

DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO CON METODOLOGÍA AMEF Y CMD
PARA LOS EQUIPOS ELECTROMECAÑICOS CRÍTICOS DE LA ESTACIÓN
ELEVADORA “LA ISLA” DE LA EMPRESA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADOS
DE BOGOTÁ – EAAB ESP

Luis Hernando Laguna Garzón

Trabajo de Grado para Optar al Título de
Especialista en Gerencia de Mantenimiento

Director: William Pinto Hernández
DsC. en Ingeniería Mecánica

Universidad Industrial de Santander
Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas
Escuela de Ingeniería Mecánica
Especialización en Gerencia de Mantenimiento
Bucaramanga
2022

Tabla de Contenido

Introducción 8

1. Objetivos..... 9

 1.1. Objetivo general..... 9

 1.2. Objetivos específicos 9

2. Marco conceptual 10

 2.1. Análisis de Modo y Efectos de Falla – AMEF 10

 2.2. Curva de la bañera 10

 2.3. Técnicas de análisis de fallas – Diagrama de Pareto..... 11

 2.4. Confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad – CMD..... 12

 2.4.2. *Confiabilidad - $R(t)$* 13

 2.4.3. *Mantenibilidad – $M(t)$* 15

 2.5. Método de predicción y distribución Weibull para CMD..... 16

3. Análisis de fallas..... 19

 3.1. Análisis de criticidad..... 19

 3.2. Aplicación de la metodología AMEF - Análisis de Modo y Efectos de Falla 23

4. Modelo universal e integral para la medición CMD 28

 4.1. Diagnóstico, parametrización, cálculo y medición CMD 28

 4.2. Estrategias de mantenimiento 35

5. CONCLUSIONES 38

6. Recomendaciones	39
Referencias Bibliográficas	41
Apéndices	42
Apéndice A Tabulación de datos de cantidad de fallas y tiempo de reparación	42
Apéndice B Análisis de modos y efectos de falla en componentes + Tareas de mantenimiento	44
Apéndice C Calculo de parámetros de Mantenimiento $M(t)$, Confiabilidad $R(t)$ y No Confiabilidad $F(t)$ a equipos de criticidad alta.....	53
Apéndice D Curvas de Mantenibilidad $M(t)$, Confiabilidad $R(t)$ y No Confiabilidad $F(t)$ a equipos de criticidad alta.....	69
Apéndice E Estrategias de mantenimiento para los equipos electromecánicos con criticidad alta.....	76

Lista de tablas

Tabla 1 Taxonomía de los equipos con criticidad alta (Autor)..... 24

Tabla 2 Indicadores CMD actuales (Autor)..... 29

Tabla 3 Valores calculados de Eta y Beta (Autor)..... 31

Tabla 4 Representación de los datos de Mantenibilidad, No Confiabilidad y Confiabilidad (Autor)..... 34

Tabla 5 Resultados de Mantenibilidad $M(t)$, No Confiabilidad $F(t)$, Confiabilidad $R(t)$ y Disponibilidad Inherente prevista (Autor) 34

Lista de Figuras

Figura 1 Curva de Pareto de las estaciones elevadoras de aguas residuales (Autor)..... 12

Figura 2 Curva de confiabilidad y probabilidad de falla (Mora, 2009)..... 14

Figura 3 Curva de mantenibilidad (Mora, 2009) 15

Figura 4 Matriz de criticidad (Autor) 19

Figura 5 Diagrama de Pareto para cantidad de fallas (Autor) 21

Figura 6 Diagrama de Pareto para el tiempo de reparación (TTR) (Autor) 22

Figura 7 Representación Análisis de Modo y Efectos de Falla – AMEF de un componente de las bombas sumergibles (Autor)..... 27

Figura 8 Curva de Mantenibilidad $M(t)$ para el Arrancador suave TAB N12 +N12.1 Unidad bombeo 3 (Autor)..... 31

Figura 9 Curva de Confiabilidad $R(t)$ y No Confiabilidad $F(t)$ para el Arrancador suave TAB N8 +N8.2 Unidad bombeo 6 (Autor)..... 33

Figura 10 Representación actividades de mantenimiento de un componente de las bombas sumergibles (Autor) 37

Figura 11 Estadística de modos de falla (Autor) 39

Resumen

Título: Diseño de un plan de mantenimiento con metodología AMEF y CMD para los equipos electromecánicos críticos de la estación elevadora “La Isla” de la Empresa de Acueducto y Alcantarillados de Bogotá – EAAB ESP.¹

Autor(s): Luis Hernando Laguna Garzón²

Palabras Clave: Análisis de Modo y Efectos de Falla, Confiabilidad, Disponibilidad, Mantenibilidad, Tiempo de Reparación, Enfoque Sistemático Kantiano, Estaciones elevadoras.

Descripción: Este proyecto se fundamenta en el enfoque sistémico kantiano que define tareas de mantenimiento a los equipos electromecánicos de la estación elevadora “La Isla” de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá – EAAB ESP. Para esto, es necesario hacer un análisis de falla con metodología AMEF y medir los parámetros de CMD, con el fin de aumentar la confiabilidad entre un 70 % y 80 % por medio de acciones proactivas de mantenimiento adecuadas. Para lo anterior, con la ayuda del diagrama de Pareto se identificarán los equipos electromecánicos de la estación elevadora “La Isla” que generan el 80 % del tiempo de reparación (TTR) y cantidad de fallas, para después hacer un Análisis de Modo y Efectos de Falla (AMEF). En seguida, con el modelo universal e integral para la medición CMD se obtienen los parámetros de disponibilidad actual y prevista, y se construyen las curvas de confiabilidad y mantenibilidad. Por último, de acuerdo con AMEF e indicadores CMD se diseñan los planes de mantenimiento a los equipos electromecánicos críticos de la estación elevadora.

¹ Trabajo de Grado

² Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Director: William Pinto Hernández DsC.

Abstract

Title: Design of a maintenance plan with FMEA and RAM methodology for the critical electromechanical equipment of the “La Isla” lifting station of the Empresa de Acueducto y Alcantarillados de Bogotá – EAAB ESP.³

Author(s): Luis Hernando Laguna Garzón⁴

Key Words: Failure Mode and Effects Analysis, Reliability, Availability, Maintainability, Time To Repair, Kantian Systematic Approach, Lifting Stations.

Description: This project is based on the Kantian systemic approach that defines maintenance tasks for the electromechanical equipment of the lifting station "La Isla" of the Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá - EAAB ESP. For this, it is necessary to carry out a failure analysis with FMEA methodology and measure the RAM parameters, in order to increase reliability between 70 % and 80 % through adequate proactive maintenance actions.

For the above, with the help of the Pareto diagram, the electromechanical equipment of the “La Isla” lifting station that generates 80 % of the Time To Repair (TTR) and number of failures will be identified, in order to later carry out a Failure Modes and Effect Analysis (FMEA). Next, with the universal and integral model for the RAM measurement, the current and forecast availability parameters are obtained, and the reliability and maintainability curves are constructed. Finally, according to FMEA and RAM indicators, maintenance plans are designed for the critical electromechanical equipment of the lifting station.

³ Degree Work

⁴ Physical-Mechanical Engineering Faculty. Mechanical Engineering School. Specialization in Maintenance Management. Director: William Pinto Hernández DsC.

Introducción

Las estaciones elevadoras de aguas residuales funcionan con equipos eléctricos, electrónicos y mecánicos, y están siendo operadas por un operador o desde centro de control. De esta manera, es necesario que estos activos trabajen con una disponibilidad y confiabilidad alta debido al riesgo sanitario que pueden generar en las localidades de Bogotá por inundaciones de aguas sanitarias y pluviales. Por lo tanto, la EAAB ESP desde el año 2018 hasta la fecha han implementado 68 actividades de mantenimiento preventivos, sin identificar los equipos críticos y sin hacer un análisis de falla a los activos en la estación elevadora La Isla. Por esta razón, se tiene un promedio de fallas de 462 desde el año 2018 hasta el mes de julio de 2022.

De acuerdo con lo anterior, las tareas preventivas implementadas no están haciendo efecto importante para disminuir los modos de falla. Tampoco se está midiendo los parámetros de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad, por lo que no es posible evaluar la gestión del mantenimiento y el correcto uso de los activos.

Entonces, es importante plantear la siguiente hipótesis: ¿Es posible diseñar un plan de mantenimiento por medio de AMEF y metodología CMD para aumentar la confiabilidad en los equipos electromecánicos críticos de la estación elevadora La Isla entre un 70 % y 80 %?

En ese sentido, se propone a la EAAB ESP el enfoque sistémico kantiano e integral que permita estimar los parámetros de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad de los equipos electromecánicos críticos que están generando el 80 % del tiempo de reparación y cantidad de fallas, que por medio del análisis de fallas con AMEF, estimación de indicadores relacionales con la metodología CMD y controlando la variable beta (β) que se obtiene de la distribución Weibull, se definen los planes de mantenimiento pertinentes, con el fin de lograr una confiabilidad entre 70 % y 80 %.

1. Objetivos

1.1. Objetivo general

Diseñar un plan de mantenimiento por medio de AMEF y metodología CMD para aumentar la confiabilidad en los equipos electromecánicos críticos de la estación elevadora “La Isla” entre un 70 % y 80 %.

1.2. Objetivos específicos

Objetivo 1: Identificar el 20 % de los equipos electromecánicos de la estación elevadora “La Isla” que generan el 80 % del tiempo de reparación (TTR) y cantidad de fallas, por medio de un diagrama de Pareto para hacer un análisis de fallas con AMEF.

Objetivo 2: Determinar los indicadores de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad con el modelo universal e integral para la medición CMD en los equipos electromecánicos críticos.

Objetivo 3: Desarrollar una estrategia de mantenimiento a los equipos electromecánicos críticos, de acuerdo a los resultados del AMEF e indicadores CMD para alcanzar una confiabilidad entre un 70 % y 80 %.

2. Marco conceptual

2.1. Análisis de Modo y Efectos de Falla – AMEF

Es una metodología que presenta la norma SAE JA1012 para prevenir fallas en los activos. De esta manera, antes de seleccionar una estrategia de mantenimiento primero debe identificar las funciones definidas por cada equipo. Después la falla funcional, que es asociada a cada función del equipo, y que responde la pregunta ¿De qué forma puede fallar al efectuar sus funciones establecidas? A continuación, se distinguen los modos de falla o todos los eventos que causan una falla funcional. Finalmente se reconocen los efectos de falla, que describe qué pasaría cuando ocurre un modo de falla y no se ejecuta alguna actividad de mantenimiento.

Cuando se encuentran definidas las funciones de cada equipo, las fallas funcionales, los modos y efectos falla se puede obtener información necesaria para implementar una serie de políticas que puedan generar un manejo efectivo de las fallas como, por ejemplo, el mantenimiento proactivo (mantenimiento preventivo y predictivo, monitoreo de condición y correctivo programado).

2.2. Curva de la bañera

La curva de la bañera es una representación gráfica de las fallas presentadas en un equipo o sistema durante toda la vida útil. Estas dependen del valor de la tasa de falla ($\lambda(t)$) y de beta (β), que de acuerdo al valor se analiza qué tarea de mantenimiento es el más adecuado. La curva de la bañera está dividida en tres fases:

➤ **Mortalidad infantil:** El comportamiento es decreciente, esto quiere decir que $\lambda(t)$ disminuye.

Las tareas de mantenimiento adecuadas son las correctivas y modificativas⁵.

⁵ Tareas modificativas: Son acciones dedicadas a corregir los defectos de diseño o montaje.

- **Madurez o vida útil:** La probabilidad de falla son esporádicas o recurrentes debido a acciones técnicas o de procedimientos humanos. Esto quiere decir que $\lambda(t)$ es constante. Las tareas de mantenimiento adecuadas son las actividades predictivas y modificativas.
- **Envejecimiento:** El comportamiento de la curva es creciente y se observa un crecimiento en la tasa de falla a medida que transcurre el tiempo. En esta etapa presenta tres etapas:
 - ❖ **Etapa I:** $\lambda(t)$ crece levemente y se presentan debido al uso, abuso o desuso. Las tareas de mantenimiento adecuadas son preventivas y predictivas.
 - ❖ **Etapa II:** $\lambda(t)$ crece constantemente en forma rectilínea. Las tareas de mantenimiento adecuadas son preventivas y predictivas.
 - ❖ **Etapa III:** $\lambda(t)$ crece aceleradamente. Las actividades de mantenimiento adecuadas son las predictivas, correctivas y modificativas debido al deterioro y el uso durante el transcurrir del tiempo. Si no mejora con las actividades de mantenimiento planeado, es necesario la reposición o sustitución del equipo.

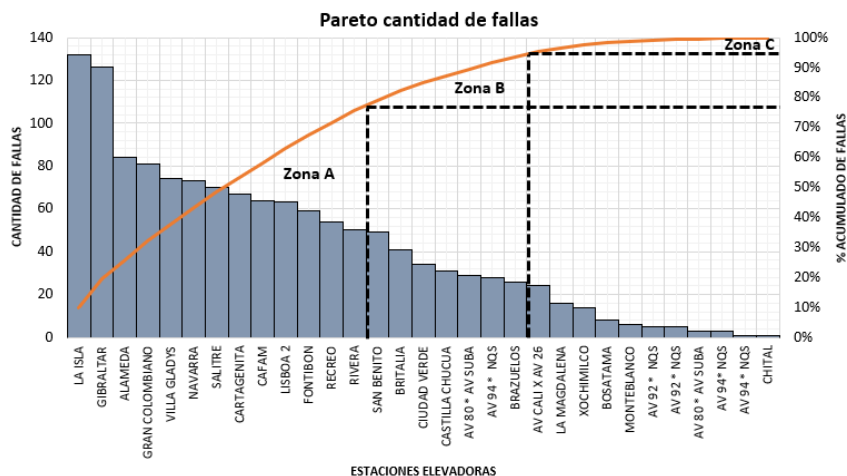
2.3. Técnicas de análisis de fallas – Diagrama de Pareto

El diagrama de Pareto en mantenimiento o la regla 80/20, explica que unos pocos (el 20 %) son los responsables de la mayor cantidad de fallas (el 80 %) en un sistema. Los otros contribuidores de fallas son responsables de una porción pequeña. Con este tipo de análisis es posible identificar las estaciones elevadoras de aguas residuales y equipos electromecánicos críticos, que deben ser intervenidos de manera urgente. Para esto se divide la curva en tres zonas A, B y C.

En la figura 1 muestra un ejemplo de un análisis de fallas a las estaciones elevadoras de aguas residuales, donde se evidencia que La Isla, es la estación que genera mayor cantidad de ordenes correctivas.

Figura 1

Curva de Pareto de las estaciones elevadoras de aguas residuales (Autor)



Una vez dividida la gráfica, se podrían tomar las siguientes conclusiones:

- Las estaciones levadoras que se encuentran en la zona A deben ser tomados como prioridad, por lo cual, deben tener un programa de mantenimiento preventivo, monitoreo de condición, inspecciones periódicas y stock de repuestos. Esto quiere decir que el 20 % de las estaciones están generando el 80 % de las fallas.
- Para las estaciones elevadoras que se encuentran en la zona B, el esfuerzo de mantenimiento debe ser menor. En esta zona el 30 % de las estaciones están generando el 15 % de las fallas.
- Las estaciones elevadoras que se encuentran en la zona C, no necesitan de intervenciones preventivas. El 50 % de las estaciones están generando el 5 % de las fallas, debido a que tienen un promedio de antigüedad de 6 años.

2.4. Confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad – CMD

Por medio del CMD es posible planear, organizar, dirigir, ejecutar y controlar toda la gestión y operación del mantenimiento, mediante el cálculo matemático, probabilístico y estadísticos de indicadores que fundamentan el estudio de la confiabilidad, mantenibilidad y

disponibilidad. Con estos indicadores es posible fundamentar otras tácticas de mantenimiento como el TPM, RCM, PMO, RBM, entre otras, llevado a establecer los planes de mantenimiento óptimos y predecir el comportamiento de los equipos.

2.4.1. Disponibilidad

Es la probabilidad de que un equipo o sistema funcione cuando sea requerido en condiciones estables. En la disponibilidad se considera el tiempo total, que está comprendido por el tiempo de operación, el tiempo de reparación, tiempo inactivo, tiempo de mantenimiento preventivo, tiempo de funcionamiento sin producción y tiempo logístico. En la ecuación 1 establece la fórmula general para calcular el indicador de disponibilidad, donde se mide en %.

Ecuación 1

Relación disponibilidad (Mora, 2009)

$$Disponibilidad = \frac{Confiabilidad}{Confiabilidad + Mantenibilidad}$$

Existen diferentes formas de calcular la disponibilidad y esto dependen de los datos que posea la empresa, en este caso se utilizó la **disponibilidad inherente** según la ecuación 10. Esta puede ser calculada mediante diferentes técnicas, una de ellas es por medio del cálculo de indicadores simples y puntuales, con el cálculo de las medias móviles y la otra se calcula por medio de distribuciones que modelan la disponibilidad y la mantenibilidad.

2.4.2. Confiabilidad - $R(t)$

Es la probabilidad de un equipo que pueda desempeñar las funciones para los cuales fueron definidas bajo condiciones de operación normal y un periodo determinado. La confiabilidad se mide de acuerdo a la cantidad de fallas, esto quiere decir que, si un equipo no presenta fallas o funciona correctamente después de entrar en operación, este es totalmente confiable.

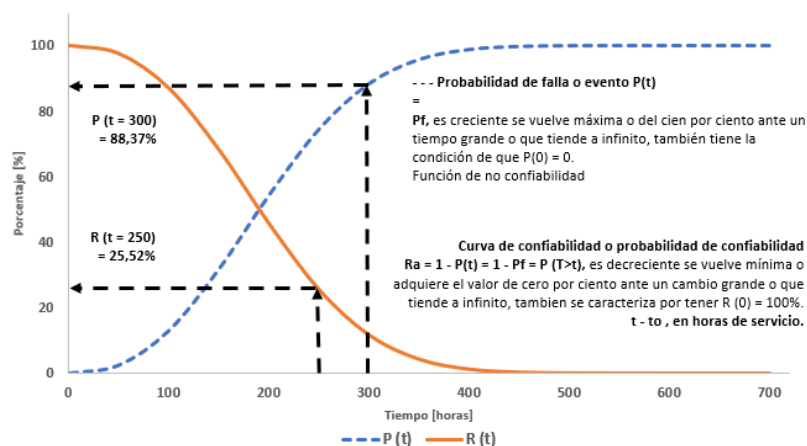
Ahora, la función de confiabilidad $R(t)$ disminuye cuando aumenta el tiempo, esto quiere decir que cuando t es igual a cero la confiabilidad es del 100 % antes de iniciar la operación ($R(0) = 1$). Pero cuando el tiempo es grande o tiende a infinito la probabilidad de confiabilidad es cercana al 0 %, por lo cual el equipo entra en estado de falla.

Es importante mencionar, que para conocer la capacidad de un equipo o sistema para que funcione correctamente es posible hacerlo con los indicadores de confiabilidad. Por lo cual, es necesario obtener la curva de confiabilidad o probabilidad de confiabilidad.

En la figura 2 muestra un ejemplo donde se modela el comportamiento en el tiempo de la confiabilidad utilizando como método de predicción la distribución de Weibull con los datos de TBF, TTR, beta, eta y alfa. Así mismo, indica que la probabilidad de que un equipo dure más de 250 horas sin fallar es del 25,52 %. Además, es posible encontrar que si un equipo llega a las 300 horas de funcionamiento tiene una probabilidad de fallar del 88,37 %.

Figura 2

Curva de confiabilidad y probabilidad de falla (Mora, 2009)



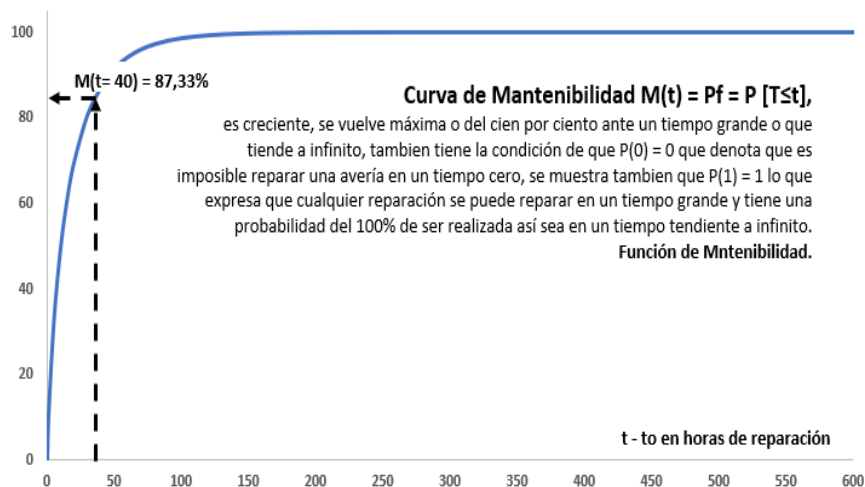
2.4.3. Mantenibilidad – $M(t)$

Es la probabilidad de un equipo para que regrese a su estado normal de funcionamiento mediante una tarea de mantenimiento correctivo o planeado. Esta se mide en términos del tiempo requerido para realizar cualquier tarea de mantenimiento, esto quiere decir que evalúa la gestión y la operación del mantenimiento.

La función de mantenibilidad o reparación $M(t)$ ocurre lo contrario a la función de confiabilidad, donde este aumenta cuando incrementa el tiempo, esto quiere decir que cuando t es igual a cero la probabilidad de realizar un mantenimiento es del 0 %, en otras palabras, $M(0) = 0$. Pero cuando el tiempo aumenta o tiende a infinito la probabilidad de realizar cualquier actividad de mantenimiento es cercana al 100 %. En la figura 3, se presenta el comportamiento de la función de mantenibilidad. Allí se puede interpretar de varias maneras: existe una probabilidad del 87,33% de que un equipo sea reparado en un tiempo menor o igual a las 40 horas, o en varios equipos similares el 87,33% de las veces que se han reparado los equipos no duran más de 40 horas.

Figura 3

Curva de mantenibilidad (Mora, 2009)



Para estimar los parámetros de mantenibilidad $M(t)$ y no confiabilidad $F(t)$ se aplica la ecuación 2, que representa la aproximación de Bernard.

Ecuación 2

Aproximación de Bernard (Mora, 2009)

$$R - M = \frac{j - 0,3}{N + 0,4}$$

Donde:

$R - M$ Estimador de mantenibilidad y no confiabilidad

j : Posición del dato ordenado de menor a mayor

N : Número total de fallas.

2.5. Método de predicción y distribución Weibull para CMD

Existen varios métodos de cálculo de parámetros CMD, donde cada uno de ellos se diferencian por su metodología y fundamentos técnicos. También, su uso depende del entorno y del nivel de madurez que las personas o empresas tengan sobre la predicción de parámetros. Uno de ellos es el método de distribución donde se modelan mucho mejor los TBF y TTR. Con la distribución de Weibull (método que se utilizará en este plan de trabajo) permite analizar en qué zona se encuentra el equipo en la curva de la bañera (infancia, madurez y envejecimiento). Para esto, se analizan tres parámetros:

- **Eta (η):** El valor determina la vida útil de un equipo o sistema.
- **Gamma (γ):** Establece el intervalo donde la probabilidad de falla es cero. Como es de difícil estimación se asume que es igual a cero.
- **Beta (β):** El valor determina en qué zona de la curva de la bañera se encuentra el equipo. Esto quiere decir que cuando $\beta < 1$ se encuentra en la zona de mortalidad infantil o tasa de falla

decreciente, cuando $\beta \approx 1$ se encuentra en la zona de vida útil o tasa de falla constante y cuando $\beta > 1$ se encuentra en la zona de desgaste o tasa de falla creciente.

A continuación, en la ecuación 3 representa la confiabilidad o $R(t)$ en función de la tasa de falla o $\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-t_0}{\eta}\right)^{\beta-1}$, mediante la distribución de Weibull.

Ecuación 3

Función de confiabilidad (Mora, 2009)

$$R(t) = e^{\left[-\left(\frac{t-t_0}{\eta}\right)^\beta\right]}$$

Donde:

t : Tiempo.

t_0 : Tiempo o parámetro inicial.

η : Vida característica.

β : Parámetro de forma (si β es muy alta se visualizará que hay menor dispersión de los tiempos de falla y que ocurre en equipos antiguos. Si β es muy menor se muestra que hay una dispersión considerable en los datos o pocas fallas funcionales).

Ecuación 4

Función acumulativa de fallas (Mora, 2009)

$$F(t) = 1 - R(t) = 1 - e^{\left[-\left(\frac{t-t_0}{\eta}\right)^\beta\right]}$$

La ecuación 4 representa la función acumulativa de fallas o función de no confiabilidad. Utilizando la ecuación 3, es posible representar mediante una línea recta los eventos a analizar como por ejemplo, MTTF, MTBF o MTTR, cuando t_0 es igual a cero. Por lo cual, la ecuación 5 representa la aplicación de los logaritmos neperianos a los dos lados de la ecuación 3.

Ecuación 5

Relación entre la confiabilidad y la no confiabilidad o probabilidad de falla acumulada (Mora, 2009)

$$Y = \text{Ln} \left(\text{Ln} \left(\frac{1}{1 - F(t)} \right) \right) = \beta * \text{Ln}(t) - \beta * \text{Ln}(\eta) = A * X + B$$

La ecuación de línea recta está dada por $Y = A * X + B$, donde **A** es la pendiente de la recta y **B** es la intersección con el eje **Y**. De acuerdo con la ecuación 5 y lo mencionado

anteriormente se obtiene que: $Y = \text{Ln} \left(\text{Ln} \left(\frac{1}{1 - F(t)} \right) \right)$, $A = \beta$, $X = \text{Ln}(t)$, $B = -\beta * \text{Ln}(\eta)$, $\eta =$

$$e^{-\frac{b}{\beta}}$$

- Los equipos que se encuentran en la **zona B** o **criticidad media**, representan el 30 % de las máquinas que están generando el 15 % de las fallas.
- Los equipos que se encuentran en la **zona C** o **criticidad baja**, representan el 50 % de las máquinas que están generando el 5 % de las fallas.

Ahora, para determinar los equipos electromecánicos **críticos** o de **criticidad alta** de la estación elevadora La Isla, es necesario la recolección de información en el sistema SAP PM de la EAAB ESP desde el año 2018 hasta la fecha, de todas las ordenes correctivas generadas por la Dirección Servicios de Electromecánica y la División de Servicio Alcantarillado de la zona 5, con el fin de generar los diagramas de Pareto para identificar el 20 % de los equipos que están provocando el 80 % del tiempo de reparación (TTR) o cantidad de fallas.

De la información obtenida se encontró que, de los 110 equipos instalados en la estación, 53 presentaron alguna falla.

Ahora, para generar los diagramas de Pareto fue necesario crear dos tablas, una que corresponda a los datos de cantidad de fallas y otra a los datos de TTR, con el objeto de organizarlos de mayor a menor y realizar los cálculos correspondientes utilizando las siguientes ecuaciones:

Ecuación 6

Porcentaje total (Autor)

$$\% \text{ total} = \frac{TTR_i}{\sum_{i=1}^n TTR_i} \times 100\%$$

Ecuación 7

Porcentaje acumulado (Autor)

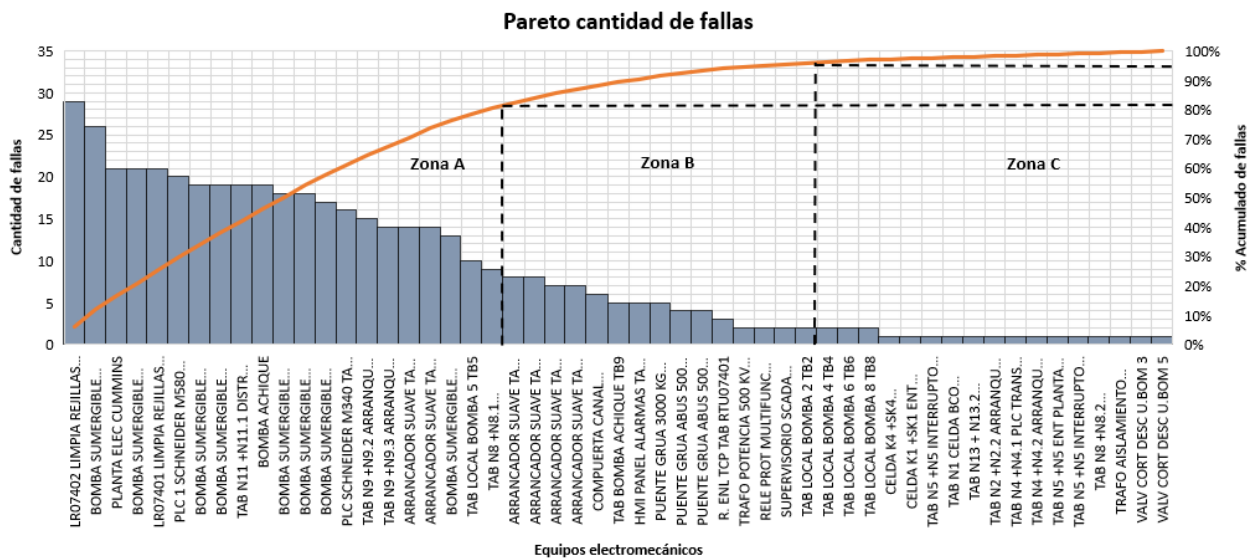
$$\% \text{ acumulado} = \% \text{ total}_i + \% \text{ total}_{i-1}$$

En la ecuación 6 muestra el porcentaje total según el número total de fallas y la ecuación 7 indica el porcentaje acumulado según el número total de fallas.

De acuerdo con lo anterior, en la tabla A1 del **Apéndice A** (Tabulación de datos de cantidad de fallas y tiempo de reparación) se encuentra el resultado al aplicar las ecuaciones 6 y 7 en los datos de cantidad de fallas de cada uno de las máquinas electromecánicas que presentaron alguna parada no programada desde el año 2018 hasta la fecha, donde los equipos que se encuentran resaltados de color rojo se consideran **críticos** o de **criticidad alta**, de color naranja **criticidad media** y amarillo de **criticidad baja o no críticos**. Según los datos obtenidos en la tabla A1, en la figura 5 muestra gráficamente el análisis de criticidad para los equipos de la estación elevadora La Isla, divididos por tres zonas (A, B y C).

