificar que el aislamiento no presente fisuras ni grietas
	Inspección del aislamiento en el cableado	60	Si no cumple con el Retie, asegurar que la tierra este marcada
	Inspección de aislamiento del cableado de elemento de control	90	Inspección visual del estado del cable
		90	Inspeccionar la temperatura con cámara termografica, asegurándose que no supere 50° C, en caso contrario ajustar las lineas
	Cambio de patín completo	1080	

CONCLUSIONES

- Las actividades que se obtuvieron mediante este trabajo, que se encuentran consignadas en el apartado Resultados y análisis – Actividades de mantenimiento, permiten iniciar un proceso de validación de su efecto en la disponibilidad y confiabilidad del activo.
- Debido a que el modelo requiere el acompañamiento del personal de mantenimiento y este a su vez es requerido en las labores de planta, el análisis del activo se vio afectado por la irregularidad en los encuentros y la inestabilidad de los mismos, por lo que se propone asignar un rango de tiempo para el personal en el cual su prioridad es el análisis.
- A pesar de las dificultades para realizar sesiones de formación efectivas y constantes, se logró entregar las herramientas básicas para el mantenimiento basado en confiabilidad al personal técnico de la planta. Esto se puede evidenciar en la construcción puntual y eficaz de funciones, fallas, análisis de causa raíz y la definición de las actividades de mantenimiento, con el acompañamiento del personal técnico.
- Gracias al alto conocimiento de los equipos y del proceso por parte del personal técnico, se logró realizar una taxonomía detallada y ventajosa del activo, permitiendo afianzar la metodología.
- Se lograron identificar 61 funciones importantes, las cuales enmarcaron el análisis de este trabajo.
- Se identificaron las fallas funcionales y se realizó un análisis de causa raíz, que permitió determinar las actividades de mantenimiento propuestas por la metodología para minimizar la probabilidad de ocurrencia de estas fallas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] <http://mantenimientopetroquimica.com/index.php/el-objetivo-del-rcm-y-las-fases-del-proceso>
- [2] Sanmartín, J., & Orrego, J. C. (2015). Instructivo desarrollo Matriz de Riesgos. Girardota.
- [3] SHEN, R. Implementación de una Identificación correcta de sus activos. Santiago, Chile.
- [4] Org, I. (15 de 12 de 2006). Petroleum and natural gas industries — Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment. Recuperado el 2017, de http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=36979
- [5] MOUBRAY, John. Mantenimiento centrado en confiabilidad. Carolina del Norte, Estados Unidos: Aladon LLC, 1991.



ANEXOS

Matriz de Riesgos.

FRECUENCIA	5	200	400	600	800	1000	<table border="1"> <tr> <td style="background-color: red;"></td> <td>Catastrófico</td> </tr> <tr> <td style="background-color: brown;"></td> <td>Crítico</td> </tr> <tr> <td style="background-color: yellow;"></td> <td>Medio</td> </tr> <tr> <td style="background-color: lightgreen;"></td> <td>Bajo</td> </tr> <tr> <td style="background-color: green;"></td> <td>Despreciable</td> </tr> </table>		Catastrófico		Crítico		Medio		Bajo		Despreciable
		Catastrófico															
		Crítico															
		Medio															
		Bajo															
	Despreciable																
4	160	320	480	640	800												
3	120	240	360	480	600												
2	80	160	240	320	400												
1	10	80	120	160	200												
	40	80	120	160	200												
	SEVERIDAD																

 Probabilidad Ocurrencia		Pisos & Paredes				
		GIRARDOTA ANT - 2018				
		Seguridad	Producción	Calidad	Medio Ambiente	Mantenimiento
	Frecuente [5]	Ocurre al menos 1 vez cada semana	Ocurre al menos 1 vez cada semana	Ocurre al menos 1 vez cada semana	Ocurre al menos 2 veces cada semana	Ocurre 2 veces cada semana
	Probable [4]	Ocurre una vez cada 3 meses	Ocurre al menos 1 vez cada 3 meses	Ocurren al menos 1 vez cada 3 meses	Ocurre una vez cada 3 meses	Ocurren al menos 1 vez cada 3 meses
	Ocasional [3]	Ocurre 1 vez cada 6 meses	Ocurre 1 al menos vez en un lapso de tiempo entre 3 y 6 meses	Ocurre 1 al menos vez en un lapso de tiempo entre 3 y 6 meses	Ocurre cada 6 meses	Ocurre 1 vez cada 6 meses
	Remoto [2]	Ocurre al menos 2 veces cada año	Ocurre al menos 1 vez en un lapso de tiempo entre 6 a 12 meses	Ocurre una vez en un lapso de tiempo entre 1 y 5 años	Ocurre una vez cada año	Ocurre una vez en un lapso de tiempo entre 1 y 5 años
	Improbable [1]	No se registra en los últimos 5 años	Ocurre al menos 1 vez cada 1 o más años	Ocurre 1 vez cada 5 años o más	No se tiene registro en los últimos 5 años	Ocurre 1 vez cada 5 años o más

