

PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN
CONFIABILIDAD PARA TABLEROS DE TRANSFERENCIA DEL CPD DE
CODENSA

Ing. Tony Vladimir Torres Salas

Ing. Juan David Gómez Arciniegas

Ing. Luis Carlos Muñoz Hernández.

Dirección de posgrados

Especialización en Gerencia en Mantenimiento.

Universidad ECCI.

Bogotá D.C.

PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN
CONFIABILIDAD PARA TABLEROS DE TRANSFERENCIA DEL CPD DE
CODENSA

Ing. Tony Vladimir Torres Salas

Ing. Juan David Gómez Arciniegas

Ing. Luis Carlos Muñoz Hernández.

Trabajo de grado presentado para optar por el título de Especialista en Gerencia de
Mantenimiento

Asesor:

Ing. Miguel Ángel Urián Tinoco

Especialista en Gerencia de Mantenimiento

Universidad ECCI.

Dirección de posgrados

Especialización en Gerencia en Mantenimiento.

Bogotá D.C.

2018

Copyright © 2018 por Tony Torres, Juan David Gómez & Luis Muñoz. Todos los derechos reservados.

Nota de aceptación:

Firma presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá, D.C. 5 de Febrero 2019

Señor
Julio Alberto Perea Sandoval
Director de Postgrado
UNIVERSIDAD ECCI
Ciudad

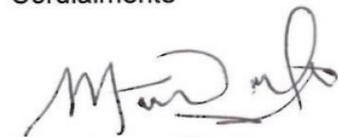
Asunto: Autorización de uso y divulgación de datos del mantenimiento de tableros de transferencia del CPD de CODENSA.

Respetados Señores:

Por medio de la presente, y actuando en calidad de Jefe de la División de Servicios Generales y Gestión de Instalaciones, permito el uso y divulgación en la comunidad académica de la Universidad ECCI, de los datos provenientes del proceso de mantenimiento de sistemas críticos de la organización Codensa-Enel Colombia. Lo anterior, a fin de dar aplicabilidad al desarrollo del proyecto de grado bajo el título, **“PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD PARA TABLEROS DE TRANSFERENCIA DEL CPD DE CODENSA”** Presentado por el alumno TONY VLADIMIR TORRES SALAS identificado con la cedula N° 1126421062 y código 75190

Agradeciendo su atención

Cordialmente



Miguel Angel Gutierrez
Jefe de Servicios Generales

Tabla de contenido

1	Título de investigación	1
2	Problema de investigación	1
2.1	Descripción del problema	1
2.2	Planteamiento del problema.....	3
2.3	Sistematización del problema	4
3	Objetivos	4
3.1	Objetivo general.....	4
3.2	Objetivos específicos	4
4	Justificación y delimitación.....	5
4.1	Justificación	5
4.2	Delimitación.....	6
4.3	Limitaciones.....	6
5	Marco conceptual	7
5.1	Estado del arte.....	7
5.1.1	Estado del arte local	7
5.1.2	Estado del arte nacional	10
5.1.3	Estado del arte internacional.....	14
5.2	Marco teórico.....	18
5.2.1	Sistema de transferencia automática	18
5.2.2	Tipos de mantenimiento.....	21
5.2.3	Metodologías de mantenimiento	24
5.2.4	Indicadores de gestión de mantenimiento	35

5.2.5	Métodos para el análisis de mantenimiento	39
5.3	Marco Normativo/legal	42
5.4	Marco histórico	43
6	Marco Metodológico	45
6.1	Recolección de la información.....	45
6.1.1	Tipo de investigación	45
6.1.2	Fuente de obtención de la información	45
6.1.3	Herramientas	46
6.1.4	Metodología	46
6.1.5	Información recopilada.....	47
6.2	Análisis de la Información	51
6.2.1	Desarrollo del análisis de criticidad	53
6.2.2	Análisis de modo y efecto de falla AMEF	54
6.2.3	Desarrollo de hoja de información	57
6.2.4	Desarrollo de hoja de decisión y diagrama de decisión	61
6.2.5	Desarrollo repuestos basados en confiabilidad RCS	64
6.2.6	Desarrollo de vale la pena	67
6.3	Propuesta(s) de solución	68
7	Resultados esperados.....	70
8	Análisis financiero.....	71
8.1	Análisis ROI actual	71
8.2	Análisis ROI con plan de mantenimiento	73
9	Conclusiones y recomendaciones.....	75
9.1	Conclusiones	75

9.2	Recomendaciones	77
10	Bibliografía.....	78

Tabla de ilustraciones

Ilustración 1.	Diagrama unifilar de una transferencia. Fuente: (DSG Diesel Service Generation, 2015)	20
Ilustración 2.	Hoja de información. Fuente: (Rojas, 2018)	31
Ilustración 3.	Hoja de información. Fuente: (Rojas, 2018)	32
Ilustración 4.	Diagrama de decisión. Fuente: (Rojas, 2018)	33
Ilustración 5.	Matriz método ABC. Fuente: (Rojas, 2018)	40
Ilustración 6.	Flujograma método ABC. Fuente: (Rojas, 2018).....	40
Ilustración 7	Contactores motorizados de red y planta, fuente: CDP de Codensa.	49
Ilustración 8	Breaker de protección potencia de 800 Amperios fuente: CDP de Codensa ..	49
Ilustración 9	Transferencia del CPD Codensa fuente: CDP de Codensa	50
Ilustración 10	Breaker de protección control 6 Amperios fuente: CDP de Codensa	50
Ilustración 11	Plano Eléctrico Transferencia fuente: CDP de Codensa	51
Tabla 1	Marco normativo y legal. Fuente: (ICONTEC, 1998), (Ministerio de minas y energía, 2013), (RENOVE TECNOLOGÍA S.L , 2016).....	42
Tabla 2	Clasificación de activos sistema de transferencia Fuente: Propia de los autores.	53
Tabla 3	Fallas analizadas en el AMEF Fuente: Propia de los autores.....	54

Tabla 4 Condiciones actuales AMEF Fuente: Propia de los autores.....	55
Tabla 5 Resultado AMEF Fuente: Propia de los autores.....	56
Tabla 6 Precio listado de los componentes del sistema de transferencia. Fuente: Propia de los autores.	65
Tabla 7 Precio listado materiales. Fuente: Propia de los autores.	65
Tabla 8 Análisis de costo del stock por año. Fuente: Propia de los autores.	67
Tabla 9 Actividades propuestas plan de mantenimiento. Fuente: Propia de los autores.....	70
Tabla 10 Datos de la operación de Codensa. Fuente: Propia de los autores.	71
Tabla 11 Actividades actuales de mantenimiento. Fuente: Propia de los autores.	71
Tabla 12 Flujo neto Codensa actual. Fuente: Propia de los autores.	72
Tabla 13 Retorno a la inversión actual. Fuente: Propia de los autores.....	73
Tabla 14 Costo actividades propuestas plan de mantenimiento. Fuente: Propia de los autores.....	73
Tabla 15 Flujo neto Codensa con plan de mantenimiento. Fuente: (Codensa, 2017)	74
Tabla 16 Retorno a la inversión con plan de mantenimiento. Fuente: Propia de los autores.	75

Resumen

El centro de procesamiento de datos (CPD) de Codensa es donde se encuentran todos los servidores y equipos que permiten la comunicación y operatividad del centro de control con las sub estaciones y todos los circuitos que alimentan de energía eléctrica a Bogotá y Cundinamarca, es por ello que debe contar con un respaldo eléctrico confiable capaz de alimentar este centro ante cualquier indisponibilidad del servicio por parte de la red principal de energía.

El respaldo eléctrico no es más que un moto-generador que cuenta con una transferencia automática que es la encargada de realizar el trabajo y canalizar la energía entre la red pública y la que entrega dicho generador. De esta forma se busca obtener una propuesta para un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad que se aplique a las transferencias de forma de evitar fallas constantes que pongan en riesgo la operación y la seguridad de las personas que atienden estos equipos.

Existen varios tipos de mantenimiento que pueden ser aplicados para obtener grandes resultados, centrándose en el historial de fallas e inconvenientes presentados en estos equipos, la metodología más acertada es sin duda el RCM o Mantenimiento centrado en confiabilidad, sin embargo las herramientas puntuales que aplican para este caso son: Desarrollo del análisis de criticidad, Análisis de modo y efecto de falla AMEF, Desarrollo de hoja de información, Hoja de decisión y diagrama de decisión, Desarrollo de repuestos basados en confiabilidad (RCS), Desarrollo de Vale la pena, los cuales permitirán hacer los análisis necesarios para obtener los mejores resultados.

Con la aplicación de cada una de estas herramientas no solo se logran identificar las causas de las fallas comúnmente presentadas debido a la falta de mantenimiento, si no que se obtienen las soluciones necesarias y la exigencia por parte del operador de tener y activar un plan de mantenimiento preventivo programado a cada uno de los elementos que forman parte de este equipo, y que si bien los costos por dichos mantenimientos son elevados el retorno de la inversión en 3 años en un porcentaje mayor al que actualmente se tiene, considerando que por cada falla o indisponibilidad que llegase a presentar el CPD, la empresa pudiera verse inmersa en multas y penalizaciones que acarrarían mayores costos y pérdidas de grandes sumas de dinero.

Palabras clave

Plan: Lista de pasos los cuales son detallados en tiempo y recursos para llevar a cabo un objetivo.

Confiabilidad: En el departamento de mantenimiento el término de confiabilidad se refiere a tener un equipo disponible.

Disponible: Equipo operativo a disposición de uso o funcionamiento.

Transferencia: Equipo utilizado para conmutar entre las fuentes de red y planta eléctrica.

Manipulación: Acción de intervenir manualmente algún sistema o equipo.

Estable: Todo sistema o equipo que cumpla con las condiciones de operación.

Interconexión: Conexión entre dos o más elementos, conectados entre sí para lograr un objetivo.

Fallas: Anomalías presentadas por alteraciones en de las condiciones normales de funcionamiento de los equipos.

Interrupción: Suspender de manera temporal el funcionamiento o servicio de algún equipo o sistema.

Mantenimiento: Acción que tiene como fin el mantener un equipo disponible, utilizando las herramientas adecuadas para la conservación y disponibilidad de este.

Preventivo: Acción de prever que alguna anomalía ocurra y poder proceder de manera eficaz antes de que el equipo este indisponible.

Predictivo: Predecir fallas sin afectar el funcionamiento del equipo o sistema.

Correctivo: Reparar un equipo el cual generalmente se ejecuta porque se fue a falla saliendo de producción.

Grupo electrógeno: Equipo de respaldo de fuente de energía (planta eléctrica)

Operación manual: Operación realizada por intervención humana

Operación automática: Operación realizada por un control comandado sin ninguna intervención humana

Contactador: Se define como el interruptor o switch automático encargado de dar paso del fluido eléctrico.

Seguridad: Cero accidentes humanos.

Descarga eléctrica: Paso de corriente por un cuerpo pudiendo producir la muerte.

Electrocución: Descarga eléctrica la cual produce la muerte.

Fluido eléctrico: Paso de tensión por un sistema el cual abastece de energía bien sea de una empresa, casa, hospital, edificio, etc.

Cortocircuito: Descarga producida primordialmente por la conexión de polos opuestos ocasionando un incremento de intensidad.

Metodología: Pasos secuenciales o procedimientos lógicos empleados para lograr un objetivo.

Sistematización: Son los pasos de manera ordenada que se tienen para jerarquizar diferentes elementos.

Delimitación: Determina los límites del trabajo, hasta qué punto se quiere llegar tanto espacio, tiempo, presupuesto, etc.

Limitaciones: Permite determinar hasta qué punto se va a llegar

RETIE: Según definido por la página de Enel, el RETIE es el reglamento técnico de instalaciones eléctricas creado por el decreto 18039 de 2004. (Codensa, 2017)

Calidad: Excelencia que presentan los equipos o sistemas

Optimizar: Realizar un procedimiento o alguna acción de la mejor manera en un tiempo bajo y con recursos mínimos con el fin de evitar desperdicios.

Riesgo: Probabilidad de que existe algún contratiempo o percance a algún sistema, equipo o humano.

Crítico: Que es susceptible a anomalías que pueden repercutir en inconvenientes extremos, bien sea humanos, de producción, equipos, etc.

1 Título de investigación

Propuesta de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad para tableros de transferencia en el CPD de Codensa.

2 Problema de investigación

2.1 Descripción del problema

Desde el inicio de una operación dependiente de un sistema de energía eléctrica, indiferente del área en la cual esta se enfoque siempre existirá una necesidad primaria que determina la estabilidad del mismo, razón por la cual mantener esta fuente primaria de energía cobra vital importancia, debido a que no solo se puede llegar a una pérdida humana como el fin más lamentable por la mala manipulación de los elementos eléctricos, sino también representan pérdidas económicas de gran magnitud.

Contar con una red de suministro eléctrico constante y estable es uno de los factores de éxito de las operaciones en cualquier empresa, de aquí la importancia de contar con un suministro de respaldo que cubra las necesidades del entorno, actualmente esta necesidad se cubre con la incorporación de unos sistemas eléctricos que dan la opción de mantener la continuidad en la operación, de manera que estas actividades o la de los clientes finales no se vean alteradas, de esta manera, tener un sistema de transferencia confiable es primordial para poder garantizar que el sistema de respaldo pueda intervenir sin inconvenientes y por ello las rutinas de inspección, mantenimiento e intervenciones predictivas hacen que se garanticen la disponibilidad operativa del servicio y cobra un valor determinante para designar un esfuerzo extra en su preservación.

Existen diferentes instalaciones como hospitales, aeropuertos y edificios, los cuales cuentan con una cantidad de equipos sensibles o sistemas críticos, donde su operación debe ser de forma continua de manera de evitar interrupción en la producción, o en actividades de salvamento de personas, o en la estabilidad de servidores que permiten la interconexión de sistemas de comunicación, por lo que en caso que se presenten alteraciones o fallas totales en la red de generación, se debe contar con este sistema que permita dar continuidad a las actividades diaria.

Uno de los respaldos eléctricos más utilizados y confiables son los grupos electrógenos, estos equipos cuentan con un conmutador de transferencia o dispositivo de red, este panel se conecta al sistema de distribución eléctrico y permite que se use la planta eléctrica, existen dos tipos transferencias: el manual y el automático.

El tablero de transferencia es el equipo principal que brinda confiabilidad y seguridad al momento de alimentar la carga bien sea con la red pública o con la planta eléctrica, es quien se encarga de administrar como se realiza la alimentación, es por ello que cuando esta falla se presentan varios inconvenientes, uno de ellos es la operación manual ya que pone en riesgo al operador bien sea por recibir una descarga eléctrica o al cometer un error y provocar un cortocircuito que produzca una falla en todo el sistema que alimenta. Otro de los problemas que se evidencian cuando falla la transferencia es la no entrada de la energía por parte del generador lo que implica un corte total de la red, produciéndose fallas que generan pérdidas económicas, e indisponibilidad de la operación.

Para el año 2014 se produjo un daño en la transferencia de 700 KVA que alimenta el centro de procesamiento de datos (CPD) y el centro de control de la empresa de energía de Bogotá

lo que llevo a tener que operar la planta eléctrica de forma manual cada vez que se producía una falla en la red pública, teniendo que contar con un personal las 24 horas del día los 365 días del año, ya que de no contar con un respaldo inmediato se producirían cortes de energía en los servidores, falla en la comunicación con las subestaciones, indisponibilidad en el sistema de los proveedores que ocupan espacios en este centro, lo que implicaría consecuencias a gran escala para la empresa y la ciudadanía en general.

Esta falla en el equipo de transferencia se produjo por la falta de un mantenimiento rutinario, específico y metódico donde se validará el estado de cada uno de los elementos de la cual está compuesta, de manera de identificar a tiempo cualquier anomalía en su funcionamiento y su inmediata reparación, si bien una falla puede darse en cualquier momento inesperado, una inspección continua puede llevar a descubrir una falla potencial antes que se produzca.

Una vez que el equipo se encuentra fuera de servicio el proceso para su reparación es mucho más delicado y engorroso ya que lleva a realizar una serie de programaciones, planificaciones, ubicación del repuesto, trámites para lograr el apagado total del edificio, indisponibilidad de los sistemas, etc.