Figura 5

Diagrama de Pareto para cantidad de fallas (Autor)



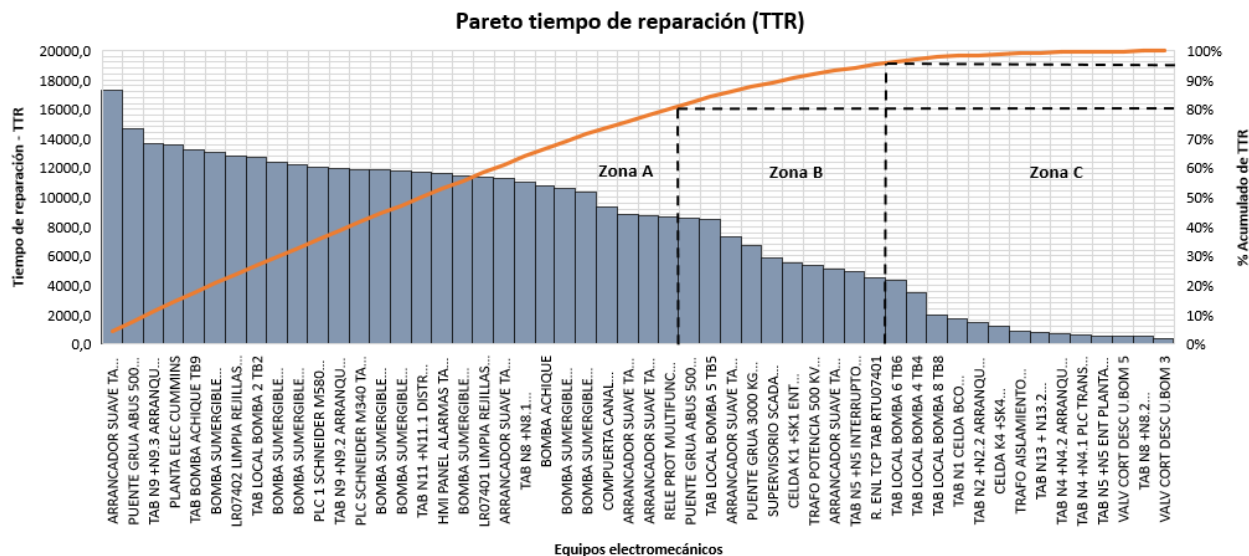
Así mismo, en la tabla A2 del **Apéndice A** se encuentra el resultado al aplicar las ecuaciones 6 y 7 en los datos de tiempo de reparación (TTR) de cada uno de los equipos electromecánicos que presentaron alguna parada no programada desde el año 2018 hasta la fecha.

Así como en la tabla A1, en la tabla A2, los equipos fueron resaltados de color rojo, naranja y

amarillo de acuerdo con el rango porcentual del acumulado de TTR. Según los datos obtenidos en la tabla A1, en la figura 6 muestra gráficamente el análisis de criticidad para los equipos de la estación elevadora La Isla, divididos por tres zonas (A, B y C).

Figura 6

Diagrama de Pareto para el tiempo de reparación (TTR) (Autor)



Como resultado del análisis de criticidad mediante la técnica del diagrama de Pareto y la matriz de criticidad, se clasificaron los equipos de acuerdo con los datos obtenidos del sistema SAP PM. En la figura 5, en la zona A (críticidad alta) alcanzaron 21 de 53 equipos electromecánicos que están generando el 80 % de la cantidad de fallas. Dentro de ellos se encuentra el LR07402 Limpia Rejillas Automático Aguas Lluvias con la mayor cantidad de fallas (29 fallas), en cambio en la figura 6 aumentaron a 28 de 53 equipos que están generando el 80 % de indisponibilidad o tiempo de reparación. Dentro de ellos se encuentra Arrancador Suave TAB N8 +N8.1 Unidad bombeo 5 con el mayor tiempo de reparación (17307,16 horas). Por lo tanto, los equipos que se encuentran ubicados en las zonas A, B y C son diferentes en cada una de las gráficas.

Por consiguiente, como los datos que indican los tiempos de reparación o TTR representan la gestión de mantenimiento (tiempos de desplazamiento, tiempos logísticos o administrativos, tiempo de suministro de repuestos, entre otros), serán utilizados para el cálculo del indicador de mantenibilidad, por lo que el análisis de criticidad a partir de estos datos no será tenido en cuenta en la metodología AMEF. En cambio, los datos que provienen de la cantidad de fallas se utilizarán para el análisis de falla debido a que muestran las veces que fue interrumpido el funcionamiento del sistema, por lo que es necesario establecer las razones que generan la suspensión del servicio para mejorar los indicadores de CMD.

3.2. Aplicación de la metodología AMEF - Análisis de Modo y Efectos de Falla

Para el análisis de fallas en los equipos electromecánicos que se encuentran en la zona A, se utilizó la metodología del Análisis de Modo y Efectos de Falla (AMEF) de la norma SAE JA1012, con el fin de examinar los modos de falla e identificar los efectos que generan estas paradas no programadas.

Para desarrollar la metodología AMEF se tuvieron en cuenta los siguientes principios:

Primer principio: Obtener del sistema SAP PM los sistemas, subsistemas, equipos y componentes (Taxonomía) de solamente los equipos clasificados como criticidad alta. Para lo cual, en la tabla 1 representa la taxonomía en la estación elevadora La Isla, organizada por estación, sistema, subsistema, equipos y componentes.

Tabla 1

Taxonomía de los equipos con criticidad alta (Autor)

TAXONOMÍA					
ESTACIÓN	UBICACIÓN TÉCNICA		EQUIPOS	COMPONENTES	
	SISTEMAS	SUBSISTEMA			
EAB-AL-BM-ZN05-ISLA - Estación elevadora La Isla	EAB-AL-BM-ZN05-ISLA-SBOM - Sistema de bombeo La Isla	EAB-AL-BM-ZN05-ISLA-SBOM-UN01 - Unidad bombeo 1 La Isla	ESPC074001 - Bomba sumergible U. bombeo 1	Motor de inducción jaula de ardilla Rodamientos SKF 6305 2RS C3 Z (principal - inferior) y SKF 3307 A-2RS C3 (soporte - superior) Sellos mecánicos Sensor de humedad Sensor de temperatura analógico Impulsor Eje Camisa de refrigeración	
		EAB-AL-BM-ZN05-ISLA-SBOM-UN02 - Unidad bombeo 2 La Isla	ESPC074002 - Bomba sumergible U. bombeo 2	Componentes igual a bomba sumergible unidad 1	
		EAB-AL-BM-ZN05-ISLA-SBOM-UN03 - Unidad bombeo 3 La Isla	ESPC074003 - Bomba sumergible U. bombeo 3 FCLV074005 - Arrancador suave TAB N12 +N12.1 Unidad bombeo 3	Componentes igual a bomba sumergible unidad 1 Arrancador Schneider Electric ATS48C17Y	
		EAB-AL-BM-ZN05-ISLA-SBOM-UN04 - Unidad bombeo 4 La Isla	ESPC074004 - Bomba sumergible U. bombeo 4	Componentes igual a bomba sumergible unidad 1	
		EAB-AL-BM-ZN05-ISLA-SBOM-UN05 - Unidad bombeo 5 La Isla	EAB-AL-BM-ZN05-ISLA-SBOM-UN05 - Unidad bombeo 5 La Isla	ESPC074005 - Bomba sumergible U. bombeo 5	Componentes igual a bomba sumergible unidad 1
				SGCP074007 - Tablero local bomba 5 TB5	Pulsadores Paro de emergencia Selector Pilotos
				SGLV074025 - TAB N8 +N8.1 Arrancador suave unidad bombeo 5	Interruptor Schneider Electric NSX160-H Contactor Telemecanique Square D, LC1D150
		EAB-AL-BM-ZN05-ISLA-SBOM-UN06 - Unidad bombeo 6 La Isla	EAB-AL-BM-ZN05-ISLA-SBOM-UN06 - Unidad bombeo 6 La Isla	ESPC074006 - Bomba sumergible U. bombeo 6	Componentes igual a bomba sumergible unidad 1
				FCLV074004 - Arrancador suave TAB N8 +N8.2 Unidad bombeo 6	Componentes igual arrancador suave TAB N12 +N12.1 bomba unidad 3
		EAB-AL-BM-ZN05-ISLA-SBOM-UN07 - Unidad bombeo 7 La Isla	EAB-AL-BM-ZN05-ISLA-SBOM-UN07 - Unidad bombeo 7 La Isla	ESPC074007 - Bomba sumergible U. bombeo 7	Componentes igual a bomba sumergible unidad 1
				SGLV074017 - TAB N9 +N9.2 Arranque directo Unidad bombeo 7	Interruptor Schneider Electric NSX160-H Contactor Telemecanique Square D, LC1F185 Relé de protección General Electric
		EAB-AL-BM-ZN05-ISLA-SBOM-UN08 - Unidad bombeo 8 La Isla	EAB-AL-BM-ZN05-ISLA-SBOM-UN08 - Unidad bombeo 8 La Isla	ESPC074008 - Bomba sumergible U. bombeo 8 SGLV074018 - TAB N9 +N9.3 Arranque directo Unidad bombeo 8	Componentes igual a bomba sumergible unidad 1 Componentes igual a TAB N8 +N8.1 arrancador suave unidad 5
		EAB-AL-BM-ZN05-ISLA-SBOM-UNDR - Unidad de drenaje La Isla	EAB-AL-BM-ZN05-ISLA-SBOM-UNDR - Unidad de drenaje La Isla	ESPC074009 - Bomba de achique	Componentes igual a bomba sumergible unidad 1
EAB-AL-BM-ZN05-ISLA-SELE - Sistema Eléctrico La Isla	EAB-AL-BM-ZN05-ISLA-SELE-PEME - Planta de emergencia La Isla	EGMD074001 - Planta eléctrica CUMMINS	Sistema de combustible Motor Diesel CUMMINS Generador eléctrico Sistema de enfriamiento Interruptor Tablero de control		

TAXONOMÍA				
ESTACIÓN	UBICACIÓN TÉCNICA		EQUIPOS	COMPONENTES
	SISTEMAS	SUBSISTEMA		
		EAB-AL-BM-ZN05-ISLA-SELE-SDEL - Sistema Distribución Eléctrica La Isla	SGLV074002 - TAB N11 +N11.1 DISTR 208-120V	Sistema de escape
				Transformador de 208/120 VAC
				Breaker termomagnético
	EAB-AL-BM-ZN05-ISLA-SLFL - Sistema Líneas de Flujo La Isla	EAB-AL-BM-ZN05-ISLA-SLFL-CALL - Canal aguas lluvias La Isla	CRSC074001 - LR07402 Limpia Rejillas Automático Aguas Lluvias	Bastidor
				Peine
				Motorreductor
				Cinta transportadora
				Tablero de control
	EAB-AL-BM-ZN05-ISLA-SSCT - Sistema supervisión y control La Isla	EAB-AL-BM-ZN05-ISLA-SLFL-CANE - Canal aguas negras La Isla	CRSC074002 - LR07401 Limpia Rejillas Automático Aguas Residuales	Componentes igual al LR07402 Limpia Rejillas Automático Aguas Lluvias
				Módulos de E / S
				Memoria
				HMI
		EAB-AL-BM-ZN05-ISLA-SSCT-CTRL - Control y monitoreo La Isla	CLLC074001 - PLC 1 SCHNEIDER M580 TAB X1 +X1	
			CLLC074003 - PLC SCHNEIDER M340 TAB N4 +N4.1	Componentes igual al PLC 1 Schneider M580 TAB X1 + X1

➤ **Segundo principio:** Definir las actividades que desempeñan cada uno de los equipos que se encuentran dentro de los sistemas y subsistemas en la estación La Isla (Función primaria). Con esto permite entender la función que desempeñan dentro de la estación para definir una estrategia de mantenimiento adecuada para aumentar confiabilidad del equipo entre un 70 % y 80 %. A continuación, se muestra las funciones principales de cada equipo:

- ❖ **Bombas sumergibles 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8:** Bombear aguas residuales y pluviales que provienen del canal de succión al canal de descarga.
- ❖ **Bomba de achique:** Bombear aguas residuales y pluviales que se encuentran en el pozo seco al canal de descarga.
- ❖ **Arrancador suave TAB N12 +N12.1 Unidad bombeo 3:** Tablero que se encarga de suavizar el arranque de la bomba sumergible unidad 3, por medio de la regulación del voltaje. Proteger la bomba sumergible unidad 3.
- ❖ **Tablero local bomba 5 TB5:** Tablero de control y mando de la bomba sumergible unidad 5.

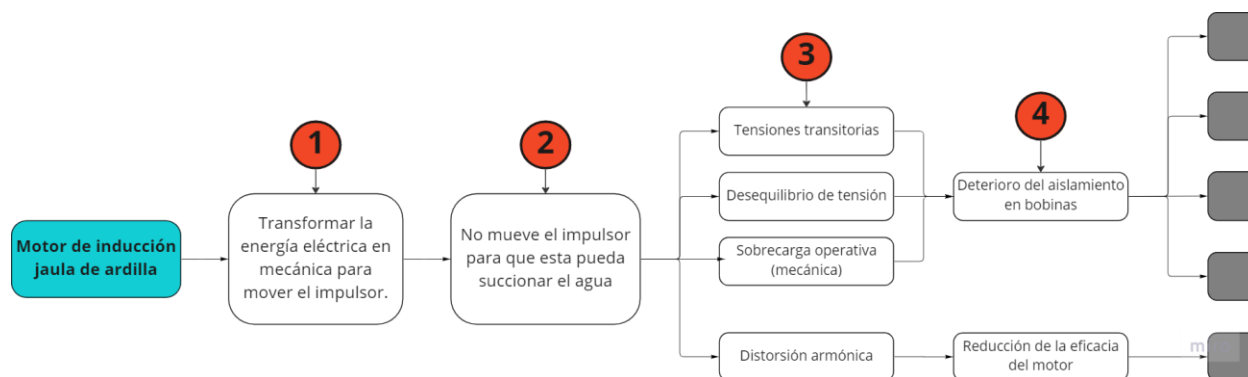
- ❖ **TAB N8 +N8.1 Arrancador suave unidad de bombeo 5:** Protege el arrancador suave y la bomba sumergible de la unidad 5.
- ❖ **Arrancador suave TAB N8 +N8.2 Unidad bombeo 6:** Tablero que se encarga de suavizar el arranque de la bomba sumergible unidad 6, por medio de la regulación del voltaje. Proteger la bomba sumergible unidad 6.
- ❖ **TAB N9 +N9.2 Arranque directo unidad de bombeo 7:** Arranque simple de la unidad 7 (no tiene arrancador suave).
- ❖ **TAB N9 +N9.3 Arranque directo unidad de bombeo 8:** Arranque simple de la unidad 8 (no tiene arrancador suave).
- ❖ **Planta eléctrica CUMMINS:** Generar energía en la estación La isla cuando no hay suministro eléctrico desde la red CODENSA.
- ❖ **TAB N11 +N11.1 Distribución 208-120V:** Tablero que se encarga de alimentar las cargas de 120V (iluminación interna y tomas de corriente).
- ❖ **LR07402 Limpia Rejillas Automático Aguas Lluvias:** Equipo instalado sobre las rejillas para proteger las bombas sumergibles de residuos que provienen de los canales pluviales.
- ❖ **LR07401 Limpia Rejillas Automático Aguas Residuales:** Equipo instalado sobre las rejillas para proteger las bombas sumergibles de residuos que provienen de los canales residuales.
- ❖ **PLC 1 SCHNEIDER M580 TAB X1 +X1:** Controlar el funcionamiento automático de las unidades sumergibles 1, 2, 3 y 4. Los componentes de este equipo son:
- ❖ **PLC SCHNEIDER M340 TAB N4 +N4.1:** Controlar el funcionamiento automático de las unidades sumergibles 5, 6, 7 y 8.

- **Tercer principio:** Definir las actividades que desempeñan cada uno de los componentes que se encuentran dentro de los equipos con criticidad alta (Función secundaria).
- **Cuarto principio:** Especificar el estado en el que los componentes no se encuentran disponibles para desempeñar la función que fue establecida. (Falla Funcional).
- **Quinto principio:** Identificar los eventos que generan la falla funcional del componente (Modos de falla).
- **Sexto principio:** Identificar lo que sucede cuando se presenta el modo de falla en el componente (Efectos de la falla).

En el **Apéndice B** (Análisis de Modo y Efectos de Falla en componentes + Tareas de mantenimiento) muestra gráficamente el cumplimiento de los principios 3, 4, 5 y 6 en todos los componentes de cada equipo crítico, para utilizarlos en el diseño de los planes de mantenimiento en el numeral 4.2. De esta manera, en la figura 7 representa el desarrollo en uno de los componentes de la bomba sumergible para entender la metodología AMEF, donde muestra en el componente la **función secundaria** (1), **la falla funcional** (2), **los modos de falla** (3) y **efectos de falla** (4).

Figura 7

Representación Análisis de Modo y Efectos de Falla – AMEF de un componente de las bombas sumergibles (Autor)



4. Modelo universal e integral para la medición CMD

Este modelo se aplica para el cálculo de parámetros y predicción CMD, para esto, se sigue el diagrama que se muestra en el libro de **Mantenimiento planeación, ejecución y control** de Alberto Mora Gutiérrez en las páginas 68 y 69. Cabe resaltar que en este trabajo de grado no se aplicó todos los pasos del modelo, debido a que los datos recolectados para el análisis fueron el TBF el TTR.

De acuerdo con lo anterior, esta etapa se divide en dos subetapas, la primera corresponde al diagnóstico, parametrización, cálculo y medición CMD y la segunda son las estrategias de mantenimiento.

4.1. Diagnóstico, parametrización, cálculo y medición CMD

El primer paso fue obtener del sistema SAP PM los TBF y TTR para la tabulación, manipulación y tratamiento de los datos, con el fin de calcular los parámetros CMD. De acuerdo con los datos obtenidos se calcula el Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF), Tiempo Medio de Reparación (TTR) y la Disponibilidad Inherente para hacer un diagnóstico a los equipos en la actualidad. Para esto, el cálculo de los parámetros se realiza de la siguiente manera:

Ecuación 8

Ecuación de Tiempo Medio Entre Fallas (Mora, 2009)

$$MTBF = \frac{\sum_{i=1}^m TBF_i}{m}$$

Ecuación 9

Ecuación de Tiempo Medio de Reparación (Mora, 2009)

$$MTTR = \frac{\sum_{i=1}^n TTR_j}{n}$$

Ecuación 10

Ecuación de Disponibilidad Inherente (Mora, 2009)

$$D_i = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

La ecuación 8 representa el cálculo del indicador de MTBF, la ecuación 9 el cálculo del indicador de MTTR y la ecuación 10 el calculo de la Disponibilidad Inherente de cada equipo.

De acuerdo a lo anterior, en la tabla 2 queda representado el resultado de cada indicador, para hacer un diagnóstico actual a los equipos con criticidad alta.

Tabla 2

Indicadores CMD actuales (Autor)

Equipos	MTBF (Horas)	MTTR (Horas)	Disponibilidad Inherente (actual)
LR07402 Limpia Rejillas Automático Aguas Lluvias	741,46	441,01	62,70%
Bomba sumergible U. bombeo 4	922,39	399,22	69,79%
Planta eléctrica CUMMINS	1122,91	647,46	63,43%
Bomba sumergible U. bombeo 3	1185,88	582,94	67,04%
LR07401 Limpia Rejillas Automático Aguas Residuales	994,12	542,01	64,72%
PLC 1 SCHNEIDER M580 TAB X1 +X1	1214,98	601,61	66,88%
Bomba sumergible U. bombeo 5	1304,91	626,08	67,58%
Bomba sumergible U. bombeo 6	1291,21	654,11	66,38%
TAB N11 +N11.1 DISTR 208-120V	1299,37	616,58	67,82%
Bomba de achique	1275,94	568,56	69,18%
Bomba sumergible U. bombeo 1	1367,37	685,01	66,62%
Bomba sumergible U. bombeo 7	1441,72	655,94	68,73%
Bomba sumergible U. bombeo 8	1536,65	672,56	69,56%
PLC SCHNEIDER M340 TAB N4 +N4.1	1581,07	744,03	68,00%
TAB N9 +N9.2 Arranque directo Unidad bombeo 7	1647,30	795,95	67,42%
TAB N9 +N9.3 Arranque directo Unidad bombeo 8	1697,11	974,43	63,53%
Arrancador suave TAB N12 +N12.1 Unidad bombeo 3	1767,87	808,48	68,62%
Arrancador suave TAB N8 +N8.2 Unidad bombeo 6	1260,08	628,72	66,71%
Bomba sumergible U. bombeo 2	1605,44	819,02	66,22%
Tablero local bomba 5 TB5	1804,09	847,98	68,03%
TAB N8 +N8.1 Arrancador suave unidad bombeo 5	2616,38	1222,11	68,16%

Es importante mencionar que el MTBF representa el indicador de confiabilidad, donde el LR07402 Limpia Rejillas Automático Aguas Lluvias tiene un promedio de 741.46 horas (equipo con menor valor MTBF) y el TAB N8 +N8.1 Arrancador suave unidad bombeo 5 tiene un promedio de 2616.38 horas (equipo con mayor valor MTBF). Por otro lado, el MTTR representa el indicador de mantenibilidad, donde la Bomba sumergible U. bombeo 4 tiene un valor promedio

de 399.22 horas (equipo con menor valor MTTR) y el TAB N8 +N8.1 Arrancador suave unidad bombeo 5 tiene un valor promedio de 1222.11 horas (equipo con mayor valor MTTR). Por último, la disponibilidad inherente en los equipos, está entre el 62,70 % (LR07402 Limpia Rejillas Automático Aguas Lluvias) y el 69,79 % (Bomba sumergible U. bombeo 4).

Los resultados de la tabla 2, muestran la necesidad de aumentar la confiabilidad entre unos 70 % y 80 %, para al mismo tiempo disminuir el indicador de mantenibilidad y aumentar el de disponibilidad.

Después de haber mostrado el diagnóstico actual de los indicadores CMD en los activos, se estima la curva de **Mantenibilidad $M(t)$** con la aproximación de Bernard. Para el cálculo del indicador es necesario tener en cuenta la ecuación 2 del marco conceptual.

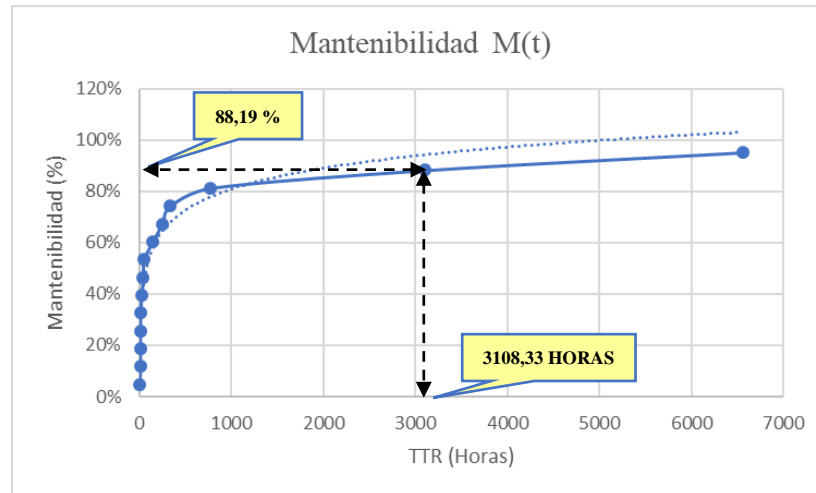
En el **Apéndice C** (Calculo de parámetros de Mantenimiento $M(t)$, Confiabilidad $R(t)$ y No Confiabilidad $F(t)$ a equipos de criticidad alta) muestra el cálculo de los indicadores de mantenibilidad para cada uno de los equipos, y en el **Apéndice D** (Curvas de Mantenibilidad $M(t)$, Confiabilidad $R(t)$ y No Confiabilidad $F(t)$ a equipos de criticidad alta) muestra gráficamente la función de Mantenibilidad (t) teniendo en cuenta los datos calculados en las tablas del **Apéndice C**, para evaluar la gestión del mantenimiento o el tiempo requerido en el que un equipo regresa a su estado normal de funcionamiento.

La figura 8 representa un ejemplo desarrollado para el Arrancador suave TAB N12 +N12.1 Unidad bombeo 3, y se entiende que existe una probabilidad del 88 % que el equipo sea reparado en un tiempo menor o igual a 3108 horas.

Figura 8

Curva de Mantenibilidad M(t) para el Arrancador suave TAB N12 +N12.1 Unidad bombeo 3

(Autor)



Para construir la curva de **Confiabilidad R(t)** en los equipos con criticidad alta fue necesario tener en cuenta los datos de TBF obtenidos del sistema SAP PM. Para lo cual, primero se alineo la función de Weibull utilizando el método de regresión con mínimo cuadrados. Después, se demuestra el coeficiente de determinación muestral (r^2), que sirve para precisar el grado de ajuste de los resultados de la distribución de Weibull. Una vez calculado el índice de bondad de ajuste (r^2), se comprueba los parámetros de **Beta** (η) para determinar en qué zona de la curva de la bañera se encuentra el equipo y **Eta** (β) para demostrar el valor de la vida característica. A continuación, se muestra el resultado del procedimiento al calcular Eta y Beta.

Tabla 3

Valores calculados de Eta y Beta (Autor)

Equipos	ETHA	BETA
LR07402 Limpia Rejillas Automático Aguas Lluvias	757,66	1,02
Bomba sumergible U. bombeo 4	1044,85	1,05
Planta eléctrica CUMMINS	1283,01	1,10
Bomba sumergible U. bombeo 3	1337,69	1,54
LR07401 Limpia Rejillas Automático Aguas Residuales	1133,20	1,18
PLC 1 SCHNEIDER M580 TAB X1 +X1	1560,23	0,64
Bomba sumergible U. bombeo 5	1577,76	0,98

Equipos	ETHA	BETA
Bomba sumergible U. bombeo 6	1456,00	1,66
TAB N11 +N11.1 DISTR 208-120V	1455,63	0,87
Bomba de achique	1360,81	1,10
Bomba sumergible U. bombeo 1	1487,89	1,11
Bomba sumergible U. bombeo 7	1590,26	1,18
Bomba sumergible U. bombeo 8	1587,77	1,21
PLC SCHNEIDER M340 TAB N4 +N4.1	1792,95	1,02
TAB N9 +N9.2 Arranque directo Unidad bombeo 7	1890,00	1,40
TAB N9 +N9.3 Arranque directo Unidad bombeo 8	1918,93	2,69
Arrancador suave TAB N12 +N12.1 Unidad bombeo 3	1931,17	1,31
Arrancador suave TAB N8 +N8.2 Unidad bombeo 6	976,51	0,69
Bomba sumergible U. bombeo 2	1737,44	1,02
Tablero local bomba 5 TB5	2099,42	1,27
TAB N8 +N8.1 Arrancador suave unidad bombeo 5	2745,57	0,97

Cuando $\beta < 1$ el equipo está en la zona de mortalidad infantil, si $\beta = 1$ el equipo se encuentra en la zona de madurez o vida útil, cuando $1 < \beta < 2$ el equipo se encuentra en la etapa I de la zona de envejecimiento, si $\beta = 2$ el equipo está en la etapa II de la zona de envejecimiento y cuando $\beta > 2$ el activo se encuentra en la etapa III de la zona de envejecimiento.

Teniendo en cuenta los datos de la tabla 3, el equipo que presenta el menor η es el LR07402 Limpia Rejillas Automático Aguas Lluvias con un valor de 757.66 y el de mayor valor es el TAB N8 +N8.1 Arrancador suave unidad bombeo 5 con 2745.57. De igual forma, el equipo que presenta el menor β es el PLC 1 SCHNEIDER M580 TAB X1 +X1 con un valor de 0.64 y el de mayor valor es el TAB N9 +N9.3 Arranque directo Unidad bombeo 8 con un 2.69.

Así como en la curva de mantenibilidad, se construyó también la curva de **No Confiabilidad F(t)** con la aproximación de Bernard.

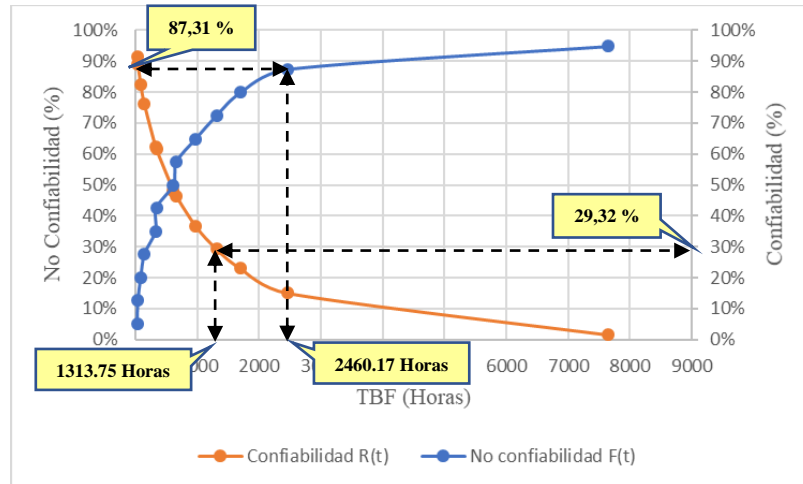
En el **Apéndice C** muestra el cálculo de los indicadores de Confiabilidad y No Confiabilidad para cada uno de los equipos, y en el **Apéndice D** muestra gráficamente la función de Confiabilidad y No Confiabilidad teniendo en cuenta los datos calculados en las tablas del **Apéndice C**.

A continuación, se muestra gráficamente el resultado de los cálculos de confiabilidad y no confiabilidad.

Figura 9

Curva de Confiabilidad R(t) y No Confiabilidad F(t) para el Arrancador suave TAB N8 +N8.2

Unidad bombeo 6 (Autor)



En la gráfica 9 representa dos curvas, la de Confiabilidad (color naranja) y No Confiabilidad (color azul), donde en la primera curva si un equipo dura más de 1313.75 horas tiene una probabilidad de no fallar del 29.32 %, esto quiere decir que para establecer la frecuencia mantenimiento en la estrategia este dato no es el recomendable, por lo cual, es necesario aumentarlo entre un 70 % y 80 %. Y la segunda curva, si un equipo llega a las 2460.17 horas de funcionamiento tiene una probabilidad de fallar del 87.31 %, esto quiere decir que es recomendable realizar paradas programadas más frecuentes para disminuir este indicador.

