

**DISEÑO DE UN MODELO DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN  
CONFIABILIDAD (RCM)  
CASO DE ESTUDIO: SISTEMA ELÉCTRICO EN LOS ACTIVOS  
INMOBILIARIOS DE TERRANUM.**

Ing. LUIS MAURICIO CALA ARIAS

Ing. LAURA VIVIANA HERNÁNDEZ RODRÍGUEZ

UNIVERSIDAD ECCI  
DIRECCIÓN DE POSGRADOS  
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO  
BOGOTÁ D.C.

2018

**DISEÑO DE UN MODELO DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN  
CONFIABILIDAD (RCM)  
CASO DE ESTUDIO: SISTEMA ELÉCTRICO EN LOS ACTIVOS  
INMOBILIARIOS DE TERRANUM.**

Ing. LUIS MAURICIO CALA ARIAS

Ing. LAURA VIVIANA HERNÁNDEZ RODRÍGUEZ

Trabajo de grado presentado como requisito para obtener el título de  
Especialistas en Gerencia de Mantenimiento

Director:

Ing. MIGUEL ANGEL URIAN TINOCO

Esp. En Gerencia de Mantenimiento

UNIVERSIDAD ECCI  
FACULTAD DE POSGRADOS  
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO  
BOGOTÁ D.C.

2018

## Tabla de Contenidos

Resumen .....	5
Abstract.....	6
Palabras claves.....	7
Keywords .....	7
Introducción .....	8
1. Título.....	10
2. Problema de investigación.....	11
2.1 Descripción del problema .....	11
2.2 Planteamiento del problema .....	11
2.3 Sistematización del problema .....	12
3. Objetivos.....	13
3.1 Objetivo general.....	13
3.2 Objetivos específicos .....	13
4. Justificación y Delimitación .....	14
4.1 Justificación .....	14
4.2 Delimitación .....	15
4.3 Limitaciones.....	15
5. Marco referencial .....	16
5.1 Estado del arte.....	16
5.1.1 Estado del arte local .....	16
5.1.2 Estado del arte nacional .....	19
5.1.3 Estado del arte internacional .....	23
5.2 Marco teórico .....	25
5.2.1 Mantenimiento Centrado en confiabilidad - RCM .....	26
5.2.2 Componentes del sistema eléctrico .....	35
6. Marco Metodológico .....	38
6.1 Recolección de la Información.....	39
6.1.1 Fuentes de obtención de la información .....	39
6.1.2 Tipo de investigación .....	39
6.1.3 Metodología .....	40

	4
6.1.4 Instrumentos	41
6.1.5 Información	41
6.2 Análisis de la información .....	46
6.2.1 Jerarquización de los activos	46
6.2.2 Análisis de criticidad	52
6.2.3 Análisis de las fallas funcionales, modos y efectos de falla (AMEF) 60	
6.3 Propuesta de solución .....	65
7. Resultados.....	68
8. Análisis financiero.....	72
9. Conclusiones y recomendaciones .....	75
9.1 Conclusiones .....	75
9.2 Recomendaciones .....	76
10 Lista de referencias.....	77

## Resumen

Este proyecto contempla utilizar metodologías existentes en mantenimiento, centradas en confiabilidad (y basadas en condición), para aplicarlas en los activos eléctricos de una compañía que se dedica a la renta de sus activos inmobiliarios, Terranum S.A., donde su operación es 24/7 ya que muchos de sus clientes son data center y su operación implica una confiabilidad del 100%. Lo anterior se cumple implementando la metodología centrada en confiabilidad, RCM, que proporciona las funciones, las fallas funcionales, los modos de falla de los activos y las tareas de mantenimiento que deben realizarse para disminuir las consecuencias de estos modos de falla. Para priorizar los activos de la compañía Terranum, se recurre a los análisis de criticidad que permiten clasificar los activos de mayor importancia en la operación y de esta manera diseñar el plan de mantenimiento a los activos que lo requieren. Los modelos de mantenimiento se aplicarán a los transformadores eléctricos, tableros eléctricos, blindobarras y UPSs.

## **Abstract**

This project contemplates using existing methodologies in maintenance, focused on reliability (and based on condition), to apply them in the electric assets of a company that is dedicated to the rental of its real estate assets, Terranum SA, where its operation is 24/7 and that many of its customers are data center and its operation implies a 100% reliability. The above is fulfilled by implementing the methodology focused on reliability, RCM, which provides the functions, functional failures, failure modes of the assets and maintenance tasks that must be performed to reduce the consequences of these failure modes. To prioritize the assets of the Terranum company, criticality analyzes are used to classify the most important assets in the operation and thus design the maintenance plan for the assets that require it. The maintenance models will be applied to electrical transformers, electrical panel, electrobars and UPSs.

### **Palabras claves**

Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM), mantenimiento basado en condición (CBM), transformador eléctrico, tablero eléctrico, blindobarra, UPS, modos de falla, análisis de criticidad, activos.

### **Keywords**

Reliability centered maintenance (RCM), condition based maintenance (CBM), electrical transformer, electrical panel, electrobar, UPS, failure modes, criticality analysis, assets.

## Introducción

Generar una confiabilidad de casi un 100% en una compañía que renta sus activos es imprescindible dado que está en juego la confianza de aquellos que lo rentan para su uso organizacional, uno de los puntos de quiebre en los activos inmobiliarios es disponer de todos los sistemas que lo integran, mucho más, cuando se depende de factores externos tales como el fluido de energía eléctrica por parte del operador de red, por tal motivo, se debe pensar en instalar elementos, equipos, aparatos (activos eléctricos) que generen confiabilidad del flujo energético, y a su vez, planear el cómo mantener estos para prolongar su ciclo de vida (operación y disponibilidad constante en el tiempo).

Terranum S.A. es una importante compañía colombiana que se dedica a rentar sus activos inmobiliarios en Bogotá, tiene 3 complejos: Connecta ecosistemas de negocios, ZOL Funza y Zona franca Gachancipá – Exxenta. Actualmente sus propiedades ascienden a 250.000 m<sup>2</sup> y entre sus clientes se encuentran importantes compañías de data center, gubernamentales, entre otros.

El mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) es una metodología conocida que busca minimizar los impactos o consecuencias generadas por los modos de fallas de los activos de la compañía Terranum S.A., por esta razón, aplicar esta metodología a sus activos eléctricos es funcionalmente viable ya que se



pretende dar una disponibilidad del 100% en la operación normal de cada complejo que dicha organización tiene.

## **1. Título**

Diseño de un modelo de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM), caso de estudio: sistema eléctrico en los activos inmobiliarios de Terranum.

## **2. Problema de investigación**

### 2.1 Descripción del problema

Terranum S.A. es una compañía que se dedica a la renta de sus activos inmobiliarios generando valor en cada una de sus instalaciones a través de lujosos complejos de oficinas, ubicaciones en zonas corporativas, hoteleras y comerciales más importantes del país, sectores de gran afluencia de personal, entre otras.

Desde mediados del 2016 Terranum ha vivido una serie de eventos eléctricos causados, entre otros, por factores ambientales donde constantemente se generan fluctuaciones de energía eléctrica, ocasionándoles sanciones y multas por parte de los clientes que habitan cada activo inmobiliario ya que, en los contratos firmados de arrendamiento, Terranum debe garantizar una operación 24/7 en sus instalaciones eléctricas.

Uno de los más grandes e importantes activos inmobiliarios de Terranum en la actualidad, es el Complejo Empresarial Connecta, en el cual hay organizaciones que se dedican al data center, donde es imprescindible una disponibilidad total.

### 2.2 Planteamiento del problema

Actualmente Terranum cuenta con un plan de mantenimiento pero sin estudios previos bajo modelos tales como RCM, TPM, preventivo, predictivo, entre otros, para la gestión de sus activos eléctricos por lo que no pueden garantizar el

funcionamiento permanente y a su vez están en riesgo de generar pérdidas económicas internas por multas de sus clientes, por esta razón es necesario dar respuesta en este proyecto a la pregunta de investigación: ¿Cómo se pueden disminuir las fallas del sistema eléctrico en los activos inmobiliarios de Terranum aplicando RCM?

### 2.3 Sistematización del problema

2.3.1 ¿Qué tan eficiente es el plan de mantenimiento actual que ejecuta Terranum al sistema eléctrico?

2.3.2 ¿Por qué es importante seleccionar los activos críticos al momento de diseñar el plan de mantenimiento basado en condición?

2.3.3 ¿Cómo diseñar un plan de mantenimiento que mitigue las fallas en los activos eléctricos aplicando RCM?

### 3. Objetivos

#### 3.1 Objetivo general

- Diseñar un modelo de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) para el sistema eléctrico de los activos inmobiliarios de Terranum Corporativo.

#### 3.2 Objetivos específicos

- Diagnosticar cómo se está ejecutando el mantenimiento en los activos eléctricos de Terranum, a partir de los datos históricos de disponibilidad, confiabilidad (MTBF) y mantenibilidad medida (MTTR) o del plan actual de mantenimiento realizado sin estudio previo.
- Establecer el procedimiento para la implementación de una metodología centrada en confiabilidad en activos eléctricos.
- Diseñar modelos de mantenimiento para cada subsistema eléctrico definido para el presente proyecto (transformador, tablero eléctrico, UPS y blindobarra).
- Mostrar las ventajas que tiene el diseño de un modelo de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM), frente al mantenimiento actual de la empresa Terranum.

## 4. Justificación y Delimitación

### 4.1 Justificación

Dada la necesidad de muchas multinacionales y compañías en general en temas logísticos, industriales y corporativos, Terranum ofrece la renta de sus activos inmobiliarios; actualmente cuenta con uno de los proyectos más grandes, el Complejo Empresarial Connecta, donde se arriendan 20.000 m<sup>2</sup> de áreas corporativas cada año y cuyo potencial asciende a 250.000 m<sup>2</sup>, es por esto que se recalca la importancia de que cada activo físico esté operando eficientemente las 24 horas del día y más cuando se tenga una operación que requiere una disponibilidad y confiabilidad del 100% para todos sus complejos inmobiliarios, adicionalmente, Terranum cuenta con un plan de mantenimiento que está diseñado sin parámetros de metodologías que garantizan éxito en la operación, por tal motivo se requiere diseñar un modelo de mantenimiento genere gestión, control y seguimiento. Dada esta necesidad, se deben enfocar en lograr el control y gestión de sus activos, y por tal motivo, el presente proyecto contempla el diseño de un modelo de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) que logre disminuir las fallas del sistema eléctrico que incluye transformadores, tableros eléctricos, UPS y blindobarras con el fin de mitigar los problemas financieros y los impactos a los clientes finales.

#### 4.2 Delimitación

El presente proyecto contempla el diseño de un modelo de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) para las instalaciones del Complejo Connecta, Terranum, ubicado en la calle 26 # 92-32 en la ciudad de Bogotá, será ejecutado hasta finales de mayo del año 2018.

#### 4.3 Limitaciones

Técnica: El plan de mantenimiento se realizará únicamente a activos eléctricos, no mecánicos o electromecánicos.

Temporal: Se tienen once (11) meses para la ejecución del presente proyecto, desde agosto del 2017 hasta julio 2018.

## 5. Marco referencial

### 5.1 Estado del arte

Para el desarrollo del presente proyecto se hará revisión de proyectos locales (Universidad ECCI), proyectos nacionales (a nivel Colombia) y proyectos internacionales alineados a la metodología RCM, a los planes de mantenimiento de sistemas eléctricos y a implementación de diseños de metodologías de mantenimiento.

#### 5.1.1 Estado del arte local

En el año 2018, Gonzalez Forero Edison Yesid y Moreno Ajiaco Didier Reinaldo, en su tesis para la Universidad ECCI, desarrollaron el proyecto “PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN CONFIABILIDAD PARA UNA MÁQUINA GRANALLADORA”. Donde realizaron una propuesta de programa de mantenimiento basado en confiabilidad para la máquina granalladora de la empresa WDM Metales. El resultado de la propuesta del plan de mantenimiento para la máquina que tiene un nivel crítico son: limpieza, sustitución de elementos y lubricación, identificando los repuestos con alto grado de criticidad, teniendo como finalidad lograr que la granalladora este siempre disponible para los requerimientos de producción evitando incurrir en falla, optimizando los recursos disponibles (Gonzales & Didier, 2018)



Este proyecto sirve como base para entender el procedimiento del diseño de un plan de mantenimiento.

En el año 2016, Cardenas Jorge, Bastidas German, Cardozo Hugo y Benitez Jose, en su tesis para la universidad ECCI, desarrollaron el proyecto “CÁLCULO DEL TPEF (TIEMPO PROMEDIO ENTRE FALLAS) PARA UNA FLOTA DE VEHÍCULOS DE TRANSPORTE MASIVO (GESTIÓN DE ACTIVOS)”. Donde determinaron el tiempo promedio entre fallas de mantenimiento correctivo, en los vehículos de una empresa de transporte masivo. Se analizaron los datos de fallas recurrentes por medio de análisis matemático y estadístico.

El proyecto en mención aporta al presente proyecto en conocer la forma de evaluar y calcular los indicadores de gestión tales como tiempo promedio entre fallas (Jorge, Hugo, & Jose, 2016)

En el año 2011, Pimiento Páez Juan Camilo, García John Alejandro y Prieto Garzón Iván Fernando en su tesis para la Universidad ECCI, desarrollaron el proyecto “MODELO DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM) PARA UNA MÁQUINA PRENSA PARA LA FABRICACIÓN DE CLAVOS EN UNA EMPRESA MANUFACTURERA” donde concluyeron que existen deficiencias en la manera en que opera el área de mantenimiento, dichas deficiencias afectan significativamente la disponibilidad de la maquinaria por la cantidad de paradas, todo esto generando sobrecostos de producción, por lo

que incrementar la confiabilidad anticipando posibles fallas cíclicas con el fin de optimizar los recursos de la compañía y obtener mejores resultados en cuanto a la disponibilidad y confiabilidad de los equipos. Se propone el desarrollo de un modelo de aplicabilidad basado en RCM que cubra las necesidades de producción, mantenimiento, entre otras.”