		Aspectos de Impacto			Pisos & Paredes	
					GIRARDOTA ANT - 2018	
		Seguridad	Producción	Calidad	Medio Ambiente	Mantenimiento
	Catastrófico	Una muerte, y/o daño a la propiedad, equipos materiales o procesos propios o de terceros por valor superior a 500 millones de pesos.	<ol style="list-style-type: none"> EGP inferior al 80%. Rotura cocida superior al 6.5% de la producción. 	<ol style="list-style-type: none"> Metros cuadrados producidos bajo especificaciones inferior al 91,5% (calidad). Reclamos superiores a 15.000m2/año (1250 m2/mes). 	<ol style="list-style-type: none"> 1 o más parámetros fuera los parámetros exigidos por la resolución 631 de 2015. Captación superior a lo definido por autoridad ambiental 15.5 lts/seg. Emisión de material particulado (MP), NOx y/o ácido fluorhídrico (HF) y clorhídrico (HCL) por fuera de la norma en cada fuente: MP > 250 mg/m3 NOx > 550 mg/m3 HCL > 40 mg/m3 HF > 8 mg/m3 	<ol style="list-style-type: none"> Una avería por más de 50 millones de pesos. No contar con redundancias.
		40	35	30	25	30
	Crítico	Lesión que genera Incapacidad grave permanente, enfermedad Profesional (EP graves y progresivas), y/o daño a la propiedad, equipos materiales o procesos propios o de terceros inferiores a 500 millones de pesos y superiores a 100 millones de pesos.	<ol style="list-style-type: none"> EGP Superior al 80% e inferior al 85,5%. Rotura cocida inferior a 6.5% y superior a 6.2% de la producción. 	<ol style="list-style-type: none"> Metros cuadrados producidos bajo especificaciones entre 91,5% y 92%. Reclamos superiores a 9.480 m2/año e inferiores 15.000 m2/año. 	<ol style="list-style-type: none"> 1 o más parámetros a cercanos un 96% al límite definido en resolución 631 de 2015. Captación bajo un 10% a lo definido por autoridad ambiental. Emissiones en cada fuente: 550>NOx>440mg/m3 250>MP> 225mg/m3 8>HCL>7.6 mg/m3 40>HF>38 mg/m3 	<ol style="list-style-type: none"> Una avería entre 10 y 50 millones de pesos. Se tiene redundancias pero son compartidas.
		35	25	25	20	25
	Medio	Lesión que genera Incapacidad temporal y/o Enfermedad Profesional EP (no mortales), y/o daño a la propiedad equipos materiales o procesos propios o de terceros por valor terceros inferiores a 100 millones de pesos y superiores a 50 millones de pesos.	<ol style="list-style-type: none"> EGP superior al 85.5% e inferior al 87.05%. Rotura cocida inferior a 6.2% y superior a 5.7% de la producción. 	<ol style="list-style-type: none"> Metros cuadrados producidos bajo especificaciones entre 92% y 92,5%. Reclamos Superiores a 8.953 m2/año e inferiores o iguales a 9.480 m2/año (790 m2/mes). 	<ol style="list-style-type: none"> 1 o más parámetros a cercanos un 90% al límite definido en resolución 631 de 2015. Captación bajo un 15% a lo definido por autoridad ambiental Emissiones en cada fuente: 275>NOx <440mg/m3 225 > MP>190mg/m3 8 >HCL> 7.2 mg/m3 40 >HF> 36mg/m3 	<ol style="list-style-type: none"> Una avería entre 1 y 10 millones de pesos. Se tiene redundancias compartidas 1:1.
		15	15	10	10	10
	Bajo	Lesión que requiere Tratamiento Médico y no genera incapacidad daño a la propiedad con interrupción de línea de procesos, actividades, máquinas y equipos y daños inferiores a 50 millones de pesos.	<ol style="list-style-type: none"> EGP superior al 87.05% e inferior al 87.5%. Rotura cocida inferior a 5.7% y superior a 5.45% de la producción. 	<ol style="list-style-type: none"> Metros cuadrados producidos bajo especificaciones entre 92,5% y 93%. Reclamos superiores a 8.427m2/año e inferiores o iguales a 8.953 m2/año (746 m2/mes). 	<ol style="list-style-type: none"> 1 o más parámetros a cercanos un 85% al límite definido en resolución 631 de 2015. Captación bajo un 17% a lo definido por autoridad ambiental 1 o más parámetros a cercanos un 50% al límite definido en resolución 631 de 2015 Emissiones en cada fuente: 275>NOx> 66mg/m3 190>MP> 148mg/m3 8>HCL>4 mg/m3 40>HF>20 mg/m3 	<ol style="list-style-type: none"> Una avería entre 500 mil pesos y 1 millón de pesos. Se tiene redundancias compartidas 1:1.
		7	7	5	5	5
	Despreciable	Enfermedad, lesión de primeros auxilios o que no requiere tratamiento y daño a la propiedad no interruptora.	<ol style="list-style-type: none"> EGP superior o igual a 87.5%. Rotura cocida inferior o igual al 5.45% de la producción. 	<ol style="list-style-type: none"> Metros cuadrados producidos bajo especificaciones igual o superior al 93,2% por año. Reclamos Menores o iguales a 8.427m2/año(702 m2/mes). 	<ol style="list-style-type: none"> 1 o más parámetros a cercanos un 50% al límite definido en resolución 631 de 2015. Captación bajo un 20% a lo definido por autoridad ambiental. Emissiones iguales o inferiores a los actuales NOx > 66 mg/m3 MP >148 mg/m3 HCL > 4 mg/m3 HF > 20 mg/m3 	<ol style="list-style-type: none"> Una avería inferior a 500 mil pesos. Se tiene más de una redundancias.
		1	1	1	1	1