Por último, para el cálculo de la **Disponibilidad Inherente prevista** se toma un valor de confiabilidad que se encuentre dentro del 70 % y 80 %, y a partir de esto, se selecciona el valor calculado de Mantenibilidad que se alinea con el valor de confiabilidad seleccionado.

Por ejemplo, en la tabla 4 muestra una sección de la tabla C1 del **Apéndice C**, donde el LR07402 Limpia Rejillas Automático Aguas Lluvias el valor de confiabilidad seleccionado es el 79.07 % que corresponde al dato No 5. De esta manera, se selecciona el valor de mantenibilidad de esa misma fila, esto quiere decir un 15.99 %. Con estos dos valores se puede calcular la Disponibilidad según la ecuación 10.

En la tabla 4 muestra un ejemplo del resultado de los cálculos de mantenibilidad, confiabilidad y no confiabilidad del LR07402 Limpia Rejillas Automático Aguas Lluvias.

Tabla 4

Representación de los datos de Mantenibilidad, No Confiabilidad y Confiabilidad (Autor)

No de Datos	Inicio avería	Fin de avería	TTR (días)	TTR (horas)	Mantenibilidad M(t)	TBF (días)	TBF (horas)	No confiabilidad F(t)	X = ln (t)	Y = Ln(Ln(1/(1-F(t))))	Confiabilidad R(t)
4	28/02/2021	28/02/2021	0,27	6,5	12,59%	5,02	120,5	13,03%	4,79164975	-1,969075086	85,85%
5	31/08/2020	31/08/2020	0,27	6,5	15,99%	7,65	183,7	16,55%	5,21330399	-1,709732962	79,07%
6	17/07/2019	17/07/2019	0,29	7	19,39%	7,77	186,5	20,07%	5,22843124	-1,496001105	78,78%

El resultado del proceso mencionado anteriormente se detalla en la tabla 5, donde muestra los indicadores finales de Mantenibilidad M(t), No Confiabilidad F(t), Confiabilidad R(t) y Disponibilidad Inherente estimada.

Tabla 5

Resultados de Mantenibilidad M(t), No Confiabilidad F(t), Confiabilidad R(t) y Disponibilidad Inherente prevista (Autor)

Equipos	Mantenibilidad M(t)	No confiabilidad F(t)	Confiabilidad R(t)	Disponibilidad Inherente
LR07402 Limpia Rejillas Automático Aguas Lluvias	15,99%	16,55%	79,07%	83,18%
Bomba sumergible U. bombeo 4	21,59%	22,44%	76,36%	77,96%
Planta eléctrica CUMMINS	17,29%	18,14%	77,06%	81,67%
Bomba sumergible U. bombeo 3	12,62%	13,24%	76,58%	85,85%
LR07401 Limpia Rejillas Automático Aguas Residuales	17,29%	18,14%	74,82%	81,23%
PLC 1 SCHNEIDER M580 TAB X1 +X1	13,24%	13,92%	83,50%	86,32%
Bomba sumergible U. bombeo 5	13,92%	14,67%	87,55%	86,28%
Bomba sumergible U. bombeo 6	19,07%	20,11%	79,22%	80,60%
TAB N11 +N11.1 DISTR 208-120V	19,07%	20,11%	74,87%	79,70%

Equipos	Mantenibilidad M(t)	No confiabilidad F(t)	Confiabilidad R(t)	Disponibilidad Inherente
Bomba de achique	29,38%	30,98%	82,59%	73,76%
Bomba sumergible U. bombeo 1	20,11%	21,26%	79,54%	79,82%
Bomba sumergible U. bombeo 7	25,54%	27,01%	79,34%	75,65%
Bomba sumergible U. bombeo 8	15,52%	16,46%	81,76%	84,05%
PLC SCHNEIDER M340 TAB N4 +N4.1	22,56%	24,03%	70,62%	75,79%
TAB N9 +N9.2 Arranque directo Unidad bombeo 7	24,03%	25,69%	76,65%	76,13%
TAB N9 +N9.3 Arranque directo Unidad bombeo 8	18,75%	20,15%	76,67%	80,35%
Arrancador suave TAB N12 +N12.1 Unidad bombeo 3	25,69%	27,61%	76,07%	74,75%
Arrancador suave TAB N8 +N8.2 Unidad bombeo 6	25,69%	27,61%	76,12%	74,76%
Bomba sumergible U. bombeo 2	27,61%	29,84%	77,53%	73,74%
Tablero local bomba 5 TB5	16,35%	18,09%	83,01%	83,55%
TAB N8 +N8.1 Arrancador suave unidad bombeo 5	28,72%	32,14%	70,82%	71,14%

Como resultado se obtuvo que el parámetro de mantenibilidad se encuentra entre un 12.62 % y un 29.38 %, la confiabilidad entre un 70.62 % y un 87.55 % y la disponibilidad entre un 71,14 % y un 83.50 %.

Es importante mencionar que hay algunos equipos como el PLC 1 SCHNEIDER M580 TAB X1 +X1, Bomba sumergible U. bombeo 5, Bomba de achique, Bomba sumergible U. bombeo 8 y Tablero local bomba 5 TB5, que se optó por una confiabilidad mayor al 80 % porque el valor anterior no superaba el 69 %.

4.2. Estrategias de mantenimiento

Con el análisis de falla realizado en el numeral 3 y de la estimación de los parámetros de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad para la predicción del comportamiento CMD realizado en el numeral 4.1, se diseñó los planes de mantenimiento que se realizarán en el corto, mediano y largo plazo sobre los equipos electromecánicos críticos en la estación elevadora La Isla.

Para lo cual en el **Apéndice E** (Estrategias de mantenimiento para los equipos electromecánicos con criticidad alta) muestra el diseño de los planes de mantenimiento de cada equipo, clasificados de acuerdo al valor de beta. Lo anterior se basa de:

- La **Tabla 3** (Valores calculados de Eta y Beta), muestra el valor de beta (β) calculado en la distribución de Weibull, que sirve como referencia para indicar las actividades de mantenimiento requeridas.
- El **Apéndice B** (Análisis de modos y efectos de falla en componentes + Tareas de mantenimiento), especifica el análisis de falla realizado con la metodología AMEF y todas las actividades de mantenimiento establecidas para minimizar cada modo de falla, sin importar el valor de beta, debido a que es un análisis general que incluyen tareas correctivas, modificativas, preventivas y predictivas.

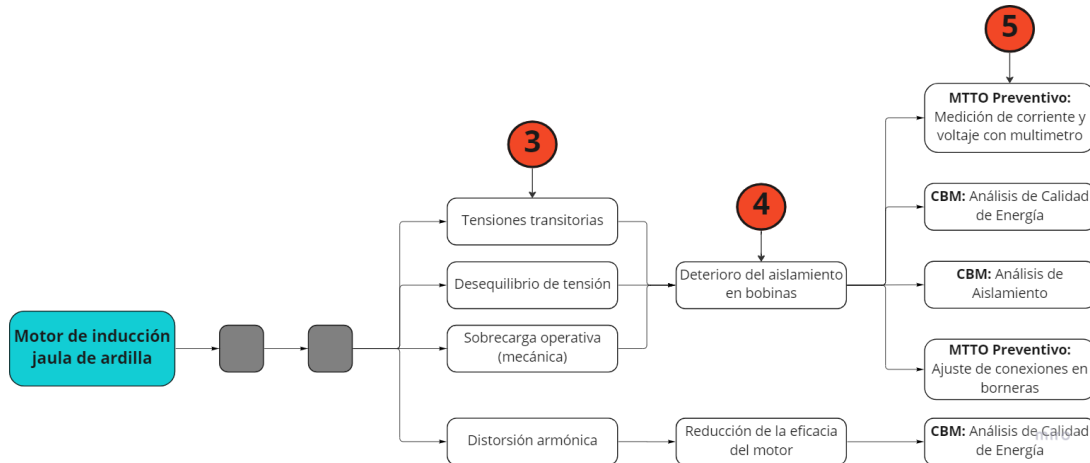
Ahora, para el diseño del plan de mantenimiento, hay equipos que tienen los mismos componentes con diferente valor de beta, esto quiere decir que las actividades de mantenimiento que se muestran en el **Apéndice E** son diferentes. Por ejemplo, las bombas sumergibles 4 y 5 tienen un valor de beta de 1.05 y 0.98 respectivamente, esto quiere decir que en el primero el mantenimiento debe ser netamente predictivo y preventivo, mientras que el segundo debe contener tareas modificativas y correctivas.

De esta manera, en la figura 10 representa el desarrollo en uno de los componentes de la bomba sumergible, donde muestra las actividades de mantenimiento que se deben ejecutar en el componente (Motor de inducción jaula de ardilla). La figura especifica los **modos de falla** (3), **efectos de falla** (4) y **actividades de mantenimiento** (5).

Figura 10

Representación actividades de mantenimiento de un componente de las bombas sumergibles

(Autor)



➤ El **Apéndice C** (Calculo de parámetros de Mantenimiento $M(t)$, Confiabilidad $R(t)$ y No Confiabilidad $F(t)$ a equipos de criticidad alta), se indican los Tiempos de Reparación (TTR) para establecer las horas-hombre requeridas para ejecutar las actividades de mantenimiento preventivo, predictivo, correctivo y modificativo. Y los Tiempos Medios Entre Falla (TBF) para fijar las frecuencias de ejecución de la actividad de mantenimiento predictivas y preventivas.

Es importante mencionar que las horas-hombre y frecuencias establecidas a cada equipo están por encima del valor según el **Apéndice C**. Por ejemplo, en la tabla 4 el LR07402 Limpia Rejillas Automático Aguas Lluvias, cuando el nivel de confiabilidad es de un 79.07 %, el valor de TTR es de 6.5 horas, entonces, las horas-hombre requeridas para ejecutar la actividad es de 7 horas y el valor de TBF es de 7.65 días, por lo tanto, las actividades de mantenimiento preventivo y predictivo serán ejecutadas cada 10 días.

➤ El técnico especialista indicado en las estrategias de mantenimiento depende al modo de falla relacionado.

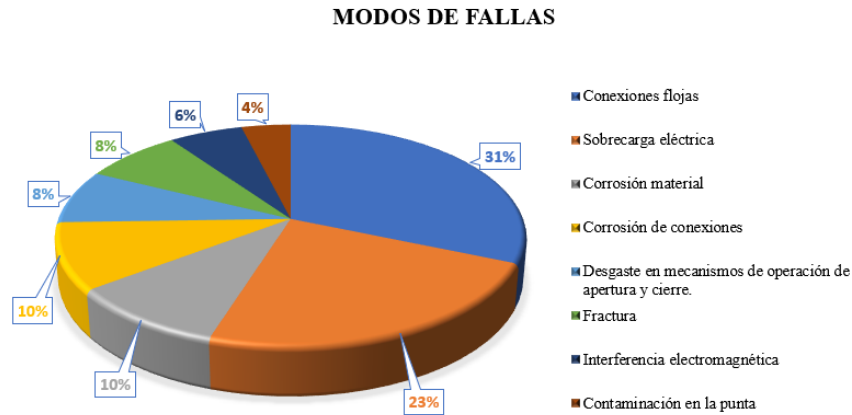
5. CONCLUSIONES

En primer lugar, en el mantenimiento es importante reconocer dos aspectos básicos: la primera proviene de la gestión, que contempla la planificación, programación, coordinación y administración óptima de los recursos, y la segunda la ejecución, para efectuar las actividades de mantenimiento, con el objetivo de garantizar un alto rendimiento de los recursos que se involucran en el proceso de llevar las aguas sanitarias y pluviales a los ríos. Dentro de este proceso, es necesario priorizar y jerarquizar los equipos electromecánicos para determinar, organizar y enfocar los recursos técnicos y de repuestos para aumentar la disponibilidad y la confiabilidad en los equipos. De acuerdo con el resultado para los datos de cantidad de fallas se alcanzaron 21 equipos que están generando el 80 % de las paradas no programadas, mientras que con los datos de TTR se alcanzó 28 equipos que están generando el 80 % de tiempo indisponible, por lo que es recomendable utilizar otra herramienta de análisis de criticidad para comparar los resultados obtenidos, por ejemplo, el diagrama Jack-Knife.

En segundo lugar, en los equipos clasificados como críticos (Zona A), se efectuó un análisis de fallas por medio de la metodología AMEF para identificar por cada equipo los componentes, funciones secundarias, fallas funcionales, modos y efectos de falla, estudio que no realiza actualmente la EAAB ESP. Es por eso que no se ha podido controlar y disminuir las paradas no programadas en los activos de la estación elevadora. Como resultado se obtuvo 48 modos de falla, de los cuales el que más debe preocupar son las **conexiones flojas** con un 31 %, generando sobre el equipo sobrecalentamiento en terminales. Por consiguiente, se plantea dentro del plan de mantenimiento como actividad preventiva el **ajuste o apriete de las conexiones**. A continuación, se muestra la clasificación de los 8 primeros modos de falla más recurrentes en cada componente.

Figura 11

Estadística de modos de falla (Autor)



En tercer lugar, para controlar los modos de falla es importante identificar las actividades de mantenimiento óptimas, para esto es necesario calcular el valor de β con el propósito de ubicar en que zona de la curva de la bañera se encuentra el equipo, y por último, predecir los indicadores CMD.

Uno de los equipos que se ubica en la etapa III de la zona de envejecimiento, es el TAB N9 +N9.3 Arranque directo Unidad bombeo 8 con un valor de beta de 2.69, con un tiempo de antigüedad de 12 años. Aunque se diseñó un plan de mantenimiento para alargar la vida útil del equipo, es importante preparar la renovación de los componentes debido a su largo tiempo de uso, con el fin de no afectar el nivel de confiabilidad estimado (76.67 %).

6. Recomendaciones

Con el objetivo de perfeccionar el análisis de falla e identificar los problemas que afectan la confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad de los equipos, existe una herramienta que permite clasificar las fallas en cuatro cuadrantes: en agudos, crónico, agudo/crónico y bajo control. Este es el diagrama Jack-Knife, donde se analiza el tiempo de indisponibilidad de los equipos

empleando diagramas de dispersión. La elaboración de este diagrama incluye la cantidad de fallas y los Tiempo Medio de Reparación (MTTR), aplicando valores límites.

Se obtiene los siguientes beneficios:

- Identificar los equipos que se encuentran en el cuadrante crónico para establecer los costos generados en la mano de obra y repuestos.
- Priorizar las causas que generan las fallas a los equipos que se encuentran en la zona crónica, por medio de alguna herramienta de análisis de falla, por ejemplo, AMEF, RCA (árbol de fallas, espina de pescado, 5 porqué), entre otras.

Referencias Bibliográficas

- Carlos Diez, Bayron Álvarez, William Orozco, M. G. (2019). Gestión de mantenimiento de redes eléctricas (CIDET (ed.); 1st ed.).
- Diego Valencia, Fernando Villada, N. M. (2004). Diagnóstico del aislamiento estatórico en motores de inducción mediante la medición del flujo axial de dispersión (Revista Facultad de ingeniería Universidad de Antioquia (ed.); 1st ed.).
- Francisco Javier Buitrago. (n.d.). Modelo de Confiabilidad con Metodología RAM para un sistema de bombeo de agua de inyección. 1. <https://predictiva21.com/metodologia-ram-sistema-inyeccion/>
- Gutierrez, A. (2005). Mantenimiento estratégico para empresas de servicios o industriales (AMG (ed.)).
- Jakkula, B., Mandela, G. R., & Chivukula, S. M. (2022). Reliability, availability and maintainability (RAM) investigation of Load Haul Dumpers (LHDs): a case study. *International Journal of Systems Assurance Engineering and Management*, 13(1), 504–515. <https://doi.org/10.1007/s13198-021-01154-3>
- Mora, L. (2009). Mantenimiento. Planeación, ejecución y control. In Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V., México (Vol. 1, Issue 1). file:///C:/Users/HP/Downloads/Libro_Mantenimiento_Alberto_Mora_1ed_1.pdf
- Navarro, L., Pastor, A., & Mugaburu, J. (1997). Gestión integral de mantenimiento. SAE:JA1012, & G11, S. M. S. (2002). Norma SAE:JA1012, 2002 Prácticas recomendadas para vehículos aeroespaciales y de superficie. 1, 1–62.
- Manríquez, V. D. (s.f.). El Principio de Pareto y los “Malos Actores”. Obtenido de <https://predictiva21.com/diagrama-pareto/>

Apéndices

Apéndice A Tabulación de datos de cantidad de fallas y tiempo de reparación

Tabla A6

Datos de cantidad de falla (Autor)

No	Equipos electromecánicos	Fallas	% porcentaje total	% porcentaje acumulado
1	LR07402 Limpia Rejillas Automático Aguas Lluvias	29	6,277%	6,277%
2	Bomba sumergible U. bombeo 4	26	5,628%	11,905%
3	Planta eléctrica CUMMINS	21	4,545%	16,450%
4	Bomba sumergible U. bombeo 3	21	4,545%	20,996%
5	LR07401 Limpia Rejillas Automático Aguas Residuales	21	4,545%	25,541%
6	PLC 1 SCHNEIDER M580 TAB X1 +X1	20	4,329%	29,870%
7	Bomba sumergible U. bombeo 5	19	4,113%	33,983%
8	Bomba sumergible U. bombeo 6	19	4,113%	38,095%
9	TAB N11 +N11.1 DISTR 208-120V	19	4,113%	42,208%
10	Bomba de achique	19	4,113%	46,320%
11	Bomba sumergible U. bombeo 1	18	3,896%	50,216%
12	Bomba sumergible U. bombeo 7	18	3,896%	54,113%
13	Bomba sumergible U. bombeo 8	17	3,680%	57,792%
14	PLC SCHNEIDER M340 TAB N4 +N4.1	16	3,463%	61,255%
15	TAB N9 +N9.2 Arranque directo Unidad bombeo 7	15	3,247%	64,502%
16	TAB N9 +N9.3 Arranque directo Unidad bombeo 8	14	3,030%	67,532%
17	Arrancador suave TAB N12 +N12.1 Unidad bombeo 3	14	3,030%	70,563%
18	Arrancador suave TAB N8 +N8.2 Unidad bombeo 6	14	3,030%	73,593%
19	Bomba sumergible U. bombeo 2	13	2,814%	76,407%
20	Tablero local bomba 5 TB5	10	2,165%	78,571%
21	TAB N8 +N8.1 Arrancador suave unidad bombeo 5	9	1,948%	80,519%
22	Arrancador suave TAB N13 +N13.1 Unidad bombeo 7	8	1,732%	82,251%
23	Arrancador suave TAB N13 +N13.2 Unidad bombeo 8	8	1,732%	83,983%
24	Arrancador suave TAB N3 +N3.2 Unidad bombeo 2	7	1,515%	85,498%
25	Arrancador suave TAB N8 +N8.1 Unidad bombeo 5	7	1,515%	87,013%
26	Compuerta Canal Aguas Negras	6	1,299%	88,312%
27	TAB Bomba Achique TB9	5	1,082%	89,394%
28	HMI Panel Alarmas TAB X3 +X3	5	1,082%	90,476%
29	Puente Grúa 3000 KG KITO	5	1,082%	91,558%
30	Puente Grúa ABUS 5000 KG Aguas Lluvias	4	0,866%	92,424%
31	Puente Grúa ABUS 5000 KG Aguas Negras	4	0,866%	93,290%
32	R. ENL TCP TAB RTU07401	3	0,649%	93,939%
33	Trafo Potencia 500 KVA 11,4/480V	2	0,433%	94,372%
34	Relé protección Multifuncional Celda K5 +SK5	2	0,433%	94,805%
35	Supervisorio Scada Samsung	2	0,433%	95,238%
36	Tablero local bomba 2 TB2	2	0,433%	95,671%
37	Tablero local bomba 4 TB4	2	0,433%	96,104%
38	Tablero local bomba 6 TB6	2	0,433%	96,537%
39	Tablero local bomba 8 TB8	2	0,433%	96,970%
40	Celda K4 +SK4 Interruptor Protección TRAF0 1	1	0,216%	97,186%
41	Celda K1 +SK1 Entrada Interruptor	1	0,216%	97,403%
42	TAB N5 +N5 Interruptor Trafo 1-Q1	1	0,216%	97,619%
43	TAB N1 Celda Banco Condensadores 1 440V	1	0,216%	97,835%
44	TAB N13 + N13.2 Arrancador suave unidad bombeo 8	1	0,216%	98,052%
45	TAB N2 +N2.2 Arranque directo Unidad bombeo 1	1	0,216%	98,268%
46	TAB N4 +N4.1 PLC Transferencia LV 460V	1	0,216%	98,485%
47	TAB N4 +N4.2 Arranque directo Unidad bombeo 3	1	0,216%	98,701%
48	TAB N5 +N5 Entrada Planta/Trafo 1 480V	1	0,216%	98,918%
49	TAB N5 +N5 Interruptor Planta QPE	1	0,216%	99,134%
50	TAB N8 +N8.2 Arrancador suave unidad bombeo 6	1	0,216%	99,351%
51	Trafo Aislamiento 222/220V	1	0,216%	99,567%
52	Válvula Cortina Descarga Unidad bombeo 3	1	0,216%	99,784%
53	Válvula Cortina Descarga Unidad bombeo 5	1	0,216%	100,000%
TOTAL		462		

Tabla A7

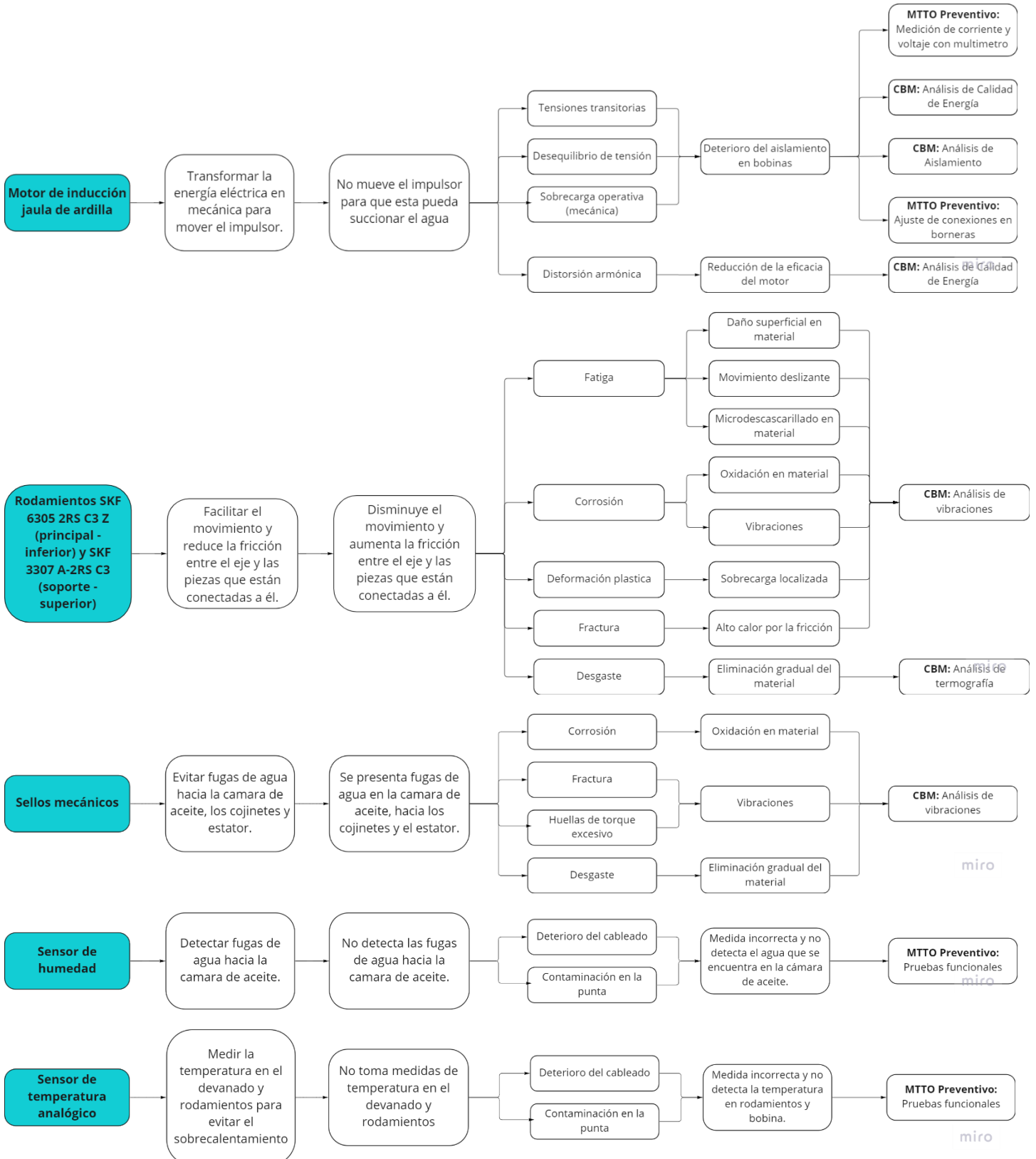
Datos de tiempos de reparación (Autor)

No	Equipos electromecánicos	TTR (horas)	% porcentaje total	% porcentaje acumulado
1	TAB N8 +N8.1 Arrancador suave unidad bombeo 5	17307,2	4,190%	4,190%
2	Puente Grúa ABUS 5000 KG Aguas Lluvias	14650,3	3,547%	7,737%
3	TAB N9 +N9.3 Arranque directo Unidad bombeo 8	13642,0	3,303%	11,040%
4	Planta eléctrica CUMMINS	13596,7	3,292%	14,332%
5	TAB Bomba Achique TB9	13250,5	3,208%	17,540%
6	Bomba sumergible U. bombeo 1	13074,3	3,165%	20,706%
7	LR07402 Limpia Rejillas Automático Aguas Lluvias	12789,4	3,096%	23,802%
8	Tablero local bomba 2 TB2	12731,6	3,082%	26,885%
9	Bomba sumergible U. bombeo 6	12428,1	3,009%	29,894%
10	Bomba sumergible U. bombeo 3	12241,8	2,964%	32,858%
11	PLC 1 SCHNEIDER M580 TAB X1 +X1	12032,3	2,913%	35,771%
12	TAB N9 +N9.2 Arranque directo Unidad bombeo 7	11939,3	2,891%	38,662%
13	PLC SCHNEIDER M340 TAB N4 +N4.1	11904,4	2,882%	41,544%
14	Bomba sumergible U. bombeo 5	11895,5	2,880%	44,424%
15	Bomba sumergible U. bombeo 7	11807,0	2,859%	47,282%
16	TAB N11 +N11.1 DISTR 208-120V	11715,1	2,836%	50,119%
17	HMI Panel Alarmas TAB X3 +X3	11592,2	2,807%	52,925%
18	Bomba sumergible U. bombeo 8	11433,5	2,768%	55,694%
19	LR07401 Limpia Rejillas Automático Aguas Residuales	11382,2	2,756%	58,449%
20	Arrancador suave TAB N12 +N12.1 Unidad bombeo 3	11318,7	2,740%	61,190%
21	TAB N8 +N8.1 Arrancador suave unidad bombeo 5	10999,0	2,663%	63,853%
22	Bomba de achique	10802,7	2,615%	66,468%
23	Bomba sumergible U. bombeo 2	10647,3	2,578%	69,046%
24	Bomba sumergible U. bombeo 4	10379,6	2,513%	71,559%
25	Compuerta Canal Aguas Negras	9318,9	2,256%	73,816%
26	Arrancador suave TAB N8 +N8.2 Unidad bombeo 6	8802,1	2,131%	75,947%
27	Arrancador suave TAB N3 +N3.2 Unidad bombeo 2	8753,0	2,119%	78,066%
28	Relé protección Multifuncional Celda K5 +SK5	8697,8	2,106%	80,172%
29	Puente Grúa ABUS 5000 KG Aguas Negras	8589,7	2,080%	82,251%
30	Tablero local bomba 5 TB5	8479,8	2,053%	84,304%
31	Arrancador suave TAB N13 +N13.1 Unidad bombeo 7	7334,7	1,776%	86,080%
32	Puente Grúa 3000 KG KITO	6753,8	1,635%	87,715%
33	Supervisorio Scada Samsung	5871,6	1,422%	89,137%
34	Celda K1 +SK1 Entrada Interruptor	5523,2	1,337%	90,474%
35	Trafo Potencia 500 KVA 11,4/480V	5379,8	1,303%	91,777%
36	Arrancador suave TAB N13 +N13.2 Unidad bombeo 8	5094,5	1,233%	93,010%
37	TAB N5 +N5 Interruptor Trafo 1-Q1	4926,3	1,193%	94,203%
38	R. ENL TCP TAB RTU07401	4554,9	1,103%	95,306%
39	Tablero local bomba 6 TB6	4313,4	1,044%	96,350%
40	Tablero local bomba A 4 TB4	3489,5	0,845%	97,195%
41	Tablero local bomba A 8 TB8	1955,0	0,473%	97,668%
42	TAB N1 Celda Banco Condensadores 1 440V	1682,2	0,407%	98,076%
43	TAB N2 +N2.2 Arranque directo Unidad bombeo 1	1473,1	0,357%	98,432%
44	Celda K4 +SK4 Interruptor Protección TRAF0 1	1229,5	0,298%	98,730%
45	Trafo Aislamiento 222/220V	871,2	0,211%	98,941%
46	TAB N13 + N13.2 Arrancador suave unidad bombeo 8	827,5	0,200%	99,141%
47	TAB N4 +N4.2 Arranque directo Unidad bombeo 3	724,2	0,175%	99,317%
48	TAB N4 +N4.1 PLC Transferencia LV 460V	635,3	0,154%	99,470%
49	TAB N5 +N5 Entrada Planta/Trafo 1 480V	534,5	0,129%	99,600%
50	Válvula Cortina Descarga Unidad bombeo 5	526,6	0,127%	99,727%
51	TAB N8 +N8.2 Arrancador suave unidad bombeo 6	510,5	0,124%	99,851%
52	Válvula Cortina Descarga Unidad bombeo 3	344,8	0,083%	99,934%
53	TAB N5 +N5 Interruptor Planta QPE	271,0	0,066%	100,000%
TOTAL		413028,7		

Apéndice B Análisis de modos y efectos de falla en componentes + Tareas de mantenimiento

Figura B1

Componentes de las Bombas sumergibles 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 y bomba de achique (Autor)