El aporte que genera este proyecto se basa en la aplicación de la metodología RCM para activos, independiente de la índole (Juan, John, & Iván, 2011)

En el año 2010, Orjuela Pardo Edwin y Castillo Amórtegui Carlos en su tesis de grado para la universidad ECCI, desarrollaron el proyecto “DESARROLLO DE MANUAL DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO, CORRECTIVO Y DE INSTALACIÓN PARA UPS’s SOLTEC DE 20 KVA A 100 KVA”. Realizaron un manual con criterios y parámetros primordiales para el desarrollo de un buen mantenimiento preventivo, correctivo y de instalación, basados en los principios de una correcta instalación de las UPS’s SOLTEC de 20 kVA a 100 kVA. Uno de los objetivos es brindar las herramientas prácticas a la organización que las posee según procedimientos estandarizados, con el fin de desarrollar tareas de forma eficiente y eficaz.

El enfoque principal del proyecto de grado es generar procedimientos y listas de chequeo para realizar maniobras de mantenimiento que no afecten la operabilidad de los equipos, y adicionalmente que no presente ningún riesgo para el operador que realiza los mantenimientos preventivos y predictivos.

Este proyecto aporta los conocimientos técnicos de un activo en estudio, la UPS, adicionalmente aporta conocimiento en los mantenimientos (Edwin & Carlos, 2010)

En el año 2007, Parra Mora Alejandro en su tesis de grado para la Universidad ECCI, desarrolló el proyecto “PLAN DE MANTENIMIENTO PARA LOS SISTEMAS DE CORTE AUTOMÁTICO MARCA GERBER, UTILIZADOS EN LA SALADE CORTE EN PEPAL S.A.”, realizó un proyecto que explica de forma general el mantenimiento preventivo con el fin de minimizar procedimientos de tipo correctivo y pérdidas de tiempos muertos e improductivos. Esto permite garantizar una mejor vida útil del equipo, aumentando la productividad y logrando reducir los costos de operación. Adicionalmente se desarrolló un manual de procedimientos para las actividades a realizar, procesos de ejecución, posibles causas y soluciones que permiten al área de mantenimiento resolver con eficiencia y en el menor tiempo posible, los problemas que se presentan en la operación normal del equipo.

El proyecto aporta la forma de aplicar una metodología de mantenimiento a activos (Alejandro, 2007)

#### 5.1.2 Estado del arte nacional

En el año 2017, Rincón Albarracín Juan Carlos y Merchán Mejía Sergio Iván, en su tesis para la Universidad Industrial de Santander, desarrollaron el proyecto

“PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN RCM PARA LA RED DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA DE MEDIA TENSIÓN A 34,5 KV DE CAMPO RUBIALES PROPIEDAD DE ECOPETROL S.A.” Donde se realizó con el fin de mitigar el impacto generado en los procesos productivos actuales del campo petrolero causados por la ocurrencia de fallas en los equipos pertenecientes al sistema de distribución.

El aporte que genera este proyecto se basa en la aplicación de la metodología RCM para activos eléctricos (Juan & Sergio, 2017)

En el año 2015, Avella Rodríguez Larissa y Bolívar Ochoa Pablo Andrés, en su tesis para la Universidad Industrial de Santander, desarrollaron el proyecto “FORMULACIÓN DE UN MODELO DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO PARA MOTORES ELÉCTRICOS, TRANSFORMADORES DE POTENCIA DE 500 KVA EN ADELANTE Y GENERADORES ELÉCTRICOS CON POTENCIAS SUPERIORES A 1 MW”. Donde se entrega un documento con las recomendaciones estándares en los ensayos de aceptación para las máquinas eléctricas estáticas y rotativas, en mantenimiento preventivo y predictivo, se da una guía de fallas típicas, su manera de detección, recomendaciones de frecuencias de mantenimiento y de implementación.

El proyecto aporta la forma de aplicar una metodología de mantenimiento a activos (Larissa & Pablo, 2015)

En el año 2014, Bernal López Pablo Martín, en su tesis para la Universidad Industrial de Santander desarrolló el proyecto “MODELO ESTRATÉGICO DE MANTENIMIENTO PARA LAS SUBESTACIONES Y REDES ELÉCTRICAS DE MEDIA TENSIÓN DE UNA PLANTA SIDERÚRGICA BASADO EN LA METODOLOGÍA RCM”. Se realizó un análisis que permitió establecer la estrategia de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) para lograr operar el proceso en la planta siderúrgica, minimizando las paradas por cortes de energía debida a fallos del sistema eléctrico mediante la ejecución de tareas de mantenimiento costo-efectivas. Se utilizó la metodología SRCM que está orientada hacia la industria de proceso e instalaciones de distribución de energía. En los planes de mantenimiento se siguió la tendencia mundial basada en la anticipación temprana de un siniestro eléctrico, mediante la aplicación de técnicas de diagnóstico de redes y subestaciones.

El proyecto aporta la forma de aplicar la metodología RCM en activos eléctricos (Pablo, 2014)

En el año 2014, Martínez León, en su tesis para la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, desarrolló el proyecto “METODOLOGÍA PARA LA DEFINICIÓN DE TAREAS DE MANTENIMIENTO BASADO EN CONFIABILIDAD, CONDICIÓN Y RIESGO APLICADA A EQUIPO DE TRANSMISIÓN NACIONAL” en donde se pretende extender la vida útil y reducir la probabilidad de fallo de los equipos por medio de estrategias que

combinen la confiabilidad de los equipos a partir del histórico de fallas, el monitoreo de la condición y un análisis de riesgo en la forma de las decisiones, para ofrecer un modelo más realista en la incertidumbre de ejecutar o no ejecutar un mantenimiento.

Con este proyecto se logran conocer tareas de mantenimiento asociadas a activos eléctricos (León, 2014)

En el año 2007, Aristizábal Torres Daniel, en su tesis para la Universidad Tecnológica de Pereira, desarrolló el proyecto “DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PARA LA EMPRESA CENTRIFUGADOS CONCISA LTDA”.

Donde establece que la compañía no cuenta con un plan de mantenimiento definido y por tanto no existe control de los equipos, rutinas de inspección, análisis de sucesos, lo cual impide la ejecución total de las actividades. Se propone un diseño de un plan de mantenimiento donde se involucre la capacitación del personal del área de mantenimiento y también se elaboran manuales de operación de los equipos.

El proyecto aporta la forma de aplicar una metodología de mantenimiento a activos (Daniel, 2007)

### 5.1.3 Estado del arte internacional

En el año 2017, Álvarez Zeas Iván Patricio, en su tesis para la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca (Ecuador), desarrolló el proyecto “IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA RCM PARA LOS VEHÍCULOS DE EMERGENCIA DEL BENEMÉRITO CUERPO DE BOMBEROS VOLUNTARIOS DE CUENCA” en donde implementan un plan de mantenimiento basado en RCM, dicho proyecto se basa en actividades, frecuencias y responsables, se tiene presente la criticidad de los equipos.

El aporte que genera este proyecto se basa en la aplicación de la metodología RCM para activos, independiente del funcionamiento (Iván, 2017)

En el año 2017, Padilla Ortega Francisco, en su tesis para la Universidad de Sevilla (España), desarrolló el proyecto “PROTOCOLO DE REVISIÓN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO-CORRECTIVO, PARA LA INSTALACIÓN DE GRUPOS ELECTRÓGENOS”, donde tiene como objetivo el describir las diferentes operaciones a realizar en las intervenciones de los grupos electrógenos (plantas eléctricas), elaborando un manual con procedimientos a seguir en la instalación y mantenimiento con el fin de asegurar el continuo y correcto funcionamiento en operación normal.

El aporte que genera este proyecto se basa en la aplicación de una metodología de mantenimiento para activos de acuerdo al contexto operacional (Francisco, 2017)

En el año 2012, González Lobo Iván Gabriel, en su tesis para la Universidad Simón Bolívar (Venezuela), desarrolló el proyecto “DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN CONFIABILIDAD PARA EL CIRCUITO PROPATRIA B2”. Donde se analizaron los indicadores de confiabilidad (SAIDI y SAIFI) generándose dos documentos: la hoja de información y la hoja de decisión del RCM.

El aporte que genera este proyecto se basa en la aplicación de una metodología basada en RCM mantenimiento para activos de acuerdo con el contexto operacional (Iván G. , 2012)

En el año 2007, Pesántez Huerta Álvaro Eduardo, en su tesis para la Universidad de la Escuela Superior Politécnica del Litoral de Ecuador (Ecuador), desarrolló el proyecto “ELABORACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO Y PREVENTIVO EN FUNCIÓN DE LA CRITICIDAD DE LOS EQUIPOS DEL PROCESO PRODUCTIVO DE UNA EMPRESA EMPACADORA DE CAMARÓN”, establece determinar los equipos críticos de la compañía para realizar la matriz de criticidad y encontrar el índice de criticidad, con este análisis



se elabora el plan de mantenimiento preventivo y predictivo programado por la compañía.

El aporte que genera este proyecto se basa en la aplicación de una metodología de mantenimiento para activos de acuerdo al contexto operacional (Álvaro, 2007)

En el año 2004, Martínez Lugo Cesar Alejandro, en su tesis para la Universidad Autónoma de Nuevo León (México), desarrolló el proyecto “IMPLEMENTACIÓN DE UN ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA EN UNA LÍNEA DE MANUFACTURA PARA JUGUETES”. Donde se presenta un análisis de los procesos de producción y ensamble de una motocicleta Harley, el cual recibe la implementación del AMEF y sus fines son de reducir los costos por retornos y quejas del consumidor, además de mejorar los procesos de manufactura mediante herramientas de calidad que acompañan la metodología.

El proyecto aporta la metodología del AMEF en activos (Cesar, 2004)

## 5.2 Marco teórico

En el presente documento se tienen en cuenta definiciones como, mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM), componentes de un sistema eléctrico, transformadores, blindobarras, entre otros, con el fin de entender el funcionamiento de los activos de estudio y la mejor manera de implementar el modelo de mantenimiento a diseñar.

### 5.2.1 Mantenimiento Centrado en confiabilidad - RCM

¿Qué es RCM?

RCM o Reliability Centred Maintenance, (Mantenimiento Centrado en Fiabilidad/Confiabilidad) es una técnica más dentro de las posibles para elaborar un plan de mantenimiento en una planta industrial y que presenta algunas ventajas importantes sobre otras técnicas. Inicialmente fue desarrollada para el sector de aviación, donde los altos costos derivados de la sustitución sistemática de piezas amenazaban la rentabilidad de las compañías aéreas. Posteriormente fue trasladada al campo industrial, después de comprobarse los excelentes resultados que había dado en el campo aeronáutico. (Mantenimiento Petroquímica, 2018)

Fue documentado por primera vez en un reporte escrito por F.S. Nowlan y H.F. Heap y publicado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos de América en 1978. Desde entonces, el RCM ha sido usado para ayudar a formular estrategias de gestión de activos físicos en prácticamente todas las áreas de la actividad humana organizada, y en prácticamente todos los países industrializados del mundo. Este proceso definido por Nowlan y Heap ha servido de base para varios documentos de aplicación en los cuales el proceso RCM ha sido desarrollado y refinado en los años siguientes. Muchos de estos documentos conservan los elementos clave del proceso original. Sin embargo, el

uso extendido del nombre “RCM” ha llevado al surgimiento de un gran número de metodologías de análisis de fallas que difieren significativamente del original, pero que sus autores también llaman “RCM”. Muchos de estos otros procesos fallan en alcanzar los objetivos de Nowlan y Heap, y algunos son incluso contraproducentes. En general tratan de abreviar y resumir el proceso, lo que lleva en algunos casos a desnaturalizarlo completamente. (Mantenimiento Petroquímica, 2018)

Como resultado de la demanda internacional por una norma que establezca unos criterios mínimos para que un proceso de análisis de fallas pueda ser llamado “CBM” surgió en 1999 la norma SAE JA 1011 y en el año 2002 la norma SAE JA 1012. No intentan ser un manual ni una guía de procedimientos, sino que simplemente establecen, como se ha dicho, unos criterios que debe satisfacer una metodología para que pueda llamarse RCM (Mantenimiento Petroquímica, 2018).

### El objetivo del RCM

El objetivo primordial de implementar un modelo de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad o RCM en una organización es aumentar la disponibilidad y disminuir costos de mantenimiento a causa de fallas. El análisis de una organización según esta metodología aporta una serie de resultados:

- Mejora la comprensión del funcionamiento de los equipos y sistemas.

- Analiza todas las posibilidades de falla de un sistema y desarrolla mecanismos que tratan de evitarlos, ya sean producidos por causas intrínsecas al propio equipo o por actos personales.
- Determina una serie de acciones que permiten garantizar una alta disponibilidad de la planta.

Las acciones de tipo preventivo que evitan fallas y que por tanto incrementan la disponibilidad de los activos son de varios tipos:

- Tareas de mantenimiento, que agrupadas forman el Plan de Mantenimiento de una organización o una instalación.
- Procedimientos operativos, tanto de Producción como de Mantenimiento
- Modificaciones o mejoras posibles.
- Definición de una serie de acciones preventivas realmente útiles y rentables para la organización.
- Determinación del stock de repuesto que es deseable que permanezca en la organización.