2.2 Planteamiento del problema

¿Cuál metodología es la adecuada para disminuir las fallas de los sistemas de transferencia en las instalaciones de CPD de Codensa?

2.3 Sistematización del problema

¿Cómo se han presentado las fallas en el sistema de transferencia del CPD?

¿Qué herramientas se pueden emplear para el análisis de fallas que se presentan en el sistema de transferencia del CPD?

¿Cuál metodología es la adecuada para llevar a cabo un plan de mantenimiento en las transferencias del CPD?

3 Objetivos

3.1 Objetivo general

Realizar una propuesta de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad aplicado a los equipos de transferencias automáticas normalizadas que permiten el control de cambio de energía, entre la red pública y las plantas eléctricas que dan respaldo al CPD de Codensa.

3.2 Objetivos específicos

Diagnosticar las fallas que se han presentado en el sistema de transferencia del CPD.

Identificar las herramientas adecuadas para el análisis de las fallas presentadas en el sistema de transferencia del CPD

Definir la metodología a utilizar y establecer los pasos para llevar a cabo un plan de mantenimiento adecuado en las transferencias del CPD.

4 Justificación y delimitación

4.1 Justificación

El desarrollo de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad para los sistemas de transferencia es de gran importancia, ya facilita la ejecución de las acciones para prevenir un fallo en cualquier componente que pueda causar la indisponibilidad de la red eléctrica. Al realizar un correcto plan de mantenimiento de la transferencia, se aumenta la confiabilidad de los equipos, evitando fallas y la mala manipulación que conlleven al riesgo humano.

Seguir el plan de mantenimiento de manera adecuada, traerá beneficios a diferentes partes. La empresa que suministra el sistema de transferencia tendrá mínimos reportes de garantías por fallo de componentes, lo que permite que la empresa no tenga que generar más gastos en acciones que se pueden prevenir con mantenimiento. Adicionalmente, si por contrato se estipula multas por incumplimiento del sistema de red eléctrica, la compañía se puede evitar pagar sumas de dinero y problemas de índole legal. Si se debe operar de forma manual, existe varios riesgos por parte de los técnicos, ya que se pueden generar consecuencias que puedan afectar su salud e integridad y hasta la vida, trayendo repercusiones a la empresa, por lo cual, el plan de mantenimiento al sistema de transferencia es de gran importancia para la organización.

Por parte del cliente, es fundamental que empresas ejecuten dicho plan, ya que garantizará menos daños en los equipos que permiten tener respaldo de energía eléctrica, necesaria o indispensable para sus labores dependiendo el enfoque de la empresa. Varias organizaciones necesitan mantener sistemas y equipos las 24 horas del día encendidos, como es el caso de unidades hospitalarias o centros de data center, por lo que la ausencia de energía en un corto periodo, puede significar pérdidas materiales, monetarias o incluso humanas. Un cliente que tenga un sistema de transferencia confiable, es un cliente satisfecho.

4.2 Delimitación

Las instalaciones del CPD de Codensa ubicada en la Autopista norte No. 128 D -70 en la ciudad de Bogotá, Colombia es el lugar donde se va a realizar el estudio para llevar a cabo la propuesta del plan de mantenimiento, este proceso inició el día 14 de agosto del año 2018 y se estipula una duración de 3 meses.

4.3 Limitaciones

Actualmente solo se cuenta con el presupuesto de los investigadores, los estándares que se deben tener en cuenta para el desarrollo de la propuesta del plan de mantenimiento es la norma SAE JA 1011 y bajo el reglamento técnico de instalaciones eléctricas (RETIE).

5 Marco conceptual

5.1 Estado del arte

5.1.1 Estado del arte local

Los ingenieros Guzmán Espitia John Jairo y Bautista Roa Miguel Ángel de la universidad ECCI de Bogotá D.C., Colombia, en el año 2014 desarrollaron el siguiente trabajo el cual se titula “Propuesta de un plan de mantenimiento basado en la metodología mantenimiento centrado en confiabilidad RCM para los componentes de mayor criticidad de un sistema inundado de refrigeración con amoniaco”. En este trabajo de grado, lo que pretendieron los autores fue dar una solución para disminuir tiempos muertos, reducir costos de mantenimiento y producción en los sistemas críticos de producción. Se puede apreciar las metodologías que fueron empleadas: procesos productivos, maquinas herramientas, actividades de mantenimiento, herramientas del RCM como hojas de información, hoja de decisión, diagrama de decisión; encontrando el listado de las tareas de mantenimiento para el sistema y así poder elaborar la propuesta del plan de mantenimiento. De lo anterior se extracta para la presente investigación la siguiente información: implementación de las herramientas para la creación de un plan RCM: hoja de información, hoja de decisión y diagrama de decisión. (John Jairo Guzmán Espitia, 2014)

Los ingenieros Ardila Forero Carlos Andrés y Figueroa Gamboa Edward Camilo de la universidad ECCI de Bogotá D.C., Colombia, en el año 2014 desarrollaron el trabajo titulado “Propuesta de mantenimiento para equipos tipo grúa plataforma deslizante en empresas del sector transporte basada en herramientas del RCM”. En este trabajo de grado, los autores buscaron proponer un mantenimiento para los equipos tipo grúa plataforma

deslizante, debido a que estos equipos tienen una fabricación local, no se tiene un plan de mantenimiento estándar, por tal motivo, estos equipos se dejan correr a falla generando menor disponibilidad. Las metodologías empleadas en este trabajo son: vehículos pesados, maquinas herramienta, herramientas del RCM como análisis de criticidad, hoja de decisión, diagrama de decisión; con la finalidad de encontrar las diferentes causas por la que puede fallar el equipo, obteniendo lo más crítico del sistema y así mismo un listado de actividades de mantenimiento, logrando que la disponibilidad del equipo sea mayor. De lo anterior se extracta para la presente investigación la siguiente información: la implementación de las herramientas para la creación de un plan RCM: análisis de criticidad, hoja de decisión y diagrama de decisión. (Ardila Forero Carlos Andrés, 2014)

La ingeniera Méndez Abril Amanda Carolina de la universidad ECCI de Bogotá D.C., Colombia, en el año 2014 desarrollaron el trabajo titulado “Propuesta de un plan de mantenimiento basado en estrategias de RCM para compresor y secadores utilizados en la producción de aire medicinal en una institución prestadora de salud”. En este trabajo de grado, la autora buscó proponer un mantenimiento a un sistema de producción de aire medicinal por compresor utilizado en máquinas de anestesia, con la finalidad de que dicho sistema no falle ya que es de vital importancia en los procesos médicos. Las metodologías empleadas son: aires comprimidos, sistema de producción, herramientas del RCM como análisis de criticidad, hoja de decisión, diagrama de decisión; con la finalidad de proponer una técnica de mantenimiento que, al implementarse, genere que el sistema de producción de aire comprimido no falle. De lo anterior se extracta para la presente investigación lo siguiente: la implementación de las herramientas para la creación de un plan RCM: análisis de criticidad, hoja de decisión y diagrama de decisión. (Carolina, 2014)

Los ingenieros Mejía Arias Carlos Mario, Leal Beltrán Daniel Antonio y Rico Cárdenas Karen Gissel de la universidad ECCI de Bogotá D.C., Colombia, en el año 2016 desarrollaron el trabajo titulado “Desarrollo de una propuesta para implementación de un plan de mantenimiento en equipos Imac aplicando metodología RCM II”. En este trabajo de grado, los autores desarrollan una propuesta de un plan de mantenimiento RCM 2 aplicado a un equipo de cómputo marca IMAC, afirmando que se puede implementar en diversos equipos electrónicos con características similares. Las metodologías empleadas son: tecnología industrial, tecnología, mantenimiento preventivo, mantenimiento a equipos electrónicos; con la finalidad de disminuir las fallas evitando que el equipo llegue a ser obsoleto en poco tiempo. De lo anterior se extracta para la presente investigación la siguiente información: el mantenimiento a equipos electrónicos. (Mejía Arias Carlos Mario, 2016)

Los ingenieros Bejarano Cano Wilmar Guillermo y Quiñones Velandia Cristian David de la universidad ECCI de Bogotá D.C., Colombia, en el año 2014 desarrollaron el trabajo el cual se titula “Propuesta de aplicación de determinados procesos de RCM en cargadores frontales sobre ruedas para la industria de concretos”. En este trabajo de grado, los autores del presente trabajo desarrollaron una propuesta para aplicar algunas de las herramientas del mantenimiento centrado en confiabilidad, enfocado a los cargadores frontales sobre ruedas utilizados en la industria de los concretos. Las metodologías empleadas son: producción de concreto, herramientas del RCM como análisis de criticidad, hoja de información hoja de decisión, diagrama de decisión; logrando dividir los diferentes sistemas, determinar la criticidad y funciones de cada uno de estos, con la finalidad de asignar tareas de mantenimiento para cada modo de falla obtenido de un análisis de

decisión de las fallas de los sistemas. De lo anterior se extracta para la presente investigación la siguiente información: la implementación de las herramientas para la creación de un plan RCM: análisis de criticidad, hoja de información, hoja de decisión y diagrama de decisión. (Bejarano Cano Wilmar Guillermo, 2014)

5.1.2 Estado del arte nacional

La ingeniera Rincón Ortega, Angie Zuleidy de la universidad Francisco de Paula Santander Ocaña UFPSO – Colombia en el año 2016 desarrolló el trabajo “Plan de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) para el horno rotatorio Allis Chalmers en la planta de cemento Cúcuta, Cemex Colombia S.A” en él se buscó un resultado para un plan de mantenimiento compuesto por tareas preventivas y predictivas, con el fin de dar una mejora basada en la confiabilidad del activo mediante un análisis completo de RCM. De lo anterior se extracta para la presente investigación la siguiente información: el Análisis de Modos de Fallas de RCM II el cual permite tener una información completa de las causas de fallas, en el caso del horno, analizando las consecuencias de estas fallas mediante el diagrama lógico de decisiones que permite definir las tareas de mantenimiento específicas para poder eliminarlas. (Zuleidy, 2016)

Los Ingenieros Rodrigo A. Vargas Díaz y Víctor Hernández Tirado de la Universidad Tecnológica de Bolívar de Cartagena de Indias – Colombia, en el año 2012 desarrollaron el trabajo “Aplicación de la estrategia de mantenimiento RCM2 al sistema de caldera de la unidad 2 de la planta térmica de generación de energía eléctrica central Cartagena”. En el buscaron identificar cuáles son los equipos críticos de la central de generación unidad 2 y comparar estos vs la valoración actual del sistema de caldera, así mismo crear el programa

de mantenimiento eficaz con el propósito de garantizar la disponibilidad y minimizar los riesgos a las personas y el medio ambiente. La metodología utilizada fue el RCM2 sobre el equipo o sistema de caldera unidad 2 que permitirá implementar un programa de Mantenimiento a la caldera, el cual se espera minimizar los costos, maximizar la producción, búsqueda de confiabilidad que responda las operaciones, prolongar la vida útil para poder cumplir con el proceso de producción establecida, incorporar nueva tecnología que permite mejorar la productividad y reducción de costo, suplir de servicios indispensables para la continuidad operacional de los equipos e instalaciones. De los resultados obtenidos se puede decir que se generó un plan de mantenimiento, donde el 40% son del tipo de reacondicionamiento cíclico, el 37% son de rediseño, el 24% de las actividades son a condición, 1,73% son de sustitución cíclica y el 1,73% son tareas de búsqueda de fallas. De esto se puede extraer para esta investigación que con un buen plan de mantenimiento aplicado se espera que el porcentaje de fallas de disminuya y por ende sus impactos. (Rodrigo A. Vargas Díaz, 2012)

Los ingenieros Julio Cesar Ramírez y Hugo Fernando Moreno de la Universidad Distrital Francisco José De Caldas en el año 2017 desarrollaron el trabajo titulado “Elaboración de un análisis de criticidad y disponibilidad para la atracción X-treme del parque Mundo Aventura, tomando como referencia las normas, SAE JA1011 Y SAE JA1012” en el buscaron presentar un análisis de criticidad y disponibilidad para una de las máquinas que hacen parte del Parque Mundo Aventura, tomando como referencia las normas internacionales SAE JA1011 Y SAE JA1012. La máquina en la cual se llevó a cabo el análisis es la atracción X-Treme, la cual presenta alta demanda por parte de los visitantes, debido a que hace parte del grupo de máquinas catalogadas como de alto impacto dentro de

la organización. La metodología aplicada fue el RCM adoptando un análisis de los elementos o equipos que hacen parte de una máquina, partiendo de la cantidad de activos y su disponibilidad dentro del inventario, hasta el análisis de modo y efecto de fallos (AMFE2), finalizando con el análisis de criticidad, lo que permite conocer al detalle, las funciones que realiza un elemento, sus modos de falla, y los posibles planes de contingencia que deben llevarse a cabo para evitar sobrecostos debido al paro de la máquina. De lo anterior se puede extraer el análisis de información acorde a los lineamientos de la norma SAE 14224, para organizar la información y realizar su respectivo cargue en la plataforma SAPPM, además seguir tomando como referente las normas ISO JA1011 Y JA1012, para el análisis de criticidad AMFE requeridos para la plataforma así mismo las labores de mantenimiento descritas en los check list diarios, semanales mensuales y anuales que se llevan a cabo en los equipos que no presentan ningún tipo de fallo por ultimo realizar un cronograma y una planeación adecuada de las intervenciones de mantenimiento, teniendo en cuenta las actividades que conllevan mayor tiempo y que se convierten en rutas críticas de intervención, además de manejar stock mínimo adecuado no solo para las labores programadas, sino para poder atender las actividades correctivas.

(Julio Cesar Ramírez, 2017)

Los Ingenieros Córdoba Álvarez, Juan Camilo y Montejo González, Carlos Fernando de la Universidad Santo Tomas, en el año 2017 realizaron el trabajo titulado “Elaboración de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) para la empresa Citriexpinal S.A.S.” para ello se analizó el estado actual de los modelos y las respectivas fichas técnicas que se usan en los diferentes mantenimientos que se usan en los activos , se determinan las fallas de estos sistemas y las posibles soluciones enfocada en la misión, visión y división de

mantenimiento en pro y beneficio de la empresa, la metodología utilizada después de varios análisis fue el RCM ya que el objetivo es el buen funcionamiento de los activos y mantenerlos en óptimas condiciones, para que no se vea afectada la producción en ningún momento. Así mismo se realizó un software en el cual contiene un calendario de las actividades de mantenimiento preventivo, para los activos de la empresa y así mitigar los correctivos, este software contiene: hojas de vida, fichas técnicas, ordenes de trabajo, y demás soportes de cada activo de una manera sencilla y eficaz. De lo anterior se extrae el programa que sirve para llevar un mejor control de órdenes de trabajo, inventarios y mantenimientos reales y confiables. (Córdoba Álvarez Juan Camilo, 2017)

Los ingenieros Luis Enrique Bejarano Clavijo y Andrés Camilo Fernández Bueno, de la Universidad Libre de Colombia, en el año 2015 realizaron el trabajo titulado “Modelo de optimización para el mantenimiento proactivo de los equipos para la producción de leche u.h.t de la cooperativa Colanta S.A. basado en RCM” en el aplicaron los conceptos de RCM y las herramientas de confiabilidad operacional RCFA y FMECA para optimizar el plan de mantenimiento proactivo de los equipos críticos, en la producción de leche U.H.T para la Cooperativa Colanta S.A. en él se encontró que mediante cálculos y análisis la planta se encuentra en un porcentaje medio de confiabilidad que lo único que va a generar son costos elevados, el stock de repuestos no se encuentra organizado, ya que en el inventario de repuestos, no se discrimina de acuerdo a la maquinaria industrial existente, La confiabilidad del proceso se encuentra entre el 50.8% y 70% de lo anterior se puede extraer que al aplicar un RCM en la Cooperativa Colanta S.A. puede hacer que, la confiabilidad y la mantenibilidad se encuentren por sobre el 70% lo que genera que los indicadores del el

departamento de mantenimiento se mantengan con un alto cumplimiento. (Luis Enrique Bejarano Clavijo, 2013)