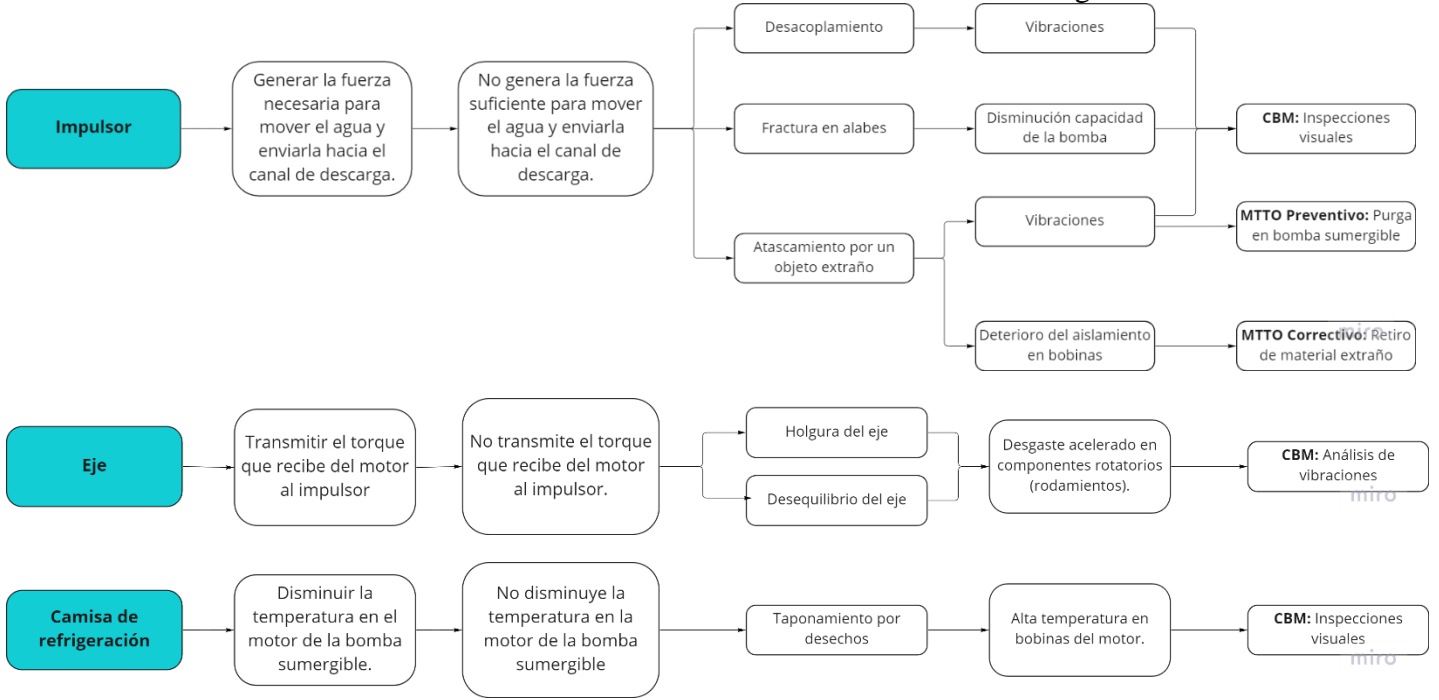


Figura B2

Componentes del Arrancador suave TAB N12 +N12.1 Unidad bombeo 3 y Arrancador suave TAB N8 +N8.2 Unidad bombeo 6 (Autor)

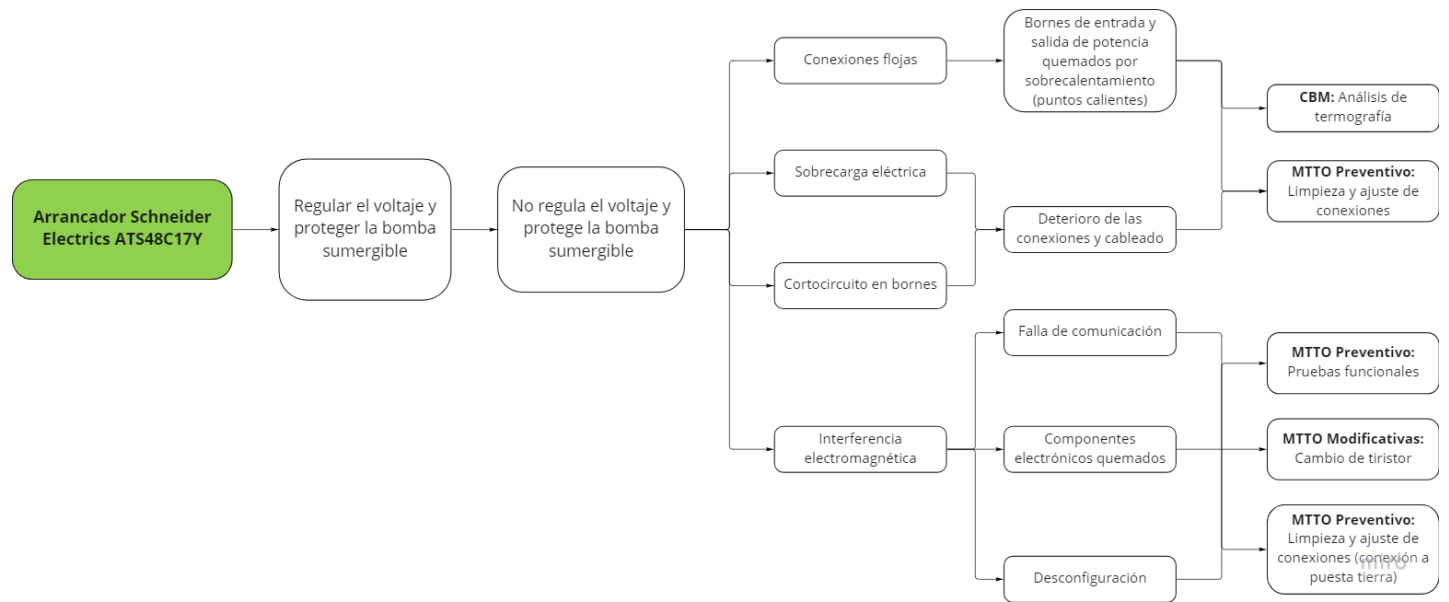


Figura B3

Componentes del Tablero local bomba 5 TB5 (Autor)

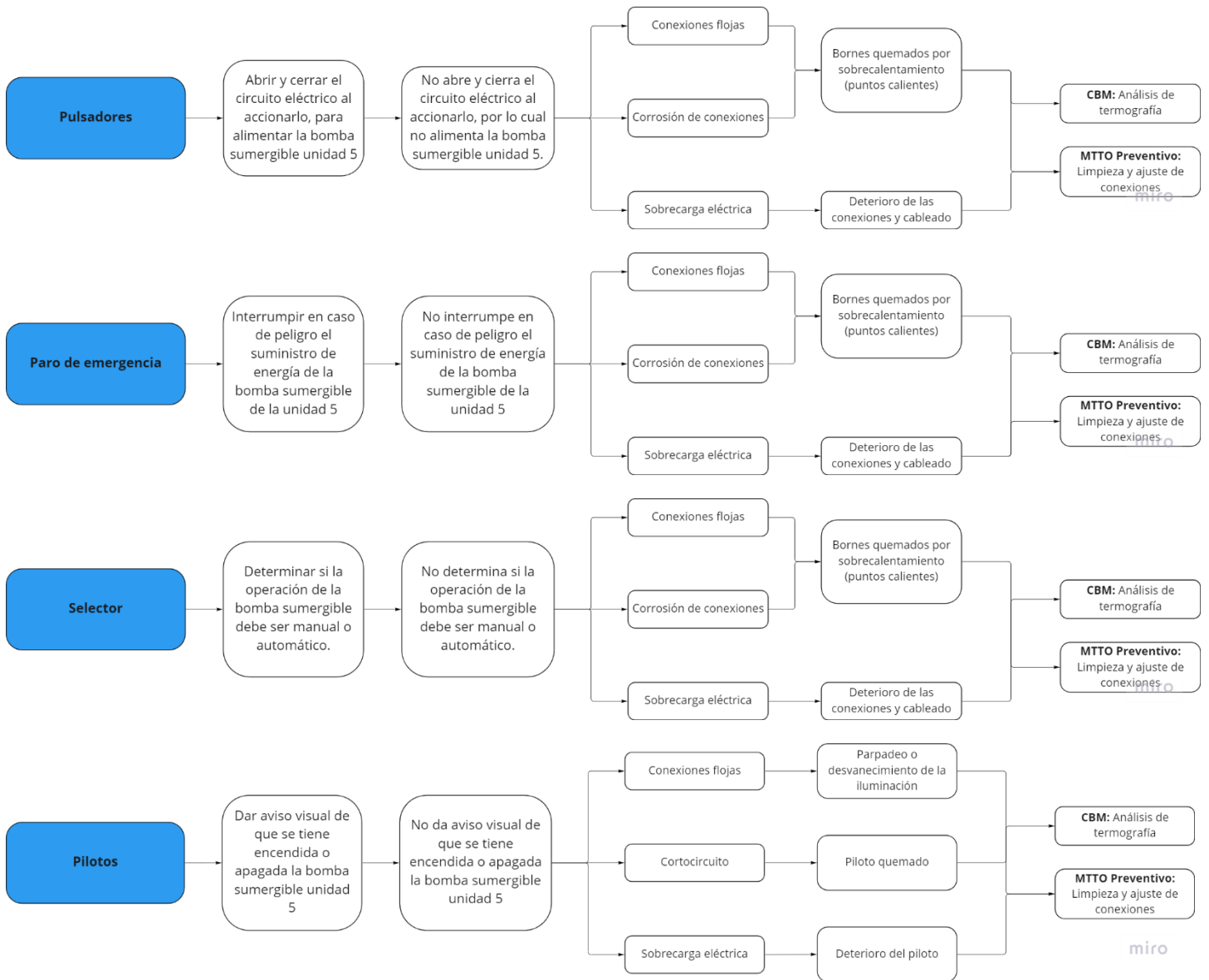


Figura B4

Componentes del TAB N8 +N8.1 Arrancador suave unidad de bombeo 5 (Autor)

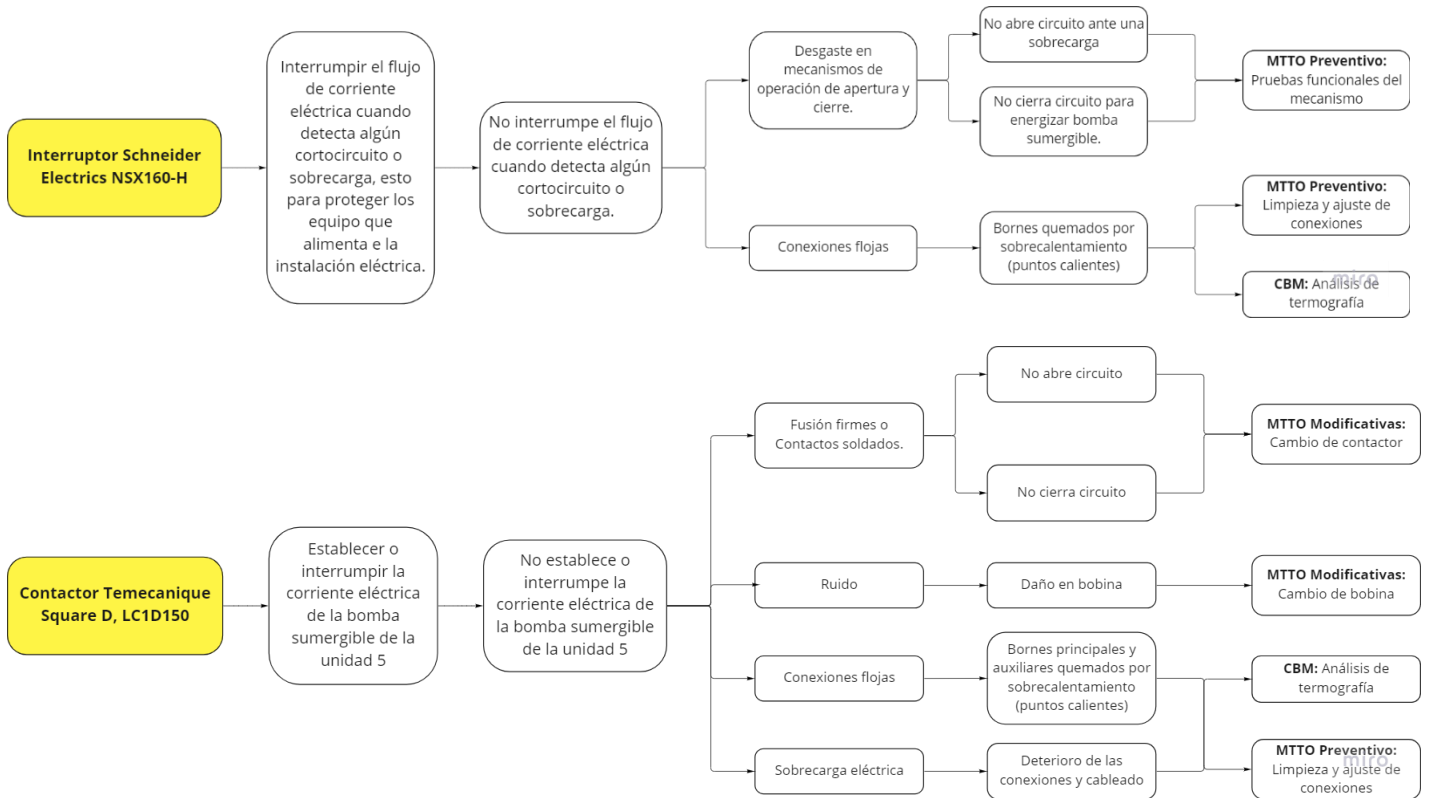
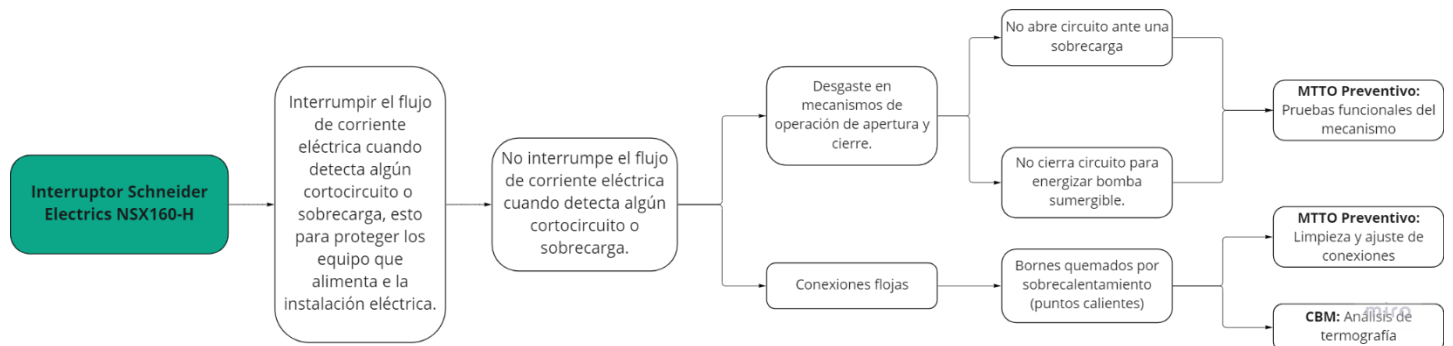


Figura B5

Componentes del TAB N9 +N9.2 Arranque directo unidad de bombeo 7 y TAB N9 +N9.3 Arranque directo unidad de bombeo 8 (Autor)



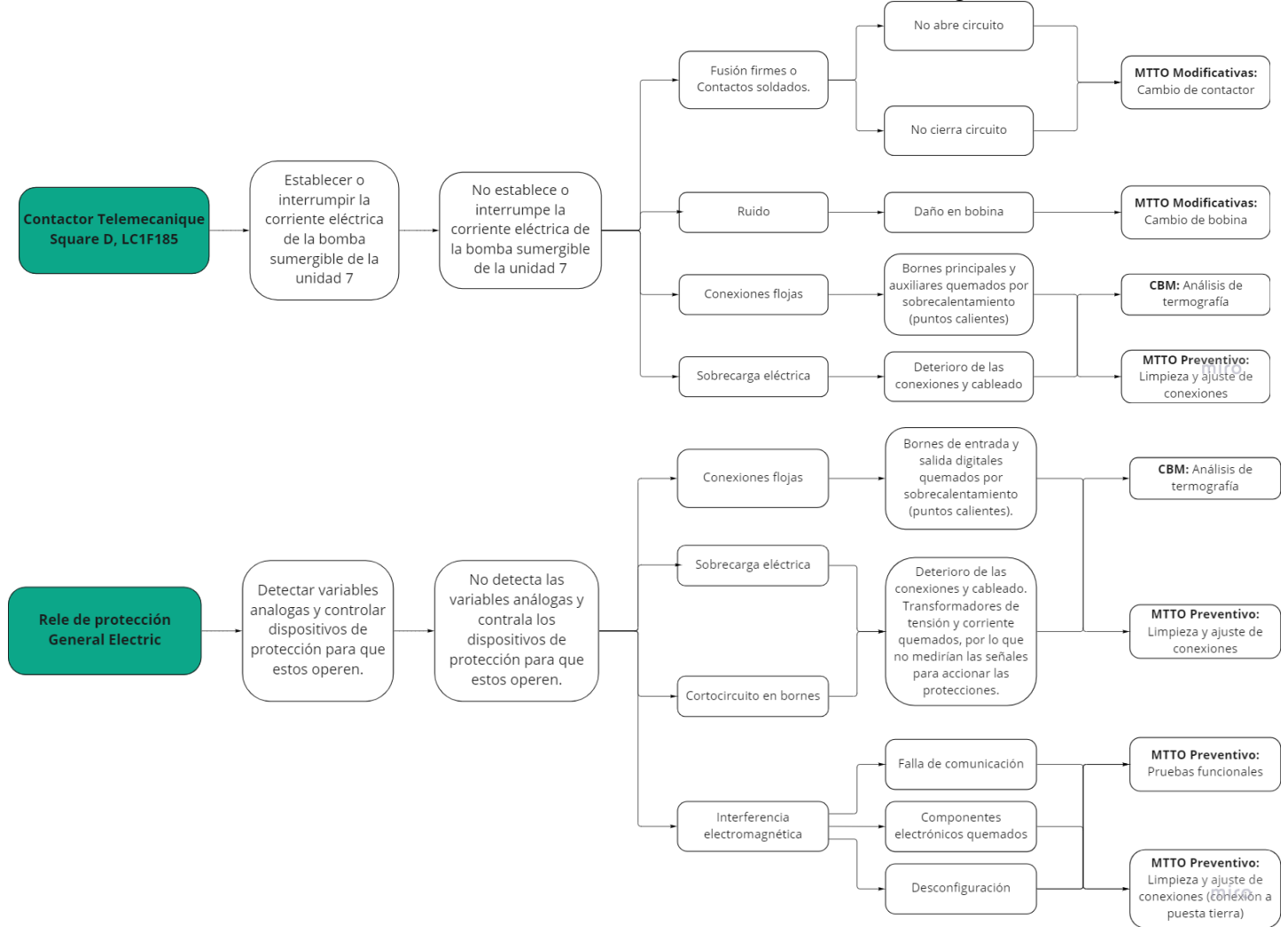
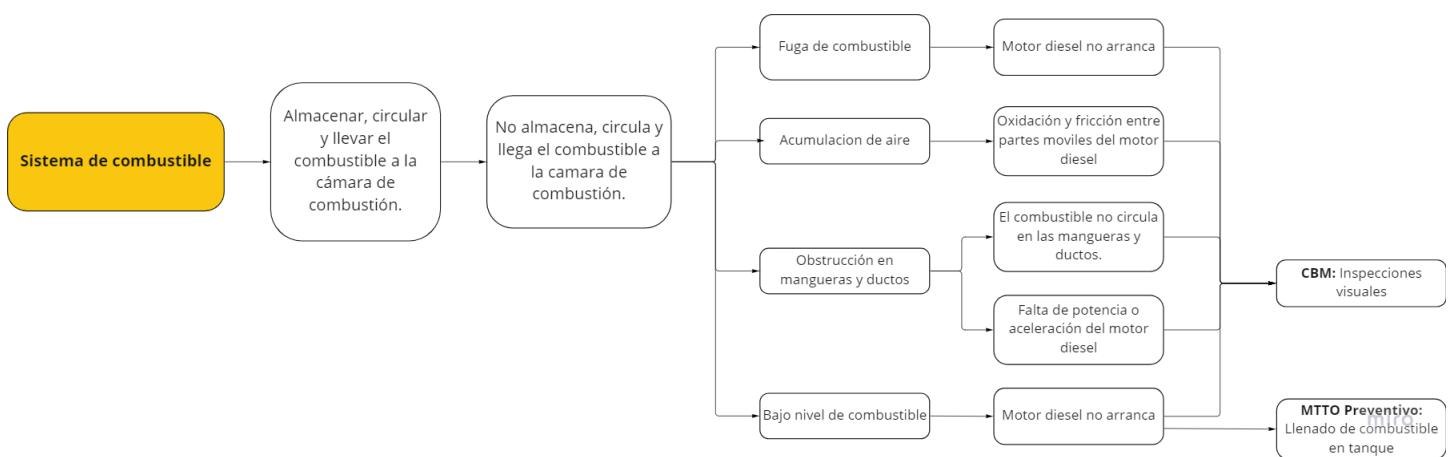


Figura B6

Componentes de la Planta eléctrica CUMMINS (Autor)





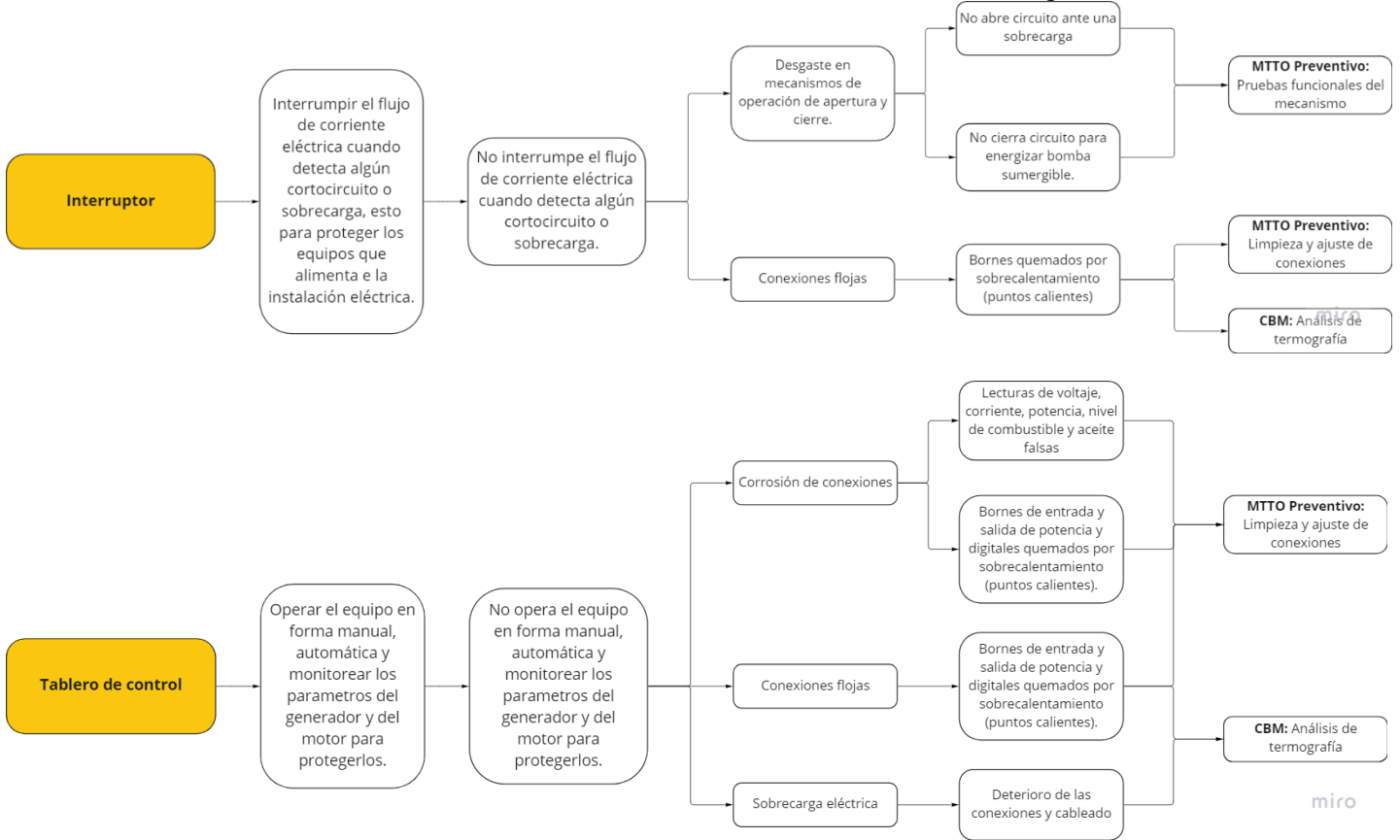


Figura B7

Componentes del TAB N11 +N11.1 Distribución 208-120V (Autor)

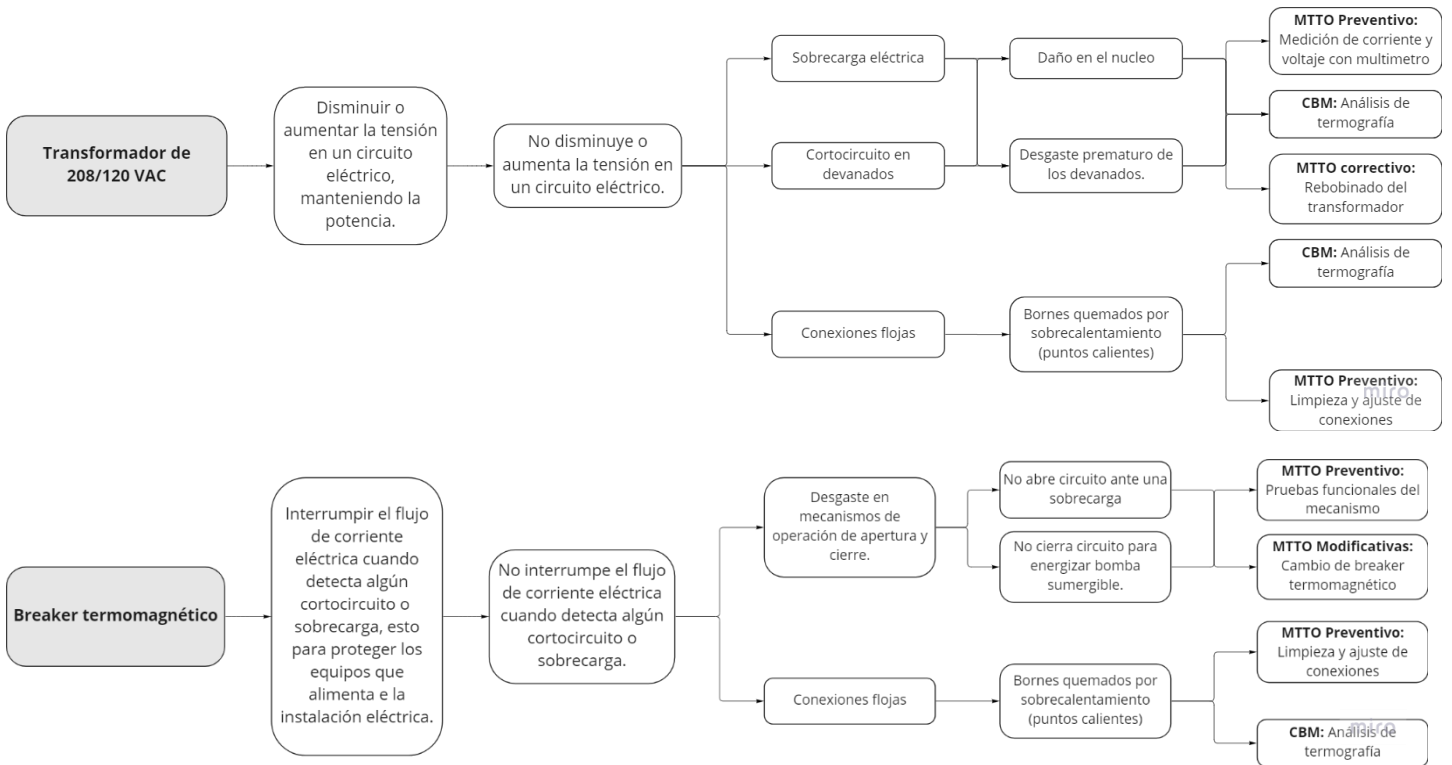


Figura B8

Componentes del LR07402 Limpia Rejillas Automático Aguas Lluvias y LR07401 Limpia Rejillas Automático Aguas Residuales (Autor)