El mantenimiento centrado en confiabilidad se basa en el análisis de fallas, tanto aquellos que ya han ocurrido, como los que se están tratando de evitar con determinadas acciones preventivas como por último aquellos que tienen cierta probabilidad de ocurrir y pueden tener consecuencias graves. Durante ese análisis de fallas debemos contestar a seis preguntas claves:

- ¿Cuáles son las funciones y los estándares de funcionamiento en cada sistema?
  - ¿Cuáles son los estados de falla asociados a las funciones?
  - ¿Cuál es la causa de cada falla?
  - ¿Qué sucede cuando ocurre una falla?
  - ¿Cuál es la consecuencia de cada falla y su relevancia?
  - ¿Qué puede hacerse para predecir o prevenir la falla?
  - ¿Qué hacer si no puede encontrarse una tarea proactiva adecuada?
- (Mantenimiento Petroquímica, 2018)

La metodología en la que se basa RCM supone ir completando una serie de fases para cada uno de los sistemas que componen los activos: (Mantenimiento Petroquímica, 2018)

- Fase 0: Codificación y listado de todos los subsistemas, equipos y elementos que componen el sistema que se está estudiando.  
Recopilación de esquemas, diagramas funcionales, diagramas lógicos, etc.
- Fase 1: Estudio detallado del funcionamiento del sistema. Listado de funciones del sistema en su conjunto. Listado de funciones de cada subsistema y de cada equipo significativo integrado en cada subsistema.
- Fase 2: Determinación de las fallas funcionales y fallas técnicas.

- Fase 3: Determinación de los modos de falla o causas de cada una de las fallas encontradas en la fase anterior.
- Fase 4: Estudio de las consecuencias de cada modo de falla.  
Clasificación de las fallas críticas, importantes o tolerables en función de esas consecuencias
- Fase 5: Determinación de medidas preventivas que eviten o atenúen los efectos de las fallas.
- Fase 6: Agrupación de parámetros preventivos en sus diferentes categorías. Elaboración de un modelo de Mantenimiento, enfocado en planes de formación de personal, procedimientos rutinarios de operación y de mantenimiento.
- Fase 7: Puesta en marcha de las medidas preventivas. (Mantenimiento Petroquímica, 2018)

Diferencias entre un plan de mantenimiento inicial y uno obtenido mediante RCM

El plan de mantenimiento inicial está basado en las recomendaciones de los fabricantes, más aportaciones puntuales de tareas propuestas por los responsables de mantenimiento en base a su experiencia, completadas con las exigencias legales de mantenimiento de determinados equipos:



Figura 1. Diagrama de flujo para la elaboración de un plan de mantenimiento basado en las recomendaciones de los fabricantes. Fuente: (Sánchez Sánchez de Puerta, 2016)

El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad o RCM va más allá. Tras el estudio de fallas, no sólo obtenemos un plan de mantenimiento que trata de evitar las fallas potenciales y previsibles, sino que además aporta información valiosa para elaborar o modificar el plan de formación, el manual de operación y el manual de mantenimiento: (Mantenimiento Petroquímica, 2018)



Figura 2. Diagrama de flujo de la elaboración del plan de mantenimiento basado en el análisis de fallas Fuente: (Sánchez Sánchez de Puerta, 2016)

## Características del comportamiento de las fallas

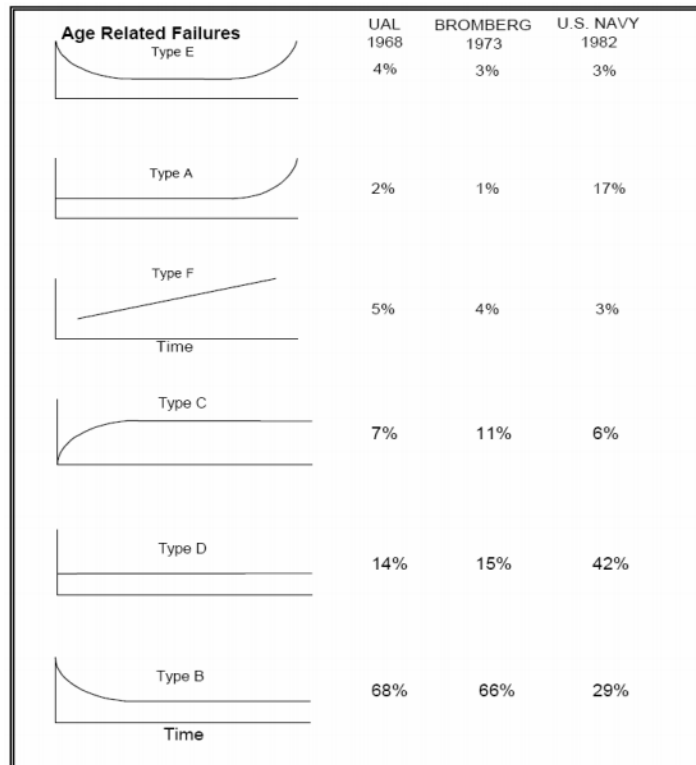


Figura 3. curvas de probabilidad de falla condicional  
Fuente: (Reabiliy web, 2018)

*La curva Tipo F:* Conocida como la bañera, comienza con una alta probabilidad de falla (Mortandad infantil), decrece a un periodo de baja probabilidad de falla en forma constante y va incrementando gradualmente la probabilidad de que se presente una falla.

*La curva Tipo A:* El equipo trabaja por un periodo de tiempo en forma confiable (Baja probabilidad de falla) y con el tiempo va disminuyendo su desempeño con lo cual la probabilidad de falla aumenta en forma gradual.

*La curva Tipo F:* Indica una probabilidad de incremento de falla constante.



*La curva Tipo C:* Indica una baja probabilidad de falla inicial y luego un incremento gradual para permanecer constante la probabilidad de falla.

*La curva Tipo D:* Muestra una probabilidad constante de falla en cualquier tiempo

*La curva Tipo B:* Comienza con una alta probabilidad de falla (Mortandad infantil) para decaer a una probabilidad baja y constante de falla. (Reabiliy web, 2018)

### Indicadores de mantenimiento

Los indicadores de mantenimiento se utilizan para medir la gestión del mantenimiento y dar muestras a quien lo requiera de cómo se comporta el proceso en una organización.

Existen numerosos indicadores en la industria para administrar el mantenimiento en cuatro áreas de gestión como son: Efectividad, costos, seguridad y rendimiento.

- Tiempo medio entre fallas (MTBF): Es el tiempo promedio entre fallas de un activo reparable.
- Tiempo medio para reparar (MMTR): Es el tiempo promedio que demora la reparación y/o cambio de un elemento de un activo una vez que presenta una falla. Equivale al tiempo de la parada del activo y se asocia al término denominado "Mantenibilidad", el cual hace referencia a que tan

rápido y que tan fácil se le puede hacer el mantenimiento las reparaciones.

- Tiempo medio entre reparaciones (MTBR): Es el tiempo promedio entre reparaciones y equivale al tiempo medio para fallar.
- Confiabilidad: Es la probabilidad que un activo cumpla con su función requerida bajo estándares y parámetros de funcionamiento bajo un contexto operacional en un periodo específico de tiempo.
- Disponibilidad: Es una medida del grado en el que un elemento está en un estado operativo. La disponibilidad tal como se mide, es una función de la frecuencia en que se producen fallas y de cuántas reparaciones “mantenimiento correctivo” es requerido. Con qué frecuencia se debe realizar el mantenimiento preventivo, con qué rapidez se pueden realizar las tareas de mantenimiento preventivo, y cuánto tiempo la logística retrasa el mantenimiento preventivo y contribuye con los tiempos muertos. La disponibilidad de un activo se puede aproximar por la razón entre MTBF y la suma de MTBF y MTTR.
- Mantenibilidad: Es la capacidad de un elemento para ser restaurado a una condición especificada cuando el mantenimiento se lleva a cabo por personal que tiene niveles de habilidad especificados, utilizando procedimiento y recursos prescritos, en cada nivel prescrito de mantenimiento y reparación.

### 5.2.2 Componentes del sistema eléctrico

Transformador eléctrico:

El transformador eléctrico es un equipo que realiza inducción electromagnética en donde se realiza una transferencia de energía eléctrica de una o más cargas, a uno o más circuitos con la misma frecuencia, usualmente aumentando o disminuyendo los valores de tensión y corriente eléctrica (valores inversamente proporcionales). Un transformador puede recibir energía y entregarla a una tensión más elevada, en cuyo caso se le denomina transformador elevador, o puede entregarla a una tensión más baja, en cuyo caso es un transformador reductor. (Pérez, 2001)

Tablero eléctrico:

En una instalación eléctrica, los tableros eléctricos son una parte esencial ya que en estos se realiza la distribución de cargas. En los tableros eléctricos se encuentran los dispositivos de seguridad tales como interruptores, totalizadores, DPS, vigilantes de tensión y los mecanismos de maniobra de dicha instalación.

En términos generales, los tableros eléctricos son gabinetes metálicos en los que se concentran los dispositivos de conexión (conductores eléctricos), control (PLC, analizadores de red), maniobra (contactores), protección (interruptores, totalizadores), medida (anализador de red, CTs), señalización y distribución

(interruptores, señalización), todos estos elementos permiten que una instalación eléctrica funcione adecuadamente.

Dos de los elementos principales de los tableros eléctricos son: el medidor (analizador de red) (mismo que no se puede alterar) e interruptor (totalizador), que es un dispositivo que corta la corriente eléctrica una vez que se supera el consumo de diseño del elemento. Es importante mencionar que el interruptor no tiene funciones de seguridad, solamente se encarga de limitar el nivel del consumo.

Para fabricar los tableros eléctricos se deben cumplir con una serie de normas bajo RETIE que permitan su funcionamiento y operación de forma adecuada cuando ya se le ha suministrado la energía eléctrica. El cumplimiento de esta normatividad garantiza la seguridad tanto de las instalaciones en las que haya presencia de tableros eléctricos como de los operarios.

Una importante medida de seguridad para los tableros eléctricos es la instalación de interruptores de seguridad, DPS, sensores de tensión, vigilantes de tensión, entre otros, estos deben ser distintos del interruptor (o totalizador). Dichos interruptores suelen ser de dos tipos: termomagnético (sobrecarga y cortocircuito), que se encarga de proteger tanto el tablero eléctrico como la

instalación de variaciones en la corriente, y diferencial (fallas a tierra), que está dirigido a la protección de los usuarios. (QuimiNet, 2018)

Uninterruptible Power Supply – UPS:

Sistema de alimentación ininterrumpida (SAI), en inglés Uninterruptible Power Supply (UPS), es un dispositivo que, gracias a sus baterías u otros elementos almacenadores de energía, puede proporcionar energía eléctrica por un tiempo limitado y durante un apagón eléctrico a todos los dispositivos que tenga conectados. Otras de las funciones que se pueden adicionar a estos equipos es la de mejorar la calidad de la energía eléctrica que llega a las cargas, filtrando subidas y bajadas de tensión y eliminando armónicos de la red en el caso de usar corriente alterna.

Los UPS (SAI) dan energía eléctrica a equipos llamados cargas críticas, como pueden ser aparatos médicos, industriales o informáticos que, como se ha mencionado anteriormente, requieren tener siempre alimentación y que ésta sea de calidad, debido a la necesidad de estar en todo momento operativos y sin fallos (picos o caídas de tensión).

La unidad de potencia para configurar un UPS es el voltiamperio (VA), que es la potencia aparente, o el vatio (W), que es la potencia activa, también denominada potencia efectiva o eficaz, consumida por el sistema. Para calcular cuánta

energía requiere un equipo de SAI, se debe conocer el consumo del dispositivo. (Servicio integral de baterías industriales, 2018)

Blindobarra (electrobarra):

Las electrobarras son el sistema de distribución de energía eléctrica más moderno y eficiente en el mercado. Son utilizados en todo tipo de proyectos, desde industrias, centros comerciales, hospitales, aeropuertos, a edificios residenciales. Sus múltiples ventajas económicas y técnicas la convierten en una mejor solución que los sistemas convencionales de cables, ductos y tuberías. Las electrobarras disminuyen los costos de su proyecto porque concentran la alimentación eléctrica en un solo sistema permitiendo un mejor aprovechamiento de los conductores. Esta tecnología permite ahorrar tiempos de instalación y espacio debido a su diseño compacto y modular, además es de fácil mantenimiento y seguro al manipular. Se caracteriza por su eficiencia gracias a su excelente conductividad y sus bajas pérdidas de energía. (Lectron Energy, 2018)

## **6. Marco Metodológico**

En este capítulo se incluye la metodología empleada al largo del proyecto, desde la búsqueda y análisis de la información, hasta el desarrollo de cada uno de los objetivos planteados.

## 6.1 Recolección de la Información

### 6.1.1 Fuentes de obtención de la información

#### 6.1.1.1 Fuentes primarias

Las fuentes de información primarias que se tendrán en cuenta para el presente proyecto son obtenidas mediante la empresa Terranum y sus operarios quienes deberán suplir datos históricos de fallas en los activos eléctricos (tipos de falla, frecuencias, consecuencias), manuales de instalación y funcionamiento, tareas de mantenimiento actuales, indicadores de gestión, entre otros.

#### 6.1.1.2 Fuentes secundarias

Las fuentes secundarias serán las monografías consultadas y citadas en el estado del arte, libros de mantenimiento, tesis de grado, artículos científicos, libros de RCM, de gestión de activos inmobiliarios, de sistemas eléctricos, ingenieros con conocimientos en gestión del mantenimiento basado en RCM e información relevante encontrada en internet con fuente confiable.

### 6.1.2 Tipo de investigación

De acuerdo con los tipos de investigación implementados por la universidad ECCI, el presente proyecto es un estudio de caso y es documental ya que con base en un listado de activos eléctricos se presente dar solución y estudiar las funciones, modos y efectos de falla para diseñar un modelo de mantenimiento que genere confiabilidad en la instalación eléctrica.