5.1.3 Estado del arte internacional

Los ingenieros Gondres Torné Israel, Lajes Choy Santiago y del Castillo Serpa Alfredo de la universidad de Camagüey de Cuba, en el 2016 desarrollaron el trabajo titulado “Evaluación de la confiabilidad en interruptores de potencia mediante la norma Norsok Z-013” en el buscaron determinar indicadores para encontrar los niveles de criticidad de los equipos haciendo uso de algunas metodologías, tales como frecuencia de fallos, transferencia de potencia por el interruptor, impacto en la transmisión de energía, tiempo promedio para reparar, costo de mantenimiento, impactos en la seguridad personal y el impacto ambiental, en base a lo anterior se extracta para la presente investigación la siguiente información, realizar un análisis de criticidad donde se pueden determinar los equipos o materiales más críticos de un sistema, de forma tal de atender los mismos con estrategias que permitan el restablecimiento de las condiciones normales en el menor tiempo posible y evitar los fallos asociados a estos equipos. (Gondres Torné Israel, 2016)

El ingeniero Mejía Cueva Ricardo de la universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo de Perú, en el año 2017 desarrollo el trabajo titulado “Propuesta de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), para mejorar la productividad de la empresa Ersa transportes y servicios S.R.L.” en el buscaron como proponer un plan de mantenimiento basado en la confiabilidad haciendo uso de las metodologías de RCM que permite identificar las necesidades reales de mantenimiento de los activos asegurando que el activo físico continúe realizando la función para la cual fue diseñado, para esto se realizó

un AMEF (análisis de modo y efecto de falla) para encontrar todas las formas o modos en los que pueden fallar un activo dentro del proceso, también se realizó una hoja de decisión RCM para seleccionar de forma óptima las actividades de mantenimiento encontrando que a través de esta aplicación se mejoró la disponibilidad en un 16% y un aumento de la productividad en 7% , de lo anterior se puede extraer la siguiente información, la aplicación de un AMEF y una hoja de decisión se pueden obtener actividades específicas que permitan realizar mantenimientos específicos a equipos puntuales que ayuden a reducir las horas de paradas y la baja productividad por indisponibilidad. (Ricardo, 2017)

Los ingenieros Joao Bázaga Quesada, José Morales, Roberto Beltrán Reyna y Euro Mena, de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sede Latacunga, Cotopaxi, Ecuador y la Universidad de Granma, Granma, Cuba, en el año 2016 desarrollaron el trabajo titulado “Evaluación del comportamiento de los motores pertenecientes a una planta eléctrica mediante los indicadores de mantenimiento”, en el buscaron hacer un estudio basado en el cálculo de los indicadores de mantenimiento haciendo uso de metodologías como la búsqueda para obtener los datos de operación de los años anteriores para conocer y exponer la realidad del equipamiento, encontrando como resultado identificar las fallas y averías que ocurrieron en los motores, así como los indicadores demuestran que el último año fue peor. En general el comportamiento de la Planta Eléctrica es decreciente según los indicadores calculados lo que representa un efecto negativo en el cumplimiento de su objeto social, de lo anterior se extracta para la presente investigación la siguiente información el uso de indicadores de manera de identificar fallas y averías durante el funcionamiento de los motores, así como comprobar que los indicadores TMEF, TPPR y

confiabilidad tan importantes para evaluar el comportamiento de cualquier instalación o mecanismo. (Joao Bárzaga Quesada, 2016)

El ingeniero Carrillo Balcazar, Jorge Hubertde, de la Universidad Nacional de Ingeniería, Lima –Perú, en el año 2008 desarrollaron el trabajo titulado “Aplicación del mantenimiento centrado en confiabilidad a los servicios auxiliares en corriente alterna de una planta de ciclo combinado”, en el buscaron la aplicación de la filosofía del mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM 2) a los equipos que conforman los servicios auxiliares en corriente alterna de una planta de ciclo combinado, los cuales se encargan de la alimentación en corriente alterna a los equipos que requieren el suministro de energía en niveles de tensión de 6.9kV, 6.6kV, 480V y 240V, los que son necesarios para el funcionamiento de las turbinas a gas y la turbina a vapor que conforman el ciclo combinado, haciendo uso de las metodologías tales como un análisis del porque es necesaria la aplicación de un sistema de confiabilidad a los equipos de servicios auxiliares de la planta ciclo combinado, así como entender las definiciones de lo que el RCM llama función, falla funcional y modos de fallo y como estos conceptos ayudaran a través de la creación de las hojas de Información y las hojas de decisión, encontrando equipos que no tenían un plan de mantenimiento debido a que sus modos de falla no se habían considerado en el plan de mantenimiento actual. Se encontró una posibilidad de rediseño de las celdas en 6.9kV de la turbina a vapor debido a fallas registradas por personal de operaciones y por último también se encontró la necesidad de darle capacitación a los operadores sobre las maniobras a los equipos de media y baja tensión, como interruptores, celdas y puestas a tierra, de lo anterior se extracta para la presente investigación la implementación de un programa de mantenimiento que sea producto del análisis realizado permitiendo tener un mejor control

de los modos de falla que pudiesen ocasionar alguna desconexión, falla, u otra anomalía que sea perjudicial a los intereses de la empresa. También demuestra que el análisis RCM 2, permite al personal de mantenimiento y de operaciones de una planta tener un conocimiento más profundo de las características de los equipos estudiados, sus capacidades y además de lo que la empresa espera que estos equipos realicen. Por último, este análisis ayuda a reducir o al menos a controlar mejor el crecimiento de los costos de mantenimiento al considerar la realización de tareas de mantenimiento de rutina solo a los equipos que pudieran ocasionar una falla potencial a la productividad de la planta. (Carrillo Balcazar, 2008)

El ingeniero Alfaro Solís, Rene de la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur. Perú, en el 2016 desarrolló el trabajo titulado “Implementación de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) para planta golosinas Nestle Perú”. En el buscaron Desarrollar un plan para la implementación del proceso de mantenimiento centrado en confiabilidad en la planta golosinas Nestle Perú, con la finalidad de reducir el costo debido a mantenimiento y garantizar la confiabilidad del equipo más crítico dentro de su operacional actual, haciendo uso de las metodologías tales como un análisis de mejora todos los sistemas de la planta golosinas Nestle Perú, con la finalidad de determinar cuáles activos y sistemas son más críticos. Evaluar el riesgo de falla de cada componente de los sistemas de la planta de golosina, en base a un análisis de modos de falla y resolver la causa y raíz en base a las tareas de mantenimiento recomendadas, encontrando una reducción considerable de los costos debido al mantenimiento y se aumentó la confiabilidad del equipo más crítico llamado Supercavemil. Dicha implementación tuvo sus complicaciones principales al no tener actualizada un historial de fallas y un personal nuevo operando las máquinas, con los

resultados obtenidos producto de los análisis se definieron los roles y responsabilidades de mantenimiento preventivo y correctivo en los que se designó a cada uno de los miembros del grupo de trabajo y así se estableció la matriz de responsabilidades con los mecánicos y maquinistas del activo crítico, de lo anterior se extracta para la presente investigación la siguiente la realización de un análisis donde se identifiquen los equipos más críticos y se conforme un equipo de trabajo donde se puedan aplicar los diversos métodos del RCM y un plan de mantenimiento que garantice la disminución de costos por fallas y permitan la operatividad de su principal equipo durante toda la operación. (Rene, 2016)

5.2 Marco teórico

Para el desarrollo de la propuesta se debe enfocar en las metodologías del RCM para la creación de un plan de mantenimiento, por lo que se debe abarcar herramientas propuestas por la SAE JA1011 como hoja de decisiones, diagramas de decisión, hoja de información, matriz patrón de falla vs velocidad de deterioro. Además, se debe conocer los componentes y el funcionamiento de la transferencia automática del CPD de Codensa.

5.2.1 Sistema de transferencia automática

Un sistema de transferencia es un interruptor eléctrico que cambia una carga entre dos fuentes, ya que son automáticas, pueden cambiar cuando detectan que una de las fuentes ha perdido o ganado el poder.

Un interruptor automático de transferencia es un sistema de relevación automatizado que asociado a una subestación y un generador provee un servicio eléctrico constante, sin la

intervención de un operador humano. La transferencia se activa cuando el servicio normal se suspende, conmutando a un servicio auxiliar, según sea la necesidad de la instalación eléctrica, la transferencia puede llegar a ser un sistema sumamente complicado; en la mayoría de los casos una transferencia básicamente se compone de dos interruptores, un sistema de control, y una barra común. Los interruptores automáticos de transferencia están compuestas de un circuito de fuerza y uno de mando, el circuito de fuerza los interruptores de potencia quienes son los encargados de realizar la conmutación, para trabajar en media tensión o bien en baja tensión, estos interruptores por su naturaleza están ubicados dentro de gabinetes, los interruptores son controlados por el circuito de mando, que a su vez, se conforma por el controlador lógico programable y su red de dispositivos de periferia compuesta de los actuadores, los relés y los medidores de potencia. Por su parte el controlador lógico programable actúa de acuerdo con el algoritmo de decisión dependiendo de la información obtenida de su periferia que está compuesta por relés de medición, la existencia de un controlador lógico programable supone la ventaja de adaptar el sistema a las necesidades del usuario. (DSG Diesel Service Generation, 2015)

El funcionamiento está regido por el algoritmo dentro del controlador lógico programable que realiza el control, existen algunas directrices que se deberán seguir para garantizar que el funcionamiento de una transferencia sea el adecuado.

La secuencia de funcionamiento básica cuando se produce una falla en la red es de la siguiente manera:

- Se abre el interruptor de la acometida.
- Los generadores se activan y sincronizan a la barra de generadores.

- Se verifica el voltaje los generadores en paralelo.
- Se cierra el interruptor de la barra común de generadores.

Cuando el voltaje en la acometida del servicio eléctrico comercial se normaliza se realiza la transferencia desde el suministro de emergencia al servicio comercial, el proceso simplificado será el siguiente:

- Se abre el interruptor de la barra común de generadores, produciendo un pequeño corte en el suministro de energía eléctrica a las cargas.
- Se cierra el interruptor de la acometida del servicio comercial.
- Los generadores sincronizados a la barra común abren sus interruptores liberándose de la barra.
- Luego de un tiempo estipulado por el fabricante los generadores se enfrían para posteriormente apagarse.

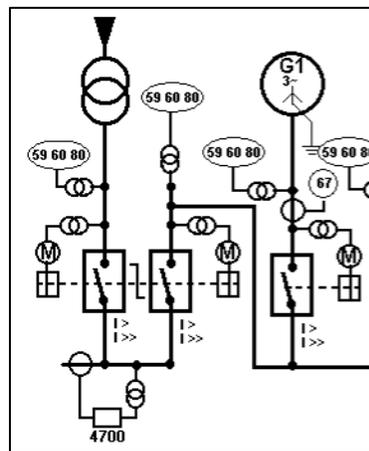


Ilustración 1. Diagrama unifilar de una transferencia. Fuente: (DSG Diesel Service Generation, 2015)

5.2.2 Tipos de mantenimiento

5.2.2.1 Mantenimiento preventivo

Dentro los tipos de mantenimiento se encuentra el mantenimiento preventivo, el cual cuenta con ventajas para las diferentes labores que acarrear los sistemas, los cuales se deben intervenir para mantenerlos disponibles, mejorar la eficiencia, alargar la vida útil, sostener o mejorar la calidad, etc.

Es importante que a los equipos se les realice una intervención rutinaria donde se pueda prever que se produzcan problemas, para esto es necesario que se realicen ajustes de conexiones tanto de control como de potencia, limpieza general con líquidos especiales, soplado, calibración de parámetros entre otros tipos de labores que se realizan a las transferencias, con el fin sostener el rendimiento y evitar que estos sistemas fallen, algo que afectaría directamente la producción, la economía y la atención de servicio que realiza en este caso Codensa.

Dentro el mantenimiento preventivo se debe tener en cuenta algunos protocolos para llevar a cabo esta labor como son los siguientes:

- Tener especificado el día que se va a realizar el mantenimiento al equipo
- Tener estimado el tiempo en que va a durar la labor
- Tener el plan de emergencia, por si llega a ocurrir un inconveniente durante la labor a realizar.
- Tener especificado como se va a realizar el mantenimiento.

- Tener un permiso especial por parte del contratante (Codensa) para la ejecución de la labor.

Al tener especificadas estas tareas para ejecutar el mantenimiento preventivo se reducirá las pérdidas que se puede dar debido al paro de equipos. (Cubillos, 2018)

5.2.2.2 *Mantenimiento predictivo*

El mantenimiento predictivo va relacionado a la observación directa que se realiza con diferentes equipos de medición para evaluar en qué estado se encuentran los sistemas, el fin del mantenimiento predictivo es informar un daño posible a futuro a partir de una “observación” presente.

Este tipo de mantenimiento se aplica esencialmente a máquinas críticas en donde el daño a un equipo puede ser desastroso para la producción y la imagen de las empresas, se debe tener en cuenta que en muchos sectores de la industria programar un mantenimiento preventivo implica el paro de producción algo que afecta directamente la economía, y más cuando estos mantenimiento son programados en periodos cortos, como solución a esto se realiza el mantenimiento predictivo el cual se puede realizar en “caliente” es decir con los equipos en operación sin afectar la producción, otra de las ventajas que se tiene con el mantenimiento predictivo es que se tiene menor probabilidad de errores humanos.

Dentro los sistemas de transferencias el análisis predictivo que se realiza a estos sistemas son los análisis termo gráficos y estudio de cargas por medio del analizador de redes,

equipos diseñados para observar conforme el equipo está funcionando en que parte se encuentra el problema a solucionar.

Algunos de los análisis predictivos que se realizan, dependiendo del equipo a intervenir son los siguientes:

- Análisis de aceites.
- Análisis de ultrasonidos.
- Análisis termo gráficos.
- Analizador de redes.
- Análisis de vibraciones.
- Baroscopio.
- Análisis de gases.

Entre otros sistemas diseñados para brindar confiabilidad, disponibilidad, disminución de pérdidas por parada de equipos, disminución de accidentes por mala manipulación humana, etc. (mantenimientopetroquimica.com, 2012)

5.2.2.3 Mantenimiento correctivo

Este tipo de mantenimiento es realizado con la finalidad de reparación, bien sea programado o por daño inoportuno, el mantenimiento correctivo en muchos casos dependiendo del equipo a intervenir es el mantenimiento más deseado, debido a que no se invierte en mantenimientos preventivos ni predictivos simplemente el equipo se deja ir a

falla para poder intervenir, dado esto se debe tener un stock de repuestos para no tener contratiempos por adquisición de estos, es decir demoras en pedidos de repuestos.

Dependiendo la vida útil que tenga los equipos se realiza ciertos correctivos programados con el fin de prolongar la durabilidad de estos mismos. Ventajas de realizar el mantenimiento correctivo:

- Se realiza inversión solo cuando el equipo lo requiera
- No se realizan varias paradas de equipo por mantenimiento preventivo.
- Se bajan costos por la no contratación de personal para intervención rutinaria de los equipos

Dentro estas ventajas en el correctivo también se encuentran las desventajas, dado al dejar ir el equipo a falla no se tiene en muchos casos control sobre estos, donde no se estima el paro de la operación produciendo así pérdidas grandes, además acorta la vida útil de los equipos por no intervenirlos en el momento adecuado. (Significados.com. , 2015)

5.2.3 Metodologías de mantenimiento

5.2.3.1 Mantenimiento productivo total TPM

El mantenimiento productivo total TPM (Total Productive Maintenance) es una metodología de mantenimiento japonesa introducida en 1971. Se enfoca en la eliminación de pérdidas de equipos, el aumento de la producción con mejor calidad y menor costo, disminución de inventarios, mejorar el entorno de trabajo, reducción de contaminación y accidentes de trabajo. El TPM se enfoca en una participación total, es decir, que todas las

actividades de mantenimiento preventivo como el orden y la limpieza, las puede implementar el personal de mantenimiento o personal de producción calificado; generando ventajas como:

- Mejora en la calidad, los equipos en buenas condiciones producen más unidades óptimas.
- Mejora en la productividad, aumentando el tiempo de la disponibilidad.
- El balanceo y continuidad de los sistemas genera un flujo de producción continuo.
- Aprovechamiento del recurso humano.
- Disminución de los gastos de mantenimiento correctivos y costos operativos.