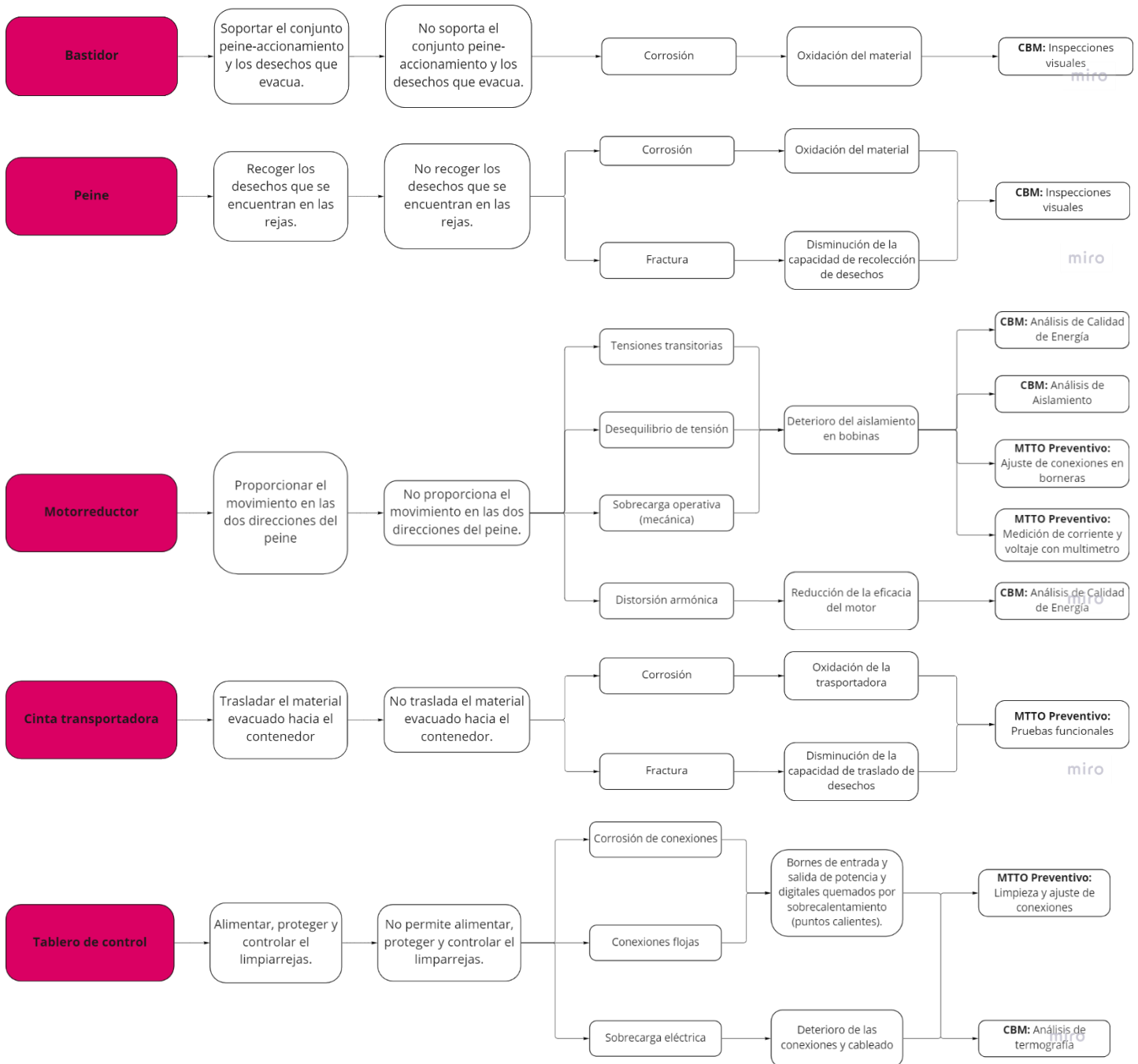
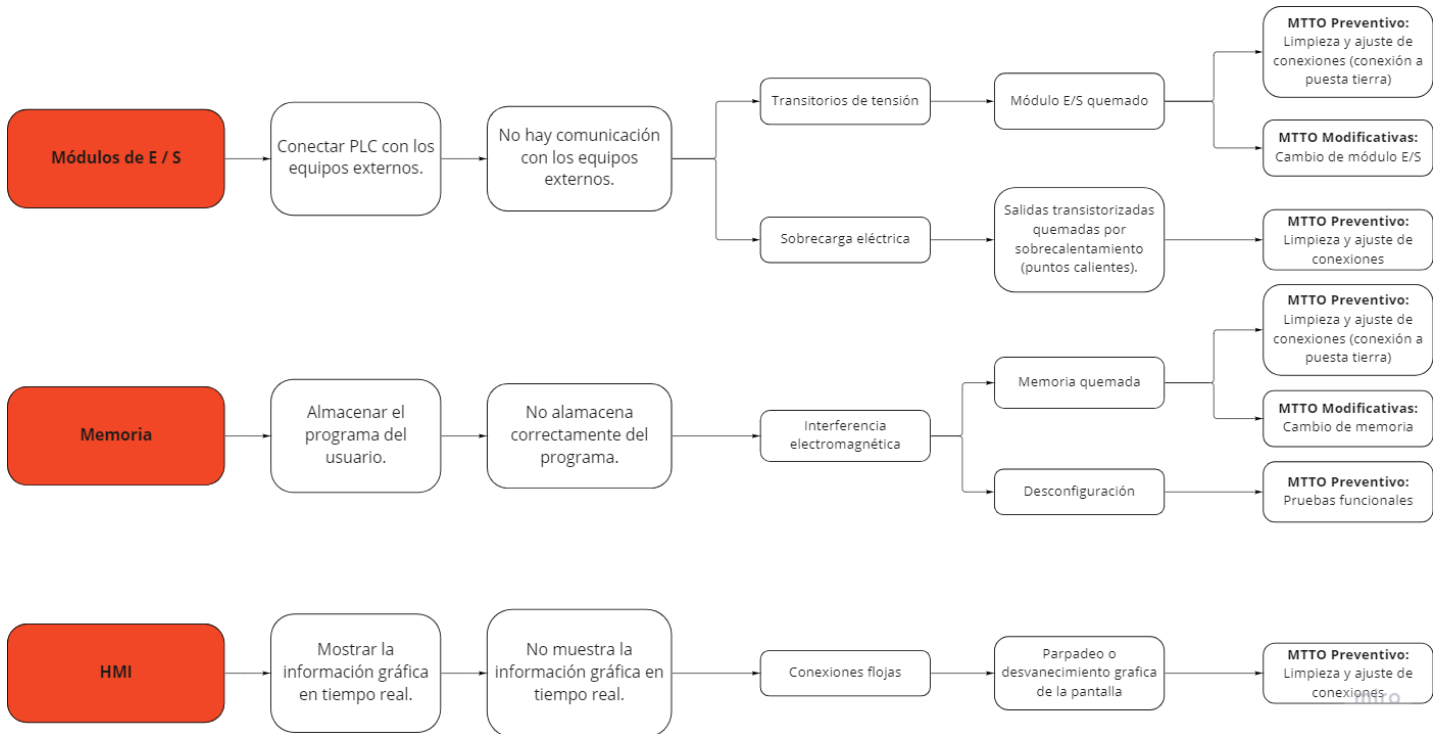


Figura B9

Componentes del PLC 1 SCHNEIDER M580 TAB X1 +X1 y PLC SCHNEIDER M340 TAB N4 +N4.1 (Autor)



Apéndice C Cálculo de parámetros de Mantenimiento M(t), Confiabilidad R(t) y No Confiabilidad F(t) a equipos de criticidad alta

Tabla C1

Cálculo de parámetros para el LR07402 Limpia Rejillas Automático Aguas Lluvias (Autor)

No de Datos	Inicio avería	Fin de avería	TTR (días)	TTR (horas)	Mantenibilidad M(t)	TBF (días)	TBF (horas)	No confiabilidad F(t)	X = ln (t)	Y = Ln(Ln(1/(1-F(t))))	Confiabilidad R(t)
1	17/11/2018	17/11/2018	0,13	3,00	2,38%	0,83	20,00	2,46%	2,99573227	-3,690611675	97,60%
2	28/11/2021	28/11/2021	0,15	3,50	5,78%	2,17	52,00	5,99%	3,95124372	-2,785056851	93,74%
3	09/09/2019	10/09/2019	0,21	5,00	9,18%	4,21	101,00	9,51%	4,61512052	-2,303604079	88,04%
4	28/02/2021	28/02/2021	0,27	6,50	12,59%	5,02	120,50	13,03%	4,79164975	-1,969075086	85,85%
5	31/08/2020	31/08/2020	0,27	6,50	15,99%	7,65	183,70	16,55%	5,21330399	-1,709732962	79,07%
6	17/07/2019	17/07/2019	0,29	7,00	19,39%	7,77	186,50	20,07%	5,22843124	-1,496001105	78,78%
7	10/10/2021	10/10/2021	0,29	7,00	22,79%	8,00	192,00	23,59%	5,25749537	-1,312758124	78,22%
8	01/12/2019	01/12/2019	0,31	7,50	26,19%	9,03	216,79	27,11%	5,37894196	-1,151205022	75,72%
9	18/04/2020	18/04/2020	0,31	7,50	29,59%	10,80	259,22	30,63%	5,55766426	-1,005749166	71,61%
10	05/06/2020	05/06/2020	0,44	10,50	32,99%	11,58	278,00	34,15%	5,62762111	-0,872595378	69,86%
11	11/11/2019	11/11/2019	0,46	11,00	36,39%	13,21	317,00	37,68%	5,75890177	-0,749030983	66,35%
12	31/05/2018	01/06/2018	0,79	19,00	39,80%	14,79	355,00	41,20%	5,87211779	-0,633030121	63,09%
13	31/08/2018	01/09/2018	0,79	19,00	43,20%	18,04	433,00	44,72%	6,07073773	-0,52301894	56,87%
14	29/12/2021	30/12/2021	1,12	26,83	46,60%	19,50	468,00	48,24%	6,1484683	-0,417727508	54,28%
15	15/09/2018	16/09/2018	1,21	29,00	50,00%	23,92	574,00	51,76%	6,3526294	-0,316090721	47,10%
16	02/03/2020	03/03/2020	1,25	30,00	53,40%	25,82	619,75	55,28%	6,42931617	-0,217177444	44,30%
17	06/09/2018	07/09/2018	1,27	30,50	56,80%	28,38	681,00	58,80%	6,52356231	-0,120135459	40,79%
18	10/08/2019	12/08/2019	1,92	46,00	60,20%	29,88	717,17	62,32%	6,57530826	-0,024143724	38,85%
19	13/04/2020	16/04/2020	2,92	70,00	63,61%	30,69	736,50	65,85%	6,60190924	0,071635087	37,85%
20	13/08/2020	16/08/2020	3,38	81,17	67,01%	40,60	974,50	69,37%	6,88192452	0,168109475	27,43%
21	26/06/2019	16/07/2019	20,21	485,00	70,41%	43,52	1044,50	72,89%	6,95129358	0,266332394	24,94%
22	30/09/2018	30/10/2018	30,38	729,00	73,81%	47,58	1142,00	76,41%	7,04053639	0,367612048	21,84%
23	11/09/2020	12/10/2020	30,93	742,28	77,21%	48,92	1174,00	79,93%	7,068172	0,473698651	20,91%
24	27/07/2021	27/08/2021	31,35	752,50	80,61%	51,54	1237,00	83,45%	7,12044437	0,587134584	19,19%
25	29/01/2022	29/03/2022	59,12	1418,83	84,01%	62,17	1492,00	86,97%	7,30787278	0,711996572	13,54%
26	05/06/2018	05/08/2018	61,18	1468,25	87,41%	68,60	1646,33	90,49%	7,40630587	0,85574949	10,96%

No de Datos	Inicio avería	Fin de avería	TTR (días)	TTR (horas)	Mantenibilidad M(t)	TBF (días)	TBF (horas)	No confiabilidad F(t)	X = ln (t)	Y = Ln(Ln(1/(1-F(t))))	Confiabilidad R(t)
27	28/02/2019	05/05/2019	66,33	1592,00	90,82%	91,92	2206,00	94,01%	7,6989362	1,035232525	5,07%
28	26/11/2018	20/02/2019	86,03	2064,71	94,22%	138,90	3333,50	97,54%	8,11177808	1,309160609	1,06%
29	08/03/2021	15/07/2021	129,60	3110,30	97,62%						

Tabla C2

Cálculo de parámetros para la Bomba sumergible U. bombeo 4 (Autor)

No de Datos	Inicio avería	Fin de avería	TTR (días)	TTR (horas)	Mantenibilidad M(t)	TBF (días)	TBF (horas)	No confiabilidad F(t)	X = ln (t)	Y = Ln(Ln(1/(1-F(t))))	Confiabilidad R(t)
1	01/09/2021	02/09/2021	0,20	5	3%	1,51	36	3%	3,590439381	-3,577483693	97%
2	25/06/2019	25/06/2019	0,25	6	6%	2,88	69	7%	4,234106505	-2,669683806	94%
3	28/08/2021	29/08/2021	0,25	6	10%	3,69	89	11%	4,483002552	-2,18583148	93%
4	13/05/2020	13/05/2020	0,27	7	14%	7,96	191	15%	5,252273428	-1,84873045	85%
5	07/06/2021	08/06/2021	0,29	7	18%	8,49	204	19%	5,316893752	-1,586622799	84%
6	10/07/2021	10/07/2021	0,35	8	22%	12,50	300	22%	5,703782475	-1,369907214	76%
7	10/10/2018	10/10/2018	0,35	9	25%	12,66	304	26%	5,716204995	-1,18343303	76%
8	02/03/2020	02/03/2020	0,44	11	29%	23,92	574	30%	6,352629396	-1,018366276	59%
9	14/10/2021	15/10/2021	0,45	11	33%	27,42	658	34%	6,489154271	-0,869072148	54%
10	09/03/2021	09/03/2021	0,46	11	37%	32,37	777	38%	6,655161461	-0,731704114	48%
11	13/12/2021	14/12/2021	0,49	12	41%	33,92	814	42%	6,701960366	-0,603486236	46%
12	14/02/2019	15/02/2019	0,53	13	44%	34,38	825	46%	6,715383386	-0,482313743	46%
13	08/08/2020	08/08/2020	0,56	13	48%	34,52	829	50%	6,719616837	-0,366512921	46%
14	05/12/2021	05/12/2021	0,63	15	52%	39,74	954	54%	6,860314204	-0,254685391	40%
15	14/01/2021	15/01/2021	1,17	28	56%	42,71	1025	58%	6,932464152	-0,14559769	38%
16	17/09/2020	18/09/2020	1,18	28	59%	43,58	1046	62%	6,952728645	-0,038093129	37%
17	13/12/2018	15/12/2018	2,27	55	63%	45,18	1084	66%	6,988643783	0,06899061	35%
18	18/11/2021	22/11/2021	4,06	98	67%	49,03	1177	70%	7,070398367	0,176914335	32%
19	09/06/2018	13/06/2018	4,15	100	71%	52,58	1262	74%	7,140453043	0,287163174	30%
20	26/07/2020	30/07/2020	4,45	107	75%	61,26	1470	78%	7,293244411	0,401646493	24%
21	28/06/2019	04/07/2019	6,27	150	78%	63,65	1527	81%	7,331387691	0,523062447	23%
22	07/07/2018	07/08/2018	31,21	749	82%	63,77	1530	85%	7,333349758	0,655661466	22%
23	22/03/2019	22/05/2019	61,17	1468	86%	71,60	1718	89%	7,449207096	0,807144125	19%
24	11/03/2021	11/05/2021	61,29	1471	90%	73,63	1767	93%	7,477038472	0,994776877	18%

No de Datos	Inicio avería	Fin de avería	TTR (días)	TTR (horas)	Mantenibilidad M(t)	TBF (días)	TBF (horas)	No confiabilidad F(t)	X = ln (t)	Y = Ln(Ln(1/(1-F(t))))	Confiabilidad R(t)
25	28/01/2022	02/04/2022	64,24	1542	94%	117,91	2830	97%	7,947943648	1,278548814	6%
26	17/07/2019	18/01/2020	185,53	4453	97%						

Tabla C3

Cálculo de parámetros para la Planta eléctrica CUMMINS (Autor)

No de Datos	Inicio avería	Fin de avería	TTR (días)	TTR (horas)	Mantenibilidad M(t)	TBF (días)	TBF (horas)	No confiabilidad F(t)	X = ln (t)	Y = Ln(Ln(1/(1-F(t))))	Confiabilidad R(t)
1	10/02/2022	10/02/2022	0,17	4	3%	1,48	35	3%	3,569532696	-3,354802509	98%
2	29/04/2021	29/04/2021	0,20	5	8%	9,45	227	8%	5,423848089	-2,441716399	86%
3	02/12/2018	02/12/2018	0,21	5	13%	9,98	240	13%	5,478901303	-1,952137671	85%
4	06/01/2019	06/01/2019	0,25	6	17%	15,74	378	18%	5,934232601	-1,608807204	77%
5	20/06/2020	20/06/2020	0,25	6	22%	16,76	402	23%	5,997073786	-1,339891087	76%
6	19/03/2020	19/03/2020	0,28	7	27%	21,90	526	28%	6,264667298	-1,115695152	69%
7	23/01/2020	23/01/2020	0,30	7	31%	27,02	649	33%	6,474662004	-0,920953918	62%
8	29/04/2022	29/04/2022	0,31	8	36%	31,51	756	38%	6,628372009	-0,746689513	57%
9	08/08/2018	08/08/2018	0,36	9	41%	33,67	808	43%	6,694562059	-0,587084006	55%
10	31/10/2019	31/10/2019	0,41	10	45%	34,29	823	48%	6,712956201	-0,438053654	54%
11	10/01/2021	10/01/2021	0,44	11	50%	36,63	879	52%	6,778974489	-0,296508894	52%
12	17/11/2019	18/11/2019	1,03	25	55%	39,53	949	57%	6,855145329	-0,159920103	49%
13	03/11/2018	05/11/2018	2,35	56	59%	46,03	1105	62%	7,007374344	-0,026021058	43%
14	17/09/2018	30/09/2018	13,42	322	64%	65,75	1578	67%	7,363860691	0,107442983	28%
15	25/01/2020	17/02/2020	23,14	555	69%	68,25	1638	72%	7,401231264	0,24300008	27%
16	09/05/2022	12/06/2022	34,22	821	73%	77,88	1869	77%	7,533247978	0,383882124	22%
17	02/05/2018	02/07/2018	61,28	1471	78%	91,33	2192	82%	7,692569648	0,534855821	16%
18	21/05/2021	22/07/2021	62,22	1493	83%	92,72	2225	87%	7,707624548	0,704227134	16%
19	06/09/2021	10/11/2021	65,25	1566	87%	107,33	2576	92%	7,853993087	0,910235093	12%
20	15/03/2019	15/07/2019	122,31	2936	92%	108,50	2604	97%	7,864804003	1,21556827	11%
21	30/06/2020	25/12/2020	178,13	4275	97%						

Tabla C4

Cálculo de parámetros para la Bomba sumergible U. bombeo 3 (Autor)

No de Datos	Inicio avería	Fin de avería	TTR (días)	TTR (horas)	Mantenibilidad M(t)	TBF (días)	TBF (horas)	No confiabilidad F(t)	X = ln (t)	Y = Ln(Ln(1/(1-F(t))))	Confiabilidad R(t)
1	07/06/2018	07/06/2018	0,21	5,00	3,27%	6,67	160,00	3,43%	5,075173815	-3,354802509	96,24%
2	25/05/2019	25/05/2019	0,25	6,00	7,94%	10,66	255,75	8,33%	5,544200405	-2,441716399	92,42%
3	20/06/2019	20/06/2019	0,27	6,50	12,62%	23,58	566,00	13,24%	6,338594078	-1,952137671	76,58%
4	13/04/2020	13/04/2020	0,27	6,50	17,29%	24,92	598,00	18,14%	6,393590754	-1,608807204	74,80%
5	02/02/2020	02/02/2020	0,44	10,50	21,96%	25,54	613,00	23,04%	6,418364936	-1,339891087	73,96%
6	10/10/2018	10/10/2018	0,52	12,50	26,64%	25,88	621,00	27,94%	6,431331082	-1,115695152	73,51%
7	14/01/2019	15/01/2019	0,53	12,67	31,31%	26,35	632,33	32,84%	6,449416681	-0,920953918	72,88%
8	05/11/2021	05/11/2021	0,63	15,00	35,98%	31,74	761,67	37,75%	6,635509015	-0,746689513	65,64%
9	17/10/2020	18/10/2020	1,18	28,25	40,65%	33,60	806,50	42,65%	6,692703898	-0,587084006	63,15%
10	29/07/2020	30/07/2020	1,53	36,75	45,33%	37,52	900,50	47,55%	6,802950165	-0,438053654	58,01%
11	13/11/2018	15/11/2018	2,27	54,50	50,00%	39,41	945,75	52,45%	6,851978264	-0,296508894	55,59%
12	18/09/2021	22/09/2021	4,06	97,50	54,67%	39,96	959,00	57,35%	6,865891075	-0,159920103	54,89%
13	09/05/2018	13/05/2018	4,15	99,50	59,35%	43,50	1044,00	62,25%	6,950814768	-0,026021058	50,49%
14	15/12/2021	20/12/2021	4,49	107,75	64,02%	63,92	1534,00	67,16%	7,335633982	0,107442983	29,11%
15	08/09/2020	15/09/2020	7,56	181,33	68,69%	70,60	1694,50	72,06%	7,435142991	0,243000008	23,74%
16	11/12/2018	19/12/2018	8,38	201,00	73,36%	75,18	1804,25	76,96%	7,497900272	0,383882124	20,53%
17	22/02/2019	22/03/2019	28,17	676,00	78,04%	76,91	1845,75	81,86%	7,520640978	0,534855821	19,41%
18	03/01/2021	02/03/2021	58,08	1394,00	82,71%	101,04	2425,00	86,76%	7,793586803	0,704227134	8,26%
19	09/03/2021	09/06/2021	92,33	2216,00	87,38%	106,63	2559,00	91,67%	7,847371836	0,910235093	6,67%
20	05/03/2022	15/06/2022	102,24	2453,75	92,06%	124,65	2991,50	96,57%	8,003530213	1,21556827	3,20%
21	01/07/2019	09/01/2020	192,53	4620,75	96,73%						

Tabla C5

Cálculo de parámetros para el LR07401 Limpia Rejillas Automático Aguas Residuales (Autor)

No de Datos	Inicio avería	Fin de avería	TTR (días)	TTR (horas)	Mantenibilidad M(t)	TBF (días)	TBF (horas)	No confiabilidad F(t)	X = ln (t)	Y = Ln(Ln(1/(1-F(t))))	Confiabilidad R(t)
1	14/02/2020	14/02/2020	0,13	3,00	3,27%	2,86	69	3,43%	4,230476737	-3,354802509	96,39%
2	10/04/2022	10/04/2022	0,23	5,50	7,94%	4,51	108	8,33%	4,685212894	-2,441716399	93,91%

No de Datos	Inicio avería	Fin de avería	TTR (días)	TTR (horas)	Mantenibilidad M(t)	TBF (días)	TBF (horas)	No confiabilidad F(t)	X = ln (t)	Y = Ln(Ln(1/(1-F(t))))	Confiabilidad R(t)
3	03/03/2021	03/03/2021	0,29	6,92	12,62%	6,83	164	13,24%	5,099358169	-1,952137671	90,26%
4	16/12/2021	16/12/2021	0,34	8,17	17,29%	16,52	397	18,14%	5,982676041	-1,608807204	74,82%
5	27/09/2019	27/09/2019	0,34	8,25	21,96%	16,79	403	23,04%	5,998936562	-1,339891087	74,40%
6	25/03/2020	25/03/2020	0,35	8,50	26,64%	22,27	535	27,94%	6,28133173	-1,115695152	66,20%
7	17/04/2019	17/04/2019	0,38	9,08	31,31%	23,83	572	32,84%	6,348847574	-0,920953918	63,98%
8	08/04/2021	08/04/2021	0,39	9,33	35,98%	26,62	639	37,75%	6,459774034	-0,746689513	60,11%
9	14/11/2019	14/11/2019	0,42	10,00	40,65%	30,71	737	42,65%	6,602700957	-0,587084006	54,75%
10	11/05/2022	11/05/2022	0,53	12,67	45,33%	32,74	786	47,55%	6,666744726	-0,438053654	52,23%
11	29/06/2021	30/06/2021	1,08	26,00	50,00%	35,76	858	52,45%	6,754992524	-0,296508894	48,64%
12	07/03/2020	08/03/2020	1,10	26,50	54,67%	45,45	1091	57,35%	6,9947736	-0,159920103	38,44%
13	31/01/2022	01/02/2022	1,47	35,25	59,35%	47,49	1140	62,25%	7,038564219	-0,026021058	36,54%
14	07/06/2022	07/07/2022	30,42	730,08	64,02%	59,66	1432	67,16%	7,266710953	0,107442983	26,78%
15	14/08/2020	14/09/2020	31,64	759,25	68,69%	63,55	1525	72,06%	7,329858973	0,24300008	24,19%
16	10/01/2021	24/02/2021	45,40	1089,67	73,36%	67,74	1626	76,96%	7,393724527	0,383882124	21,65%
17	13/11/2020	05/01/2021	53,37	1280,83	78,04%	68,38	1641	81,86%	7,403061091	0,534855821	21,29%
18	28/05/2020	28/07/2020	61,30	1471,25	82,71%	81,49	1956	86,76%	7,57848642	0,704227134	14,92%
19	22/09/2021	22/11/2021	61,38	1473,08	87,38%	83,70	2009	91,67%	7,605267917	0,910235093	14,04%
20	20/05/2019	20/07/2019	61,47	1475,33	92,06%	91,52	2196	96,57%	7,694620463	1,21556827	11,29%
21	13/12/2018	14/04/2019	122,23	2933,50	96,73%						

Tabla C6

Cálculo de parámetros para el PLC 1 SCHNEIDER M580 TAB XI +XI (Autor)

No de Datos	Inicio avería	Fin de avería	TTR (días)	TTR (horas)	Mantenibilidad M(t)	TBF (días)	TBF (horas)	No confiabilidad F(t)	X = ln (t)	Y = Ln(Ln(1/(1-F(t))))	Confiabilidad R(t)
1	10/03/2021	10/03/2021	0,15	4	3%	0,32	8	4%	2,04769284	-3,30362951	97%
2	02/12/2021	03/12/2021	0,16	4	8%	0,47	11	9%	2,42774824	-2,389141012	96%
3	04/03/2021	04/03/2021	0,19	5	13%	4,42	106	14%	4,66343909	-1,89802475	83%
4	02/10/2021	02/10/2021	0,21	5	18%	16,67	400	19%	5,99146455	-1,552999198	66%
5	04/03/2021	04/03/2021	0,26	6	23%	27,89	669	24%	6,50628219	-1,28220259	56%
6	05/01/2022	05/01/2022	0,26	6	28%	29,01	696	29%	6,54582847	-1,05590564	55%
7	08/05/2022	08/05/2022	0,26	6	33%	32,94	791	35%	6,67277107	-0,858797897	52%
8	22/05/2019	23/05/2019	0,29	7	38%	43,82	1052	40%	6,95821072	-0,681842867	46%

No de Datos	Inicio avería	Fin de avería	TTR (días)	TTR (horas)	Mantenibilidad M(t)	TBF (días)	TBF (horas)	No confiabilidad F(t)	X = ln (t)	Y = Ln(Ln(1/(1-F(t))))	Confiabilidad R(t)
9	17/03/2022	17/03/2022	0,29	7	43%	51,55	1237	45%	7,12064645	-0,51914459	42%
10	05/03/2021	05/03/2021	0,44	11	48%	51,93	1246	50%	7,12796119	-0,366512921	42%
11	14/07/2019	15/07/2019	1,33	32	52%	53,04	1273	55%	7,1491316	-0,220708967	42%
12	16/10/2018	18/10/2018	2,17	52	57%	61,24	1470	60%	7,29290429	-0,078986134	38%
13	28/05/2021	02/06/2021	5,44	131	62%	61,33	1472	65%	7,2943773	0,061250816	38%
14	30/07/2020	05/08/2020	6,46	155	67%	62,13	1491	71%	7,30731409	0,202783192	38%
15	18/02/2019	04/03/2019	14,49	348	72%	70,52	1692	76%	7,433962	0,349043287	35%
16	29/05/2020	16/06/2020	18,32	440	77%	71,01	1704	81%	7,44083151	0,504972676	35%
17	27/03/2021	30/04/2021	34,16	820	82%	79,05	1897	86%	7,54811682	0,679059054	32%
18	06/05/2018	06/08/2018	92,73	2226	87%	121,78	2923	91%	7,98030874	0,889800879	23%
19	05/10/2020	10/01/2021	96,27	2311	92%	122,72	2945	96%	7,98797728	1,200551361	22%
20	13/08/2019	27/03/2020	227,46	5459	97%						

Tabla C7

Cálculo de parámetros para la Bomba sumergible U. bombeo 5 (Autor)

No de Datos	Inicio avería	Fin de avería	TTR (días)	TTR (horas)	Mantenibilidad M(t)	TBF (días)	TBF (horas)	No confiabilidad F(t)	X = ln (t)	Y = Ln(Ln(1/(1-F(t))))	Confiabilidad R(t)
1	25/04/2019	25/04/2019	0,25	6,00	3,61%	2,41	57,83	3,80%	4,057565311	-3,249695277	96,17%
2	12/11/2021	12/11/2021	0,25	6,00	8,76%	3,25	78,00	9,24%	4,356708827	-2,333642983	94,90%
3	13/03/2020	13/03/2020	0,27	6,50	13,92%	8,41	201,75	14,67%	5,307029307	-1,840802966	87,55%
4	21/04/2022	21/04/2022	0,35	8,50	19,07%	30,35	728,33	20,11%	6,590758819	-1,493865448	62,60%
5	02/02/2020	02/02/2020	0,44	10,50	24,23%	31,40	753,67	25,54%	6,624950184	-1,220933047	61,60%
6	14/11/2018	15/11/2018	0,53	12,67	29,38%	39,60	950,50	30,98%	6,856988162	-0,992230882	54,43%
7	29/06/2020	29/06/2020	0,53	12,75	34,54%	42,66	1023,75	36,41%	6,931227635	-0,792389069	51,98%
8	08/07/2020	08/07/2020	0,56	13,33	39,69%	45,82	1099,58	41,85%	7,002686599	-0,612292022	49,57%
9	17/09/2020	18/09/2020	1,18	28,25	44,85%	50,96	1223,00	47,28%	7,109062136	-0,445935947	45,89%
10	18/09/2021	20/09/2021	1,98	47,50	50,00%	52,75	1266,00	52,72%	7,143617603	-0,288979395	44,67%
11	15/06/2019	19/06/2019	4,19	100,50	55,15%	58,67	1408,00	58,15%	7,249925537	-0,137963674	40,89%
12	03/01/2021	09/01/2021	6,08	146,00	60,31%	61,92	1486,00	63,59%	7,303843225	0,010191033	38,95%
13	15/11/2021	16/12/2021	30,53	732,75	65,46%	67,52	1620,50	69,02%	7,390490023	0,158613128	35,82%
14	23/04/2022	24/05/2022	30,57	733,67	70,62%	70,74	1697,67	74,46%	7,437010038	0,310999219	34,15%
15	22/01/2019	22/02/2019	31,17	748,00	75,77%	91,58	2198,00	79,89%	7,695303135	0,472511635	25,05%