### 6.1.3 Metodología

#### Fase uno

- Inicialmente se evalúan si las estrategias que se tienen implementadas actualmente garantizan la confiabilidad y disponibilidad de los activos tales como programas de mantenimiento, métodos de trabajo y costos.
- Determinar la criticidad de los activos eléctricos.
- Determinar las diferentes formas por las que puede fallar un activo en Terranum (modos de falla).
- Analizar la información recopilada y validar si la que hay es suficiente para dar un diagnóstico o si hay que empezar desde cero con el diseño del modelo de mantenimiento centrado en confiabilidad – RCM.

#### Fase dos

- Diseñar un modelo de mantenimiento para cada subsistema eléctrico: transformador, tablero eléctrico, UPS y blindobarra.
- Realizar ajustes en conjunto con los expertos (técnicos de mantenimiento, ingenieros de mantenimiento, cliente) con el fin de aterrizar el diseño metodológico.
- Codificación de los equipos para realizar el mantenimiento basado en RCM.



#### Fase tres

- Elaboración de los procedimientos para la implementación de RCM.
- Establecer el procedimiento para la implementación de una metodología basada en condición en activos eléctricos.

#### Fase cuatro

- Análisis del modelo de mantenimiento.

#### 6.1.4 Instrumentos

Se utilizarán datos históricos de fallas en los activos eléctricos (tipos de falla, frecuencias, consecuencias), manuales de instalación y funcionamiento, tareas de mantenimiento actuales, indicadores de gestión, inventario de equipos, entre otros.

Si no se tienen históricos de fallas, empezar con análisis de criticidad y posterior realizar el modelo de mantenimiento a cada subsistema.

#### 6.1.5 Información

- Datos históricos

Debido a que Terranum no posee un histórico de fallas en sus activos eléctricos, para el presente proyecto realizará un análisis de criticidad con los activos mostrados en la tabla 1.

Nombre	Ubicación
TABLERO BANCO CONDENSADOR	EDIFICIO G1 Y G2
TRANSFERENCIA SERVICIOS PRIVADOS	EDIFICIO G1 Y G2
TRANSFERENCIA SERVICIOS GENERALES	EDIFICIO G1 Y G2
TABLERO GENERAL SERVICIOS PRIVADOS	EDIFICIO G1 Y G2
TABLERO DE AIRE ACONDICIONADO	G1-G2
TABLERO DE FUERZA	G1-G2
TCC-01-04	G1-G2
TABLERO TCC-01-01	G1-G2
TABLERO DE SERVICIOS COMUNES	G1
TABLERO CARGAS DE PROCESO G1	G1
TABLERO GENERAL OFICINA 201	G1
TABLERO GENERAL OFICINA 202	G1
TABLERO GENERAL TOMAS G1	G1
TABLERO OFICINA 302	G1
TABLERO OFICINA 301	G1
TABLERO ILUMINACION G1	G1
TABLERO OFICINA 401	G1
TABLERO OFICINA 402	G1
TABLERO OFICINA 502	G1
TABLERO OFICINA 501	G1
TABLERO ASCENSORES G1	G1
TABLERO SERVICIOS COMUNES G2	G2
TABLERO CARGAS DE PROCESO G2	G2
TABLERO GENERAL OFICINA 202	G2
TABLERO GENERAL OFICINA 201	G2
TABLERO GENERAL TOMAS G2	G2
TABLERO GENERAL OFICINA 302	G2
TABLERO GENERAL OFICINA 301	G2
TABLERO ILUMINACION G2	G2
TABLERO GENERAL OFICINA 402	G2
TABLERO GENERAL OFICINA 401	G2
TABLERO GENERAL OFICINA 501	G2
TABLERO GENERAL OFICINA 502	G2
TABLERO ASCENSORES G2	G2
TABLERO DE SERVICIOS COMUNES	G1
BLINDOBARRA 800 A – 1.000 A – 1.600 A – 2.000 A	G1-G2
UPS 10 KVA ENERGEX	G1-G2
UPS 6 KVA EMERSON	G1-G2
UPS 2 KVA ENERGEX	G1-G2
TABLERO BANCO DE CONDENSADORES	G3
TABLERO GENERAL DE DISTRIBUCION 440V ZONAS COMUNES	G3
TABLERO DE TRANSFERENCIA DE ZONAS COMUNES	G3
TABLERO DE DISTRIBUCION GENERAL 208V-1	G3
TABLERO TRANSFERENCIA ZONAS PRIVADAS G3	G3
TABLERO DE OFICINAS Y LOCALES	G3
TABLERO CUARTO ELECTRICO PISO 2	G3
TABLERO CUARTO ELECTRICO PISO 3	G3
TABLERO CUARTO ELECTRICO PISO 4	G3

TABLERO CUARTO ELECTRICO PISO 5	G3
TABLERO ASCENSORES	G3
BLINDOBARRA 800 A – 1.000 A – 1.600 A	G3
UPS 3 KVA ENERGEX	G3
TABLERO LOCAL 19	G4-G5
TABLERO LOCAL 18	G4-G5
TABLERO LOCAL 17	G4-G5
TABLERO DIVINA COMEDIA	G4-G5
TABLERO EL CORRAL	G4-G5
TABLERO LOCAL 16	G4-G5
TABLERO COLOMBINA	G4-G5
TABLERO ASESORIAS LEGALES	G4-G5
TABLERO LOCAL 6	G4-G5
TABLERO LOCAL 7	G4-G5
TABLERO EMBAJADA 1	G4-G5
TABLERO EMBAJADA 2	G4-G5
TABLERO LOCAL 8	G4-G5
TABLERO LOCAL 9	G4-G5
TABLERO TRANSFERENCIA G4	G4-G5
TABLERO OFICINAS G 4-5 PISO 2	G4-G5
TABLERO DE ASCENSORES	G4-G5
TABLERO	G4-G5
TABLERO TAA TERRAZA	G4-G5
TABLERO TASC POSITIVO	G4-G5
BLINDOBARRA 800 A – 1.000 A – 1.600 A	G4-G5
UPS 10 KVA ENERGEX	G4-G5
UPS 3 KVA ENERGEX	G4-G5
TABLERO DE DISTRIBUCION RESPALDO SUBESTACION	BTS 2
TABLERO DE DISTRIBUCION 480-1 V	BTS 2
TABLERO DE TRANSFERENCIA RESPALDO SUBESTACION	BTS 2
TABLERO DE TRANSFERENCIA 480-1 V	BTS 2
TABLERO DE DISTRIBUCION-1	BTS 2
TABLERO BANCO CONDESADORES 160 KVAR	BTS 2
TABLERO DE TRANSFERENCIA DE CARGAR	BTS 2
BLINDOBARRA 1.000 A	BTS 2
TABLERO TRANSFERENCIA PRINCIPAL 4.7	BTS 3-4
TABLERO DE DISTRIBUCION 4.9	BTS 3-4
TABLERO DE DISTRIBUCION 4.8	BTS 3-4
MOTORISADO T.D.T 3.14	BTS 3-4
TABLERO GENERAL	BTS 3-4
TABLERO DISTRIBUCION GENERAL 3.9	BTS 3-4
TABLERO DE TRANSFERENCIA MOTORIZADO 3.8	BTS 3-4
TABLERO DE DISTRIBUCION	BTS 3-4
TABLERO DE TRANSFERENCIA 3.10	BTS 3-4
TABLERO BANCO DE CONDESADORES 1000 KVAR	BTS 3-4
TABLERO BANCO DE CONDESADORES 160 KVAR	BTS 3-4
TABLERO DE FUERZA Y CONTROL	BTS 3-4
BLINDOBARRA 800 A – 1.000 A – 1.600 A – 2.000 A	BTS 3-4
UPS 2 KVA ENERGEX	BTS 3-4

UPS 10 KVA POWEST TITÁN	BTS 3-4
TABLERO SEGURIDAD Y CONTROL TSYS	BTS 5-6
TABLERO DE BOMBAS Y EQUIPOS HIDROSANITARIOS	BTS 5-6
TABLERO DE TRANSFERENCIA AUTOMATICA 1	BTS 5-6
TABLERO FUERZA Y CONTROL TCCC-01-04	BTS 5-6
TABLERO FUERZA Y CONTROL TCCC-01-05	BTS 5-6
TABLERO TRANSFERENCIA NORMAL DE RESPALDO N=1	BTS 5-6
TABLERO DE SC.2	BTS 5-6
TABLERO BANCO DE CONDESADORES 100 KVAR	BTS 5-6
TABLERO TRANFERENCIA NORMAL DE RESPALDO SC2 N1	BTS 5-6
TABLERO GABINETE DE SINCRONISMO	BTS 5-6
TABLERO TRANSFERENCIA DE CARGAS N1	BTS 5-6
TABLERO TRANSFERENCIA DE CARGAS N2	BTS 5-6
TABLERO TRANSFERENCIA AUTOMATICA N3	BTS 5-6
TABLERO BANCO DE CONDENSADORES	BTS 5-6
TABLERO SC1 N2	BTS 5-6
BLINDOBARRA 800 A – 1.000 A – 1.600 A – 2.000 A	BTS 5-6
TABLERO AUTOMATICOS	BTS 6
TABLERO CIRCUITOS SECAMANOS	BTS 6
TABLERO AUTOMATICOS	BTS 6
TABLERO AUTOMATICOS	BTS 6
TABLERO AUTOMATICOS	BTS 6
TABLERO AUTOMATICOS	BTS 6
TABLERO IL SOT	BTS 6
TABLERO TAA 208	BTS 6
UPS 15 KVA ENERGEX	BTS 5-6
TABLERO ASCC – 1	G6-G7
TABLERO TAA SOT 1 G6	G6-G7
TABLERO T ASC G6	G6-G7
TABLERO AA SOT 01-G7	G6-G7
TABLERO DUCHAS P 01	G6-G7
TABLERO TAA 01-SOT01 G7	G6-G7
TABLERO DE BYPASS	G6-G7
TABLERO TASCC-2	G6-G7
TABLERO TAA G6 G7	G6-G7
TABLERO TASC G7	G6-G7
TABLERO DE DISTRIBUCION BYPASS PARA UPS	G6-G7
TABLERO GENERAL T7	G6-G7
TABLERO T2 TRANSFERENCIA RED-PLANTA.MOD.G7 480-277 V	G6-G7
TABLERO DE DUCHAS SOT 01	G6-G7
TABLERO TAA 01-SOT02 G7	G6-G7
TABLERO T-BOM-SOT-02-G7	G6-G7
TABLERO GENERAL T6	G6-G7
TABLERO T1 TRANSFERENCIA RED-PLANTA MOD G6 480-277 V	G6-G7
TABLERO CONTROL DE ILUMINACION TAS 2	G6-G7
TABLERO TRANSFERENCIA RED-PLANTA MOD G7 LOO 208-120 V	G6-G7
TABLERO GENERAL T5	G6-G7
TABLERO DE SERVICIOS COMUNES TDSC2 SOT 2	G6-G7
TABLERO DE SERVICIOS COMUNES TDSC1	G6-G7

TABLERO BOMBAS SOTANO 2 G6	G6-G7
TABLERO TAA SOT 02 G6	G6-G7
BLINDOBARRA 800 A – 1.000 A – 1.600 A	G6-G7
TRANSFORMADOR 1.000 kVA	G1
TRANSFORMADOR 1.000 kVA	G2
TRANSFORMADOR 800 kVA	G3
TRANSFORMADOR 630 kVA	G3
TRANSFORMADOR 1.000 kVA	G4-G5
TRANSFORMADOR 630 kVA	G4-G5
TRANSFORMADOR 1.000 kVA	G6-G7
TRANSFORMADOR 630 kVA	G6-G7
TRANSFORMADOR 1.000 kVA	BTS 2
TRANSFORMADOR 1.000 kVA	BTS 2
TRANSFORMADOR 800 kVA	BTS 3-4
TRANSFORMADOR 500 kVA	BTS 3-4
TRANSFORMADOR 300 kVA	BTS 3-4
TRANSFORMADOR 800 kVA	BTS 5-6
TRANSFORMADOR 500 kVA	BTS 5-6
TRANSFORMADOR 800 kVA	TORRE A & B
TRANSFORMADOR 630 kVA	TORRE A & B
TRANSFORMADOR 1.000 kVA	DEF
TRANSFORMADOR 1.000 kVA	DEF
TABLERO DE ZONAS COMUNES	CONNECTA PLAZA
TABLERO LOCAL 1 PISO 1	CONNECTA PLAZA
TABLERO LOCAL 6 PISO 1	CONNECTA PLAZA
TABLERO 3 DISTRIBUCION SERVICIOS PRIVADOS	CONNECTA PLAZA
TABLERO GENERAL 2 SERVICIOS PRIVADO	CONNECTA PLAZA
TABLERO 2A SECCION TOTALIZADOR	CONNECTA PLAZA
TABLERO DISTRIBUCION 480-277 V	CONNECTA PLAZA
TABLERO 1 GABINETE TOTALIZADOR	CONNECTA PLAZA
TABLERO BANCO DE CONDENSADORES	CONNECTA PLAZA
TABLERO 8	CONNECTA PLAZA
TABLERO TRANSFERENCIA	CONNECTA PLAZA
TABLERO SERVICIOS COMUNES A Y B	CONNECTA PLAZA
TABLERO DE TRANSFORMADOR BAJA	CONNECTA PLAZA
CELDA DE SINCRONISMO	CONNECTA PLAZA
BLINDOBARRA 800 A – 1.000 A – 1.600 A	CONNECTA PLAZA
UPS 10 KVA EMERSON	CONNECTA PLAZA
TABLERO DISTRIBUCION DE TRANSFERENCIA	D-E-F
BANCO DE CONDENSADORES 1	D-E-F
TABLERO SC DISTRIBUCION	D-E-F
TABLERO TRANSFERENCIA TELEPERFORMANCE	D-E-F
BANCO DE CONDENSADORES 2	D-E-F
TABLERO TRANSFERENCIA SUBESTACION 2	D-E-F
TABLERO CLIENTE CONTROL BLOQUE E	D-E-F
UPS 3 KVA FENTON TEGNOLOGIEST	D-E-F
CELDA DE LLEGADA Y REMONTE	MORRO SOLAR
CELDA DE LLEGADA	TORRE SIGLO XXI

Tabla 1. Inventario de activos de Connecta. Fuente: Autor.