Las actividades del TPM se centran en cuidar los equipos y las instalaciones, eliminando los factores de desgaste forzado, sin embargo, los equipos pueden sufrir desgaste natural. El mantenimiento productivo total se fundamenta en unas bases, consideradas como los pilares del TPM:

- Mejoras enfocadas (Kobetsu Kaizen): Son actividades desarrolladas por diferentes áreas con la finalidad de mejorar la efectividad global de los equipos, operaciones y los sistemas; con diferentes herramientas como el PHVA (Planear, hacer, verificar, actuar), método de las ocho fases o el método de los siete pasos.
- Mantenimiento autónomo (Jishu Hozen): Se lleva a cabo con los operarios de los procesos, se trata de las rutinas que se realizan diariamente como las inspecciones, limpieza, ajustes, lubricación, análisis de fallas, lubricación, etc. Este

mantenimiento autónomo contribuye a la preservación de los sistemas utilizando los preventivos.

- **Mantenimiento planificado (Keikaku Hozen):** Es el mejoramiento incremental para lograr un objetivo de “cero averías”. Se utilizan actividades preventivas para los sistemas, mediante eventos de cuatro a ocho días se emplean para mejorar características, logrando disminuir mantenimiento correctivo, estar al tanto de los repuestos y establecer un análisis de confianza.
- **Mantenimiento de calidad (Hinshitsu Hozen):** Tiene como objetivo mejorar la calidad del producto mediante el control de las condiciones de los sistemas del equipo. Mediante una serie de actividades y herramientas tiene como fin lograr “cero defectos”.
- **Prevención del mantenimiento:** Se realiza actividades de mejora durante el diseño e implementación de los equipos, con la finalidad de reducir costes de mantenimiento en estos periodos.
- **Actividades de departamentos administrativos y de apoyo:** Incluir áreas administrativas dentro del proceso del TPM. Aunque no realizan la labor de producción directamente, estas áreas son un apoyo fundamental para reducir costos y mejorar la calidad.
- **Formación y adiestramiento:** Para implementar correctamente el TPM, se requiere de la participación de todo el personal, por lo tanto, se educa y entrena personal competente en términos de equipamiento, términos de gestión, habilidades y participación.

- Gestión de seguridad y medio ambiente: El propósito de este pilar es implementar un sistema de gestión de seguridad y medio ambiente con el objetivo de lograr “cero accidentes” y “cero contaminaciones”. Se aplica la herramienta de las 5S y análisis de riesgos. (ACIEM)

5.2.3.2 *Optimización del mantenimiento planeado PMO*

La optimización del mantenimiento planeado (Planned Maintenance Optimization) es una metodología desarrollada en Australia entre 1996 y 2000, utilizada para aumentar la confiabilidad analizando los equipos críticos con base a una serie de pasos para su implementación. Los pasos a seguir son:

- Recopilación de tareas: Es la recolección de los planes de mantenimiento existente, los cuales, el personal de mantenimiento ingresa en una base de datos.
- Análisis de modo de falla: Por medio de equipos multidisciplinarios, se identifica para que modos de falla está enfocada cada acción de mantenimiento.
- Racionalización y revisión: Se ordena la información dependiendo a los modos de falla obtenidos, y se agregan modos de fallas faltantes.
- Análisis funcional: En este paso, se determina la pérdida de la función que se genera con la falla.
- Evaluación de consecuencias: Se evalúa los modos de falla para determinar si son fallos ocultos o fallos evidentes.
- Definición de la política de mantenimiento: Los modos de falla se analizan basándose en los principios de mantenimiento basado en confiabilidad.

- Agrupación y revisión: Asigna las tareas de mantenimiento a las personas más capacitadas, para lograr un mantenimiento eficaz.
- Aprobación e implementación: La gerencia debe aprobar los pasos anteriores realizados.
- Programa dinámico: El proceso de ejecución del plan de mantenimiento va retroalimentándose con la información y el control de las actividades. (Holguín, 2007)

5.2.3.3 *Mantenimiento basado en el riesgo RBM*

El mantenimiento basado en el riesgo (Reliability Based Maintenance) es una estrategia que aumenta la efectividad y la confiabilidad de los activos por medio de técnicas de monitoreo y diagnóstico. Por medio de un balance de mantenimiento predictivo, preventivo y proactivo, el RBM busca reducir los costos. Los pasos a seguir para ejecutar el mantenimiento basado en riesgo son:

- Análisis preliminar.
- Recogida y validación de datos.
- Análisis de riesgo multinivel.
- Toma de decisiones y optimización.
- Implementación.
- Valoración / evolución de eficiencia.

5.2.3.4 *Mantenimiento centrado en confiabilidad RCM*

El mantenimiento centrado en confiabilidad es una metodología que surgió en el sector de la aviación con buenos resultados en reducción de accidentalidad, logrando una implementación de los demás sectores como el militar e industrial. Se basa en el aumento de la disponibilidad y reducción de costos de mantenimiento, gracias a que:

- Ayuda a entender mejor el funcionamiento de los equipos y sistemas.
- Analiza todos los fallos que se pueden presentar en un sistema, adicional que se emplea mecanismos para tratar de evitar dichos fallos sin importar su origen.
- Propone acciones que permiten aumentar la disponibilidad del activo. (Enrique Mora, 2016)

El RCM también promueve acciones preventivas como tareas de mantenimiento, procedimientos operativos, modificaciones o mejoras posibles, determinación del stock de repuesto para los activos. Los pasos para seguir e implementar RCM en un activo son:

- Realizar listado de los activos, sistemas, equipos al cual se le va a realizar el estudio.
- Estudiar los funcionamientos de los sistemas y subsistemas.
- Determinar todo tipo de fallos.
- Determinar los modos de fallo o causas de cada uno de los fallos mencionados anteriormente.
- Identificar las consecuencias de cada modo de fallo, clasificando la criticidad de cada fallo según la función de los sistemas.

- Asignar las tareas de mantenimiento basándose en cada modo de fallo obtenido.
- Agrupar las tareas de mantenimiento en diferentes categorías para elaborar o modificar un plan de mantenimiento.
- Implementar las actividades propuestas. (Rojas, 2018)

5.2.3.4.1 SAE JA1011

La norma SAE JA1011 indica los pasos a seguir para aplicar RCM a un proceso, teniendo en cuenta 7 preguntas básicas:

- ¿Cuáles son las funciones deseadas para el equipo que se está analizando?
- ¿Cuáles son los estados de falla asociado con estas funciones?
- ¿Cuáles son las causas de cada estado de falla?
- ¿Cuáles son las consecuencias de cada una de estas fallas?
- ¿Qué puede hacer para prevenir o predecir la falla?
- ¿Qué hacer si no se puede encontrar una acción adecuada para la falla? (Rojas, 2018)

5.2.3.4.2 Hoja de información

La hoja de información es una herramienta utilizada para el análisis de falla de los equipos, conformado por:

- **Función:** Determina el objetivo del activo, puede tener una o varias funciones enumeradas.

- **Falla funcional:** Determina la manera en que activo deja de cumplir la función mencionada anteriormente. Se clasifica por letras.
- **Modo de falla:** Cual es la causa de cada falla mencionada.
- **Efecto de falla:** Cual es la consecuencia que se presenta con cada falla.

Esta hoja abarca las 4 primeras preguntas propuestas por el RCM. (Rojas, 2018)

HOJA DE INFORMACIÓN RCM II		SISTEMA No	Facilitador	Fecha	Hoja	
		SUBSISTEMA No	Auditor	Fecha	de	
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL (pérdida de función)	MODO DE FALLA (Causa de la falla)		EFECTO DE FALLA (Que sucede cuando se produce una falla)		
1	A	1				
		2				
		3				
		4				
		5				
		6				
		7				
	B	1				
		2				
		3				
		4				
		5				
		6				
	C	1				
		2				
		3				
		4				
		5				
		6				
		7				
		8				
9						

Ilustración 2. Hoja de información. Fuente: (Rojas, 2018)

5.2.3.4.3 Hoja de decisión

La hoja de decisión es una herramienta que complementa la hoja de información, ya que se utiliza los modos de falla obtenidos. La finalidad de este formato es planear unas tareas para evitar las fallas, pero eso solo es posible si se utiliza el diagrama de decisión. Dicho formato está conformado por:

- **Referencia de información:** Es el código del modo de falla obtenido de la hoja de decisión.

5.2.3.4.4 Diagrama de decisión

Es una herramienta utilizada para determinar las acciones que se llevarán a cabo para disminuir las fallas del activo. Determina las preguntas del 4 al 7, propuestas del RCM. Está conformado por columnas que determinan las consecuencias de falla y por las filas que son las acciones a tomar dividida en modos de falla, predictivo, preventivo y rediseños. Se empieza desde la parte superior izquierda, respondiendo sí o no a las preguntas propuestas en cada recuadro, al finalizar el recorrido, se dará una tarea para la falla. (Rojas, 2018)

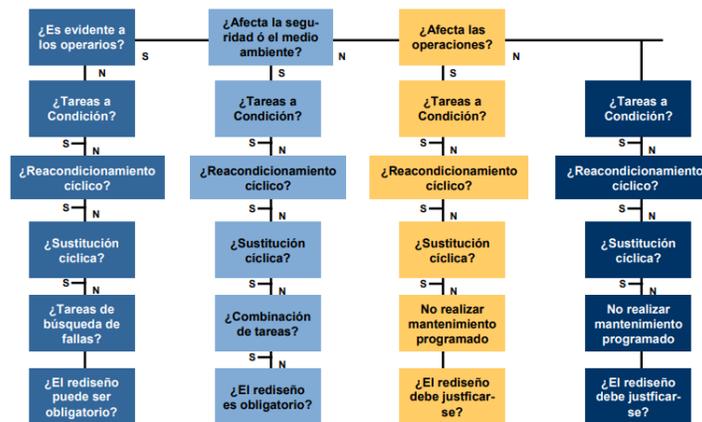


Ilustración 4. Diagrama de decisión. Fuente: (Rojas, 2018)

5.2.3.4.5 Repuestos basados en la confiabilidad RCS

El RCS es una herramienta empleada para el manejo de inventarios, complementando un plan de mantenimiento basado en confiabilidad. El ideal es tener los repuestos necesarios en el momento de presentar una falla, para que la disponibilidad del equipo no se vea tan afectada. Para determinar que es necesario mantener en un stock, es necesario determinar el costo de la falla, ya que, si un repuesto es más costoso que la misma falla, no es recomendable mantenerlo en una bodega. Otros factores que se determina si es necesario un

repuesto o no, es la criticidad de la pieza para el sistema y que tan complicado es para conseguir dicho repuesto. (Murillo, 2018)

Para manejar un almacén, requiere ubicar un espacio, el cual genera un costo, por lo cual, el stock entre más limitado sea, menos costo va a generar, por lo que es importante determinar la cantidad de las piezas para almacenar dependiendo del tamaño. Esto se logra calcular por medio de la fórmula:

$$Q = \sqrt{\frac{2DS}{I_c}}$$

Donde:

D: Demanda anual.

S: Costo de ordenar.

Ic: Costo de mantener el inventario.

Q: Cantidad ordenada.

Para determinar el costo total de inventarios anual, se utiliza la siguiente ecuación:

$$T_c = CD + S \frac{D}{Q} + I_c \frac{Q}{2}$$

Donde:

Tc: Costo total anual.

C: Costo del artículo.

D: Demanda anual.

S: Costo de ordenar.

Q: Cantidad ordenada.

Ic: Costo de mantener el inventario.

5.2.3.4.6 *Vale la pena*

Existen diferentes tipos de falla, algunas con consecuencias críticas en diferentes ámbitos, pero otras fallas no son tan críticas, que se pueden solucionar de forma inmediata sin necesidad de implementar una acción proactiva. Si por medio de una acción proactiva se es capaz de reducir la consecuencia de una falla, se le denomina “Técnicamente posible”. Si el costo de la consecuencia de la falla es mayor que el costo de acción proactiva, vale la pena decidir si se puede realizar la labor para reducir dicha falla. (Rojas, 2018)

5.2.4 Indicadores de gestión de mantenimiento

5.2.4.1 *Disponibilidad*

Es la capacidad de un activo o componente para estar operativo y para realizar una función requerida bajo condiciones dadas en un instante dado de tiempo o durante un determinado intervalo de tiempo, asumiendo que los recursos externos necesarios se han proporcionado.

También puede ser definida como la confianza de que un componente o sistema que sufrió mantenimiento ejerza su función satisfactoriamente para un tiempo dado. En la práctica, la disponibilidad se expresa como el porcentaje de tiempo en que el sistema está listo para operar o producir, esto en sistemas que operan continuamente.

5.2.4.2 *Confiabilidad*

Es la capacidad de un activo o componente para realizar una función requerida bajo condiciones dadas para un intervalo de tiempo dado.

También puede ser definida como la “confianza” que se tiene de que un componente, equipo o sistema desempeñe su función básica, durante un período de tiempo preestablecido, bajo condiciones estándares de operación

5.2.4.3 *Costo*

El Mantenimiento involucra diferentes costos: directos, indirectos y generales.

5.2.4.3.1 *Costos directos*

Están relacionados con el rendimiento de la empresa y son menores si la conservación de los equipos es mejor; influyen la cantidad de tiempo que se emplea el equipo y la atención que requiere. Estos costos son fijados por la cantidad de revisiones, inspecciones y en general las actividades y controles que se realizan a los equipos, comprendiendo:

- Costos de mano de obra directa y contratada.
- Costos de materiales y repuestos directos y contratados.
- Costos de la utilización de herramientas y equipos directamente y con contratación.
- Costos de contratos para la realización de intervenciones.

5.2.4.3.2 *Costos indirectos*

Son aquellos que no pueden atribuirse de una manera directa a una operación o trabajo específico. En Mantenimiento, es el costo que no puede relacionarse a un trabajo específico. Por lo general, suelen ser: la supervisión, almacén, instalaciones, servicio de taller, accesorios diversos, administración, servicios públicos, etc.

5.2.4.3.3 *Costos generales*

Son los costos en que incurre la empresa para sostener las áreas de apoyo o de funciones no propiamente productivas y que a su vez dan soporte a las áreas que desempeñan labores que se relacionan directamente con el negocio.

5.2.4.4 *Ciclo de vida*

El Ciclo de Vida de un Activo es todo lo que ocurre con el activo desde la idea con la cual se lo crea o incorpora a un proyecto, hasta el descarte final, reciclaje o venta del mismo.

Incluye las siguientes etapas:

- Idea inicial y estudios preliminares.
- Evaluación del contexto total del proyecto, incluyendo estudios de factibilidad técnica, viabilidad económica e impacto ambiental.
- Planeamiento de todas las etapas que abarcará el proyecto.
- Anteproyecto, incluyendo toda la ingeniería básica necesaria.
- Proyecto de detalle y diseño de los procesos.

- Ejecución del proyecto de acuerdo a las etapas planificadas.
- Compra de los elementos necesarios y/o eventual manufactura de los mismos e instalación de todos los elementos de acuerdo al proyecto.
- Puesta en marcha, prueba de todas las instalaciones y aceptación de las mismas.
- Operación de las instalaciones, uso o consumo de los bienes o servicios.
- Evaluación de alternativas de aprovechamiento, incluyendo los posibles reciclajes ó la eventual eliminación de los elementos de la instalación.
- Descarte, reciclaje o venta de la instalación.

5.2.4.5 *Mantenibilidad*

Es definida por la ISO/DIS 14224, como la capacidad, bajo condiciones dadas, que tiene un activo o componente de ser mantenido o restaurado en un periodo de tiempo dado a un estado donde sea capaz de realizar su función original nuevamente, cuando el mantenimiento ha sido realizado bajo condiciones prescritas, con procedimientos y medios adecuados.

La mantenibilidad se puede definir como la expectativa que se tiene de que un equipo o sistema pueda ser colocado en condiciones de operación dentro de un periodo de tiempo establecido, cuando la acción de mantenimiento es ejecutada de acuerdo con procedimientos prescritos.