No de Datos	Inicio avería	Fin de avería	TTR (días)	TTR (horas)	Mantenibilidad M(t)	TBF (días)	TBF (horas)	No confiabilidad F(t)	X = ln (t)	Y = Ln(Ln(1/(1-F(t))))	Confiabilidad R(t)
16	31/01/2022	20/03/2022	48,53	1164,83	80,93%	106,13	2547,00	85,33%	7,842671475	0,651855749	20,20%
17	09/03/2021	04/06/2021	87,33	2096,00	86,08%	106,91	2565,75	90,76%	7,850006113	0,867823929	19,96%
18	01/08/2019	02/11/2019	93,53	2244,75	91,24%	107,63	2583,00	96,20%	7,856706793	1,184491961	19,75%
19	11/05/2018	15/10/2018	157,38	3777,00	96,39%						

Tabla C8

Cálculo de parámetros para la Bomba sumergible U. bombeo 6 (Autor)

No de Datos	Inicio avería	Fin de avería	TTR (días)	TTR (horas)	Mantenibilidad M(t)	TBF (días)	TBF (horas)	No confiabilidad F(t)	X = ln (t)	Y = Ln(Ln(1/(1-F(t))))	Confiabilidad R(t)
1	11/01/2021	11/01/2021	0,29	7,00	3,61%	13,58	326,00	3,80%	5,786897381	-3,249695277	91,97%
2	07/03/2021	07/03/2021	0,33	8,00	8,76%	14,28	342,75	9,24%	5,837001318	-2,333642983	91,30%
3	10/04/2021	10/04/2021	0,35	8,38	13,92%	19,08	458,00	14,67%	6,126869184	-1,840802966	86,32%
4	13/02/2020	13/02/2020	0,40	9,50	19,07%	25,19	604,50	20,11%	6,40440167	-1,493865448	79,22%
5	08/09/2020	08/09/2020	0,43	10,33	24,23%	25,55	613,25	25,54%	6,418772683	-1,220933047	78,77%
6	02/07/2019	02/07/2019	0,44	10,50	29,38%	28,65	687,50	30,98%	6,53306183	-0,992230882	74,95%
7	22/04/2019	22/04/2019	0,50	12,00	34,54%	33,63	807,00	36,41%	6,693323668	-0,792389069	68,65%
8	14/01/2019	15/01/2019	0,52	12,50	39,69%	34,58	830,00	41,85%	6,721425701	-0,612292022	67,43%
9	28/02/2022	01/03/2022	1,24	29,75	44,85%	40,56	973,50	47,28%	6,880897825	-0,445935947	59,86%
10	27/06/2021	29/06/2021	1,25	30,00	50,00%	53,69	1288,50	52,72%	7,16123403	-0,288979395	44,19%
11	14/12/2020	16/12/2020	2,17	52,00	55,15%	55,11	1322,75	58,15%	7,187468182	-0,137963674	42,62%
12	24/04/2022	26/04/2022	2,30	55,08	60,31%	55,34	1328,25	63,59%	7,191617565	0,010191033	42,37%
13	27/05/2019	13/06/2019	17,25	414,00	65,46%	69,52	1668,42	69,02%	7,419630352	0,158613128	28,56%
14	26/05/2020	30/06/2020	35,50	852,08	70,62%	78,03	1872,62	74,46%	7,535092019	0,310999219	21,93%
15	13/11/2018	20/12/2018	37,48	899,50	75,77%	96,60	2318,50	79,89%	7,748675704	0,472511635	11,51%
16	01/11/2021	04/01/2022	63,20	1516,75	80,93%	96,86	2324,67	85,33%	7,751331939	0,651855749	11,40%
17	17/07/2019	18/09/2019	63,53	1524,75	86,08%	102,46	2459,00	90,76%	7,807510042	0,867823929	9,23%
18	02/10/2019	15/01/2020	105,44	2530,50	91,24%	125,69	3016,50	96,20%	8,011852498	1,184491961	3,53%
19	01/04/2018	03/10/2018	185,23	4445,50	96,39%						

Tabla C9

Cálculo de parámetros para el TAB N11 +N11.1 DISTR 208-120V (Autor)

No de Datos	Inicio avería	Fin de avería	TTR (días)	TTR (horas)	Mantenibilidad M(t)	TBF (días)	TBF (horas)	No confiabilidad F(t)	X = ln (t)	Y = Ln(Ln(1/(1-F(t))))	Confiabilidad R(t)
1	13/11/2020	13/11/2020	0,19	4,67	3,61%	1,75	42,00	3,80%	3,737669618	-3,249695277	95,58%
2	01/10/2018	01/10/2018	0,30	7,17	8,76%	2,80	67,17	9,24%	4,207177093	-2,333642983	93,42%
3	15/12/2021	15/12/2021	0,33	7,83	13,92%	4,02	96,50	14,67%	4,569543008	-1,840802966	91,08%
4	13/01/2019	13/01/2019	0,39	9,42	19,07%	14,67	352,00	20,11%	5,863631176	-1,493865448	74,87%
5	15/07/2021	15/07/2021	0,42	10,17	24,23%	27,08	650,00	25,54%	6,476972363	-1,220933047	60,99%
6	11/08/2018	12/08/2018	0,45	10,92	29,38%	29,94	718,67	30,98%	6,577397643	-0,992230882	58,29%
7	13/08/2020	13/08/2020	0,47	11,17	34,54%	33,12	794,83	36,41%	6,678132449	-0,792389069	55,46%
8	09/04/2021	09/04/2021	0,81	19,47	39,69%	39,45	946,75	41,85%	6,853035067	-0,612292022	50,32%
9	10/12/2018	11/12/2018	1,12	26,83	44,85%	43,58	1045,83	47,28%	6,952569295	-0,445935947	47,28%
10	20/09/2018	29/09/2018	8,82	211,67	50,00%	45,73	1097,50	52,72%	7,000790145	-0,288979395	45,78%
11	26/12/2018	09/01/2019	14,14	339,25	55,15%	46,62	1118,92	58,15%	7,020116234	-0,137963674	45,17%
12	20/06/2018	15/07/2018	25,42	610,00	60,31%	57,91	1389,83	63,59%	7,236939115	0,010191033	38,27%
13	15/02/2019	16/03/2019	28,31	679,33	65,46%	64,20	1540,83	69,02%	7,340078675	0,158613128	34,96%
14	14/02/2020	16/03/2020	31,21	749,00	70,62%	91,44	2194,67	74,46%	7,693785454	0,310999219	23,90%
15	04/10/2018	10/11/2018	37,16	891,83	75,77%	95,97	2303,38	79,89%	7,742134336	0,472511635	22,47%
16	31/08/2021	11/10/2021	41,32	991,75	80,93%	96,65	2319,67	85,33%	7,749178776	0,651855749	22,26%
17	13/05/2020	30/06/2020	48,24	1157,67	86,08%	132,82	3187,67	90,76%	8,067044476	0,867823929	13,76%
18	21/03/2022	21/06/2022	92,46	2218,95	91,24%	146,77	3522,37	96,20%	8,166888391	1,184491961	11,49%
19	30/04/2019	04/10/2019	156,58	3758,00	96,39%						

Tabla C10

Cálculo de parámetros para la Bomba de achique (Autor)

No de Datos	Inicio avería	Fin de avería	TTR (días)	TTR (horas)	Mantenibilidad M(t)	TBF (días)	TBF (horas)	No confiabilidad F(t)	X = ln (t)	Y = Ln(Ln(1/(1-F(t))))	Confiabilidad R(t)
1	17/10/2020	17/10/2020	0,14	3,25	3,61%	7,81	187,33	3,80%	5,232889561	-3,249695277	89,34%
2	20/05/2019	20/05/2019	0,23	5,50	8,76%	8,78	210,67	9,24%	5,350277105	-2,333642983	87,97%
3	09/03/2021	09/03/2021	0,24	5,67	13,92%	8,89	213,33	14,67%	5,362855888	-1,840802966	87,81%
4	25/04/2019	25/04/2019	0,25	6,00	19,07%	11,65	279,67	20,11%	5,633598418	-1,493865448	83,93%

No de Datos	Inicio avería	Fin de avería	TTR (días)	TTR (horas)	Mantenibilidad M(t)	TBF (días)	TBF (horas)	No confiabilidad F(t)	X = ln (t)	Y = Ln(Ln(1/(1-F(t))))	Confiabilidad R(t)
5	05/04/2022	05/04/2022	0,33	7,83	24,23%	12,60	302,50	25,54%	5,712081277	-1,220933047	82,62%
6	01/11/2018	01/11/2018	0,33	8,00	29,38%	12,63	303,00	30,98%	5,713732806	-0,992230882	82,59%
7	17/04/2022	17/04/2022	0,38	9,17	34,54%	24,92	598,00	36,41%	6,393590754	-0,792389069	66,74%
8	13/05/2020	13/05/2020	0,48	11,50	39,69%	33,83	812,00	41,85%	6,69950034	-0,612292022	56,76%
9	26/03/2022	27/03/2022	0,52	12,57	44,85%	35,59	854,25	47,28%	6,750223891	-0,445935947	54,94%
10	20/01/2019	21/01/2019	0,53	12,67	50,00%	46,63	1119,00	52,72%	7,020190708	-0,288979395	44,65%
11	08/10/2020	08/10/2020	0,56	13,33	55,15%	54,58	1310,00	58,15%	7,177782416	-0,137963674	38,33%
12	27/09/2021	28/09/2021	0,79	19,00	60,31%	57,73	1385,50	63,59%	7,233816364	0,010191033	36,06%
13	29/06/2020	31/07/2020	32,24	773,75	65,46%	68,45	1642,75	69,02%	7,404126946	0,158613128	29,22%
14	18/07/2021	22/08/2021	35,15	843,50	70,62%	78,24	1877,75	74,46%	7,537829531	0,310999219	24,04%
15	03/02/2019	22/03/2019	47,33	1136,00	75,77%	80,33	1927,83	79,89%	7,564152026	0,472511635	23,05%
16	03/01/2021	01/03/2021	56,71	1361,00	80,93%	103,49	2483,75	85,33%	7,817524794	0,651855749	14,38%
17	01/09/2019	08/11/2019	68,53	1644,75	86,08%	131,04	3145,00	90,76%	8,053569169	0,867823929	8,08%
18	02/01/2020	16/03/2020	74,35	1784,50	91,24%	179,77	4314,52	96,20%	8,369740585	1,184491961	2,84%
19	10/06/2018	19/10/2018	131,03	3144,75	96,39%						

Tabla C11

Cálculo de parámetros para la Bomba sumergible U. bombeo 1 (Autor)

No de Datos	Inicio avería	Fin de avería	TTR (días)	TTR (horas)	Mantenibilidad M(t)	TBF (días)	TBF (horas)	No confiabilidad F(t)	X = ln (t)	Y = Ln(Ln(1/(1-F(t))))	Confiabilidad R(t)
1	09/05/2021	09/05/2021	0,42	10,00	3,80%	6,54	157,00	4,02%	5,056245805	-3,192684658	92,06%
2	30/08/2020	30/08/2020	0,53	12,75	9,24%	6,74	161,67	9,77%	5,085536602	-2,274877577	91,81%
3	08/10/2020	08/10/2020	0,56	13,33	14,67%	7,60	182,50	15,52%	5,206750173	-1,780091531	90,69%
4	04/01/2019	05/01/2019	0,69	16,67	20,11%	16,39	393,33	21,26%	5,974657429	-1,43098059	79,54%
5	20/06/2019	21/06/2019	1,27	30,50	25,54%	18,88	453,00	27,01%	6,115892125	-1,1556011	76,51%
6	03/11/2018	04/11/2018	1,27	30,50	30,98%	33,65	807,50	32,76%	6,693943055	-0,924117873	60,17%
7	10/09/2018	11/09/2018	1,52	36,50	36,41%	34,92	838,00	38,51%	6,7310181	-0,721080787	58,90%
8	30/05/2019	01/06/2019	2,25	54,00	41,85%	38,41	921,75	44,25%	6,826274037	-0,53726488	55,53%
9	09/04/2018	13/04/2018	4,15	99,50	47,28%	48,92	1174,00	50,00%	7,068172	-0,366512921	46,34%
10	10/02/2021	15/02/2021	5,08	122,00	52,72%	52,60	1262,50	55,75%	7,140849161	-0,204260615	43,45%
11	22/03/2019	25/04/2019	34,17	820,00	58,15%	52,79	1267,00	61,49%	7,14440718	-0,046711512	43,31%
12	15/10/2020	18/11/2020	34,18	820,25	63,59%	75,31	1807,50	67,24%	7,499699954	0,109754476	28,92%

No de Datos	Inicio avería	Fin de avería	TTR (días)	TTR (horas)	Mantenibilidad M(t)	TBF (días)	TBF (horas)	No confiabilidad F(t)	X = ln (t)	Y = Ln(Ln(1/(1-F(t))))	Confiabilidad R(t)
13	05/10/2019	10/11/2019	36,53	876,75	69,02%	82,67	1984,00	72,99%	7,592870288	0,269192971	25,27%
14	11/11/2018	19/12/2018	38,38	921,00	74,46%	83,91	2013,75	78,74%	7,607753934	0,437052522	24,70%
15	10/03/2020	13/05/2020	64,27	1542,50	79,89%	105,66	2535,75	84,48%	7,83824473	0,622305333	16,44%
16	01/06/2018	07/08/2018	67,21	1613,00	85,33%	108,63	2607,00	90,23%	7,865955414	0,844082105	15,54%
17	02/01/2020	02/04/2020	91,23	2189,50	90,76%	194,96	4679,00	95,98%	8,450839691	1,167250255	2,84%
18	20/11/2021	30/04/2022	161,06	3865,50	96,20%						

Tabla C12

Cálculo de parámetros para la Bomba sumergible U. bombeo 7 (Autor)

No de Datos	Inicio avería	Fin de avería	TTR (días)	TTR (horas)	Mantenibilidad M(t)	TBF (días)	TBF (horas)	No confiabilidad F(t)	X = ln (t)	Y = Ln(Ln(1/(1-F(t))))	Confiabilidad R(t)
1	04/06/2022	04/06/2022	0,24	5,83	4%	4,53	109	4%	4,68905167	-3,192684658	96%
2	29/06/2021	29/06/2021	0,25	6,00	9%	9,71	233	10%	5,451038454	-2,274877577	90%
3	27/10/2019	27/10/2019	0,34	8,25	15%	17,49	420	16%	6,039659296	-1,780091531	81%
4	08/04/2021	08/04/2021	0,43	10,33	20%	18,92	454	21%	6,118097198	-1,43098059	80%
5	22/09/2021	22/09/2021	0,55	13,08	26%	19,27	463	27%	6,136646557	-1,1556011	79%
6	25/03/2020	25/03/2020	0,69	16,50	31%	36,45	875	33%	6,774033392	-0,924117873	61%
7	29/07/2020	30/07/2020	1,08	26,00	36%	36,76	882	39%	6,782569914	-0,721080787	61%
8	14/11/2019	15/11/2019	1,42	34,00	42%	38,80	931	44%	6,83643828	-0,53726488	59%
9	10/05/2020	12/05/2020	2,39	57,33	47%	55,61	1335	50%	7,196436852	-0,366512921	44%
10	30/03/2020	03/04/2020	4,29	102,92	53%	63,86	1533	56%	7,334818787	-0,204260615	38%
11	22/02/2021	28/02/2021	6,38	153,08	58%	65,52	1572	61%	7,360421989	-0,046711512	37%
12	03/06/2021	10/06/2021	7,08	170,00	64%	77,49	1860	67%	7,528152539	0,109754476	30%
13	07/03/2020	15/03/2020	8,10	194,50	69%	84,53	2029	73%	7,615175119	0,269192971	26%
14	20/01/2020	17/02/2020	28,13	675,00	74%	88,53	2125	79%	7,661448647	0,437052522	24%
15	17/10/2018	23/11/2018	37,38	897,08	80%	93,38	2241	84%	7,714677474	0,622305333	22%
16	04/01/2022	28/04/2022	114,30	2743,25	85%	103,66	2488	90%	7,819200959	0,844082105	18%
17	13/04/2018	14/08/2018	123,23	2957,50	91%	206,70	4961	96%	8,509312218	1,167250255	2%
18	20/02/2019	25/07/2019	155,68	3736,33	96%						

Tabla C13

Cálculo de parámetros para la Bomba sumergible U. bombeo 8 (Autor)

No de Datos	Inicio avería	Fin de avería	TTR (días)	TTR (horas)	Mantenibilidad M(t)	TBF (días)	TBF (horas)	No confiabilidad F(t)	X = ln (t)	Y = Ln(Ln(1/(1-F(t))))	Confiabilidad R(t)
1	01/12/2021	02/12/2021	0,20	4,75	4,02%	6,45	154,75	4,27%	5,041810912	-3,132225248	94,19%
2	10/07/2019	10/07/2019	0,27	6,50	9,77%	12,63	303,00	10,37%	5,713732806	-2,212435104	87,38%
3	14/09/2020	14/09/2020	0,31	7,33	15,52%	17,58	421,92	16,46%	6,044807822	-1,715434731	81,76%
4	24/05/2022	24/05/2022	0,34	8,08	21,26%	30,08	722,00	22,56%	6,582025139	-1,363831192	68,01%
5	22/04/2019	22/04/2019	0,42	10,00	27,01%	30,57	733,67	28,66%	6,598054793	-1,085619582	67,49%
6	07/11/2019	07/11/2019	0,44	10,50	32,76%	33,11	794,75	34,76%	6,6780276	-0,850883229	64,85%
7	30/03/2021	03/04/2021	4,33	104,00	38,51%	34,46	827,00	40,85%	6,717804695	-0,644060966	63,48%
8	26/07/2020	30/07/2020	4,50	108,08	44,25%	36,03	864,62	46,95%	6,762286249	-0,455772085	61,91%
9	16/04/2021	21/04/2021	5,35	128,38	50,00%	45,64	1095,42	53,05%	6,998890087	-0,27963321	52,82%
10	15/10/2020	24/10/2020	9,43	226,33	55,75%	45,69	1096,50	59,15%	6,999878568	-0,11073738	52,78%
11	27/05/2019	10/06/2019	14,25	342,00	61,49%	50,69	1216,50	65,24%	7,103733162	0,055259819	48,45%
12	16/02/2020	13/03/2020	26,40	633,50	67,24%	57,34	1376,25	71,34%	7,227117688	0,222918587	43,12%
13	17/07/2019	20/08/2019	34,53	828,75	72,99%	78,58	1886,00	77,44%	7,542213463	0,398070176	29,19%
14	14/04/2018	15/06/2018	61,85	1484,50	78,74%	100,65	2415,50	83,54%	7,789661584	0,590022808	19,00%
15	28/01/2022	03/04/2022	65,24	1565,75	84,48%	134,46	3227,00	89,63%	8,079308192	0,818304331	9,46%
16	11/11/2020	25/02/2021	106,29	2551,00	90,23%	310,48	7451,50	95,73%	8,916170633	1,148657626	0,15%
17	27/05/2021	17/10/2021	142,25	3414,00	95,98%						

Tabla C14

Cálculo de parámetros para el PLC SCHNEIDER M340 TAB N4 +N4.1 (Autor)

No de Datos	Inicio avería	Fin de avería	TTR (días)	TTR (horas)	Mantenibilidad M(t)	TBF (días)	TBF (horas)	No confiabilidad F(t)	X = ln (t)	Y = Ln(Ln(1/(1-F(t))))	Confiabilidad R(t)
1	29/02/2020	29/02/2020	0,16	3,75	4,27%	22,88	549	4,55%	6,308401978	-3,067872615	91,25%
2	27/04/2022	27/04/2022	0,16	3,83	10,37%	25,28	607	11,04%	6,408116845	-2,145823454	89,41%
3	05/11/2020	05/11/2020	0,19	4,50	16,46%	29,97	719	17,53%	6,578324857	-1,646280772	85,39%
4	29/04/2020	29/04/2020	0,24	5,75	22,56%	44,30	1063	24,03%	6,969007155	-1,29178935	70,62%
5	22/04/2019	23/04/2019	0,46	11,00	28,66%	46,67	1120	30,52%	7,021083964	-1,010261447	67,95%
6	06/06/2018	06/06/2018	0,52	12,50	34,76%	58,68	1408	37,01%	7,250162251	-0,771667529	54,12%

No de Datos	Inicio avería	Fin de avería	TTR (días)	TTR (horas)	Mantenibilidad M(t)	TBF (días)	TBF (horas)	No confiabilidad F(t)	X = ln (t)	Y = Ln(Ln(1/(1-F(t))))	Confiabilidad R(t)
7	04/04/2021	05/04/2021	0,69	16,58	40,85%	59,76	1434	43,51%	7,268397343	-0,560288167	52,89%
8	10/03/2022	11/03/2022	1,15	27,67	46,95%	60,97	1463	50,00%	7,288472217	-0,366512921	51,51%
9	14/08/2019	15/08/2019	1,25	30,00	53,05%	61,03	1465	56,49%	7,289496749	-0,183610407	51,44%
10	28/06/2022	29/06/2022	1,35	32,50	59,15%	61,97	1487	62,99%	7,304740086	-0,006117338	50,38%
11	04/02/2021	10/03/2021	34,26	822,17	65,24%	62,03	1489	69,48%	7,305692121	0,171264823	50,32%
12	30/06/2020	05/09/2020	67,04	1609,00	71,34%	70,56	1694	75,97%	7,434552672	0,354897648	41,02%
13	18/01/2019	30/03/2019	71,44	1714,67	77,44%	90,58	2174	82,47%	7,684324068	0,554526136	22,85%
14	16/08/2018	20/11/2018	96,21	2309,00	83,54%	113,06	2713	88,96%	7,90593317	0,79015558	9,93%
15	05/06/2021	10/09/2021	97,44	2338,50	89,63%	180,42	4330	95,45%	8,373322821	1,128508398	0,26%
16	14/09/2019	15/01/2020	123,46	2963,00	95,73%						

Tabla C15

Cálculo de parámetros para el TAB N9 +N9.2 Arranque directo Unidad bombeo 7 (Autor)

No de Datos	Inicio avería	Fin de avería	TTR (días)	TTR (horas)	Mantenibilidad M(t)	TBF (días)	TBF (horas)	No confiabilidad F(t)	X = ln (t)	Y = Ln(Ln(1/(1-F(t))))	Confiabilidad R(t)
1	16/11/2019	16/11/2019	0,31	7,50	4,55%	9,86	236,75	4,86%	5,467004732	-2,999090431	94,66%
2	16/04/2020	17/04/2020	0,97	23,17	11,04%	15,48	371,50	11,81%	5,917548864	-2,074444344	90,21%
3	08/06/2019	09/06/2019	1,13	27,00	17,53%	25,06	601,33	18,75%	6,399149412	-1,571952527	81,72%
4	18/12/2020	20/12/2020	2,29	55,00	24,03%	30,52	732,50	25,69%	6,596463341	-1,214075448	76,65%
5	02/04/2019	07/04/2019	5,07	121,58	30,52%	42,55	1021,17	32,64%	6,928701043	-0,928610507	65,50%
6	28/07/2021	02/08/2021	5,12	122,83	37,01%	49,84	1196,08	39,58%	7,086807609	-0,685367162	59,00%
7	04/09/2020	10/09/2020	6,24	149,83	43,51%	61,94	1486,67	46,53%	7,304291756	-0,468392324	48,92%
8	21/02/2019	23/03/2019	30,13	723,00	50,00%	75,06	1801,50	53,47%	7,49637493	-0,267721706	39,25%
9	19/07/2020	19/08/2020	31,31	751,33	56,49%	93,01	2232,33	60,42%	7,710802655	-0,076058454	28,31%
10	19/02/2020	22/03/2020	32,40	777,67	62,99%	94,26	2262,17	67,36%	7,724078335	0,113030157	27,65%
11	01/02/2021	06/03/2021	33,42	802,17	69,48%	96,81	2323,50	74,31%	7,750829949	0,306672154	26,33%
12	08/03/2022	11/04/2022	34,34	824,08	75,97%	98,75	2370,00	81,25%	7,770645234	0,515201894	25,36%
13	16/10/2021	20/11/2021	35,09	842,17	82,47%	107,73	2585,42	88,19%	7,85764196	0,75921576	21,24%
14	06/04/2021	08/06/2021	63,45	1522,75	88,96%	160,06	3841,33	95,14%	8,253574808	1,106548431	6,76%
15	14/04/2018	16/11/2018	216,22	5189,17	95,45%						

Tabla C16

Cálculo de parámetros para el TAB N9 +N9.3 Arranque directo Unidad bombeo 8 (Autor)

No de Datos	Inicio avería	Fin de avería	TTR (días)	TTR (horas)	Mantenibilidad M(t)	TBF (días)	TBF (horas)	No confiabilidad F(t)	X = ln (t)	Y = Ln(Ln(1/(1-F(t))))	Confiabilidad R(t)
1	04/07/2021	04/07/2021	0,35	8,33	4,86%	27,74	665,67	5,22%	6,500789045	-2,925223234	94,39%
2	11/09/2020	12/09/2020	0,93	22,33	11,81%	41,75	1001,92	12,69%	6,909670111	-1,99756029	84,06%
3	24/04/2021	25/04/2021	0,97	23,17	18,75%	48,88	1173,17	20,15%	7,067461924	-1,491606142	76,67%
4	18/02/2020	20/02/2020	2,34	56,25	25,69%	52,55	1261,25	27,61%	7,139858572	-1,129704207	72,41%
5	13/04/2020	15/04/2020	2,50	60,08	32,64%	63,74	1529,83	35,07%	7,332914076	-0,839487848	58,10%
6	16/02/2021	19/02/2021	3,10	74,33	39,58%	69,98	1679,58	42,54%	7,426301026	-0,59052854	49,74%
7	30/06/2020	03/07/2020	3,19	76,50	46,53%	70,05	1681,17	50,00%	7,427243276	-0,366512921	49,65%
8	22/03/2022	26/03/2022	4,41	105,75	53,47%	72,85	1748,50	57,46%	7,466513557	-0,156901171	45,92%
9	05/07/2022	10/07/2022	4,56	109,42	60,42%	73,76	1770,33	64,93%	7,478923132	0,046589839	44,72%
10	01/01/2022	07/01/2022	6,17	148,08	67,36%	74,91	1797,75	72,39%	7,494291162	0,252253233	43,22%
11	28/11/2021	04/12/2021	6,23	149,42	74,31%	75,55	1813,17	79,85%	7,502830135	0,47125468	42,39%
12	26/11/2020	05/12/2020	9,42	226,17	81,25%	101,09	2426,08	87,31%	7,794033439	0,724949317	15,24%
13	13/06/2018	17/08/2018	65,04	1561,00	88,19%	146,42	3514,00	94,78%	8,164510269	1,082459075	0,61%
14	05/10/2018	07/01/2020	459,22	11021,17	95,14%						

Tabla C17

Cálculo de parámetros para el Arrancador suave TAB N12 +N12.1 Unidad bombeo 3 (Autor)

No de Datos	Inicio avería	Fin de avería	TTR (días)	TTR (horas)	Mantenibilidad M(t)	TBF (días)	TBF (horas)	No confiabilidad F(t)	X = ln (t)	Y = Ln(Ln(1/(1-F(t))))	Confiabilidad R(t)
1	01/05/2022	01/05/2022	0,16	3,83	4,86%	14,84	356	5,22%	5,875398786	-2,925223234	89,66%
2	20/07/2022	20/07/2022	0,28	6,67	11,81%	15,76	378	12,69%	5,935335016	-1,99756029	88,86%
3	12/12/2021	12/12/2021	0,29	7,00	18,75%	20,74	498	20,15%	6,210265349	-1,491606142	84,42%
4	25/06/2021	25/06/2021	0,34	8,08	25,69%	29,91	718	27,61%	6,576237416	-1,129704207	76,07%
5	17/06/2020	17/06/2020	0,38	9,00	32,64%	45,90	1102	35,07%	7,004428166	-0,839487848	61,92%
6	15/04/2022	16/04/2022	0,97	23,17	39,58%	53,73	1290	42,54%	7,162074448	-0,59052854	55,48%
7	18/03/2021	19/03/2021	1,65	39,67	46,53%	56,84	1364	50,00%	7,218299021	-0,366512921	53,03%
8	14/10/2021	16/10/2021	2,02	48,58	53,47%	69,47	1667	57,46%	7,418880858	-0,156901171	43,83%
9	04/03/2020	10/03/2020	6,11	146,67	60,42%	74,34	1784	64,93%	7,486706732	0,046589839	40,60%

No de Datos	Inicio avería	Fin de avería	TTR (días)	TTR (horas)	Mantenibilidad M(t)	TBF (días)	TBF (horas)	No confiabilidad F(t)	X = ln (t)	Y = Ln(Ln(1/(1-F(t))))	Confiabilidad R(t)
10	21/08/2018	31/08/2018	10,31	247,33	67,36%	79,92	1918	72,39%	7,559125148	0,252253233	37,11%
11	18/04/2021	02/05/2021	13,97	335,33	74,31%	110,80	2659	79,85%	7,885799407	0,47125468	21,86%
12	31/03/2020	02/05/2020	32,28	774,67	81,25%	123,87	2973	87,31%	7,997270761	0,724949317	17,21%
13	31/08/2020	07/01/2021	129,51	3108,33	88,19%	261,48	6275	94,78%	8,744408442	1,082459075	0,93%
14	20/05/2019	17/02/2020	273,35	6560,33	95,14%						

Tabla C18

Cálculo de parámetros para el Arrancador suave TAB N8 +N8.2 Unidad bombeo 6 (Autor)