En el anexo A se presentan los manuales de operación de los transformadores, de los tableros eléctricos, de las UPS's y las blindobarras.

## 6.2 Análisis de la información

### 6.2.1 Jerarquización de los activos

Identificar los activos eléctricos en una organización es importante, por tal motivo, generar un código único que los identifique se hace relevante a la hora de diseñar un plan de mantenimiento. Con esta jerarquización se permite localizar fácilmente los activos, adicionalmente, se pueden elaborar ordenadamente órdenes de trabajo, elaborar históricos precisos sin error a equivocaciones de actividades con activos, se facilita el cálculo de indicadores de gestión y finalmente permite controlar costos asociados a cada activo. La tabla 2 muestra la codificación elaborada en el presente proyecto con base en el listado de activos de la tabla 1.

Celdas Media Tensión (SWG)	
Equipo	Código
CELDA DE LLEGADA Y REMONTE	CL-INTA- MORRO SOLAR
CELDA DE LLEGADA	CL-IN- TORRE SIGLO XXI
Blindobarras (BB)	
Equipo	Código
BLINDOBARRA 800 A – 1.000 A – 1.600 A – 2.000 A	BB-2000A- G1-G2
BLINDOBARRA 800 A – 1.000 A – 1.600 A – 2.000 A	BB-2000A- BTS 3-4
BLINDOBARRA 800 A – 1.000 A – 1.600 A – 2.000 A	BB-2000A- BTS 5-6

BLINDOBARRA 800 A – 1.000 A – 1.600 A	BB-1600A- G6-G7
BLINDOBARRA 800 A – 1.000 A – 1.600 A	BB-1600A- CONECTA PLAZA
BLINDOBARRA 800 A – 1.000 A – 1.600 A	BB-1600A- G3
BLINDOBARRA 800 A – 1.000 A – 1.600 A	BB-1600A- G4-G5
BLINDOBARRA 1.000 A	BB-1000A- BTS 2
Transformadores (TR)	
Equipo	Código
TRANSFORMADOR 1.000 kVA	TR-1000- G1
TRANSFORMADOR 1.000 kVA	TR-1000- G2
TRANSFORMADOR 1.000 kVA	TR-1000- G4-G5
TRANSFORMADOR 1.000 kVA	TR-1000- G6-G7
TRANSFORMADOR 1.000 kVA	TR-1000- BTS 2
TRANSFORMADOR 1.000 kVA	TR-1000- BTS 2
TRANSFORMADOR 1.000 kVA	TR-1000- DEF
TRANSFORMADOR 1.000 kVA	TR-1000- DEF
TRANSFORMADOR 800 kVA	TR-800- G3
TRANSFORMADOR 800 kVA	TR-800- BTS 3-4
TRANSFORMADOR 800 kVA	TR-800- BTS 5-6
TRANSFORMADOR 800 kVA	TR-800- TORRE A & B
TRANSFORMADOR 630 kVA	TR-630- G3
TRANSFORMADOR 630 kVA	TR-630- G4-G5
TRANSFORMADOR 630 kVA	TR-630- G6-G7
TRANSFORMADOR 630 kVA	TR-630- TORRE A & B
TRANSFORMADOR 500 kVA	TR-500- BTS 3-4
TRANSFORMADOR 500 kVA	TR-500- BTS 5-6
TRANSFORMADOR 300 kVA	TR-300- BTS 3-4
Sistemas de Potencia ininterrumpida (UPS)	
Equipo	Código
UPS 10 KVA EMERSON	UPS-10- CONECTA PLAZA
UPS 10 KVA ENERGEX	UPS-10- G1-G2
UPS 10 KVA ENERGEX	UPS-10- G4-G5
UPS 10 KVA POWEST TITÁN	UPS-10- BTS 3-4
UPS 15 KVA ENERGEX	UPS-15- BTS 5-6
UPS 6 KVA EMERSON	UPS-6- G1-G2
UPS 3 KVA FENTON TEGNOLOGIEST	UPS-3- D-E-F
UPS 3 KVA ENERGEX	UPS-3- G3
UPS 3 KVA ENERGEX	UPS-3- G4-G5

UPS 2 KVA ENERGEX	UPS-2- G1-G2
UPS 2 KVA ENERGEX	UPS-2- BTS 3-4
Tableros Eléctricos Baja Tensión (T)	
Transferencias Automáticas (ATS)	
Equipo	Código
TRANSFERENCIA SERVICIOS PRIVADOS	T-ATS- G1-G2
TRANSFERENCIA SERVICIOS GENERALES	T-ATS- G1-G2
TABLERO DE TRANSFERENCIA DE ZONAS COMUNES	T-ATS- G3
TABLERO TRANSFERENCIA ZONAS PRIVADAS G3	T-ATS- G3
TABLERO TRANSFERENCIA G4	T-ATS- G4-G5
TABLERO DE TRANSFERENCIA RESPALDO SUBESTACION	T-ATS- BTS 2
TABLERO DE TRANSFERENCIA 480-1 V	T-ATS480- BTS 2
TABLERO DE TRANSFERENCIA DE CARGAR	T-ATS- BTS 2
TABLERO TRANSFERENCIA PRINCIPAL 4.7	T-ATS- BTS 3-4
TABLERO DE TRANSFERENCIA MOTORIZADO 3.8	T-ATS- BTS 3-4
TABLERO DE TRANSFERENCIA 3.10	T-ATS- BTS 3-4
TABLERO DE TRANSFERENCIA AUTOMATICA 1	T-ATS- BTS 5-6
TABLERO TRANSFERENCIA NORMAL DE RESPALDO N=1	T-ATS- BTS 5-6
TABLERO TRANSFERENCIA DE CARGAS N1	T-ATS- BTS 5-6
TABLERO TRANSFERENCIA DE CARGAS N2	T-ATS- BTS 5-6
TABLERO TRANSFERENCIA AUTOMATICA N3	T-ATS- BTS 5-6
TABLERO T2 TRANSFERENCIA RED-PLANTA.MOD.G7 480-277 V	T-ATS480- G6-G7
TABLERO T1 TRANSFERENCIA RED-PLANTA MOD G6 480-277 V	T-ATS480- G6-G7
TABLERO TRANSFERENCIA RED-PLANTA MOD G7 LOO 208-120 V	T-ATS208- G6-G7
TABLERO TRANSFERENCIA	T-ATS- CONNECTA PLAZA
TABLERO TRANSFERENCIA TELEPERFORMANCE	T-ATS- D-E-F
TABLERO TRANSFERENCIA SUBESTACION 2	T-ATS- D-E-F
TABLERO TRANSFERENCIA NORMAL DE RESPALDO SC2 N1	T-ATS- BTS 5-6
Bancos de Condensadores (BCOND)	
Equipo	Código
TABLERO BANCO CONDENSADOR	T-BCOND- G1-G2



TABLERO BANCO DE CONDENSADORES	T-BCOND- G3
TABLERO BANCO CONDESADORES 160 KVAR	T-BCOND160KVAR- BTS 2
TABLERO BANCO DE CONDENSADORES 1000 KVAR	T-BCOND1000KVAR- BTS 3-4
TABLERO BANCO DE CONDESADORES 160 KVAR	T-BCOND160KVAR- BTS 3-4
TABLERO BANCO DE CONDESADORES 100 KVAR	T-BCOND100KVAR- BTS 5-6
TABLERO BANCO DE CONDENSADORES	T-BCOND- BTS 5-6
TABLERO BANCO DE CONDENSADORES	T-BCOND- CONNECTA PLAZA
BANCO DE CONDENSADORES 1	T-BCOND- D-E-F
BANCO DE CONDENSADORES 2	T-BCOND- D-E-F
Tableros de Distribución Principal (DP)	
Equipo	Código
TABLERO DE FUERZA	T-DP- G1-G2
TABLERO GENERAL DE DISTRIBUCION 440V ZONAS COMUNES	T-DP440- G3
TABLERO DE DISTRIBUCION GENERAL 208V-1	T-DP208- G3
TABLERO DE DISTRIBUCION RESPALDO SUBESTACION	T-DP- BTS 2
TABLERO DE DISTRIBUCION 480-1 V	T-DP- BTS 2
TABLERO DE DISTRIBUCION-1	T-DP- BTS 2
TABLERO DE DISTRIBUCION 4.9	T-DP- BTS 3-4
TABLERO DE DISTRIBUCION 4.8	T-DP- BTS 3-4
TABLERO GENERAL	T-DP- BTS 3-4
TABLERO DISTRIBUCION GENERAL 3.9	T-DP- BTS 3-4
TABLERO DE DISTRIBUCION	T-DP- BTS 3-4
TABLERO DE DISTRIBUCION BYPASS PARA UPS	T-DP- G6-G7
TABLERO DISTRIBUCION 480-277 V	T-DP480- CONNECTA PLAZA
TABLERO FUERZA Y CONTROL TCCC-01-04	T-DP- BTS 5-6
TABLERO FUERZA Y CONTROL TCCC-01-05	T-DP- BTS 5-6
TABLERO CUARTO ELECTRICO PISO 2	T-DP- G3
TABLERO CUARTO ELECTRICO PISO 3	T-DP- G3
TABLERO CUARTO ELECTRICO PISO 4	T-DP- G3
TABLERO CUARTO ELECTRICO PISO 5	T-DP- G3
MOTORISADO T.D.T 3.14	T-DP- BTS 3-4
TABLERO DE FUERZA Y CONTROL	T-DP- BTS 3-4
TABLERO GENERAL T7	T-DP- G6-G7
TABLERO DE TRANSFORMADOR BAJA	T-DP- CONNECTA PLAZA

TABLERO DISTRIBUCION DE TRANSFERENCIA	T-DP- D-E-F
TABLERO GENERAL T6	T-DP- G6-G7
TABLERO GENERAL T5	T-DP- G6-G7
Tableros Distribución Secundaria (D)	
Equipo	Código
TABLERO GENERAL SERVICIOS PRIVADOS	T-D- EDIFICIO G1 Y G2
TABLERO DE AIRE ACONDICIONADO	T-DAA- G1-G2
TCC-01-04	T-D- G1-G2
TABLERO TCC-01-01	T-D- G1-G2
TABLERO DE SERVICIOS COMUNES	T-D- G1
TABLERO CARGAS DE PROCESO G1	T-D- G1
TABLERO GENERAL OFICINA 201	T-DOF- G1
TABLERO GENERAL OFICINA 202	T-DOF- G1
TABLERO GENERAL TOMAS G1	T-D- G1
TABLERO OFICINA 302	T-DOF- G1
TABLERO OFICINA 301	T-DOF- G1
TABLERO ILUMINACION G1	T-D- G1
TABLERO OFICINA 401	T-DOF- G1
TABLERO OFICINA 402	T-DOF- G1
TABLERO OFICINA 502	T-DOF- G1
TABLERO OFICINA 501	T-DOF- G1
TABLERO ASCENSORES G1	T-DASC- G1
TABLERO SERVICIOS COMUNES G2	T-DSC- G2
TABLERO CARGAS DE PROCESO G2	T-DSC- G2
TABLERO GENERAL OFICINA 202	T-DOF- G2
TABLERO GENERAL OFICINA 201	T-DOF- G2
TABLERO GENERAL TOMAS G2	T-DSC- G2
TABLERO GENERAL OFICINA 302	T-DOF- G2
TABLERO GENERAL OFICINA 301	T-DOF- G2
TABLERO ILUMINACION G2	T-DILUM- G2
TABLERO GENERAL OFICINA 402	T-DOF- G2
TABLERO GENERAL OFICINA 401	T-DOF- G2
TABLERO GENERAL OFICINA 501	T-DOF- G2
TABLERO GENERAL OFICINA 502	T-DOF- G2
TABLERO ASCENSORES G2	T-DASC- G2
TABLERO DE SERVICIOS COMUNES	T-DSC- G1
TABLERO DE OFICINAS Y LOCALES	T-DOF- G3
TABLERO ASCENSORES	T-DASC- G3
TABLERO LOCAL 19	T-DLOC- G4-G5

TABLERO LOCAL 18	T-DLOC- G4-G5
TABLERO LOCAL 17	T-DLOC- G4-G5
TABLERO DIVINA COMEDIA	T-DLOC- G4-G5
TABLERO EL CORRAL	T-DLOC- G4-G5
TABLERO LOCAL 16	T-DLOC- G4-G5
TABLERO COLOMBINA	T-DLOC- G4-G5
TABLERO ASESORIAS LEGALES	T-DLOC- G4-G5
TABLERO LOCAL 6	T-DLOC- G4-G5
TABLERO LOCAL 7	T-DLOC- G4-G5
TABLERO EMBAJADA 1	T-DOF- G4-G5
TABLERO EMBAJADA 2	T-DOF- G4-G5
TABLERO LOCAL 8	T-DLOC- G4-G5
TABLERO LOCAL 9	T-DLOC- G4-G5
TABLERO OFICINAS G 4-5 PISO 2	T-DOF- G4-G5
TABLERO DE ASCENSORES	T-DASC- G4-G5
TABLERO	T-DSC- G4-G5
TABLERO TAA TERRAZA	T-DAA- G4-G5
TABLERO TASC POSITIVO	T-DSC- G4-G5
TABLERO SEGURIDAD Y CONTROL TSYS	T-DCCTV- BTS 5-6
TABLERO DE BOMBAS Y EQUIPOS HIDROSANITARIOS	T-DTB- BTS 5-6
TABLERO DE SC.2	T-DSC- BTS 5-6
TABLERO SC1 N2	T-DSC- BTS 5-6
TABLERO AUTOMATICOS	T-DILUM- BTS 6
TABLERO CIRCUITOS SECAMANOS	T-DSC- BTS 6
TABLERO AUTOMATICOS	T-DILUM- BTS 6
TABLERO AUTOMATICOS	T-DILUM- BTS 6
TABLERO AUTOMATICOS	T-DILUM- BTS 6
TABLERO AUTOMATICOS	T-DILUM- BTS 6
TABLERO IL SOT	T-DILUM- BTS 6
TABLERO TAA 208	T-DAA- BTS 6
TABLERO ASCC – 1	T-DASC- G6-G7
TABLERO TAA SOT 1 G6	T-DAA- G6-G7
TABLERO T ASC G6	T-DASC- G6-G7
TABLERO AA SOT 01-G7	T-DAA- G6-G7
TABLERO DUCHAS P 01	T-DTB- G6-G7
TABLERO TAA 01-SOT01 G7	T-DAA- G6-G7
TABLERO DE BYPASS	T-D- G6-G7
TABLERO TASC-2	T-DSC- G6-G7
TABLERO TAA G6 G7	T-DAA- G6-G7