5.2.5 Métodos para el análisis de mantenimiento

5.2.5.1 Matriz de criticidad

El análisis de criticidad se usa con el fin de mejorar la confiabilidad en 4 diferentes aspectos.

- Confiabilidad humana.
- Confiabilidad de procesos.
- Confiabilidad de diseños
- Confiabilidad en cada tipo de mantenimiento (predictivo, preventivo, correctivo, etc.)

Con el análisis de criticidad se puede evaluar qué equipo o sistema es más crítico para dar prioridad al más crítico, es decir que jerarquiza los niveles de criticidad para ejecutar alguna labor dependiendo la prioridad, aparte el con el análisis de criticidad se puede evaluar qué criterio se debe tomar para desarrollar una labor específica en el tipo de mantenimiento a aplicar según corresponda. (Rojas, 2018)

5.2.5.2 Método ABC

Por medio de una matriz, se evalúa un sistema con algunos aspectos clave como la seguridad, calidad, disponibilidad, frecuencia de falla, mantenibilidad; determinando si el equipo es crítico (A), medio (B) o no crítico (C). Teniendo en cuenta los resultados obtenidos por cada aspecto, se utiliza un flujograma para clasificar el activo. (Rojas, 2018)

		CLASE		
		●	●	▲
S	Riesgo potencial de accidente debido a un equipo en falla	Riesgo alto de accidente	Bajo riesgo de accidente	Riesgo de accidente despreciable, reclamaciones o retrabajos
Q	pérdidas potenciales, reclamaciones y retrabajos.	Alto potencial de causar pérdidas, reclamaciones o retrabajos	Bajo potencial de causar pérdidas, reclamaciones o retrabajos	Potencial despreciable en causar pérdidas
W	Tiempo del equipo disponible para trabajar.	24 hs / día	8 - 24 hs / día	8 hs / día
D	Impacto causado en la línea de operación debido a una avería en el equipo	El fallo de El activo interrumpe el siguiente proceso operativo	La falla de El activo No interrumpe el proceso siguiente. Aun que se produce pérdidas	El fallo de El activo no interrumpe el proceso operativo siguiente
F	Frecuencia de falla en el equipo	F > 1 Avería / 2 meses	1 Avería / 2 meses a 1 Avería / 6 meses	F < 1 Avería / 6 meses
M	Tiempo medio para reparar	R. MTTR >= 2 hs	0,5 < MTTR < 2 hs	MTTR < 0,5 hs

Ilustración 5. Matriz método ABC. Fuente: (Rojas, 2018)

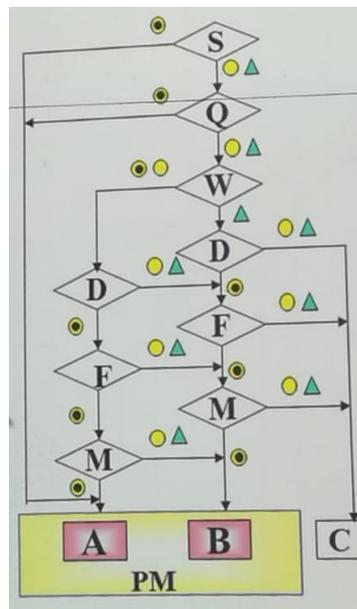


Ilustración 6. Flujograma método ABC. Fuente: (Rojas, 2018)

5.2.5.3 Método cuantitativo

Este es un método que valora 7 aspectos como seguridad, ambiente, operación, tiempo para reparar, imagen, frecuencia de fallas, costos. Dependiendo de la importancia de dichos aspectos para la empresa, se determina un valor numérico, y se evalúa el activo dependiendo de sus funciones y características. El resultado es un listado de activos con valores indicando que los sistemas con el número más alto es el más crítico. (Rojas, 2018)

5.2.5.4 Análisis de modo y efecto de falla AMEF

Es el análisis de modo y efecto de falla, el AMEF evalúa los fallos que puede presentar un sistema, un diseño o un proceso, y así poder escalonarlos de tal manera que se puedan evaluar y dar prioridad para poder solucionarlos de una manera tal que se observé en qué sistema, equipo o proceso se invierte más tiempo y dinero lógicamente dependiendo la criticidad a la cual este sometido el sistema. El AMEF cuenta con algunas ventajas al implantarlo como lo es, por ejemplo:

- Detecta fallos antes de que ocurran.
- Reduce tiempos de rediseños.
- Reduce tiempos de desperdicios y trabajos adicionales a los equipos, es decir incrementa confiabilidad. (Rojas, 2018)

5.3 Marco Normativo/legal

Norma	Descripción	Numeral	Observación
Icontec – NTC 2050	Código Eléctrico Nacional.	Capítulo 7	www.icontec.gov.co
Resolución 180398 de 2004 Ministerio de Minas y Energía	Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE).	Página 132	www.minminas.gov.co
SAE JA1011	Criterios de Evaluación para Procesos de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM).	Capítulo 6 y 7	http://rcm3.org/la-norma-sae-ja-1011
Manual Interruptores automáticos abiertos SENTRON Siemens	Manual de especificaciones contactares motorizados.	Todos los capítulos	www.siemens.com.co

Tabla 1 Marco normativo y legal. Fuente: (ICONTEC, 1998), (Ministerio de minas y energía, 2013), (RENOVE TECNOLOGÍA S.L., 2016)

5.4 Marco histórico

CODENSA S.A. ESP. Es una compañía colombiana, dedicada a la distribución y comercialización de energía eléctrica. Fue creada en 1997 como resultado del proceso de capitalización de la Empresa de Energía de Bogotá. Llega a 100 municipios de Cundinamarca y cubre el 100% de la capital del país. Adicionalmente, genera cerca de 1.000 empleos directos y más de 5.000 empleos indirectos.

Pertenece al Grupo Enel, multinacional que opera en 34 países, cuenta con casi 72 millones de clientes residenciales y empresariales y más de 88 GW de capacidad instalada. En América Latina está presente en Chile, Brasil, Colombia, Argentina y Perú.

CODENSA impulsa y apoya la movilidad eléctrica en el país, a través del suministro de energía limpia e inteligente para bicicletas, motos, buses, vehículos de carga y sistemas de transporte público, que entran al mercado para contribuir con la conservación del medio ambiente.

Dentro de sus indicadores de gestión, destacan los siguientes: Más de 120 subestaciones que le permiten operar de manera sólida y confiable. 3.3 millones de clientes, convirtiéndola en la empresa número 1 del país en atención a clientes. Más de 71.358 Kilómetros de redes de Media y Baja Tensión, extendidas a lo largo de Bogotá y la zona rural de Cundinamarca. Participación en el mercado del país superior al 22,36%.

Como parte de este control CODENSA tiene dentro de sus instalaciones un Centro de Procesamiento de Datos (CPD) quien es el encargado con todos sus equipos y servidores de administrar, monitorear y controlar todas las operaciones que se presentan en la red, este CPD debe permanecer activo y sin ausencia de energía eléctrica durante todos los días y horas del año, por tal motivo cuenta con doble alimentación de la red pública y cada uno de estos circuitos es respaldado por una planta eléctrica que posee una transferencia automática y quien se encarga de permitir el cambio de red al generador ante una ausencia de energía.

Las Transferencias automáticas fueron instaladas y puesta en funcionamiento en Abril del 2018 como parte del mejoramiento y adecuación de todas las áreas del CPD, ya que con anterioridad solo se contaba con una transferencia que realizaba el cambio entre los dos circuitos existente y la única planta que daba respaldo, dicha transferencia presento varias fallas durante los últimos años ya que nunca contó con un mantenimiento adecuado, a tal punto de solo ser operada manualmente por los técnicos encargados del mantenimiento locativo del edificio poniendo en riesgo la operación y la seguridad personal de los mismos.

Dada la criticidad de los equipos que se encuentran en el CPD y la continua operación que estos deben mantener, es de vital importancia que el respaldo eléctrico siempre de respuesta efectiva y para ello la transferencia debe contar con el mínimo de fallas posibles.

6 Marco Metodológico

6.1 Recolección de la información

6.1.1 Tipo de investigación

El presente trabajo maneja dos metodologías, de tipo investigación:

- **Histórico:** La investigación histórica se presenta en el análisis de los eventos que ha ocurrido desde la puesta en marcha del sistema de respaldo eléctrico del CPD que incluye la transferencia automática hasta la actualidad. Dicho análisis será de utilidad para determinar las acciones que se implementaran en el plan de mantenimiento.
- **Explicativo:** La investigación explicativa muestra las razones por las que suceden ciertas cosas, en este caso, por medio de acciones de mantenimiento contempladas en un plan, se puede aumentar de la confiabilidad del sistema reduciendo sus fallas.

6.1.2 Fuente de obtención de la información

6.1.2.1 Fuentes primarias

La fuente principal de la información se extrae del historial de los sucesos ocurridos del sistema de transferencia del centro de procesamiento de datos de Codensa. El manejo de las herramientas de las diferentes metodologías se obtiene gracias a los conocimientos obtenidos y los trabajos realizados en la especialización de Gerencia de Mantenimiento de la universidad ECCI.

6.1.2.2 *Fuentes secundarias*

Las fuentes secundarias fueron extraídas de diferentes referencias bibliográficas, libros de mantenimiento, trabajos de grado y artículos de diferentes revistas basados en mantenimiento, páginas web, entre otras.

6.1.3 **Herramientas**

- Análisis de criticidad.
- Análisis de modo y efecto de falla AMEF.
- Hoja de información.
- Hoja de decisión.
- Diagrama de decisión.
- Repuestos centrados en confiabilidad.
- Vale la pena.

6.1.4 **Metodología**

La metodología que se requiere emplear es necesario tener en cuenta los objetivos específicos propuestos anteriormente; con la finalidad de analizar correctamente la información recopilada y así dar cumplimiento al objetivo general.

Para poder diagnosticar todas las fallas que se han presentado en el sistema de transferencia del centro de procesamiento de datos, es necesario revisar el historial de sucesos ocurridos en el CPD con referencia al sistema. Al analizar dichos sucesos, es importante destacar

todas las instalaciones, modificaciones, mantenimientos y problemas ocurridos con la transferencia.

Teniendo la información necesaria del sistema de transferencia del CPD, se identifica la herramienta adecuada para analizar todas las fallas relacionadas, teniendo en cuenta la criticidad de los subsistemas de la transferencia ante los requerimientos de Codensa.

Con las fallas y la criticidad del sistema, se determina que metodología es la más adecuada para crear un plan de mantenimiento basado en confiabilidad para el sistema de transferencia, empleando todas las herramientas que propone para asignar correctamente las actividades de mantenimiento.

6.1.5 Información recopilada

El CPD de Codensa, desde antes de abril del 2018 solo contaba con un respaldo de energía eléctrica (un moto-generador) y con una sola transferencia de tres pases, la cual permitía el cambio de red entre los dos circuitos que alimentan este edificio (circuito Morato y Circuito Autopista) y la planta eléctrica.

Esta transferencia nunca contó con ningún plan de Mantenimiento y presento varias fallas en los últimos 5 años entre los que se pueden mencionar, daño del contactor, daño del panel de Información, quema de los bombillos que indican cual red está operando y una de las más graves daño del automatizado, con esta última, la transferencia quedó operando de forma manual, y dependiendo de un técnico cada vez que se presentaba una ausencia de energía eléctrica del circuito que estaba operando, el técnico debía permanecer 7x24 ya que

al presentarse dicha ausencia se debía operar la planta para dar respaldo al CPD, de lo contrario serian cuantiosas las perdidas presentadas, puesto que al fallar el CPD se pierde la comunicación del Centro de Control, las S/E quedan incomunicadas, cualquier corte no se puede reestablecer de inmediato, los operadores externos tales como Claro, Movistar, Tigo, quedarían sin comunicación y algunas otras fallas que no pueden ser mencionadas por mantener la seguridad de la información de la empresa. Cabe destacar que estas fallas no pudieron ser solucionadas ya que para ello se debía apagar la transferencia lo cual como ya se indicó no es factible.

Luego de llevar a cabo el proceso de modernización del CPD se optó por tener dos respaldos eléctricos de cada uno de los circuitos anteriormente mencionados, y cada respaldo con su propia transferencia automática, sin embargo, sigue estando vulnerable el hecho que estas transferencias presenten fallas y es por ello la importancia de un plan de Mantenimiento que las minimicen y le den una mayor confiabilidad a este sistema de vital importancia para la organización.

6.1.5.1 Hoja de vida del equipo

La transferencia del CPD de Codensa cuenta con un sistema de mando motorizado, tanto para la carga de red como para la planta eléctrica, el sistema de transferencia cuenta con una lógica de control con protección tanto eléctrica como mecánica, los contactores motorizados son contralados por la tarjeta electrónica Lovato ATL600 el cual es el cerebro de toda la operación de transferencia y re-transferencia. En las siguientes imágenes se evidencia la transferencia del CPD:



Ilustración 7 Contactores motorizados de red y planta, fuente: CDP de Codensa.

Debajo de los contactores motorizados se encuentra el bus de carga, conectado a un breaker el cual se debe activar en caso de ocurrir un corto eléctrico.



Ilustración 8 Breaker de protección potencia de 800 Amperios fuente: CDP de Codensa



Ilustración 9 Transferencia del CPD Codensa fuente: CDP de Codensa

Al ser un control sensible a daños por cortos eléctricos, la transferencia recibe la señal de tensión de red y planta eléctrica, previamente conectados a breaker de protección



Ilustración 10 Breaker de protección control 6 Amperios fuente: CDP de Codensa

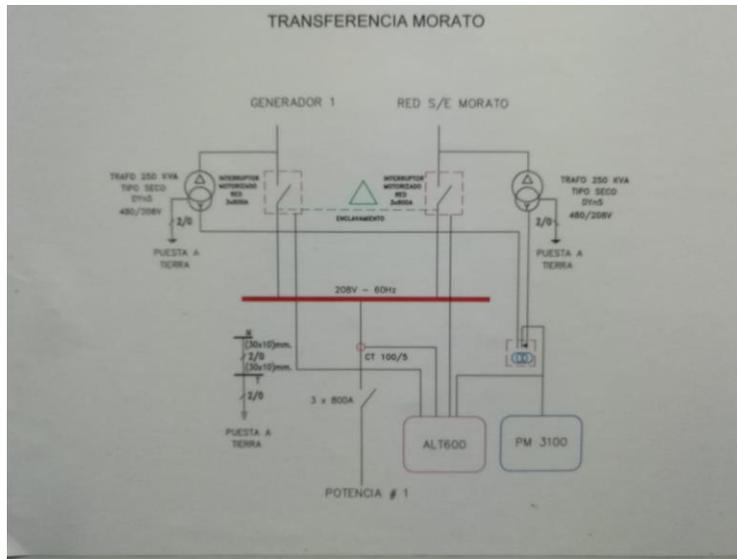


Ilustración 11 Plano Eléctrico Transferencia fuente: CDP de Codensa

6.2 Análisis de la Información

Con base a la información suministrada, y en vista de las múltiples fallas presentadas como consecuencia de no existir una revisión periódica de cada uno de los componentes que forman parte de la transferencia y no existir un modo de revisar a tiempo para prevenir algunas fallas evidentes, es indispensable elaborar un plan de mantenimiento para estos sistemas de transferencia, con el propósito de reducir notablemente las fallas a tal punto de ser un sistema muy confiable. Y en base a lo verificado con los diferentes tipos de mantenimiento, la metodología más acertada para crear este plan, es el mantenimiento basado en confiabilidad (RCM) tomando en cuenta solo ciertas herramientas que proporciona el RCM y que son las aplicables para este caso.

El mantenimiento productivo total (TPM) también es una metodología que brinda aumentar la confiabilidad de los sistemas, pero la aplicación del TPM conlleva a desarrollar

diferentes pilares, por lo cual, la investigación y desarrollo se extiende más que con otras metodologías, para cumplir los objetivos propuestos.