No de Datos	Inicio avería	Fin de avería	TTR (días)	TTR (horas)	Mantenibilidad M(t)	TBF (días)	TBF (horas)	No confiabilidad F(t)	X = ln (t)	Y = Ln(Ln(1/(1-F(t))))	Confiabilidad R(t)
1	18/10/2021	18/10/2021	0,15	3,67	4,86%	1,24	29,83	5,22%	3,395626337	-2,925223234	91,36%
2	03/06/2020	03/06/2020	0,17	4,00	11,81%	1,77	42,50	12,69%	3,749504076	-1,99756029	89,11%
3	15/09/2021	15/09/2021	0,31	7,50	18,75%	3,72	89,33	20,15%	4,492374692	-1,491606142	82,50%
4	09/04/2020	09/04/2020	0,33	7,92	25,69%	6,18	148,33	27,61%	4,999461993	-1,129704207	76,12%
5	09/06/2020	09/06/2020	0,36	8,67	32,64%	13,72	329,17	35,07%	5,796564208	-0,839487848	62,34%
6	01/11/2021	01/11/2021	0,37	8,83	39,58%	14,15	339,67	42,54%	5,827964745	-0,59052854	61,70%
7	05/06/2020	05/06/2020	0,38	9,17	46,53%	25,71	617,00	50,00%	6,424869024	-0,366512921	48,25%
8	27/02/2020	28/02/2020	1,13	27,00	53,47%	27,81	667,33	57,46%	6,503289671	-0,156901171	46,34%
9	29/01/2020	01/02/2020	3,46	83,00	60,42%	40,81	979,33	64,93%	6,886872068	0,046589839	36,71%
10	16/09/2021	20/09/2021	3,76	90,17	67,36%	54,74	1313,75	72,39%	7,180640922	0,252253233	29,32%
11	25/04/2022	01/05/2022	6,43	154,33	74,31%	71,13	1707,17	79,85%	7,442590355	0,47125468	23,00%
12	15/11/2021	13/02/2022	89,31	2143,50	81,25%	102,51	2460,17	87,31%	7,807984377	0,724949317	15,10%
13	17/06/2019	18/10/2019	123,28	2958,83	88,19%	319,06	7657,50	94,78%	8,943440839	1,082459075	1,60%
14	15/06/2020	31/10/2020	137,31	3295,50	95,14%						

Tabla C19

Cálculo de parámetros de Mantenibilidad M(t) para la Bomba sumergible U. bombeo 2 (Autor)

No de Datos	Inicio avería	Fin de avería	TTR (días)	TTR (horas)	Mantenibilidad M(t)	TBF (días)	TBF (horas)	No confiabilidad F(t)	X = ln (t)	Y = Ln(Ln(1/(1-F(t))))	Confiabilidad R(t)
1	10/01/2020	10/01/2020	0,29	7,00	5,22%	4,99	119,67	5,65%	4,7847101	-2,845458285	93,65%
2	09/11/2019	09/11/2019	0,36	8,67	12,69%	13,65	327,50	13,71%	5,791488055	-1,914247621	83,29%

No de Datos	Inicio avería	Fin de avería	TTR (días)	TTR (horas)	Mantenibilidad M(t)	TBF (días)	TBF (horas)	No confiabilidad F(t)	X = ln (t)	Y = Ln(Ln(1/(1-F(t))))	Confiabilidad R(t)
3	26/10/2020	26/10/2020	0,40	9,50	20,15%	16,21	389,00	21,77%	5,963579344	-1,404170849	80,42%
4	24/03/2020	25/08/2020	0,71	17,00	27,61%	18,88	453,08	29,84%	6,116076067	-1,037403987	77,53%
5	05/10/2021	06/10/2021	0,87	20,83	35,07%	30,06	721,50	37,90%	6,581332378	-0,741337623	66,45%
6	14/11/2020	15/11/2020	0,98	23,50	42,54%	56,56	1357,50	45,97%	7,213400052	-0,485175833	45,94%
7	16/02/2021	17/02/2021	1,15	27,58	50,00%	61,65	1479,67	54,03%	7,299572116	-0,252018579	42,78%
8	07/03/2020	08/03/2020	1,36	32,67	57,46%	61,78	1482,83	62,10%	7,301709951	-0,03032111	42,70%
9	29/09/2021	30/09/2021	1,40	33,67	64,93%	92,93	2230,33	70,16%	7,70990633	0,190094315	27,54%
10	10/09/2021	15/09/2021	5,20	124,83	72,39%	125,56	3013,33	78,23%	8,010802165	0,421630212	17,35%
11	19/03/2021	25/03/2021	6,08	145,83	79,85%	151,73	3641,50	86,29%	8,200150964	0,686660297	11,95%
12	09/02/2022	10/07/2022	151,53	3636,83	87,31%	168,72	4049,33	94,35%	8,306307537	1,055834013	9,38%
13	10/09/2018	10/06/2019	273,31	6559,33	94,78%						

Tabla C20

Cálculo de parámetros para el Tablero local bomba 5 TB5 (Autor)

No de Datos	Inicio avería	Fin de avería	TTR (días)	TTR (horas)	Mantenibilidad M(t)	TBF (días)	TBF (horas)	No confiabilidad F(t)	X = ln (t)	Y = Ln(Ln(1/(1-F(t))))	Confiabilidad R(t)
1	23/03/2021	23/03/2021	0,12	2,92	6,73%	11,12	266,83	7,45%	5,586624244	-2,558940818	93,00%
2	02/11/2021	02/11/2021	0,13	3,17	16,35%	23,33	559,83	18,09%	6,32763912	-1,611994375	83,01%
3	19/10/2020	19/10/2020	0,27	6,50	25,96%	42,05	1009,25	28,72%	6,91696276	-1,082929422	67,44%
4	06/09/2020	07/09/2020	0,32	7,67	35,58%	53,86	1292,58	39,36%	7,164398079	-0,69266027	58,29%
5	12/12/2020	12/12/2020	0,33	8,00	45,19%	61,92	1486,17	50,00%	7,303955377	-0,366512921	52,49%
6	17/06/2021	17/06/2021	0,45	10,92	54,81%	100,48	2411,58	60,64%	7,788038796	-0,070018179	30,34%
7	05/06/2019	05/06/2019	0,65	15,50	64,42%	122,40	2937,50	71,28%	7,985314158	0,221107814	21,59%
8	24/05/2021	24/05/2021	0,69	16,58	74,04%	123,68	2968,33	81,91%	7,995755907	0,536540994	21,15%
9	13/11/2021	30/03/2022	137,23	3293,42	83,65%	137,70	3304,75	92,55%	8,103116106	0,954505028	16,85%
10	07/10/2019	07/05/2020	213,13	5115,17	93,27%						

Tabla C21

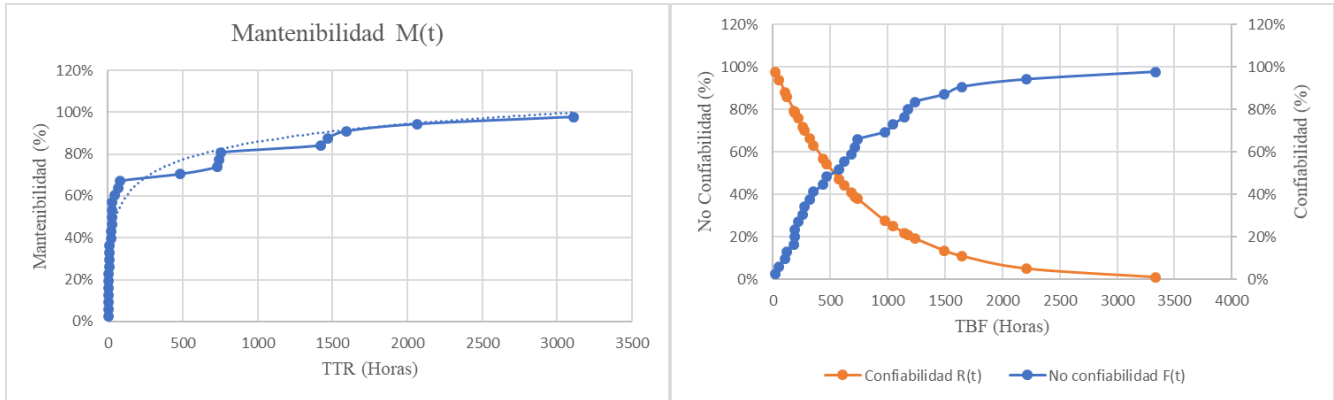
Cálculo de parámetros para el TAB N8 +N8.1 Arrancador suave unidad bombeo 5 (Autor)

No de Datos	Inicio avería	Fin de avería	TTR (días)	TTR (horas)	Mantenibilidad M(t)	TBF (días)	TBF (horas)	No confiabilidad F(t)	X = ln (t)	Y = Ln(Ln(1/(1-F(t))))	Confiabilidad R(t)
1	16/12/2021	16/12/2021	0,45	10,92	7,45%	15,66	375,92	8,33%	5,92936749	-2,441716399	86,38%
2	18/03/2021	19/03/2021	1,03	24,83	18,09%	21,77	522,42	20,24%	6,25846548	-1,486670964	81,77%
3	20/06/2021	21/06/2021	1,19	28,67	28,72%	38,03	912,83	32,14%	6,81655332	-0,947354424	70,82%
4	30/07/2021	01/08/2021	2,27	54,50	39,36%	38,63	927,17	44,05%	6,83213334	-0,543574052	70,45%
5	13/06/2019	18/06/2019	5,09	122,08	50,00%	92,74	2225,83	55,95%	7,70788666	-0,198574256	44,20%
6	26/04/2019	28/05/2019	32,22	773,17	60,64%	136,71	3281,00	67,86%	8,09590353	0,12661497	30,49%
7	07/01/2022	09/04/2022	92,21	2213,00	71,28%	197,99	4751,67	79,76%	8,46625071	0,468504666	18,29%
8	14/05/2020	01/09/2020	110,37	2648,83	81,91%	330,59	7934,17	91,67%	8,97893361	0,910235093	6,15%
9	18/08/2018	19/03/2019	213,46	5123,00	92,55%						

Apéndice D Curvas de Mantenibilidad $M(t)$, Confiabilidad $R(t)$ y No Confiabilidad $F(t)$ a equipos de criticidad alta

Figura D1

Curvas de a) Mantenibilidad $M(t)$ y b) Confiabilidad $R(t)$ y No Confiabilidad $F(t)$, para el LR07402 Limpia Rejillas Automático Aguas Lluvias (Autor)

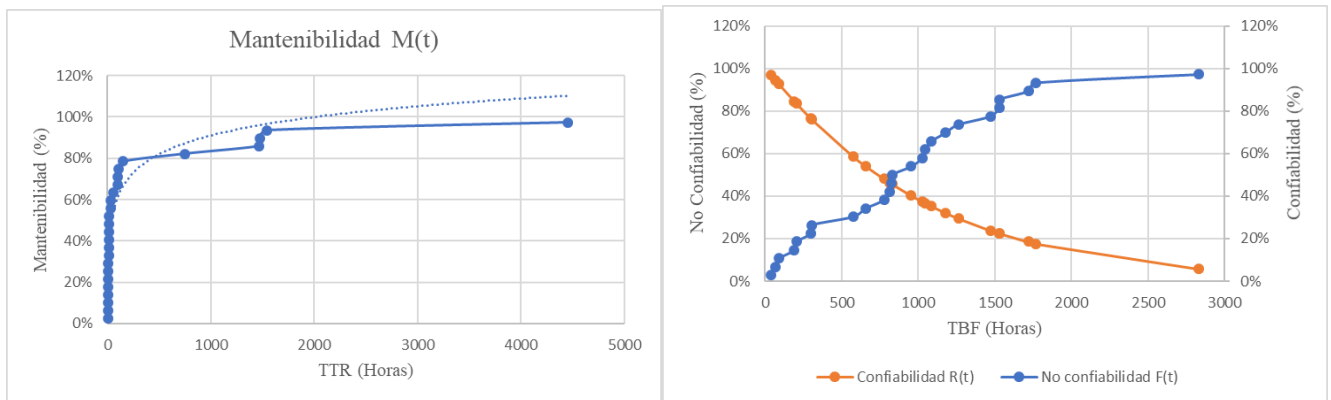


a)

b)

Figura D2

Curva de a) Mantenibilidad $M(t)$ y b) Confiabilidad $R(t)$ y No Confiabilidad $F(t)$, para la Bomba sumergible U. bombeo 4 (Autor)

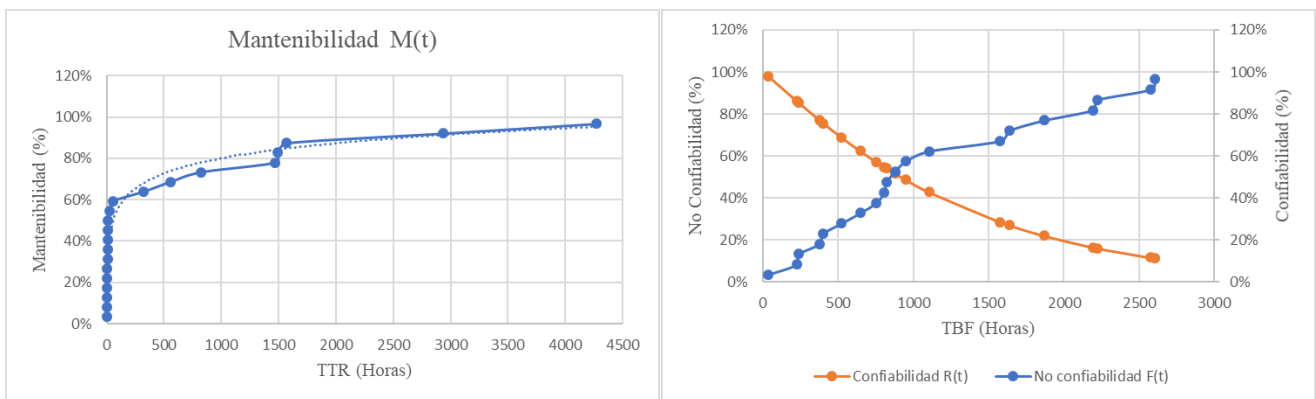


a)

b)

Figura D3

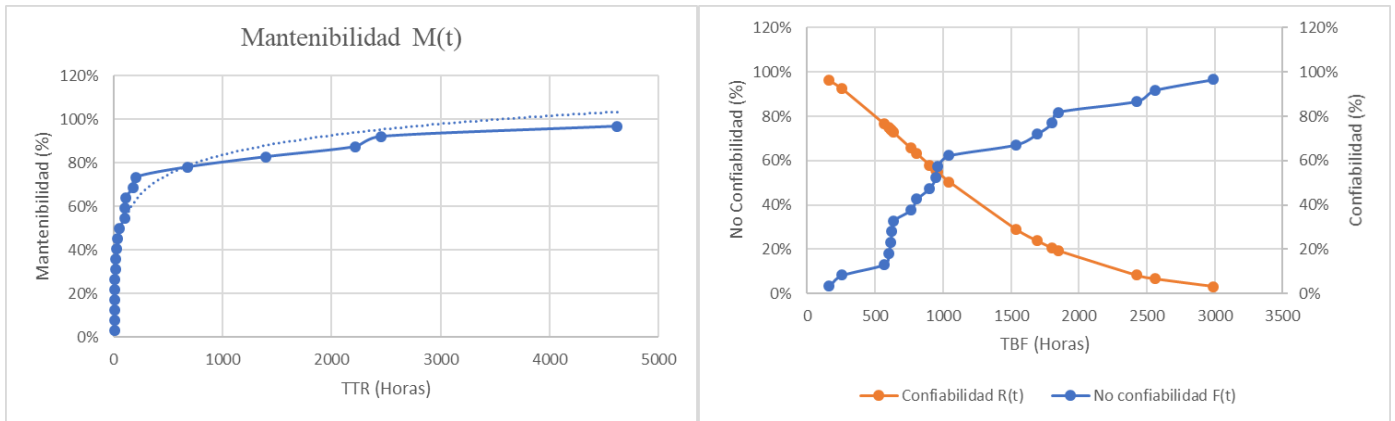
Curva de a) Mantenibilidad $M(t)$ y b) Confiabilidad $R(t)$ y No Confiabilidad $F(t)$, para la Planta eléctrica CUMMINS (Autor)



a)

b)

Curva de a) Mantenibilidad $M(t)$ y b) Confiabilidad $R(t)$ y No Confiabilidad $F(t)$, para la Bomba sumergible U. bombeo 3 (Autor)

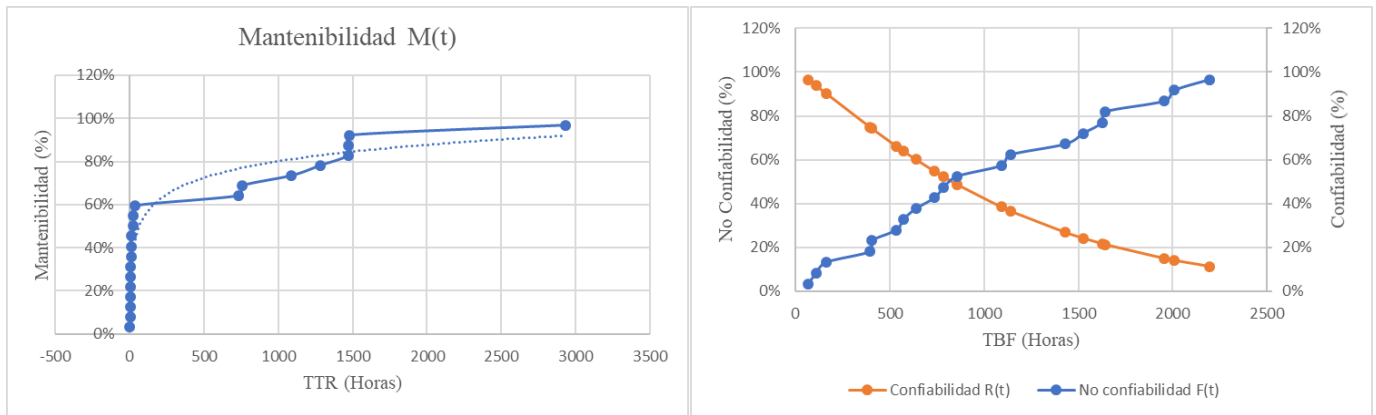


a)

b)

Figura D5

Curva de a) Mantenibilidad $M(t)$ y b) Confiabilidad $R(t)$ y No Confiabilidad $F(t)$, para el LR07401 Limpia Rejillas Automático Aguas Residuales (Autor)

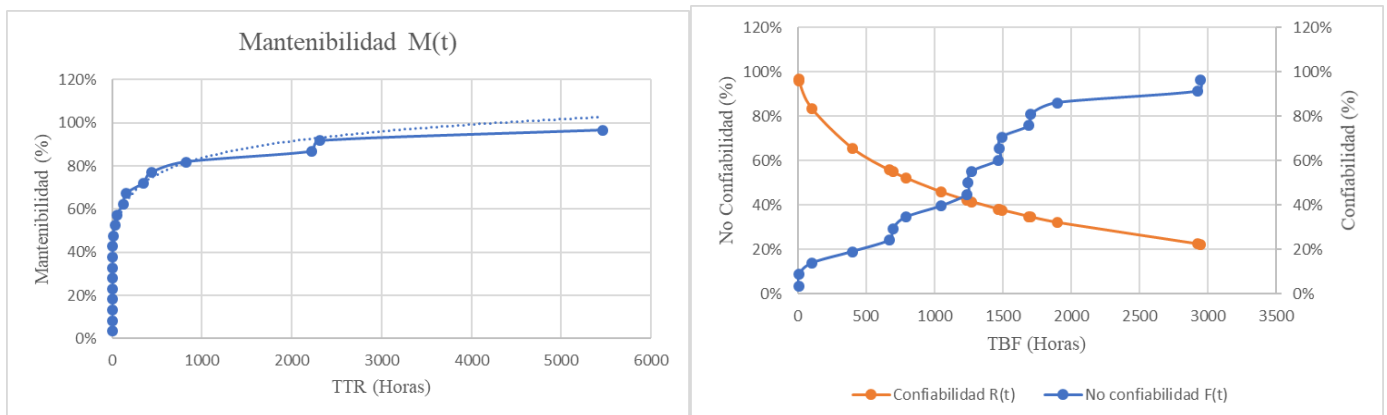


a)

b)

Figura D6

Curva de a) Mantenibilidad $M(t)$ y b) Confiabilidad $R(t)$ y No Confiabilidad $F(t)$, para el PLC 1 SCHNEIDER M580 TAB XI +XI (Autor)

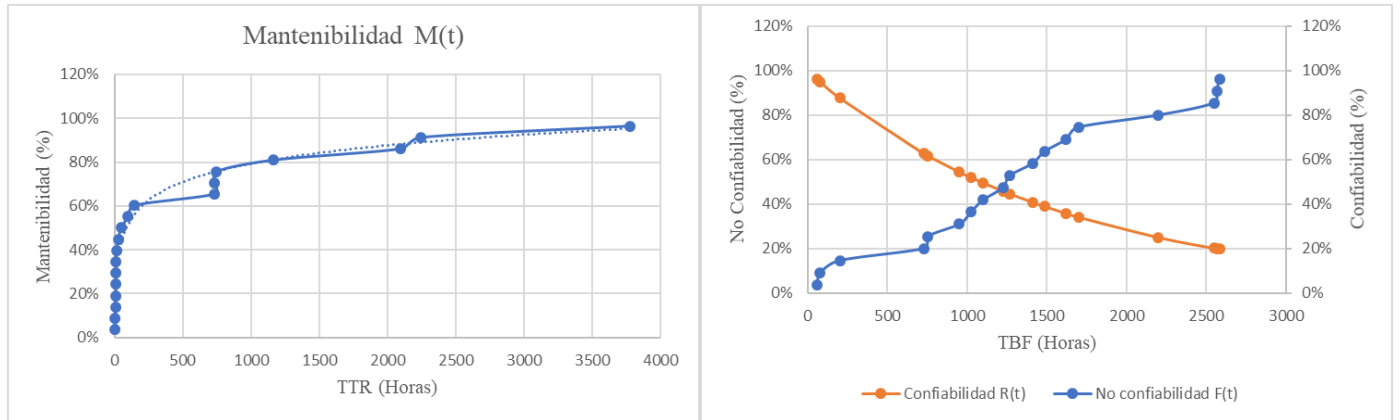


a)

b)

Figura D7

Curva de a) Mantenibilidad $M(t)$ y b) Confiabilidad $R(t)$ y No Confiabilidad $F(t)$, para la Bomba sumergible U. bombeo 5 (Autor)

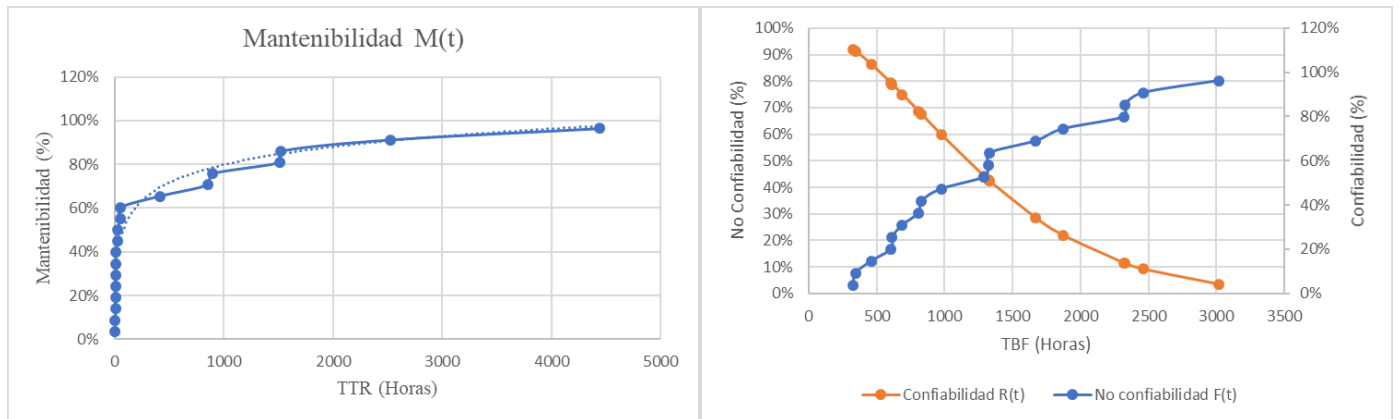


a)

b)

Figura D8

Curva de a) Mantenibilidad $M(t)$ y b) Confiabilidad $R(t)$ y No Confiabilidad $F(t)$, para la Bomba sumergible U. bombeo 6 (Autor)

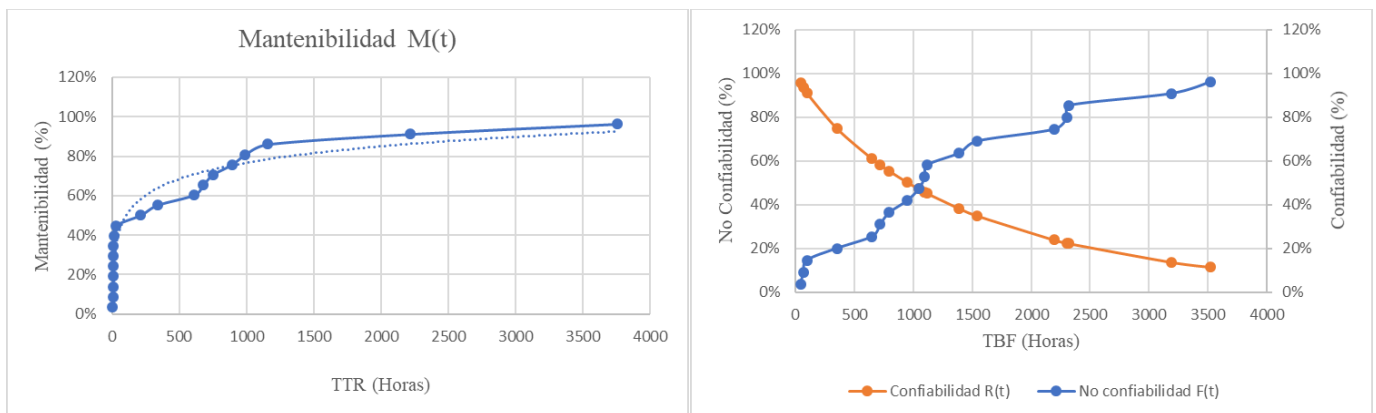


a)

b)

Figura D9

Curva de a) Mantenibilidad $M(t)$ y b) Confiabilidad $R(t)$ y No Confiabilidad $F(t)$, para el TAB N11 +N11.1 DISTR 208-120V (Autor)

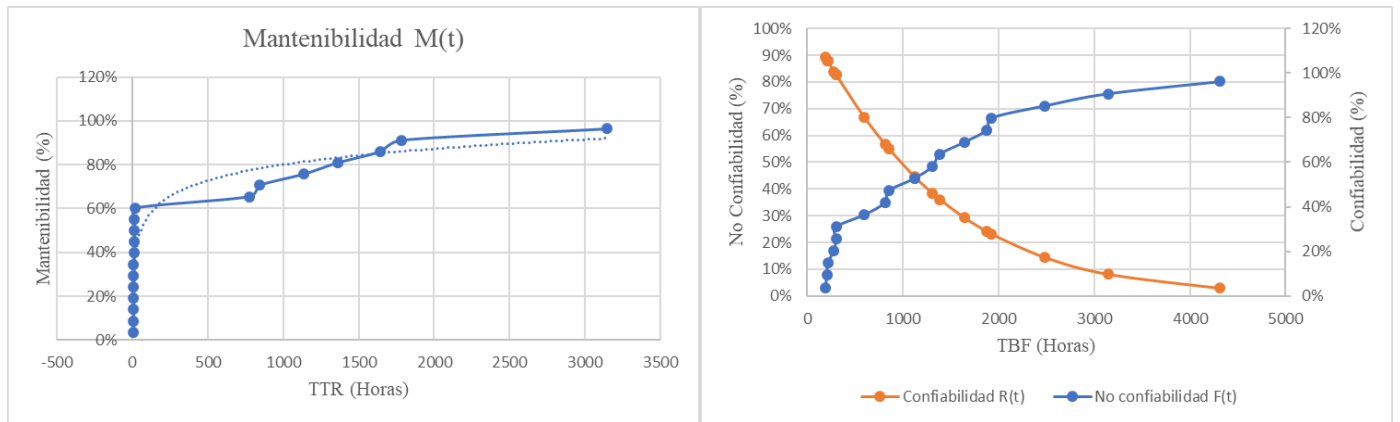


a)

b)

Figura D10

Curva de a) *Mantenibilidad M(t)* y b) *Confiabilidad R(t)* y *No Confiabilidad F(t)*, para la Bomba de achique (Autor)

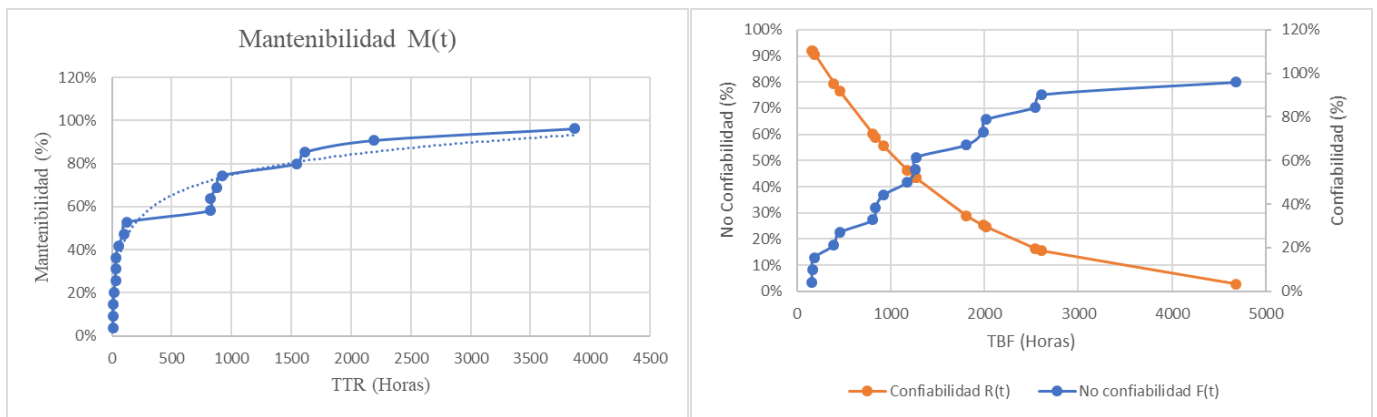


a)

b)

Figura D11

Curva de a) *Mantenibilidad M(t)* y b) *Confiabilidad R(t)* y *No Confiabilidad F(t)*, para la Bomba sumergible U. bombeo 1 (Autor)