TABLERO TASC G7	T-DSC- G6-G7
TABLERO DE DUCHAS SOT 01	T-DTB- G6-G7
TABLERO TAA 01-SOT02 G7	T-DAA- G6-G7
TABLERO T-BOM-SOT-02-G7	T-DTB- G6-G7
TABLERO DE SERVICIOS COMUNES TDSC2 SOT 2	T-DSC- G6-G7
TABLERO DE SERVICIOS COMUNES TDSC1	T-DSC- G6-G7
TABLERO BOMBAS SOTANO 2 G6	T-DTB- G6-G7
TABLERO TAA SOT 02 G6	T-DAA- G6-G7
TABLERO DE ZONAS COMUNES	T-DSC- CONNECTA PLAZA
TABLERO LOCAL 1 PISO 1	T-DLOC- CONNECTA PLAZA
TABLERO LOCAL 6 PISO 1	T-DLOC- CONNECTA PLAZA
TABLERO 3 DISTRIBUCION SERVICIOS PIVADOS	T-D- CONNECTA PLAZA
TABLERO GENERAL 2 SERVICIOS PRIVADO	T-D- CONNECTA PLAZA
TABLERO 2A SECCION TOTALIZADOR	T-D- CONNECTA PLAZA
TABLERO 1 GABINETE TOTALIZADOR	T-D- CONNECTA PLAZA
TABLERO 8	T-D- CONNECTA PLAZA
TABLERO SERVICIOS COMUNES A Y B	T-DSC- CONNECTA PLAZA
TABLERO SC DISTRIBUCION	T-DSC- D-E-F
TABLERO CLIENTE CONTROL BLOQUE E	T-DSC- D-E-F

Tabla 2. Jerarquización de los activos de Connecta. Fuente: Autor.

### 6.2.2 Análisis de criticidad

Los activos eléctricos en general en una instalación son críticos al momento de la operación normal ya que implican apagones parciales o totales de la energía (fluido) eléctrico, sin embargo, hay equipos más críticos que otros, dependiendo de la función y ubicación eléctrica, por esta razón, se pretende realizar el análisis de criticidad, esta es una metodología que organiza y jerarquiza los activos de

acuerdo al impacto que generan por sus modos de falla, todo esto, con el fin de tomar de decisiones acertadas en su mantenimiento.

Para la realización del análisis de criticidad se requiere definir el alcance de operación y propósito dentro de la instalación eléctrica, establecer criterios de evaluación acordes al contexto operacional de cada activo y seleccionar un método (o modo) de evaluación para jerarquizar la selección de los activos del presente proyecto (transformador, tablero eléctrico, UPS, blindobarra).

El objetivo de realizar un análisis de criticidad al presente proyecto es para establecer una metodología que sirva para jerarquizar de acuerdo a funciones, la criticidad de los equipos. El resultado de este análisis permitirá:

- Diseñar políticas de mantenimiento.
- Diseñar un plan de mantenimiento.
- Estipular un manejo adecuado de repuestos y materiales.
- Establecer políticas de mantenimiento enfocadas a los activos críticos.

Para realizar el análisis de criticidad se deben seguir los siguientes pasos:

- Identificar los activos a analizar.
- Definir el alcance y objetivo.

- Recolección de datos (funciones de los activos).
- Verificación y análisis de los datos.
- Retroalimentación.
- Implementación de resultados.

Para el análisis de criticidad se hará una división u organización de los activos mostrados en la “Tabla 1. Inventario de equipos de Connecta. Fuente: Autor”. De la siguiente manera:

1. Transformador de potencia: Se tomará como un solo activo, aunque en Connecta se tienen 20 transformadores, todos cumplen la misma función.
2. Tablero eléctrico de transferencia y distribución principal: Se denotan como tableros eléctricos principales ya que están aguas abajo del transformador.
3. Tablero eléctrico de banco de condensadores, servicios comunes, servicios privados, de fuerza y control, de locales comerciales, de bombas, de distribución local: Se denotan como tableros secundarios ya que están aguas abajo del tablero principal de distribución.
4. Blindobarra: Se toma como un solo activo, aunque en todo el complejo hay una serie de blindobarras de diferentes capacidades amperimétricas, sin embargo, la función y operación es igual para todas.

5. UPS (Uninterruptible Power Supply): Se denomina como un solo activo, aunque en el complejo hay más de 20 unidades supliendo diferentes tipos de carga tales como: control de acceso, CCTV, iluminación, voz y datos, entre otros.

Con la anterior clasificación y con la descripción de los criterios de evaluación, se realiza la ponderación o evaluación, los criterios son:

- Número de averías: Representa las veces que falla el equipo y produce un apagado total en un periodo de 1 mes.
- Tiempo promedio para reparar (MTTR): Representa el tiempo promedio para reparar la avería o falla, se considera que el activo pierde su función o es inoperativo hasta que esté operando nuevamente.
- Tiempo medio entre fallas (MTBF): Representa el tiempo promedio entre cada avería o falla de un activo.
- Costo de reparación: Hace referencia al costo promedio por avería o falla requerido para restaurar el activo a sus condiciones iniciales (óptimas de funcionamiento), dicho costo incluye mano de obra, materiales, insumos, transporte y gastos administrativos.
- Impacto en la seguridad: Representa la probabilidad de que sucedan accidentes que ocasionen daños en personas, activos o instalaciones.

- Equipo restrictivo: Cuando el activo genera un cuello de botella en el proceso normal de funcionamiento.
- Disponibilidad para mantenimiento proactivo: Hace referencia al tiempo para poder realizar mantenimiento antes de que suceda una falla sin afectar la operación normal de la instalación.

Basados en la experiencia de los autores en el funcionamiento de los activos eléctricos, la tabla 3 muestra los criterios de evaluación para el complejo Connecta.

<b>CRITERIO DE EVALUACIÓN</b>			
<b>INDICADOR</b>	<b>FRECUENCIA</b>		
	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>5</b>
	Número de averías	Entre 0 y 1	Entre 2 y 5
Tiempo promedio para reparar	Entre 0 a 30 minutos	Entre 31 a 45 minutos	Más de 45 minutos
Tiempo medio entre fallas	Mayor a 1 mes	Entre 20 y 30 días	Menor a 20 días
Costo de reparación	Menor a \$200.000	Entre \$200.000 y \$500.000	Mayor a \$500.000
Impacto en la seguridad	Impacto leve	Impacto medio	Impacto alto
Equipo restrictivo	No genera restricción	Genera ocasionalmente restricción	Genera restricción



Disponibilidad para mantenimiento proactivo	Mayor a 4 horas	Entre 2 y 4 horas	Menor a 2 horas
---	-----------------	-------------------	-----------------

Tabla 3. Criterios de evaluación. Fuente: autor.

Los activos relevantes en la instalación eléctrica de Terranum a los cuales se les hará análisis de criticidad son:

- Transformador de potencia
- Transformador eléctrico baja-baja.
- Tablero eléctrico de transferencia y distribución principal: Tableros principales.
- Tablero eléctrico de banco de condensadores, servicios comunes, servicios privados, de fuerza y control, de locales comerciales, de bombas, de distribución local: Tableros secundarios.
- Blindobarra.
- UPS.
- Tablero eléctrico del sistema regulado (UPS).
- Sistema de puesta a tierra.
- Sistema de apantallamiento.

Para realizar el análisis de criticidad se tomó en cuenta la experiencia de los autores del presente proyecto ya que están en constante relación con los activos en estudio del complejo Connecta.

## Resultados del análisis de criticidad

De acuerdo con los criterios de evaluación (ponderación) de cada activo en estudio, en la tabla 4 se evidencian los resultados.

Ubicación	Activo	Número de averías	Tiempo promedio para reparar	Tiempo medio entre fallas	Costo de reparación	Impacto en la seguridad	Equipo restrictivo	Disponibilidad para mantenimiento proactivo	TOTAL
Subestación eléctrica (Media tensión)	Transformador de potencia	1	5	1	5	5	5	1	23
Subestación eléctrica (Baja tensión)	Transformador eléctrico baja-baja	1	1	1	3	5	3	1	15
	Tablero eléctrico principal	3	1	3	3	5	5	5	25
	Tablero eléctrico secundario	1	1	3	3	3	3	3	17
Instalación eléctrica	Blindobarra	1	5	1	5	5	5	5	27
Cuarto técnico	UPS	3	3	3	1	5	5	1	21
	Tablero eléctrico del sistema regulado	1	1	1	1	1	5	1	11
Sótano 2	Sistema de puesta a tierra	1	1	1	1	3	1	1	9
Cubierta	Sistema de apantallamiento	1	1	1	1	3	1	1	9

Tabla 4. Evaluación del análisis de criticidad. Fuente: Autor.

Una vez obtenido el puntaje del análisis de criticidad, se procede a clasificarlos de acuerdo con el nivel de criticidad, siendo la clasificación A la más crítica o más importante, es por ello que los activos con criticidad A son los que tendrán

un plan de mantenimiento. La clasificación de criticidad se evalúa de acuerdo con la tabla 5.

<b>Puntaje</b>	<b>Criterio</b>	<b>Decisión</b>
Mayor a 19	A	Realizar modelo de mantenimiento
12 hasta 17	B	No realizar modelo de mantenimiento
Menor a 11	C	No realizar modelo de mantenimiento

Tabla 5. Ponderaciones para clasificación de criticidad. Fuente: Autor

Ubicación	Activo	Total	Criticidad
Subestación eléctrica (Media tensión)	Transformador de potencia	23	A
Subestación eléctrica (Baja tensión)	Transformador eléctrico baja-baja	15	B
	Tablero eléctrico principal	25	A
	Tablero eléctrico secundario	17	B
Instalación eléctrica	Blindobarra	27	A
Cuarto técnico	UPS	21	A
	Tablero eléctrico del sistema regulado	11	C
Sótano 2	Sistema de puesta a tierra	9	C

Cubierta	Sistema de apantallamiento	9	C
----------	----------------------------	---	---

Tabla 6. Resultados del análisis de criticidad. Fuente: Autor

La tabla 6 evidencia que los equipos más críticos son el transformador de potencia, el tablero eléctrico principal, la blindobarra y la UPS, es por esta razón que el presente proyecto realiza el procedimiento para diseñar modelos de mantenimiento a los activos anteriormente mencionados dada su clasificación de criticidad A.

### 6.2.3 Análisis de las fallas funcionales, modos y efectos de falla (AMEF)

El análisis de modos y efectos de falla es un proceso para identificar las fallas funcionales y las fallas técnicas de diseño antes de que ocurran, se hace con el fin de eliminar o minimizar los riesgos asociados.

La falla funcional es aquella que impida al activo cumplir su función principal, para determinar la falla funcional se debe definir la función del activo y definir la función opuesta.

Una falla técnica es aquella que, aunque el activo esté funcionando, no cumple su operación normal, es decir, un funcionamiento anormal.

Para realizar el AMEF, se debe plantear un contexto operacional de los activos, especificar las funciones, consecuencias de indisponibilidad, y su ubicación, eléctricamente hablando. La Figura 4 muestra el esquema organizacional de los activos en estudio.

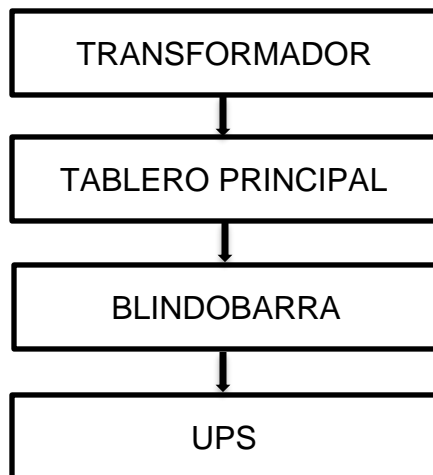


Figura 4. Diagrama de flujo eléctrico. Fuente: Autor

### Metodología

La metodología del AMEF consiste en describir las funciones de los activos, ver cuáles son sus posibles fallas, sus modos de falla y los efectos de falla. La tabla 7 muestra el análisis AMEF.