La optimización del mantenimiento planeado (PMO) es una buena alternativa para poder identificar las fallas en un plan de mantenimiento y realizar mejoras para mejorar la confiabilidad del sistema, pero el problema de no poder emplearla en la investigación es que Codensa no ha manejado nunca un plan de mantenimiento para la transferencia automática, por lo cual, se necesita desarrollar dicho plan desde cero.

El mantenimiento basado en el riesgo (RBM) aplica técnicas de monitoreo y diagnóstico, por lo cual, realizar dichas actividades a la transferencia, no brinda con certeza una mejora en la confiabilidad, debido a que el sistema presenta fallas ocultas.

6.2.1 Desarrollo del análisis de criticidad

Para analizar la criticidad del sistema de transferencia del CPD, se ha utilizado la matriz ABC. Al evaluar la transferencia en conjunto, se determinan posibles fallas que puede acarrear que estos sistemas interrumpan su funcionamiento, para el caso específico de Condensa se consigna en el siguiente cuadro, el cual evalúa la criticidad al presentar la falla.

		Clasificación de activos Codensa.		
		A	B	C
S	Riesgo potencial de accidente debido a un equipo en falla	Riesgo de alto accidente.	Bajo riesgo de accidente	Riesgo de accidente despreciable, reclamaciones o retrabajos
Q	Pérdidas potenciales reclamaciones y trabajos	Alto potencial de causar pérdidas, reclamaciones o retrabajos.	Bajo potencial de causar pérdidas, reclamaciones o retrabajos	Potencial depreciable en causar pérdidas
W	Tiempo del equipo disponible para trabajar.	24hr/día	8-24 hora/día	8 hora / día
D	Impacto causado en la línea de operación debido a una avería en el equipo.	El fallo del activo interrumpe el siguiente proceso operativo	la falla de El activo no interrumpe el proceso siguiente. Aun que se produce pérdidas	El fallo del activo no interrumpe el proceso operativo siguiente.
F	Frecuencia de falla en el equipo	F>1 avería / 2 meses	1 avería / 2 meses; 1 Avería / 6 meses	F < 1 Avería / 6 meses
M	Tiempo medio para reparar.	MTTR>=2hrs	0.5 < MTTR > 2hrs	MTTR < 0.5 hora

Tabla 2 Clasificación de activos sistema de transferencia Fuente: Propia de los autores.

El análisis nos determina que el sistema de transferencia es un equipo clase A, es decir, de alta criticidad.

6.2.2 Análisis de modo y efecto de falla AMEF

Para la elaboración del AMEF, se realiza un listado de los componentes que conforman el sistema de transferencia, se obtiene los modos de fallo, efecto de fallo y la causa de fallo de cada componente:

Num de Ope.	Componente conjunto pieza	Modo de fallos	Efecto de fallo	Causa de fallo
1	Enclavamiento mecánico.	Falla en ajuste de los motorizados	no ancla el contactor de planta ó de red.	falta de Mts.
2	Enclavamiento eléctrico	Mal cableado	no opera transferencia en general	No se realizo seguimiento a contratista que cableo control.
3	Conexiones de control	* Suciedad en contactos de control. * Mucho tiempo sin intervencion.	Daños en control de transferencia.	Falta de mantenimiento
4	Bus de carga (arcos eléctricos)	* Defectos en barra de bus de carga * Defecto en tornillos	* Daños en cableado de potencia. * Cortos eléctricos en transferencia.	Barraje de bus de carga en mal estado, tornillos no adecuado para esa carga.

Num de Ope.	Componente conjunto pieza	Modo de fallos	Efecto de fallo	Causa de fallo
5	Motorizado de red	* Daño en motor interno * Daño en bobias de accionamiento	No operacion de contactor motorizado	* Contactores motorizados defectuosos. * falta de matts en motorizados.
6	Motorizado de Planta	* Daño en motor interno * Daño en bobias de accionamiento	No operacion de contactor motorizado	* Contactores motorizados defectuosos. * falta de matts en motorizados.
7	control de transferencia	Daño en control de transferencia, no da señal para que contactores operen	transferencia no opera	* corto interno en control * desajuste de conexiones de control

Tabla 3 Fallas analizadas en el AMEF Fuente: Propia de los autores.

Teniendo el listado de los fallos por componentes, se evalúa el estado actual bajo los criterios de: severidad, ocurrencia y detección. Se determina dentro de un rango de 1 a 10, siendo 10 el valor más alto del parámetro. Utilizando el formato del AMEF, se obtiene un puntaje que determina si el sistema necesita o no intervención, es decir, si es crítico:

	Ocurrencia	Severidad	Detección	Riesgo	Acción
1	6	9	7	378	Intervención
2	6	8	5	240	Intervención
3	7	8	6	336	Intervención
4	7	10	5	350	Intervención
5	8	8	9	576	Intervención
6	8	8	9	576	Intervención
7	8	9	7	504	Intervención

Tabla 4 Condiciones actuales AMEF Fuente: Propia de los autores.

Al proponer unas acciones de mantenimiento, teniendo en cuenta cual es el sistema más crítico, se realiza una suposición de disminución del riesgo al aplicar las acciones propuestas.

	Actividades	O	S	D	Riesgo	Acción
1	Realizar mantenimiento preventivo. Realizar inspección rutinaria. Realizar pruebas de funcionamiento.	3	9	3	81	Intervención
2	Control a los contratistas. Realizar pruebas de funcionamiento programadas.	2	8	3	48	Intervención
3	Realizar mantenimientos periódicos.	3	8	2	48	Intervención
4	Control en materiales adquiridos	4	10	4	160	Intervención
5	Realizar mantenimientos preventivos y predictivos.	4	8	6	192	Intervención
6	Realizar mantenimientos preventivos y predictivos.	4	8	6	192	Intervención
7	Realizar pruebas de funcionamiento programadas. Realizar mantenimientos preventivos.	5	9	4	90	Intervención

Tabla 5 Resultado AMEF Fuente: Propia de los autores.

Aunque las fallas siguen indicando realizar intervención, gracias a las acciones de mantenimiento correspondiente, este riesgo disminuye notablemente, en comparación a la situación actual. (Ver anexo 1, Criticidad AMEF)

6.2.3 Desarrollo de hoja de información

El sistema de transferencia maneja dos funciones principales, las cuales serán analizadas para obtener las posibles fallas. Dichas funciones del sistema son:

- 1: Realizar el cambio de red a planta con un tiempo de respuesta a 10 segundos⁺² cuando falle la red externa y la planta eléctrica funcione en condiciones normales (voltaje y frecuencia estable).
- 2: Realizar el cambio de planta eléctrica a red (re-transferencia) con un tiempo de respuesta a 8 segundos⁺² cuando voltaje y frecuencia de red externa sea estable.

Para cada función, existe una falla funcional, es decir, el sistema ya no es capaz de ejecutar la función principal, en este caso se encuentran:

- 1. A: Incapaz de realizar el cambio de red a planta con un tiempo de respuesta de 10 segundos⁺² cuando falle la red externa.
- 1. B: Que realice el cambio de red a planta con un tiempo de respuesta mayor a 12 segundos.
- 1. C: Que realice el cambio de red a planta con un tiempo de respuesta de 10 segundos sin evaluar que la planta tenga voltaje estable.

- 1. D: Que realice el cambio de red a planta con un tiempo de respuesta menor de 10 segundos sin evaluar qué frecuencia de planta este estable.
- 1. E: Que realice el cambio de red a planta cuando los parámetros de red sean estables (red operando normal).
- 1. F: Que realice el cambio de red a planta en un tiempo muy rápido (2 segundos) sin que planta esté funcionando correctamente.
- 2. A: Incapaz de realizar el cambio de planta eléctrica a red con un tiempo de respuesta de 8 segundos⁺² cuando la red este estable.
- 2. B: Que realice el cambio planta a red con un tiempo de respuesta mayor a 10 segundos.
- 2. C: Que realice el cambio de planta eléctrica a red con un tiempo de respuesta de 8 segundos sin evaluar que la red tenga voltaje estable.
- 2. D: Que realice el cambio de planta a red con un tiempo de respuesta menor de 8 segundos sin evaluar qué frecuencia de red este estable.
- 2 E: Que realice el cambio de planta eléctrica a red y una fase de red siga abierta (línea de tensión caída es menor al voltaje requerido).

Ya teniendo las fallas funcionales del sistema, es fundamental identificar los modos de falla, que es la causa de las fallas mencionadas anteriormente. Los cuales son:

- 1. A.1: Falla en controlador ATS.
- 1. A.2: Falla en contactor.
- 1. A.3: Falla en cableado.
- 1. A.4: Falla en totalizador.

- 1. A.5: Falla en motorizado.
- 1. A.6: Falla en enclavamiento mecánico.
- 1. B.1: Falla en temporizador ATS.
- 1. B.2: Falla en tarjeta control.
- 1. B.3: Falla en planta eléctrica.
- 1. B.4: Falla por fluctuación en el voltaje red.
- 1. C.1: Falla en controlador ATS.
- 1. C.2: Falla en cableado.
- 1. C.3: Falla por mala manipulación.
- 1. D.1: Falla en controlador ATS.
- 1. D.2: Falla por mala manipulación.
- 1. D.3: Falla por mala configuración de control ATS.
- 1. E.1: Falla en enclavamiento mecánico.
- 1. E.2: Falla en enclavamiento eléctrico.
- 1. E.3: Falla en controlador ATS.
- 1. F.1: Falla en controlador ATS.
- 2. A.1: Falla en controlador ATS.
- 2. A.2: Falla en calibración.
- 2. A.3: Falla en cableado.
- 2. A.4: Falla en contactor.
- 2. A.5: Falla en motorizado.
- 2. A.6: Falla en enclavamiento mecánico.
- 2. A.7: Falla en enclavamiento eléctrico.

- 2. B.1: Falla en temporizador ATS.
- 2. B.2: Falla en tarjeta control.
- 2. B.3: Falla en la red (fluctuación).
- 2. B.4: Falla por fluctuación en el voltaje red.
- 2. C.1: Falla en controlador ATS.
- 2. C.2: Falla en monitoreo de red.
- 2. C.3: Falla por mala manipulación.
- 2. D.1: Falla en controlador ATS.
- 2. D.2: Falla por mala manipulación.
- 2. D.3: Falla por mala configuración de control ATS.
- 2. E.1: Falla en enclavamiento mecánico.
- 2. E.2: Falla en enclavamiento eléctrico.
- 2. E.3: Falla en controlador ATS.
- 2. E.4: Falla en detector de picos (tensión).
- 2. F.1: Falla en controlador ATS.
- 2. F.2: Mala configuración de ATS.
- 2. F.3: Parámetros de ATS no calibrados.

La hoja de información entrega un listado de las causas de las fallas, codificados con el número de la función, la letra de la falla funcional y el número de modo de falla. (Ver anexo 2, Hoja de información RCM II)

6.2.4 Desarrollo de hoja de decisión y diagrama de decisión

Con el desarrollo de la hoja de información, se puede implementar la hoja de decisión y el diagrama de decisión para dar una propuesta de tareas de mantenimiento para prevenir las distintas fallas.

El sistema de transferencia maneja fallas ocultas, es decir, las fallas solo son detectadas a causa de otra falla que ocurrió antes. Para detectar una falla en el sistema de transferencia, primero debe haber un fallo en la red eléctrica, lo que limita las tareas de mantenimiento que se pueden realizar al sistema.

Como resultado de utilizar estas herramientas, se obtiene un listado de tareas propuestas con respecto al modo de falla:

- 1. A.1: H5: Tener otro control de respaldo (redundante).
- 1. A.2: H1: Realizar pruebas de termografías.
- 1. A.2: H2: Realizar ajustes a contactos.
- 1. A.2: H2: Realizar limpieza con dieléctrico.
- 1. A.3: H2: Realizar ajustes de conexión control y potencia.
- 1. A.4: H1: Realizar pruebas de termografías.
- 1. A.4: H2: Realizar ajustes a totalizador.
- 1. A.4: H2: Realizar limpieza con dieléctrico.
- 1. A.5: H1: Realizar pruebas de termografías.
- 1. A.5: H2: Realizar pruebas de funcionamiento.
- 1. A.5: H2: Realizar pruebas en bobinas de contactor motorizado.

- 1. A.6: H2: Realizar ajuste de enclavamiento mecánico.
- 1. B.1: H4: Tener respaldo para operación manual.
- 1. B.2: H4: Tener control ATS en stock.
- 1. B.3: H1: Realizar pruebas de termografías.
- 1. B.3: H2: Realizar ajustes de conexiones.
- 1. B.3: H2: Medición voltajes.
- 1. B.3: H2: Calibración de parámetros.
- 1. B.4: H5: Tener supresor de picos.
- 1. C.1: H2: Realizar pruebas de funcionamiento.
- 1. C.1: H2: Realizar mantenimiento preventivo.
- 1. C.2: H2: Realizar ajuste de conexiones.
- 1. C.3: H4: Capacitación.
- 1. D.1: H2: Realizar pruebas de funcionamiento.
- 1. D.1: H2: Realizar ajustes de control y potencia.
- 1. D.2: H4: Capacitación.
- 1. D.3: H2: Realizar calibración de parámetros de ATS.
- 1. D.3: H2: Realizar ajustes de 62arámetros.
- 1. E.1: H2: Realizar ajuste de enclavamiento mecánico.
- 1. E.2: H2: Realizar ajuste de cableado eléctrico.
- 1. E.3: H2: Realizar ajuste de control y potencia.
- 1. E.3: H4: Tener control ATS en stock.
- 1. F.1: H2: Realizar ajuste de control y potencia.
- 1. F.1: H4: Tener control ATS en stock.

- 1. F.1: H4: Disponer de analizador de redes.
- 1. F.1: H5: Tener otro control ATS (sistema redundante).
- 2 A.1: H5: Tener control ATS de respaldo.
- 2. A.1: H5: Rediseño en sistema de transferencia con redundancia.
- 2. A.2: H2: Realizar ajustes de 63 parámetros.
- 2. A.3: H1: Pruebas de funcionamiento.
- 2. A.4: H1: Pruebas de termografía.
- 2. A.4: H2: Realizar limpieza con dieléctrico.
- 2. A.5: H1: Pruebas de funcionamiento.
- 2. A.5: H2: Realizar revisión de bobinas.
- 2. A.5: H2: Realizar limpieza con dieléctrico.
- 2. A.6: H5: Tener enclavamiento mecánico de repuesto.
- 2. A.7: H2: Realizar ajuste de cableado de conexiones.
- 2. B.1: H2: Ajustes de parámetros.
- 2. B.2: H5: Tener control ATS en stock.
- 2. B.3: H1: Tener analizador de redes.
- 2. B.4: H2: Re calibración de parámetros.
- 2. C.1: H5: Tener ATS de respaldo.
- 2. C.1: H2: Realizar pruebas de funcionamiento.
- 2. C.2: H2: Realizar configuración de parámetros de transferencia.
- 2. C.3: H4: Capacitación.
- 2. D.1: H5: Tener control ATS en stock.
- 2. D.2: H4: Capacitación.

- 2. D.3: H2: Realizar ajustes de parámetros.
- 2. E.1: H3: Realizar sustitución de pieza después de la primera falla.
- 2. E.2: H2: Realizar ajuste de conexiones.
- 2. E.3: H5: Tener control ATS en stock.
- 2. E.3: H5: Tener sistema de respaldo por si falla ATS.
- 2. E.4: H3: Cambio en sistema detector de picos.
- 2. F.1: H5: Tener sistema de respaldo por si falla ATS.
- 2. F.2: H5: Rediseñar cableado del ATS.
- 2. F.3: H1: Pruebas de funcionamiento.
- 2. F.3: H2: Realizar configuración de parámetros de transferencia.

(Ver anexo 3, Hoja de Decisión RCM II)

6.2.5 Desarrollo de repuestos basados en confiabilidad RCS

Para determinar que repuestos son necesarios en caso de una falla crítica en el sistema de transferencia, se inicia recurriendo al AMEF, que da la criticidad de los componentes del sistema. Todos los componentes tienen riesgos que conllevan a una consecuencia crítica, sobresaliendo los contactores motorizados, por lo cual, se recomendaría tener por lo menos una unidad en el stock.