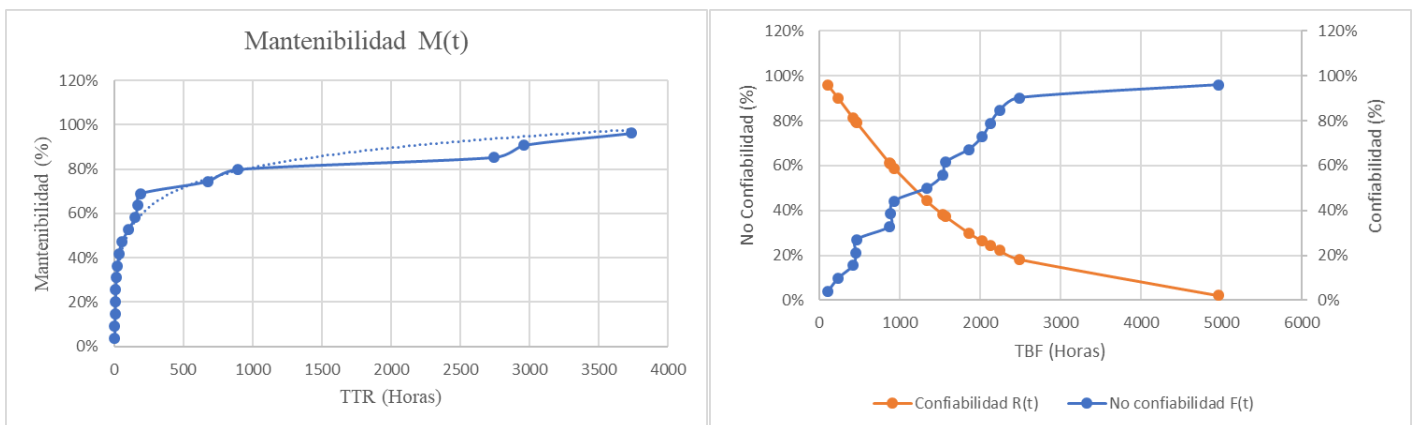


a)

b)

Figura D12

Curva de a) *Mantenibilidad M(t)* y b) *Confiabilidad R(t)* y *No Confiabilidad F(t)*, para la Bomba sumergible U. bombeo 7 (Autor)

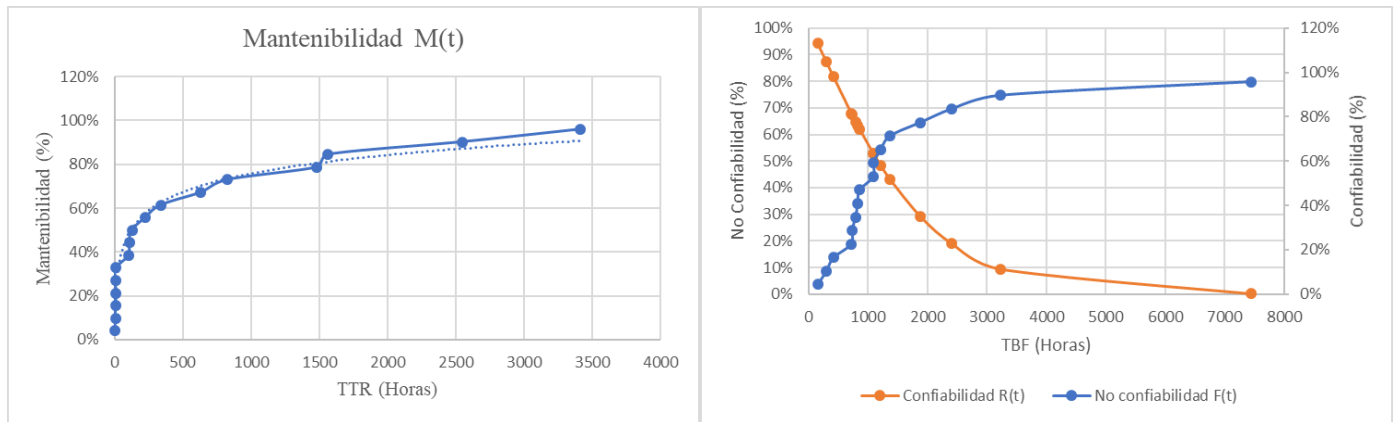


a)

b)

Figura D13

Curva de a) Mantenibilidad $M(t)$ y b) Confiabilidad $R(t)$ y No Confiabilidad $F(t)$, para la Bomba sumergible U. bombeo 8 (Autor)

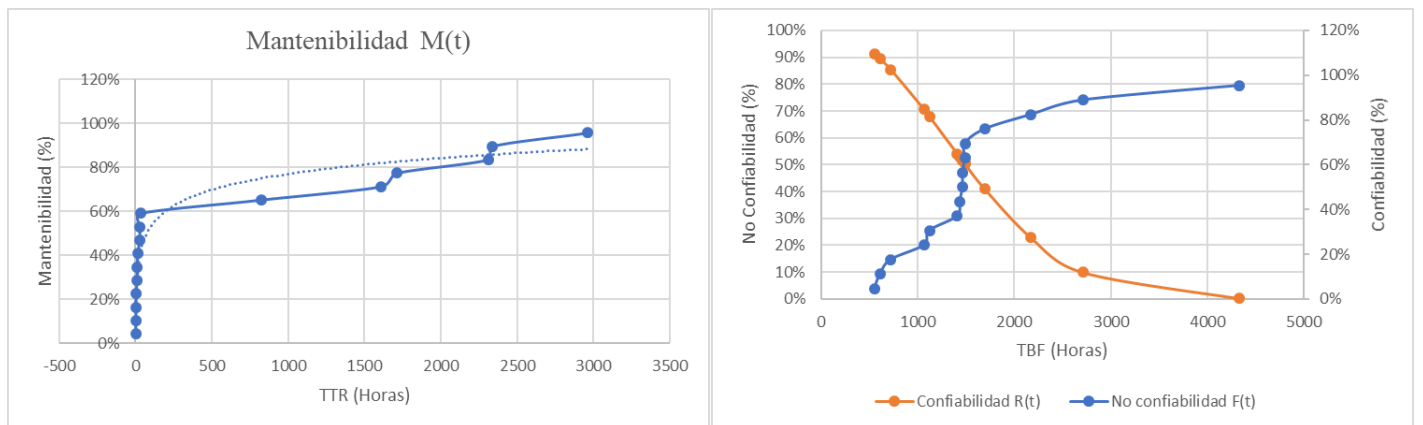


a)

b)

Figura D14

Curva de a) Mantenibilidad $M(t)$ y b) Confiabilidad $R(t)$ y No Confiabilidad $F(t)$, para el PLC SCHNEIDER M340 TAB N4 +N4.1 (Autor)

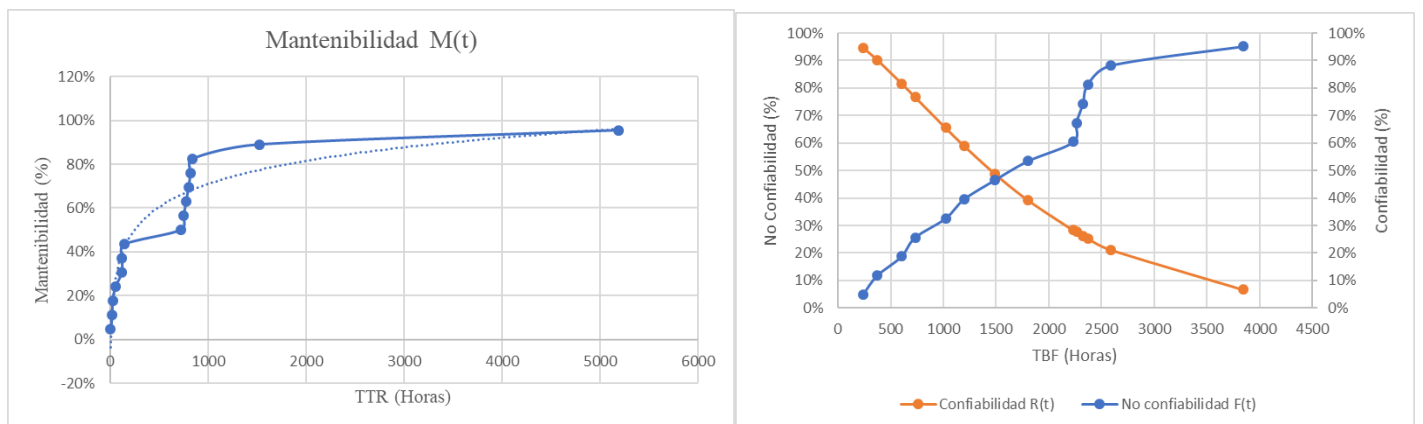


a)

b)

Figura D15

Curva de a) Mantenibilidad $M(t)$ y b) Confiabilidad $R(t)$ y No Confiabilidad $F(t)$, para el TAB N9 +N9.2 Arranque directo Unidad bombeo 7 (Autor)

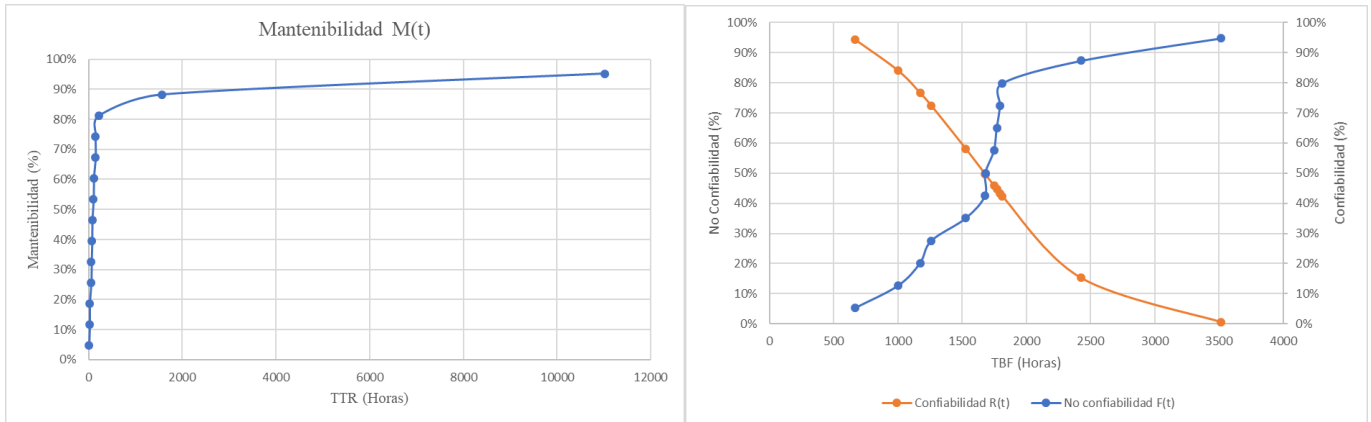


a)

b)

Figura D16

Curva de a) Mantenibilidad $M(t)$ y b) Confiabilidad $R(t)$ y No Confiabilidad $F(t)$, para el TAB N9 +N9.3 Arranque directo Unidad bombeo 8 (Autor)

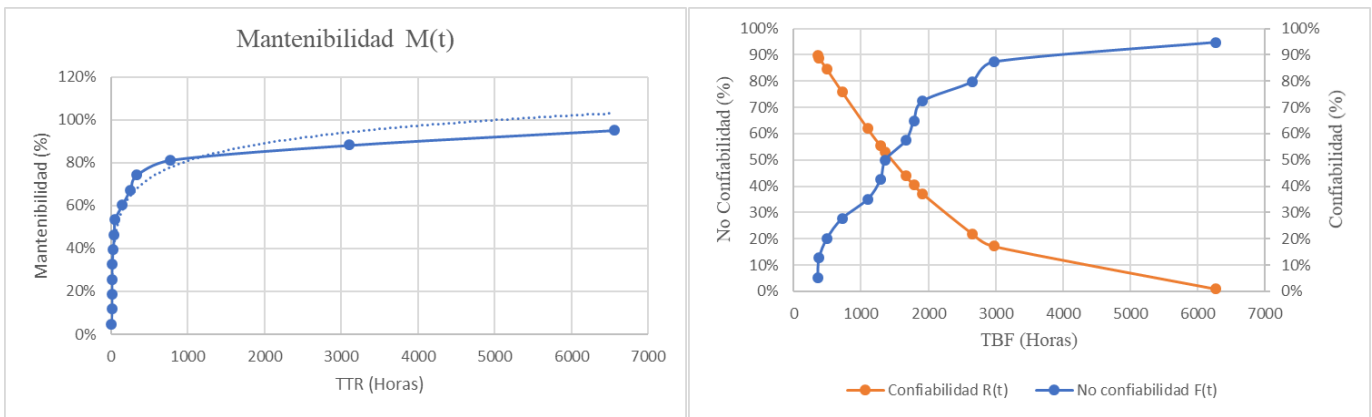


a)

b)

Figura D17

Curva de a) Mantenibilidad $M(t)$ y b) Confiabilidad $R(t)$ y No Confiabilidad $F(t)$, para el Arrancador suave TAB N12 +N12.1 Unidad bombeo 3 (Autor)

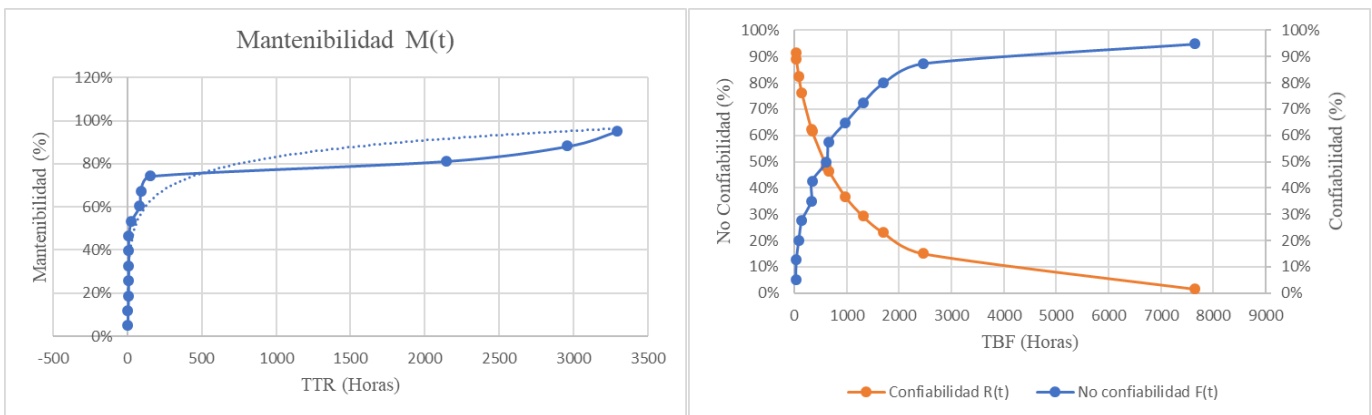


a)

b)

Figura D18

Curva de a) Mantenibilidad $M(t)$ y b) Confiabilidad $R(t)$ y No Confiabilidad $F(t)$, para el Arrancador suave TAB N8 +N8.2 Unidad bombeo 6 (Autor)



a)

b)

Figura D19

Curva de a) Mantenibilidad $M(t)$ y b) Confiabilidad $R(t)$ y No Confiabilidad $F(t)$, para la Bomba sumergible U. bombeo 2 (Autor)

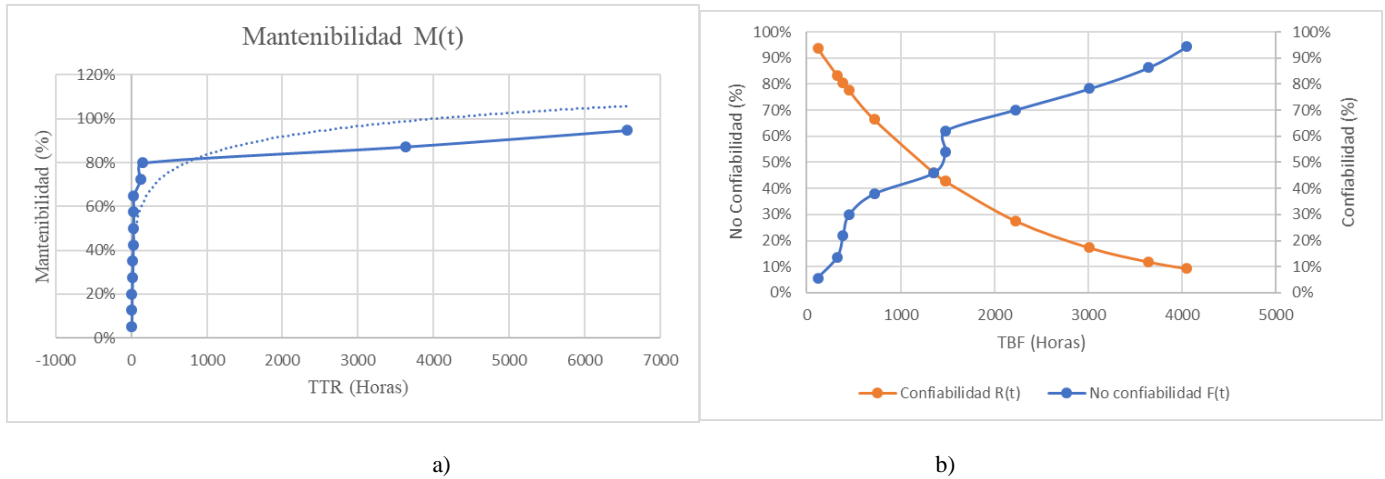


Figura D20

Curva de a) Mantenibilidad $M(t)$ y b) Confiabilidad $R(t)$ y No Confiabilidad $F(t)$, para el Tablero local bomba 5 TB5 (Autor)

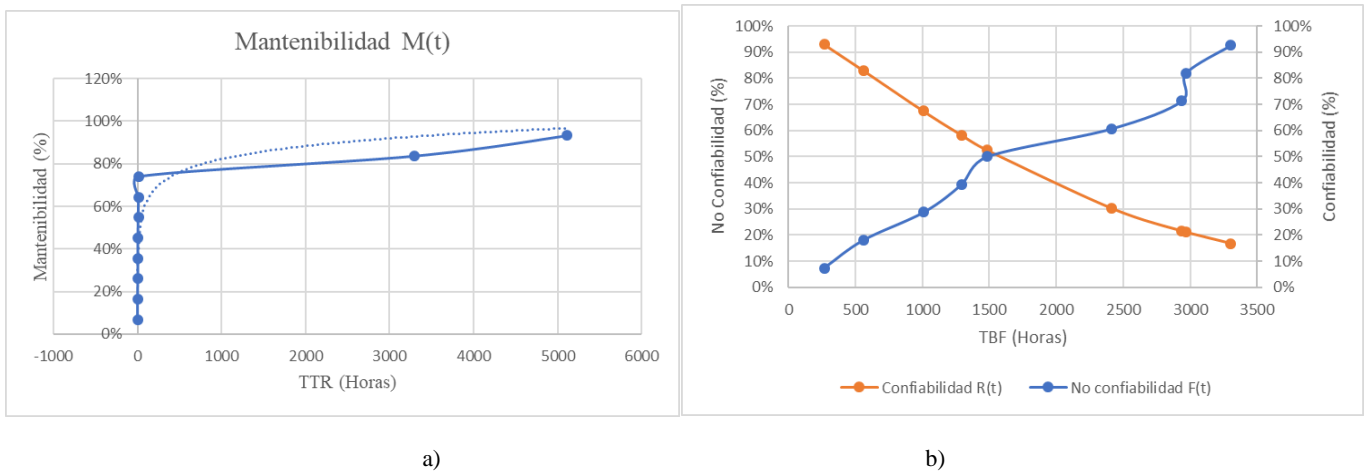
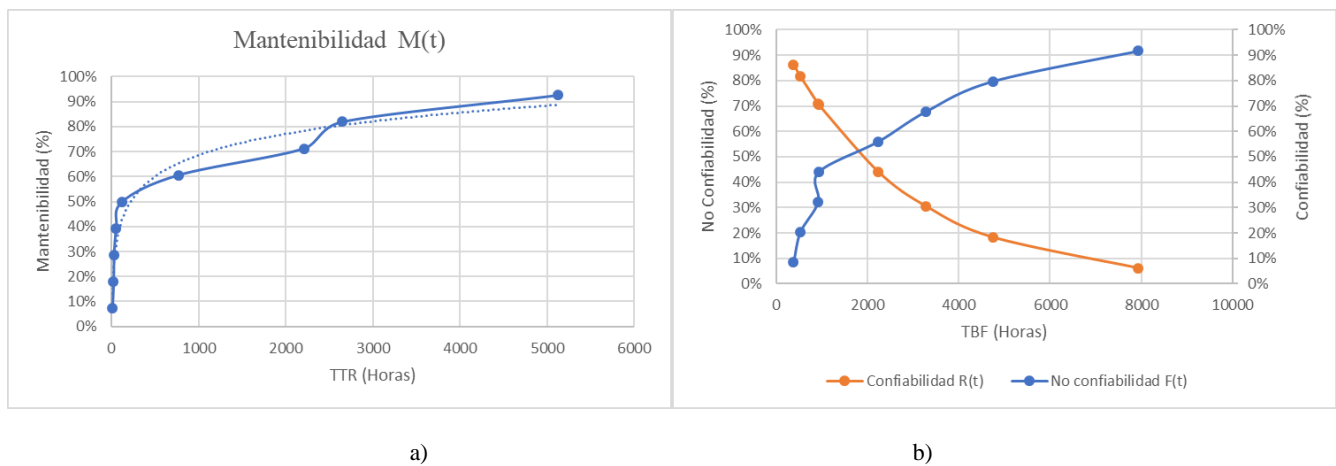


Figura D21

Curva de a) Mantenibilidad $M(t)$ y b) Confiabilidad $R(t)$ y No Confiabilidad $F(t)$, para el TAB N8 +N8.1 Arrancador suave unidad bombeo 5 (Autor)



Apéndice E Estrategias de mantenimiento para los equipos electromecánicos con criticidad alta

Tabla E1

Tabla de estrategias de mantenimiento cuando $\beta < 1$ (Autor)

Equipos	Beta	MTTO Correctivo	Técnico especialista	MTTO Modificativas	Técnico especialista	TTR (Horas)
PLC 1 SCHNEIDER M580 TAB X1 +X1	0,64			Cambio de modulo E/S	Técnico electrónico	5
Bomba sumergible U. bombeo 5	0,98	Retiro de material extraño	Técnico eléctrico			7
TAB N11 +N11.1 DISTR 208-120V	0,87	Rebobinado de transformador	Contrato externo	Cambio de Breaker termomagnético	Técnico electrónico	10
Arrancador suave TAB N8 +N8.2 Unidad bombeo 6	0,69			Cambio tiristor	Técnico eléctrico	8
TAB N8 +N8.1 Arrancador suave unidad bombeo 5	0,97			Cambio de contactor	Técnico eléctrico	29
				Cambio de bobina	Técnico eléctrico	

Tabla E2

Tabla de estrategias de mantenimiento cuando $\beta > 1$ (Autor)

Equipos	Beta	Tareas de Mantenimiento				Horas-Hombre PV (Horas)	Frecuencia (Días)
		CBM	Técnico especialista	MTTO Preventivo	Técnico especialista		
LR07402 Limpia Rejillas Automático Aguas Lluvias	1,02	Inspecciones visuales	Técnico mecánico	Ajuste de conexiones en borneras	Técnico eléctrico	7	10
		Análisis de calidad de energía	Ingeniero eléctrico CBM	Medición de corriente y voltaje con multímetro	Técnico eléctrico		
		Análisis de aislamiento		Pruebas funcionales	Técnico mecánico		
		Análisis de termografía		Limpieza y ajuste de conexiones	Técnico eléctrico		
Bomba sumergible U. bombeo 4	1,05	Inspecciones visuales	Técnico eléctrico	Ajuste de conexiones en borneras	Técnico eléctrico	9	15
		Análisis de calidad de energía	Ingeniero eléctrico y mecánico CBM	Medición de corriente y voltaje con multímetro	Técnico eléctrico		
		Análisis de aislamiento		Pruebas funcionales	Técnico eléctrico		
		Análisis de termografía		Purga en bomba sumergible	Técnico eléctrico		
		Análisis de vibraciones					
Planta eléctrica CUMMINS	1,1	Inspecciones visuales	Técnico mecánico	Llenado de combustible en tanque	Técnico mecánico	6	20
		Análisis de aislamiento	Ingeniero eléctrico y mecánico CBM	Pruebas funcionales	Técnico mecánico		
		Análisis de termografía		Limpieza	Técnico mecánico		
		Análisis de vibraciones		Pruebas funcionales del mecanismo	Técnico eléctrico		
				Limpieza y ajuste de conexiones	Técnico eléctrico		

Equipos	Beta	Tareas de Mantenimiento				Horas-Hombre PV (Horas)	Frecuencia (Días)
		CBM	Técnico especialista	MTTO Preventivo	Técnico especialista		
Bomba sumergible U. bombeo 3	1,54	Inspecciones visuales	Técnico eléctrico	Ajuste de conexiones en borneras	Técnico eléctrico	7	25
		Análisis de calidad de energía	Ingeniero eléctrico y mecánico CBM	Medición de corriente y voltaje con multímetro	Técnico eléctrico		
		Análisis de aislamiento		Pruebas funcionales	Técnico eléctrico		
		Análisis de termografía		Purga en bomba sumergible	Técnico eléctrico		
		Análisis de vibraciones					
LR07401 Limpia Rejillas Automático Aguas Residuales	1,18	Inspecciones visuales	Técnico mecánico	Ajuste de conexiones en borneras	Técnico eléctrico	9	20
		Análisis de calidad de energía	Ingeniero eléctrico CBM	Medición de corriente y voltaje con multímetro	Técnico eléctrico		
		Análisis de aislamiento		Pruebas funcionales	Técnico mecánico		
		Análisis de termografía		Limpieza y ajuste de conexiones	Técnico eléctrico		
Bomba sumergible U. bombeo 6	1,66	Inspecciones visuales	Técnico eléctrico	Ajuste de conexiones en borneras	Técnico eléctrico	10	30
		Análisis de calidad de energía	Ingeniero eléctrico y mecánico CBM	Medición de corriente y voltaje con multímetro	Técnico eléctrico		
		Análisis de aislamiento		Pruebas funcionales	Técnico eléctrico		
		Análisis de termografía		Purga en bomba sumergible	Técnico eléctrico		
		Análisis de vibraciones					
Bomba de achique	1,1	Inspecciones visuales	Técnico eléctrico	Ajuste de conexiones en borneras	Técnico eléctrico	8	15
		Análisis de calidad de energía	Ingeniero eléctrico y mecánico CBM	Medición de corriente y voltaje con multímetro	Técnico eléctrico		
		Análisis de aislamiento		Pruebas funcionales	Técnico eléctrico		
		Análisis de termografía		Purga en bomba sumergible	Técnico eléctrico		
		Análisis de vibraciones					
Bomba sumergible U. bombeo 1	1,11	Inspecciones visuales	Técnico eléctrico	Ajuste de conexiones en borneras	Técnico eléctrico	17	20
		Análisis de calidad de energía	Ingeniero eléctrico y mecánico CBM	Medición de corriente y voltaje con multímetro	Técnico eléctrico		
		Análisis de aislamiento		Pruebas funcionales	Técnico eléctrico		
		Análisis de termografía		Purga en bomba sumergible	Técnico eléctrico		
		Análisis de vibraciones					
Bomba sumergible U. bombeo 7	1,18	Inspecciones visuales	Técnico eléctrico	Ajuste de conexiones en borneras	Técnico eléctrico	14	20
		Análisis de calidad de energía	Ingeniero eléctrico y mecánico CBM	Medición de corriente y voltaje con multímetro	Técnico eléctrico		
		Análisis de aislamiento		Pruebas funcionales	Técnico eléctrico		
		Análisis de termografía		Purga en bomba sumergible	Técnico eléctrico		
		Análisis de vibraciones					

Equipos	Beta	Tareas de Mantenimiento				Horas-Hombre PV (Horas)	Frecuencia (Días)
		CBM	Técnico especialista	MTTO Preventivo	Técnico especialista		
Bomba sumergible U. bombeo 8	1,21	Inspecciones visuales	Técnico eléctrico	Ajuste de conexiones en borneras	Técnico eléctrico	8	20
		Análisis de calidad de energía	Ingeniero eléctrico y mecánico CBM	Medición de corriente y voltaje con multímetro	Técnico eléctrico		
		Análisis de aislamiento		Pruebas funcionales	Técnico eléctrico		
		Análisis de termografía		Purga en bomba sumergible	Técnico eléctrico		
		Análisis de vibraciones					
PLC SCHNEIDER M340 TAB N4 +N4.1	1,02			Limpieza y ajuste de conexiones (conexión a puesta tierra)	Técnico eléctrico	6	45
				Limpieza y ajuste de conexiones	Técnico eléctrico		
				Pruebas funcionales	Técnico eléctrico		
TAB N9 +N9.2 Arranque directo Unidad bombeo 7	1,4	Análisis de termografía	Ingeniero eléctrico CBM	Pruebas funcionales del mecanismo	Técnico eléctrico	55	35
				Limpieza y ajuste de conexiones	Técnico eléctrico		
				Limpieza y ajuste de conexiones (conexión a puesta tierra)	Técnico eléctrico		
				Pruebas funcionales	Técnico eléctrico		
Arrancador suave TAB N12 +N12.1 Unidad bombeo 3	1,31	Análisis de termografía	Ingeniero eléctrico CBM	Limpieza y ajuste de conexiones	Técnico eléctrico	9	30
				Limpieza y ajuste de conexiones (conexión a puesta tierra)	Técnico eléctrico		
				Pruebas funcionales	Técnico eléctrico		
Bomba sumergible U. bombeo 2	1,02	Inspecciones visuales	Técnico eléctrico	Ajuste de conexiones en borneras	Técnico eléctrico	17	20
		Análisis de calidad de energía	Ingeniero eléctrico y mecánico CBM	Medición de corriente y voltaje con multímetro	Técnico eléctrico		
		Análisis de aislamiento		Pruebas funcionales	Técnico eléctrico		
		Análisis de termografía		Purga en bomba sumergible	Técnico eléctrico		
		Análisis de vibraciones					
Tablero local bomba 5 TB5	1,27	Análisis de termografía	Ingeniero eléctrico CBM	Limpieza y ajuste de conexiones	Técnico eléctrico	4	25

Tabla E3

Tabla de estrategias de mantenimiento cuando $\beta > 2$ (Autor)

Equipos	Beta	Tareas de Mantenimiento		Horas-Hombre PV (Horas)	Frecuencia (Días)	MTTO Modificativas	Técnico especialista	TTR (Horas)
		CBM	Técnico especialista					
TAB N9 +N9.3 Arranque directo Unidad bombeo 8	2,69	Análisis de termografía	Ingeniero eléctrico CBM	24	50	Cambio de contactor	Técnico eléctrico	24
						Cambio de bobina	Técnico eléctrico	