ACTIVO	FUNCIÓN	FALLAS FUNCIONALES	MODOS DE FALLA	EFFECTOS DE FALLA
Transformador eléctrico de potencia – 1.000 kVA – 11.400/500-289 V	1. Transformar la energía con 1.000 kVA de	<b>Principal</b>		
		A. No transformar la tensión adecuada en el lado de baja	1. Material extraño en el bobinado	Desgaste en el aislamiento las bobinas
				Fugas de corriente Pérdida de potencia

	11.400 V a 500 V.	tensión a una potencia de 1.000 kVA	2. Fisura en los aisladores	Falla del aislamiento de la red de entrada	
			3. Conductores en mal estado	Sobrecalentamiento de equipos	
				Fugas de corriente	
				Pérdida de potencia	
		<b>Secundaria</b>			
		B. Resistencia de aislamiento deficiente	4. Material extraño en el bobinado	Desgaste en el aislamiento de las bobinas	
				Pérdida de potencia	
		5. Sobrecarga en alguna fase	Desgaste en algunos de los 3 bobinados		
			6. Sobrecarga en alguna fase	Desgaste en algunos de los 3 bobinados	
		C. Resistencia de devanados deficiente		6. Sobrecarga en alguna fase	Pérdida de potencia
			D. Puntos calientes en las conexiones		7. Conexiones sueltas
		Mayor consumo de energía			
		Deterioro de las borneras de conexión			
		E. Desbalance trifásico de corrientes	8. Conductores de diferente calibre	Daños en la carga	
Sobrecalentamiento en algunos activos					
F. Presencia de armónicos de tensión y de corriente	9. Conexiones sueltas	Alta resistencia en puntos de conexión			
		10. Conductores sueltos y con roturas	Alta resistencia en puntos de conexión		
	11. Conductores de diferente calibre		Disminución en la entrega de corriente y tensión		
			Sobrecalentamiento en algunos activos		

		G. No conducir corrientes de falla	12. Alta resistencia del sistema de puesta a tierra	Daños a los activos
				Daños a las personas
			13. Conductores sueltos	Alta resistencia en puntos de conexión
		H. Altas vibraciones	14. Material particulado en el bobinado	Desgaste en el aislamiento de las bobinas
				Pérdida de potencia
Tablero eléctrico principal a 500 V	2. Mantener una potencia con una tensión en el sistema y repartirla en la distribución instalada	<b>Principal</b>		
		A. No entregar la potencia requerida a la tensión adecuada	1. Conductores de diferentes calibres	Sobrecalentamiento en algunos activos
			2. Conexiones sueltas	Alta resistencia en puntos de conexión
			3. Interruptores con falsos contactos	Alta resistencia en puntos de conexión
		<b>Secundaria</b>		
		B. Puntos calientes en las conexiones	4. Conexiones sueltas	Alta resistencia en puntos de conexión
			5. Sobrecarga en alguna fase	Desgaste en algunos de los 3 bobinados Pérdida de potencia
		C. Interruptores sobrecalentados	6. Conexiones sueltas	Alta resistencia en puntos de conexión
			7. Sobrecarga en alguna fase	Desgaste en algunos de los 3 bobinados
				Pérdida de potencia
8. Borneras de conexión desgastadas	Alta resistencia en puntos de conexión			

		D. Desbalances en los circuitos	9. Sobrecarga en alguna fase	Desgaste en algunos de los 3 bobinados Pérdida de potencia
			10. Conductores de diferente calibre	Sobrecalentamiento en algunos activos
Blindobarra de 1.000 A a 500 V	3. Transportar el flujo de energía del tablero hasta la carga	<b>Principal</b>		
		A. Bloquear el flujo de corriente eléctrica	1. Puntos de conexión sueltos	Alta resistencia en puntos de conexión
		<b>Secundaria</b>		
		B. Aislamiento deficiente	2. Sobrecarga en alguna fase	Desgaste en algunos de los 3 bobinados Pérdida de potencia
		C. Entregar tensiones inadecuadas	3. Puntos de conexión sueltos	Alta resistencia en puntos de conexión
		D. Puntos calientes en los joins	4. Sobrecarga en alguna fase	Desgaste en algunos de los 3 bobinados Pérdida de potencia
			5. Puntos de conexión sueltos	Alta resistencia en puntos de conexión
UPS de 10 KVA	4. Mantener energía eléctrica constante aunque no haya red eléctrica ni suplencia eléctrica	<b>Principal</b>		
		A. No entregar potencia al sistema regulado	1. Puntos de conexión sueltos	Alta resistencia en puntos de conexión
		<b>Secundaria</b>		
		B. Entregar tensiones inadecuadas	2. Conductores de diferente calibre	Sobrecalentamiento en algunos activos
		C. Generar armónicos de corriente y	3. Conductores de diferente calibre	Sobrecalentamiento en algunos activos



		tensión al sistema	4. Alta resistencia del sistema de puesta a tierra	Daños a los activos
				Daños a las personas

Tabla 7. Análisis de funciones, modos y efectos de falla. Fuente: Autor

### 6.3 Propuesta de solución

Una vez evaluado los modos y efectos de falla, se proceden a realizar las tareas o las actividades para mitigar o eliminar los modos de falla, la tabla 8 muestra el análisis de los activos en estudio (Transformador de potencia, tablero eléctrico principal, blindobarra y UPS).

Referencia de información			Tipos de decisión (Tareas propuestas)	Frecuencia inicial
F	FF	FM		
1	A	1	Prueba de relación de transformación	Anual
			Limpieza general en el bobinado con nitrógeno	Semestral
			Limpieza con limpiador dieléctrico ecológico	Semestral
1	A	2	Inspección visual	Trimestral
1	A	3	Inspección visual	Trimestral
			Prueba de resistencia de aislamiento	Anual
1	B	4	Limpieza general en el bobinado con nitrógeno	Semestral
			Limpieza con limpiador dieléctrico ecológico	Semestral
1	B	5	Medición de parámetros eléctricos (voltaje y corriente)	Trimestral
1	C	6	Medición de parámetros eléctricos (voltaje y corriente)	Trimestral

			Prueba de resistencia de devanados	Anual
1	D	7	Inspección visual	Trimestral
			Medición de parámetros eléctricos (voltaje y corriente)	Trimestral
			Inspección termográfica	Semestral
			Ajuste de conexiones	Semestral
1	E	8	Inspección visual	Anual
			Análisis de calidad de energía	Anual
1	E	9	Inspección visual	Trimestral
			Medición de parámetros eléctricos (voltaje y corriente)	Trimestral
			Ajuste de conexiones	Semestral
1	F	10	Inspección visual	Trimestral
			Medición de parámetros eléctricos (voltaje y corriente)	Trimestral
			Ajuste de conexiones	Semestral
			Prueba de resistencia de aislamiento	Anual
1	F	11	Inspección visual	Anual
1	G	12	Inspección visual	Semestral
			Medición de la resistencia del sistema de puesta a tierra	Anual
1	G	13	Ajuste de conexiones	Semestral
1	H	14	Limpieza general en el bobinado con nitrógeno	Semestral
			Limpieza con limpiador dieléctrico ecológico	Semestral
2	A	1	Inspección visual	Anual
2	A	2	Ajuste de conexiones	Semestral
2	A	3	Ajuste de conexiones	Semestral
2	B	4	Ajuste de conexiones	Semestral
2	B	5	Medición de parámetros eléctricos (voltaje y corriente)	Trimestral
			Inspección termográfica	Semestral
2	C	6	Inspección visual	Semestral
			Ajuste de conexiones	Semestral

2	C	7	Medición de parámetros eléctricos (voltaje y corriente)	Trimestral
2	C	8	Inspección visual	Trimestral
2	D	9	Medición de parámetros eléctricos (voltaje y corriente)	Trimestral
			Inspección termográfica	Semestral
2	D	10	Inspección visual	Anual
3	A	1	Inspección visual	Semestral
			Ajuste de conexiones	Semestral
3	B	2	Medición de parámetros eléctricos (voltaje y corriente)	Trimestral
3	C	3	Inspección visual	Semestral
			Ajuste de conexiones	Semestral
3	D	4	Medición de parámetros eléctricos (voltaje y corriente)	Trimestral
			Inspección termográfica	Semestral
3	D	5	Inspección visual	Semestral
			Ajuste de conexiones	Semestral
			Inspección termográfica	Semestral
4	A	1	Inspección visual	Semestral
			Ajuste de conexiones	Semestral
4	B	2	Inspección visual	Anual
4	C	3	Inspección visual	Anual
4	C	4	Inspección visual	Semestral
			Medición de la resistencia del sistema de puesta a tierra	Anual
			Ajuste de conexiones	Semestral

Tabla 8. Resultado de la evaluación de las consecuencias de los modos de falla. Fuente: Autor

El planteamiento descrito en la tabla 8, basado en el estudio de RCM se basa en la filosofía de trabajar con un mantenimiento centrado en confiabilidad bajo una metodología confiable donde se busca reducir los modos de fallas. Adicional a

las tareas descritas, se proponen las siguientes acciones para mejorar la gestión del mantenimiento de los activos eléctricos objetos de estudio.

- Diseñar formatos de rutinas de mantenimiento preventivo de acuerdo a la frecuencia propuesta en la tabla 8, inspección preoperacional.
- Diseñar instructivos o manuales de cambios de componentes, de tal manera que faciliten la ejecución de las tareas específicas, adicionalmente se deben reforzar los conceptos básicos de seguridad y salud en el trabajo.
- Realizar entrenamiento a los colaboradores sobre las mejores prácticas operacionales y de ingeniería.
- Revisar y actualizar cada año el análisis de RCM.
- Realizar periódicamente reuniones de mantenimiento para revisar cómo van los indicadores y ajustar el plan de mantenimiento. Se debe hacer seguimiento de las estrategias y metodología de mantenimiento definidas por el modelo basado en RCM y a las tareas de acción definidas en él.

## **7. Resultados**

Terranum actualmente ejecuta un plan de mantenimiento basado en la experiencia de los encargados en la operación de los activos eléctricos, sin embargo, no se llevan algunos registros de mantenimiento preventivos, predictivos, correctivos, averías y fallas. Dada esta circunstancia, el presente

proyecto con base en la metodología RCM pretende entregar un modelo de mantenimiento centrado en confiabilidad que garantice que se lleven históricos de los activos eléctricos y que se ejecute un modelo de mantenimiento basado en una metodología confiable y que de resultados tales como disminuir averías y llevar un control de las actividades que se le realizan a los activos.

Después de realizar el estudio RCM, la estrategia de mantenimiento para los activos de Terranum, se basa principalmente en trabajar con un mantenimiento planeado bajo una metodología confiable, minimizando así la operación por acciones de mantenimiento reactivo, correctivo o no planeado. Ver figura 5.

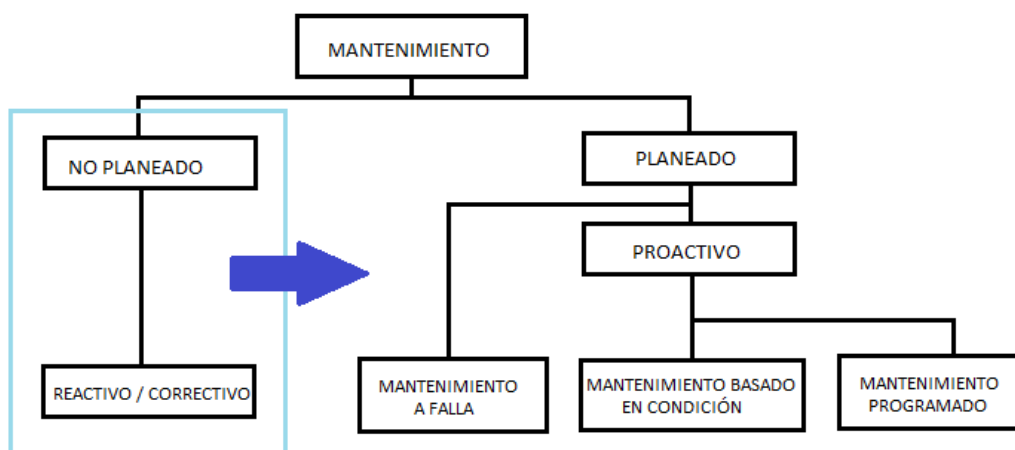


Figura 5. Tipos de mantenimiento. Fuente: Autor

El plan de mantenimiento que actualmente ejecuta Terranum se evidencia en la tabla 9.

IT	TIPO DE INTERVENCION	PERIODECIDAD ANUAL
<b>TRANSFORMADORES SECOS Y ACEITE</b>		
1	Inspección Visual general	2

2	Revisión de piezas externas incluso mecanismo de seccionador, ruedas	2
3	Marcación de terminales por código de colores	1
4	Medición de bornes en baja tensión	1
5	Limpieza General externa con limpiadores dieléctricos no corrosivos, incluido cárcamo	4
6	Ajuste de borneras, tornillos, etc.	2
7	Pintura si es necesario	1
8	Inspección a radiadores (Sumergidos)	2
9	Verificar controles, monitores de flujo y ruidos bombas de circulación (Sumergidos)	2
10	Verificar controles y ruido o velocidad inusual en Ventiladores (Forzados)	2
<b>TABLERO ELECTRICO PRINCIPAL Y PISO A PISO (Armarios y tableros)</b>		
1	Lectura de variables en cada armario, alimentador, barraje. (Vf, VI, Vn, If, II)	4
2	Termómetro laser sobre cada componente y su respectivo registro	4
3	Ajuste de borneras, tornillos, etc.	2
4	Inspección Visual General	4
5	Revisión a banco de condensadores	2
6	Limpieza General externa con limpiadores dieléctricos no corrosivos, incluido cárcamo	4
7	Limpieza General interna con limpiadores dieléctricos no corrosivos, con brocha	4
8	Verificación de pantallas de control sin alarmas y funcionamiento	4
9	Ajuste de cableados por tablero a 90grados debidamente atados y organizados	4
10	Revisión de empalmes y cintas debidamente ajustadas	4
11	Revisión de sistema de ventilación para armarios donde aplique	4
12	Revisar que los Medidores y sus CT's trabajen debidamente	4
13	Tagueo de armarios, gabinetes, tuberías y cableados de acuerdo a planos As Built	2
<b>BLINDOBARRAS</b>		
1	Lectura de variables eléctricas (Vf, VI, Vn, If, II)	4
2	Ajuste y nivelación de piezas, soportes y bornes	2
3	Inspección visual a lo largo de todo su trayecto, o antes si hay cortocircuitos importantes	2
4	Limpieza General externa con limpiadores dieléctricos no corrosivos, todo recorrido	2
<b>UPS</b>		
1	Lectura de variables eléctricas (Vf, VI, Vn, If, II)	4
2	Inspección Visual General UPS	2
3	Limpieza General externa con limpiadores dieléctricos no corrosivos	2

4	Ajuste de borneras, tornillos, etc.	2
5	Verificación de pantallas de control sin alarmas y funcionado	2
6	Ajuste de cableados a 90 grados debidamente atados y organizados	2
7	Limpieza detallada interna con NO Corrosivos, destape completo para soplado Interno	2
8	Comprobación de la ubicación y ambiente de trabajo de los equipos, temperatura, humedad, etc.	2
9	actualizaciones del software de control, drivers, etc., si aplica	1

Tabla 9. Plan de mantenimiento adoptado por Terranum para el complejo Connecta.  
Fuente: Autor

Dada la especialidad de las actividades en los activos eléctricos, Terranum terceriza el mantenimiento a los activos eléctricos, sin embargo, los reportes entregados por el contratista no son claros a la hora de visualizar la información requerida, sin embargo, la ejecución de mantenimiento tanto preventivo como predictivo se está ejecutando de acuerdo al plan de mantenimiento evidenciado en la Tabla 9.