Pero antes de concluir que elementos se requiere mantener un repuesto, es importante determinar el historial del sistema, para determinar las diversas fallas que se han presentado en el sistema. Es necesario ya que muchas veces existen repuestos muy costosos que quizás nunca se utilicen, por lo que se ve reflejado como una pérdida.

Teniendo un listado con los componentes que conforman el sistema, se puede realizar un análisis para determinar que se almacenará en el stock.

Cantidad	Item	Marca	Observación	Precio unitario	Precio Total
2	Contactador motorizado	Siemens	800 A	\$ 11.495.600	\$ 22.991.200
1	Breaker	Siemens	800 A	\$ 7.593.000	\$ 7.593.000
3	Breaker bifásico	Schneider	6 A	\$ 100.100	\$ 300.300
2	Breaker monofásico	Schneider	6 A	\$ 39.200	\$ 78.400
1	Transformador	El wattio	480 VAC – 208 VAC	\$ 1.348.900	\$ 1.348.900
2	Relevos	Schneider	240 VDC	\$ 215.700	\$ 431.400
1	Tarjeta electrónica	Lovato	ATL600	\$ 1.962.500	\$ 1.962.500
1	Dispositivo de monitoreo	Siemens	Sentron PAC3100	\$ 1.327.900	\$ 1.327.900

Tabla 6 Precio listado de los componentes del sistema de transferencia. Fuente: Propia de los autores.

Cantidad	Item	Precio unitario
Metro	Cable Potencia 300 MCM	\$ 50.500
Unidad	Terminales 300 MCM	\$ 6.500
100 metros	Cable Control No. 16	\$ 80.000
Unidad	Terminales No. 16	\$ 500

Tabla 7 Precio listado materiales. Fuente: Propia de los autores.

Teniendo el listado de precios y las tareas presentadas en el diagrama de decisión, se determina que componentes es necesario conservar en el almacén.

El contactador motorizado es el componente con mayor criticidad, pero es el más costoso y por otro lado, maneja un respaldo manual en caso de falla, por lo cual, no es viable tenerlo almacenado.

El sistema de control de la transferencia está conformado por los breakers de bajo amperaje, los relevos y la tarjeta electrónica. Siendo un sistema crítico, el cual no maneja ninguna clase de respaldo, es recomendable almacenar:

- 3 breaker bifásico.
- 2 breaker monofásico.
- 2 relevos.
- 1 tarjeta electrónica
- 100 metros de cable no 16 (un rollo).
- 50 terminales para cable no 16.

El precio de estos componentes no es tan alto, en comparación con los repuestos para el sistema de potencia, y tienen una larga vida útil. Además, estos repuestos tienen una dimensión pequeña, por lo cual, el área establecida para el stock es mínimo.

Codensa paga en promedio \$8.000.000 mensuales en tema de arriendo y servicios, por un espacio de 1000 m², el espacio que se requiere para la bodega es de 1m², por lo cual para determinar el costo de la bodega se realiza una regla de tres:

$$\$8.000.000 * 12 = \$96.000.000 \text{ anuales}$$

$$A = \frac{\$96.000.000 * 1m^2}{1000 m^2}$$

$$A = \$96.000$$

El área para la bodega cuesta \$96.000 anuales. Teniendo este valor se determina el costo total del inventario basado en los repuestos que se escogieron para el stock:

Variables / Repuestos	Breaker bifásico	Breaker monofásico	Relevos	Tarjeta electrónica	Cable no 16	Terminales no 16
<i>Costo del artículo</i>	\$ 100.100	\$ 39.200	\$ 215.700	\$ 1.962.500	\$ 80.000	\$ 500
<i>Costo del área</i>	\$ 96.000					
<i>Tamaño del área (m²)</i>	1					
<i>Número de artículos</i>	3	2	2	1	1	50
<i>Costo mantener inventario</i>	\$ 32.000	\$ 48.000	\$ 48.000	\$ 96.000	\$ 96.000	\$ 1.920
<i>Costo de ordenar</i>	\$ 8.000					
<i>Cantidad ordenada</i>	1,22	0,82	0,82	0,41	0,41	20,41
<i>Costo total por unidad</i>	\$ 339.492	\$ 117.592	\$ 470.592	\$ 2.001.692	\$ 119.192	\$ 64.192
<i>Costo total stock por año</i>	\$ 3.112.751					

Tabla 8 Análisis de costo del stock por año. Fuente: Propia de los autores.

El costo de tener todos los repuestos mencionados anteriormente es de \$3.122.751 anual, lo cual es un valor muy pequeño para el costo que puede representar una falla en el sistema de transferencia, el cual puede variar según el tiempo de la falla, oscilando entre los 10 a 30 millones para un tiempo de 1 hora.

6.2.6 Desarrollo de vale la pena

Existen fallas que no son críticas ni afectan al funcionamiento directo del activo. El sistema de transferencia del CPD es un conjunto de subsistemas críticos, ya que, si alguno llega a fallar, la transferencia dejaría de realizar sus funciones óptimas. De las fallas mencionadas, solo una, no es crítica: Los indicadores led incorporados en la tarjeta Lovato, no están funcionando. Esta falla, se puede dar por dos razones:

- Se quemaron los indicadores tipo led.
- La tarjeta Lovato no está energizada.

En el caso de que la tarjeta de control no tuviera energía, implica otro tipo de falla, como ausencia de tensión por la cual significa que no entro la transferencia. Pero en el caso de que sea que los indicadores de la tarjeta no encienden porque se fundieron, es una falla que no es crítica ya que ya transferencia puede seguir funcionando así no tenga esos indicadores, por lo cual, es una falla que es mejor dejar correr a falla, debido al alto costo que presenta cambiar dichos indicadores al tener que quitar la energía del sistema y realizar un cambio de tarjeta. Por lo tanto, si se presenta este tipo de falla, no vale la pena realizar una intervención inmediata para solucionarlo.

6.3 Propuesta(s) de solución

Para dar solución a la problemática planteada, es necesario analizar las metodologías de mantenimiento, tomando en cuenta que la base principal debe ser la garantía y el óptimo servicio del sistema de transferencia del CPD, se escogió el mantenimiento basado en confiabilidad. La metodología del RCM brinda una serie de herramientas para un crear plan de mantenimiento, las cuales funcionan a través de las fallas que pueda presentar un sistema.

Para realizar el análisis, fue necesario obtener la información de todos los acontecimientos ocurridos en la transferencia del CPD de Codensa, con el fin de conocer más del funcionamiento de este sistema. Por medio de un análisis de criticidad usando el método ABC, se determina que tan riesgoso es que el equipo falle, dando como resultado que el

equipo presenta una alta criticidad. Mediante la herramienta del análisis de modo y efecto de falla, se logra verificar cada nivel de criticidad por subsistemas.

Utilizando la hoja de información y la hoja de decisión, se determina las 7 preguntas requeridas del RCM, propuestas en la norma SAE JA1011, las cuales consisten en obtener:

- Función del sistema.
- Falla funcional.
- Modo de falla.
- Efecto de falla.
- Consecuencia de falla.
- Acciones proactivas.
- Acciones por omisión.

El resultado de aplicar estas herramientas es un listado de actividades programas para realizar al equipo, entre las cuales se encuentran mantenimientos predictivos, preventivos, capacitaciones, manejo de repuestos y re diseños, con la finalidad de aumentar la confiabilidad del sistema de transferencia. Dicho plan de mantenimiento debe ser ejecutado por operadores de Codensa y contratistas empleados por esta empresa, bajo la supervisión del encargado de mantenimiento del CPD. Entre las labores mencionadas de mantenimiento se evidencian los siguientes costos:

Actividades propuestas plan de mantenimiento			
Acción a realizar	Tipo de acción	Frecuencia	Costo
Stocks repuestos.	RCS	Cada vez que el stock se utilice	\$ 3.112.751
Pruebas de termografías.	Predictivo	2 veces al año	\$ 300.000
Limpieza con dieléctrico.	Preventivo	1 vez al año	\$ 500.000
Ajustes del sistema.	Preventivo	1 vez al año	\$ 400.000
Pruebas de bobinado de contactor.	Preventivo	1 vez al año	\$ 450.000
Capacitación.		1 vez al año	\$ 1.500.000
Instalación supresor de picos.	Re diseño	Una vez	\$ 3.500.000
Sistema de transferencia con redundancia.	Re diseño	Una vez	\$ 70.000.000

Tabla 9 Actividades propuestas plan de mantenimiento. Fuente: Propia de los autores.

Por medio de esta tabla, se realizará un análisis financiero para determinar qué tan viable es económicamente implementar este plan de mantenimiento para el sistema de transferencia del CPD.

7 Resultados esperados

Se espera que este plan de mantenimiento aumente la confiabilidad del sistema de transferencia de un 90% a un 97%, es decir, que de las 100 veces que se realice un corte de energía, el sistema de transferencia puede presentar 3 fallas en distintos periodos. Al ser un sistema crítico, se debe garantizar una disponibilidad alta, por lo cual, en caso de una falla, se tiene un stock con los repuestos para poder intervenir las fallas más comunes presentadas en el sistema, por lo cual se busca que la disponibilidad del sistema sea del 95%.

8 Análisis financiero

Para obtener una rentabilidad de la ejecución del plan de mantenimiento, se realiza un análisis de retorno de inversión ROI, en este caso, se realizará una comparativa de la ganancia actual vs implementando el plan de mantenimiento, en un periodo de 3 años.

Inicialmente se requieren los siguientes datos:

Datos de la operación de Codensa

<i>Ingresos mensuales</i>	\$ 129.173.000.000
<i>Índice perdida de energía por falla</i>	7,88%
<i>Costo de Operación</i>	\$ 90.000.000.000
<i>Tasa de inflación anual</i>	4%
<i>Tasa de inflación mensual</i>	0.327%

Tabla 10 Datos de la operación de Codensa. Fuente: Propia de los autores.

8.1 Análisis ROI actual

Para elaborar este análisis, es necesario saber Codensa cuánto gasta en actividades de mantenimiento, por lo cual se obtiene que:

Actividades actuales de mantenimiento

<i>Verificación y Correctivos</i>	\$ 29.250.000
-----------------------------------	---------------

Tabla 11 Actividades actuales de mantenimiento. Fuente: Propia de los autores.

Realizando en análisis con los datos suministrados, obtenemos una tabla con el flujo neto aproximado de 3 años.

Año	Mes	Ingresos		Egresos		Flujo neto
			Pasivos y gastos	Mantenimiento CPD	Multas y pólizas	
1	0	\$ 0	\$ 0	\$ 29.250.000	\$ 0	-\$ 29.250.000
	1	\$ 118.994.167.600	\$ 90.000.000.000	\$ 0	\$ 0	\$ 28.994.167.600
	2	\$ 129.173.000.000	\$ 90.000.000.000	\$ 0	\$ 0	\$ 39.173.000.000
	3	\$ 129.173.000.000	\$ 90.000.000.000	\$ 0	\$ 0	\$ 39.173.000.000
	4	\$ 129.173.000.000	\$ 90.000.000.000	\$ 0	\$ 0	\$ 39.173.000.000
	5	\$ 118.994.167.600	\$ 90.000.000.000	\$ 0	\$ 300.000.000	\$ 28.694.167.600
	6	\$ 129.173.000.000	\$ 90.000.000.000	\$ 0	\$ 0	\$ 39.173.000.000
	7	\$ 129.173.000.000	\$ 90.000.000.000	\$ 0	\$ 0	\$ 39.173.000.000
	8	\$ 118.994.167.600	\$ 90.000.000.000	\$ 0	\$ 100.000.000	\$ 28.894.167.600
	9	\$ 129.173.000.000	\$ 90.000.000.000	\$ 0	\$ 0	\$ 39.173.000.000
	10	\$ 129.173.000.000	\$ 90.000.000.000	\$ 0	\$ 0	\$ 39.173.000.000
	11	\$ 118.994.167.600	\$ 90.000.000.000	\$ 0	\$ 180.000.000	\$ 28.814.167.600
2	12	\$ 129.173.000.000	\$ 90.000.000.000	\$ 0	\$ 0	\$ 39.173.000.000
	1	\$ 118.994.167.600	\$ 90.000.000.000	\$ 29.250.000	\$ 0	\$ 28.964.917.600
	2	\$ 129.173.000.000	\$ 90.000.000.000	\$ 0	\$ 0	\$ 39.173.000.000
	3	\$ 118.994.167.600	\$ 90.000.000.000	\$ 0	\$ 250.000.000	\$ 28.744.167.600
	4	\$ 129.173.000.000	\$ 90.000.000.000	\$ 0	\$ 0	\$ 39.173.000.000
	5	\$ 129.173.000.000	\$ 90.000.000.000	\$ 0	\$ 0	\$ 39.173.000.000
	6	\$ 129.173.000.000	\$ 90.000.000.000	\$ 0	\$ 0	\$ 39.173.000.000
	7	\$ 118.994.167.600	\$ 90.000.000.000	\$ 0	\$ 310.000.000	\$ 28.684.167.600
	8	\$ 118.994.167.600	\$ 90.000.000.000	\$ 0	\$ 100.000.000	\$ 28.894.167.600
	9	\$ 129.173.000.000	\$ 90.000.000.000	\$ 0	\$ 0	\$ 39.173.000.000
	10	\$ 129.173.000.000	\$ 90.000.000.000	\$ 0	\$ 0	\$ 39.173.000.000
	11	\$ 118.994.167.600	\$ 90.000.000.000	\$ 0	\$ 180.000.000	\$ 28.814.167.600
3	12	\$ 129.173.000.000	\$ 90.000.000.000	\$ 0	\$ 0	\$ 39.173.000.000
	1	\$ 118.994.167.600	\$ 90.000.000.000	\$ 29.250.000	\$ 0	\$ 28.964.917.600
	2	\$ 129.173.000.000	\$ 90.000.000.000	\$ 0	\$ 0	\$ 39.173.000.000
	3	\$ 129.173.000.000	\$ 90.000.000.000	\$ 0	\$ 0	\$ 39.173.000.000
	4	\$ 118.994.167.600	\$ 90.000.000.000	\$ 0	\$ 190.000.000	\$ 28.804.167.600
	5	\$ 118.994.167.600	\$ 90.000.000.000	\$ 0	\$ 287.000.000	\$ 28.707.167.600
	6	\$ 129.173.000.000	\$ 90.000.000.000	\$ 0	\$ 0	\$ 39.173.000.000
	7	\$ 129.173.000.000	\$ 90.000.000.000	\$ 0	\$ 0	\$ 39.173.000.000
	8	\$ 118.994.167.600	\$ 90.000.000.000	\$ 0	\$ 150.000.000	\$ 28.844.167.600
	9	\$ 129.173.000.000	\$ 90.000.000.000	\$ 0	\$ 0	\$ 39.173.000.000
	10	\$ 129.173.000.000	\$ 90.000.000.000	\$ 0	\$ 0	\$ 39.173.000.000
	11	\$ 118.994.167.600	\$ 90.000.000.000	\$ 0	\$ 210.000.000	\$ 28.784.167.600
12	\$ 118.994.167.600	\$ 90.000.000.000	\$ 0	\$ 305.000.000	\$ 28.689.167.600	

Tabla 12 Flujo neto Codensa actual. Fuente: Propia de los autores.

Con esta información se calcula el retorno a la inversión:

VNA	\$ 1.182.674.414.191
ROI	1347777,11%

Tabla 13 Retorno a la inversión actual. Fuente: Propia de los autores.

Se evidencia que actualmente Codensa tiene un retorno a la inversión muy alto, siendo del 1347777,11%.

8.2 Análisis ROI con plan de mantenimiento

Para elaborar este análisis, se utiliza los costos de las actividades propuestas para el plan de mantenimiento:

<i>Stocks repuestos.</i>	\$ 3.112.751
<i>Pruebas de termografías.</i>	\$ 300.000
<i>Limpieza con dieléctrico.</i>	\$ 500.000
<i>Ajustes del sistema.</i>	\$ 400.000
<i>Pruebas de bobinado de contactor.</i>	\$ 450.000
<i>Capacitación.</i>	\$ 1.500.000
<i>Instalación supresor de picos.</i>	\$ 3.500.000
<i>Sistema de transferencia con redundancia.</i>	\$ 70.000.000

Tabla 14 Costo actividades propuestas plan de mantenimiento. Fuente: Propia de los autores.