Aplicar la metodología basado en RCM nos permite atacar de manera directa los modos de falla que presentan los cuatro activos eléctricos en estudio. A continuación, se muestra el nuevo plan de mantenimiento de cada subsistema o activo eléctrico en estudio, la tabla 10 evidencia el nuevo modelo de mantenimiento.

<b>ACTIVO</b>	<b>DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD</b>	<b>PERIODICIDAD</b>
Transformador eléctrico de potencia	Inspección visual	Trimestral
	Medición de parámetros eléctricos	Trimestral
	Ajuste de conexiones	Semestral

	Limpieza general en el transformador con nitrógeno y limpiador dieléctrico ecológico	Semestral
	Inspección termográfica	Semestral
	Prueba de relación de transformación	Anual
	Prueba de resistencia de aislamiento	Anual
	Prueba de resistencia de devanados	Anual
	Medición de la resistencia del sistema de puesta a tierra	Anual
	Análisis de calidad de energía	Anual
Tablero eléctrico principal	Inspección visual	Trimestral
	Medición de parámetros eléctricos	Trimestral
	Ajuste de conexiones	Semestral
	Inspección termográfica	Semestral
Blindobarra	Medición de parámetros eléctricos	Trimestral
	Inspección visual	Semestral
	Ajuste de conexiones	Semestral
	Inspección termográfica	Semestral
UPS	Inspección visual	Semestral
	Ajuste de conexiones	Semestral
	Medición de la resistencia del sistema de puesta a tierra	Anual

Tabla 10. Modelo de mantenimiento basado en RCM. Fuente: Autor

## 8. Análisis financiero

Terranum bajo su plan de mantenimiento tiene unos costos asociados al mantenimiento por activo intervenido, sin embargo, no aplicar una metodología confiable como RCM se incurren en gastos posiblemente innecesarios.



Los costos asociados al mantenimiento tienen en cuenta tanto el mantenimiento correctivo como el mantenimiento preventivo que se realiza de forma programada, con el fin de asegurar el adecuado funcionamiento de los equipos en cuanto a las conexiones, aislamiento, enfriamiento, vibraciones, ruidos, entre otros, y minimizar la probabilidad de fallos y deterioro.

Cada tarea de mantenimiento planteada en el presente documento tiene un costo por mano de obra que se ejecuta, de ahí se tienen costos asociados al mantenimiento preventivo, los cuales se evidencian en la tabla 11.

<b>ACTIVO</b>	<b>DESCRIPCIÓN TÉCNICA</b>	<b>CANTIDAD POR AÑO</b>	<b>VALOR UNITARIO</b>	<b>VALOR TOTAL DE MANTENIMIENTO ANUAL ANTES DE IVA</b>
Transformador eléctrico de potencia	Transformador seco de 1.000 kVA, 11.400/500-289 V	4	1.218.529	4.874.116
Tablero eléctrico principal	Tablero de distribución principal a 480 V de 230x100x60 cm	4	156.115	624.461
Blindobarra	Blindobarra de 480 V, 2.000 A con 10 metros lineales	2	307.015	614.031

UPS	UPS de 10 kVA con salida a 220 V	2	571.115	1.142.231
-----	----------------------------------	---	---------	-----------

Tabla 11. Costos relacionados al mantenimiento actual en Connecta. Fuente: Autor

El mantenimiento correctivo es el que se realiza con el fin de reparar, corregir o reemplazar los activos a partir de la aparición de una falla o deterioro de estos, por esta razón es importante también mostrar los costos asociados a los valores actuales de los activos en el mercado, en caso de reemplazo de los mismos.

<b>ACTIVO</b>	<b>DESCRIPCIÓN TÉCNICA</b>	<b>VALOR DE ADQUISICIÓN</b>
Transformador eléctrico de potencia	Transformador seco de 1.000 kVA, 11.400/500-289 V	\$ 58.000.000
Tablero eléctrico principal	Tablero de distribución principal a 480 V de 230x100x60 cm	\$ 14.000.000
Blindobarra	Blindobarra de 480 V, 2.000 A con 10 metros lineales	\$ 16.500.000
UPS	UPS de 10 kVA con salida a 220 V	\$ 8.000.000

Tabla 12. Costos relacionados con la adquisición de activos. Fuente: Autor

El mantenimiento correctivo, que implementa actualmente Terranum, al no contar con una programación, se realiza en momentos imprevistos presentando una serie de desventajas, entre esas un incremento en el costo de mantenimiento, el cual lleva consigo costos asociados a las pérdidas de los clientes de Terranum Corporativo al no tener en funcionamiento los activos

eléctricos, los costos de reparación, la interrupción de tiempos de los activos, entre otros.

Equipo investigador

<b>NOMBRE</b>	<b>CARGO</b>	<b>FUNCIÓN</b>	<b>DURACIÓN</b>
MAURICIO CALA	INGENIERO ELÉCTRICO	-Recolección de información. -Clasificación de información -Desarrollo del proyecto.	8 MESES

Tabla 13. Equipo evaluador. Fuente: Autor

## **9. Conclusiones y recomendaciones**

### 9.1 Conclusiones

- Se diseñó un plan de mantenimiento basado en confiabilidad (RCM), para el sistema eléctrico de los activos inmobiliarios de Terranum Corporativo, dando importancia a la criticidad de estos.
- Terranum actualmente está ejecutando mantenimientos preventivos, en donde sus intervenciones se ejecutan con alta frecuencia, generando paradas programadas innecesarias ya que la metodología basada en RCM muestra que se pueden mantener los equipos estables en el tiempo con menor número de intervenciones y afectaciones en la operación normal de las instalaciones.

- Se establece el procedimiento para la implementación de una metodología centrada en confiabilidad en los activos eléctricos de Terranum, brindando las tareas de mantenimiento para cada uno de estos y la periodicidad de estas.
- El desarrollo de modelos de mantenimiento basados en confiabilidad en los subsistemas descritos en el presente proyecto, permiten realizar gestión en disponibilidad, confiabilidad y conservación (ciclo de vida) de los activos, adicionalmente, permite implementarse en los activos críticos tipo B y C.
- Uno de los grandes beneficios de implementar un plan de mantenimiento basado en RCM, es el reducir los costos por pérdidas en la operación y sobrecostos por intervención de mantenimiento en los activos inmobiliarios de Terranum, ya que se centra en la confiabilidad de la operación de los mismos.
- De acuerdo a la evaluación realizada a la empresa Terranum, sobre la gestión de mantenimiento que está siguiendo, se pudo establecer que, en comparación con la metodología planteada en el presente proyecto, los costos están un 45% por encima.

## 9.2 Recomendaciones

- Para que un plan de mantenimiento funcione, es indispensable que la empresa Terranum aplique todas las actividades de mantenimiento establecidas ya que, la ejecución de estas actividades, garantizan el buen

funcionamiento del modelo y de los activos, además de ayudar a encontrar puntos de mejora en su ejecución.

- Utilizar y mantener actualizadas las hojas de vida de los activos con la codificación que se asigne, para tener datos históricos e información concreta de las fallas para poder tomar decisiones acertadas.
- Capacitar al personal acerca de la importancia de los modelos de mantenimiento y las técnicas de diagnóstico empleadas en este proyecto y lo importantes que son para la empresa.
- Implementar y mantener actualizados los indicadores de mantenimiento, ya que, son indispensables para ejercer un mejor control sobre la gestión de mantenimiento en los activos.

## **10 Lista de referencias**

Alejandro, P. (2007). Plan de mantenimiento para los sistemas de corte automático marca Gerber, utilizados en la sala de corte en Pepal SA. Bogotá.

Álvaro, P. (2007). ELABORACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO Y PREVENTIVO EN FUNCIÓN DE LA CRITICIDAD DE LOS EQUIPOS DEL PROCESO PRODUCTIVO DE UNA EMPRESA EMPACADORA DE CAMARÓN. Ecuador.

- Cesar, M. (2004). IMPLEMENTACIÓN DE UN ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA EN UNA LÍNEA DE MANUFACTURA PARA JUGUETES. México.
- Daniel, A. (2007). DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PARA LA EMPRESA CENTRIFUGADOS CONCISA LTDA. Pereira.
- Edwin, O., & Carlos, C. (2010). Desarrollo de manual de mantenimiento preventivo, correctivo y de instalación para UPSs Soltec de 20 kVA a 100 kVA. Bogotá.
- Francisco, P. (2017). PROTOCOLO DE REVISIÓN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO-CORRECTIVO, PARA LA INSTALACIÓN DE GRUPOS ELECTRÓGENOS. Sevilla.
- Gonzales, E., & Didier, M. (2018). Propuesta de un plan de mantenimiento basado en confiabilidad para una máquina granalladora. Bogotá: Universidad ECCI.
- Iván, Á. (2017). IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA RCM PARA LOS VEHÍCULOS DE EMERGENCIA DEL BENEMÉRITO CUERPO DE BOMBEROS VOLUNTARIOS DE CUENCA. Cuenca.
- Iván, G. (2012). DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN CONFIABILIDAD PARA EL CIRCUITO PROPATRIA B2. Venezuela.
- Jorge, C., Hugo, C., & Jose, B. (2016). Cálculo del TPRF (Tiempo Promedio Entre Fallas) para una flota de vehículos de transporte masivo (gestión de activos). Bogotá: Universidad ECCI.

- Juan, P., John, G., & Iván, P. (2011). Modelo de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) para una máquina prensa para la fabricación de clavos en una empresa manufacturera. Bogotá: Universidad ECCI.
- Juan, R., & Sergio, M. (2017). Plan de mantenimiento basado en RCM para la red de distribución eléctrica de media tensión a 34,5 kV de campo rubiales propiedad de Ecopetrol SA. Bucaramanga.
- Larissa, A., & Pablo, B. (2015). Formulación de un modelo de mantenimiento predictivo para motores eléctricos, transformadores de potencia de 500 kVA en adelante y generadores eléctricos con potencias superiores a 1 MW. Bucaramanga.
- Lectron Energy. (04 de 06 de 2018). Lectron Energy. Obtenido de [http://lectron.ec/que\\_son\\_electrobarras.html](http://lectron.ec/que_son_electrobarras.html)
- León, M. (2014). METODOLOGÍA PARA LA DEFINICIÓN DE TAREAS DE MANTENIMIENTO BASADO EN CONFIABILIDAD, CONDICIÓN Y RIESGO APLICADA A EQUIPO DE TRANSMISIÓN NACIONAL. Medellín.
- Mantenimiento Petroquímica. (04 de 06 de 2018). Mantenimiento Petroquímica. Obtenido de <http://www.mantenimientopetroquimica.com/rcm.html>
- Pablo, B. (2014). MODELO ESTRATÉGICO DE MANTENIMIENTO PARA LAS SUBESTACIONES Y REDES ELÉCTRICAS DE MEDIA TENSIÓN DE UNA PLANTA SIDERÚRGICA BASADO EN LA METODOLOGÍA RCM. Bucaramanga.

Pérez, P. A. (2001). Transformadores de distribución: teoría, cálculo, construcción pruebas. México: Editorial Reverté.

QuimiNet. (04 de 06 de 2018). QuimiNet. Obtenido de <https://www.quiminet.com/articulos/los-tableros-electricos-sus-tipos-y-aplicaciones-segun-el-uso-de-la-energia-electrica-2586331.htm>

Reabiliy web. (04 de 06 de 2018). Reabiliy web. Obtenido de <https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/definicion-de-las-frecuencias-para-un-plan-de-mantenimiento>

RENOVETEC. (s.f.). El objetivo de rcm y las fases del proceso. Obtenido de <http://rcm3.org/120>

RENOVETEC. (s.f.). Mantenimiento Petroquímica. Obtenido de <http://www.mantenimientopetroquimica.com/rcm.html>

Sánchez Sánchez de Puerta, B. A. (Julio de 2016). Bibing. Obtenido de <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/30282/fichero/Dise%C3%B1o+de+un+plan+de+mantenimiento+mediante+metodolog%C3%ADa+RCM+para+una+l%C3%ADnea+de+valorizaci%C3%B3n+de+PEB.pdf>

Servicio integral de baterías industriales. (04 de 06 de 2018). Servicio integral de baterías industriales. Obtenido de <http://www.lekimbatt.com/DIVISION-SAI-UPS/1/>