Realizando en análisis con los datos suministrados, obtenemos una tabla con el flujo neto aproximado de 3 años.

Año	Mes	Ingresos		Egresos		Flujo neto
			Pasivos y gastos	Mantenimiento CPD	Multas y pólizas	
1	0	\$ 0	\$ 0	\$ 76.612.751	\$ 0	-\$ 76.612.751
	1	\$ 118.994.167.600	\$ 90.000.000.000	\$ 1.500.000	\$ 0	\$ 28.992.667.600
	2	\$ 118.994.167.600	\$ 90.000.000.000	\$ 1.350.000	\$ 0	\$ 28.992.817.600
	3	\$ 129.173.000.000	\$ 90.000.000.000	\$ 0	\$ 0	\$ 39.173.000.000
	4	\$ 129.173.000.000	\$ 90.000.000.000	\$ 0	\$ 0	\$ 39.173.000.000
	5	\$ 129.173.000.000	\$ 90.000.000.000	\$ 0	\$ 0	\$ 39.173.000.000
	6	\$ 129.173.000.000	\$ 90.000.000.000	\$ 300.000	\$ 0	\$ 39.172.700.000
	7	\$ 129.173.000.000	\$ 90.000.000.000	\$ 0	\$ 0	\$ 39.173.000.000
	8	\$ 129.173.000.000	\$ 90.000.000.000	\$ 0	\$ 0	\$ 39.173.000.000
	9	\$ 129.173.000.000	\$ 90.000.000.000	\$ 0	\$ 0	\$ 39.173.000.000
	10	\$ 118.994.167.600	\$ 90.000.000.000	\$ 0	\$ 150.000.000	\$ 28.844.167.600
	11	\$ 129.173.000.000	\$ 90.000.000.000	\$ 0	\$ 0	\$ 39.173.000.000
2	12	\$ 129.173.000.000	\$ 90.000.000.000	\$ 300.000	\$ 0	\$ 39.172.700.000
	1	\$ 129.173.000.000	\$ 90.000.000.000	\$ 1.500.000	\$ 0	\$ 39.171.500.000
	2	\$ 118.994.167.600	\$ 90.000.000.000	\$ 1.350.000	\$ 0	\$ 28.992.817.600
	3	\$ 129.173.000.000	\$ 90.000.000.000	\$ 0	\$ 0	\$ 39.173.000.000
	4	\$ 129.173.000.000	\$ 90.000.000.000	\$ 0	\$ 0	\$ 39.173.000.000
	5	\$ 129.173.000.000	\$ 90.000.000.000	\$ 0	\$ 0	\$ 39.173.000.000
	6	\$ 129.173.000.000	\$ 90.000.000.000	\$ 300.000	\$ 0	\$ 39.172.700.000
	7	\$ 129.173.000.000	\$ 90.000.000.000	\$ 0	\$ 0	\$ 39.173.000.000
	8	\$ 118.994.167.600	\$ 90.000.000.000	\$ 0	\$ 200.000.000	\$ 28.794.167.600
	9	\$ 129.173.000.000	\$ 90.000.000.000	\$ 0	\$ 0	\$ 39.173.000.000
	10	\$ 129.173.000.000	\$ 90.000.000.000	\$ 0	\$ 0	\$ 39.173.000.000
	11	\$ 129.173.000.000	\$ 90.000.000.000	\$ 0	\$ 0	\$ 39.173.000.000
3	12	\$ 129.173.000.000	\$ 90.000.000.000	\$ 300.000	\$ 0	\$ 39.172.700.000
	1	\$ 129.173.000.000	\$ 90.000.000.000	\$ 1.500.000	\$ 0	\$ 39.171.500.000
	2	\$ 118.994.167.600	\$ 90.000.000.000	\$ 1.350.000	\$ 0	\$ 28.992.817.600
	3	\$ 129.173.000.000	\$ 90.000.000.000	\$ 0	\$ 0	\$ 39.173.000.000
	4	\$ 129.173.000.000	\$ 90.000.000.000	\$ 0	\$ 0	\$ 39.173.000.000
	5	\$ 129.173.000.000	\$ 90.000.000.000	\$ 0	\$ 0	\$ 39.173.000.000
	6	\$ 129.173.000.000	\$ 90.000.000.000	\$ 0	\$ 0	\$ 39.173.000.000
	7	\$ 129.173.000.000	\$ 90.000.000.000	\$ 0	\$ 0	\$ 39.173.000.000
	8	\$ 129.173.000.000	\$ 90.000.000.000	\$ 0	\$ 0	\$ 39.173.000.000
	9	\$ 129.173.000.000	\$ 90.000.000.000	\$ 0	\$ 0	\$ 39.173.000.000
	10	\$ 118.994.167.600	\$ 90.000.000.000	\$ 0	\$ 130.000.000	\$ 28.864.167.600
	11	\$ 129.173.000.000	\$ 90.000.000.000	\$ 0	\$ 0	\$ 39.173.000.000
12	\$ 129.173.000.000	\$ 90.000.000.000	\$ 0	\$ 0	\$ 39.173.000.000	

Tabla 15 Flujo neto Codensa con plan de mantenimiento. Fuente: (Codensa, 2017)

Con esta información se calcula el retorno a la inversión:

VNA	\$ 1.259.889.599.553
ROI	1458834,49%

Tabla 16 Retorno a la inversión con plan de mantenimiento. Fuente: Propia de los autores.

Se evidencia que, si Codensa llega a ejecutar el plan de mantenimiento, el retorno a la inversión en 3 años sería del 1458834,49% siendo mayor que el que poseen actualmente. Esto se debe a que los egresos por parte de multas y pérdidas de por la indisponibilidad del sistema de transferencia, afectan directamente al flujo neto, por lo tanto, las ganancias monetarias se ven afectadas. La inversión de ejecutar el plan de mantenimiento es alta, pero en tres años genera más re contribución que el modelo de mantenimiento que maneja la empresa actualmente.

9 Conclusiones y recomendaciones

9.1 Conclusiones

El análisis del mantenimiento centrado en confiabilidad y posterior utilización en el desarrollo de una propuesta para un plan que permita obtener una mejor información de los equipos y/o componentes que forman parte de la transferencia automática del CPD de Codensa y que deben estar sometidos a un estricto programa de mantenimiento de manera de evitar la fallas que fueron identificadas y que pueden poner en riesgo la operación de un área de vital importancia no solo para la empresa, sino para todos sus clientes y aliados que dependen que este centro de procesamientos de datos para sus operaciones. De tal forma que ha permitido establecer objetivos alcanzables para identificar, analizar y evitar a través

de diferentes métodos las fallas que se puedan producir en este equipo y las maneras de evitarlas con un mantenimiento adecuado.

A través del análisis de criticidad se lograron identificar los elementos de mayor riesgos y lo que los produce, así mismo con el análisis y el modo de falla de AMEF se pudieron identificar cada uno de los componentes de la transferencia y sus posibles fallas así como el tipo de mantenimiento a efectuar de forma tal de evitarlas, por ultimo con la ayuda de la hoja y el diagrama de decisión se lograron obtener actividades para cada elemento que evitarían las posibles fallas anteriormente encontradas, también se utilizó un método que permite validar las fallas ocultas que aunque no ponen en riesgo todo el sistema si pueden dar lugar a errores de los operarios o al momento de la revisión de otras fallas posibles.

En vista de haberse identificado que no se tenía un plan de mantenimiento adecuado para la anterior transferencia y validado la importancia de la operación de todo el sistema, se establece que los mantenimientos preventivos a cada uno de los elementos de alta criticidad se deben realizar de forma periódica y cumpliendo un estricto control y seguimiento de manera de minimizar cualquiera de las fallas mencionadas, en la transferencia actualmente operativa.

Por otra parte, considerando la política actual de la empresa en relación al Desarrollo Sostenible; el análisis RCM2 contribuye a la mayor seguridad y protección ambiental ya que considera la sistemática revisión de las implicancias en la seguridad y aspectos ambientales de cada modo de falla evidente, antes de considerar los aspectos operacionales lo que significa que la seguridad y la integridad ambiental se convierten en prioridades principales del mantenimiento.

Por último, el mantenimiento a cada uno de los componentes internos o de forma general a toda la transferencia, aumenta sus costos con la implementación de este plan, este valor es mínimo en relación a las pérdidas que se obtendrían por la falla de todos los sistemas y servidores que operan dentro del CPD, tomando en cuenta que no solo se interrumpe la comunicación del centro de control si no que se quedaría sin sistemas las empresas aliadas como Movistar, ETB, Claro, etc. lo que pudieran representar grandes multas para la empresa.

9.2 Recomendaciones

- En vista de las fallas que se presentaban en la anterior transferencia por no poseer un plan de mantenimiento confiable, se hace necesario establecer dicho plan para las dos transferencias que hacen parte del sistema de respaldo del CPD de Codensa.
- Este plan debe ser claro y preciso que permita revisar cada uno de los componentes más críticos de la transferencia y que pondrían en riesgo la operación en caso de una falla.
- Si por alguna razón se produce una falla en el automatizado y la transferencia opera de forma manual, es necesario que el operador utilice los elementos de protección personal necesarios (EPP) tales como guantes y mangas dieléctricas, Botas de seguridad dieléctricas, casco dieléctrico, traje ignífugo, así como tapetes dieléctricos.

- Se recomienda realizar una bitácora de mantenimiento donde se incluya todos los desperfectos que el sistema haya presentado, esto para determinar el deterioro de los componentes o bien la calendarización de los mantenimientos.
- Para el sistema automático de transferencia debe incluirse dentro del mantenimiento el ajuste y calibración de relés automáticos y de los interruptores de potencia.
- Es necesario crear hojas de inspección o un software interactivo donde se anoten todos los datos recabados durante las inspecciones programadas de los equipos, a su vez es necesario crear un documento de autorización donde se especifique los trabajos a realizar en el sistema.
- Es necesario que se programen pruebas rutinarias, por lo menos una vez al mes, del sistema trabajando a plena carga, estas pruebas tienen la finalidad de detectar fallas en el sistema visto de una forma integral. Las pruebas a plena carga deben ser programadas.
- Se debe incluir dentro del presupuesto anual de la gerencia de servicios y seguridad, el plan de mantenimiento de forma tal de no dejar de cumplir con el mismo por falta de recursos.

10 Bibliografía

ACIEM. (s.f.). *TPM Mantenimiento Porductivo Total*. Bogotá D.C.

Ardila Forero Carlos Andrés, F. G. (2014). *Propuesta de mantenimiento para equipos tipo grúa plataforma deslizante en empresas del sector transporte basada en herramientas del RCM*. Bogotá D.C.: Universidad ECCI .

Bejarano Cano Wilmar Guillermo, Q. V. (2014). *Propuesta de aplicación de determinados procesos de RCM en cargadores frontales sobre ruedas para la industria de concretos*. Bogotá D.C.: Universidad ECCI.

- Carolina, M. A. (2014). *Propuesta de un plan de mantenimiento basado en estrategias de RCM para compresor y secadores utilizados en la producción de aire medicinal en una institución prestadora de salud*. Bogotá D.C.: Universidad ECCI.
- Carrillo Balcazar, J. H. (2008). *Aplicación del mantenimiento centrado en confiabilidad a los servicios auxiliares en corriente alterna de una planta de ciclo combinado*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Codensa. (2017). *Memoria anual Codensa*. Obtenido de Memoria anual Codensa: <http://corporativo.codensa.com.co/ES/PRENSA/CENTRODOCUMENTAL/Informes%20Anuales/Memoria-Anual-Codensa-2017.pdf>
- Córdoba Álvarez Juan Camilo, M. G. (2017). *Elaboración de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) para la empresa Citriexpinal S.A.S*. Bogotá: Universidad Santo Tomas.
- Cubillos, F. H. (2018). *Apuntes gerencia de mantenimiento I*. Bogotá D.C.: Universidad ECCI.
- DSG Diesel Service Generation. (2015). *DSG Diesel Service Generation*. Obtenido de DSG Diesel Service Generation: <http://venta-deplantasdeluz.com.mx/que-es-tablero-de-transferencia.html>
- Enrique Mora, D. A. (10 de 02 de 2016). *leanexpertise.com*. Obtenido de leanexpertise.com: <http://www.leanexpertise.com/TPMONLINE/RBM-Mantenimiento-Basado-en-el-Riesgo.html>
- Gondres Torné Israel, L. C. (2016). *Evaluación de la confiabilidad en interruptores de potencia mediante la norma Norsok Z-013*. Cuba: Universidad de Camagüey.
- Holguín, J. C. (2007). *PMO – Optimización del mantenimiento planeado*. ACIEM.
- ICONTEC. (25 de 11 de 1998). *idrd.gov.co*. Obtenido de idrd.gov.co: <http://www.idrd.gov.co/sitio/idrd/sites/default/files/imagenes/ntc%2020500.pdf>
- Joao Bázaga Quesada, J. M. (2016). *Evaluación del comportamiento de los motores pertenecientes a una planta eléctrica mediante los indicadores de mantenimiento*. Cotopaxi, Ecuador: ESPE.

John Jairo Guzmán Espitia, M. Á. (2014). *Propuesta de un plan de mantenimiento basado en la metodología mantenimiento centrado en confiabilidad RCM para los componentes de mayor criticidad de un sistema inundado de refrigeración con amoniaco*. Bogotá D.C.: Universidad ECCI.

Julio Cesar Ramírez, H. F. (2017). *Elaboración de un análisis de criticidad y disponibilidad para la atracción X-treme del parque Mundo Aventura, tomando como referencia las normas, SAE JA1011 Y SAE JA1012*. Bogotá D.C.: Universidad Distrital Francisco José De Caldas.

Luis Enrique Bejarano Clavijo, A. C. (2013). *Modelo de optimización para el mantenimiento proactivo de los equipos para la producción de leche u.h.t de la cooperativa Colanta S.A. basado en RCM*. Bogotá D.C: Universidad Libre.

mantenimientopetroquimica.com. (2012). *mantenimientopetroquimica.com*. Obtenido de [mantenimientopetroquimica.com](http://www.mantenimientopetroquimica.com):
<http://www.mantenimientopetroquimica.com/mantenimientopredictivo.html>

Mejía Arias Carlos Mario, L. B. (2016). *Desarrollo de una propuesta para implementación de un plan de mantenimiento en equipos Imac aplicando metodología RCM II*. Bogotá D.C.: Universidad ECCI.

Ministerio de minas y energia. (30 de 08 de 2013). *minminas.gov.co*. Obtenido de [minminas.gov.co](https://www.minminas.gov.co):
<https://www.minminas.gov.co/documents/10180/1179442/Anexo+General+del+RE+TIE+vigente+actualizado+a+2015-1.pdf/57874c58-e61e-4104-8b8c-b64dbabedb13>

Murillo, F. (2018). *Apuntes clase gerencia financiera*. Bogotá D.C: Universidad ECCI.

Rene, A. S. (2016). *Implementación de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) para planta golosinas Nestle Perú*. Perú: Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur.

RENOVE TECNOLOGÍA S.L . (2016). *RCM3.org*. Obtenido de RCM3:
<http://rcm3.org/la-norma-sae-ja-1011>

Ricardo, M. C. (2017). *Propuesta de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), para mejorar la productividad de la empresa Ersá transportes y servicios S.R.L*. Perú: Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo.

Rodrigo A. Vargas Díaz, V. H. (2012). *Aplicación de la estrategia de mantenimiento RCM2 al sistema de caldera de la unidad 2 de la planta térmica de generación de energía eléctrica central Cartagena*. Cartagena de Indias: Universidad Tecnológica de Bolívar de Cartagena de Indias.

Rojas, N. D. (2018). *Apuntes de clase de mantenimiento 2*. Bogotá: ECCI.

Significados.com. . (16 de 01 de 2015). *Significados.com. .* Obtenido de Significados.com. : <https://www.significados.com/mantenimiento-correctivo/>

Zuleidy, R. O. (2016). *Plan de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) para el horno rotatorio Allis Chalmers en la planta de cemento Cúcuta, Cemex Colombia S.A.* Cúcuta: UFPSO.