



**UNIVERSIDAD
DEL AZUAY**

**UNIVERSIDAD DEL AZUAY
DEPARTAMENTO DE POSGRADO
MAESTRÍA EN GESTIÓN DE
MANTENIMIENTO**

**Análisis de confiabilidad de las subestaciones de la Empresa Eléctrica Regional
Centro Sur C.A.**

**Trabajo de graduación Previo a la obtención del título de: MAGISTER EN GESTION DE
MANTEMINIENTO**

Autor:

ADRIAN LUIS LEÓN GONZALEZ

Director:

CARLOS ÚRGILES

CUENCA – ECUADOR

2021

DEDICATORIA:

Dedicado a mi hija María Paz León Fajardo motor de mi vida.

**A mis padres, Luis y Mercedes por haberme dado la vida y
guiarme de la mejor manera y conseguir lo mejor de mí.**

A mis hermanas Diana y Fernanda por el apoyo único.

**A mi esposa Mónica de manera especial le doy las gracias por
entender todo el tiempo y sacrificio que representó el estudio y
apoyarme de manera incondicional.**

AGRADECIMIENTO:

A Dios por darme salud, sabiduría y guiarme para culminar esta meta.

A los profesores de la maestría que enriquecieron mi conocimiento.

A los compañeros de la Empresa Eléctrica Regional Centro

Sur, en manera especial al Ing. Fernando Illescas, por

su ayuda y apoyo para el desarrollo de este trabajo.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA:	i
AGRADECIMIENTO:	ii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	iv
ÍNDICE DE TABLAS	v
RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	2
ABSTRACT	4
INTRODUCCION	6
I. METODO	7
Distribución de Weibull	7
Papel de Weibull	7
Metodología de equipos críticos	8
Pasos para realizar el análisis de Criticidad	8
II. resultados	8
Confiabilidad	8
Equipos críticos de una subestación	9
Rangos de clasificación de los niveles de confiabilidad	9
III. CONCLUSIONES	9
IV. RECOMENDACIONES	10
V. BIBLIOGRAFIA	12

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig 1. Representación gráfica de la función de falla de la subestación 1.....	7
Fig 2. Matriz de criticidad [13].	8
Fig 3. Modelación de confiabilidad de las subestaciones en función del tiempo en días	9
Fig 4. Rangos de clasificación de los niveles de confiabilidad	9

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Subestaciones de potencia EERCS C.A [5].	3
Tabla 3. Niveles de criticidad.....	8
Tabla 4. Confiabilidad de las S/Es de la Centro sur	9
Tabla 5. Tasa de fallos de las subestaciones.	9
Tabla 6. Resultados de criticidad obtenidos.....	9
Tabla 7. Tabla de Confiabilidad a un año de operación.....	10
Tabla 8. Cuadro de inspección para transformadores de potencia	11
Tabla 9 Cuadro de inspección para disyuntor	11

Análisis de confiabilidad de las subestaciones de la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C.A.

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo el análisis de confiabilidad de las diferentes subestaciones en operación de la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C.A. tomando en consideración las principales fallas registradas dentro de los últimos 10 años.

El análisis de confiabilidad se complementa con la determinación de la criticidad de los equipos mantenibles.

El presente estudio plantea y recomienda el inicio del camino sistemático para la mejora de la gestión de mantenimiento, que debe ser complementado con las estrategias de mantenimiento que deberá enriquecer el plan de mantenimiento dentro de un proceso de mejora continua.

La modelación de la confiabilidad de las subestaciones, se basa en la aplicación del método de Weibull, que tiene sustento en la información histórica de fallas, proporcionada por el departamento técnico de subestaciones.

Palabras Clave— Confiabilidad, modelación, gestión de mantenimiento, Weibull

ABSTRACT

Abstract— This research has as objective to carry out a reliability analysis of the different substations in operation at Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C.A. taking into consideration the main failures registered within the last 10 years. The reliability analysis was complemented with the determination of the criticality of the maintainable equipment. The present study raises and recommends the beginning of the systematic path to the improvement of the maintenance management, which should be complemented with the maintenance strategies that should enrich the maintenance plan within a process of continuous improvement. The reliability model for substations is based on the application of the Weibull method, which is based on the historical information of failures, provided by the technical department of substations.

Keywords: reliability, modeling, maintenance management, Weibull.

Translated by



Adrian León

Análisis de confiabilidad de las subestaciones de la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C.A.

INTRODUCCIÓN

La energía eléctrica es indispensable para muchos aspectos de la vida cotidiana, ninguna persona es ajena al consumo de la energía eléctrica, ya sea en la casa, en la industria, en los hospitales, etc. [1].

La sociedad es muy sensible a las interrupciones en el servicio de suministro de energía eléctrica dada la alta dependencia que de éste insumo se tiene en todas las actividades de la vida diaria [2].

Confiabilidad se define como la probabilidad de que un Sistema realice satisfactoriamente su función específica para la cual fue diseñada, durante un periodo de tiempo determinado y bajo un conjunto dado de condiciones técnicas, operativas, de seguridad y ambientales previamente definidas [3].

La confiabilidad de un sistema eléctrico en una distribuidora representa un componente crítico en el sistema eléctrico[4], la falla en una de esta representa la interrupción de servicio de varios usuarios en actividades industriales y comerciales, esto representaría pérdidas económicas para la empresa Distribuidora, en este caso la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C.A. y a la sociedad a la que sirve.

La S/E es la conformación de componentes eléctricos, estos dispositivos permiten cambiar las características como tensión, corriente y frecuencia, [2]. Entre las partes que integran principalmente se encuentran:

- Transformador de potencia
- Interruptores
- Seccionadores
- Tableros
- Pararrayos
- Banco de baterías

La CENTROSUR cuenta con seis puntos de interconexión con el Sistema Nacional de Transmisión (SNT): las subestaciones Sinincay y Cuenca que forman parte del anillo urbano de Cuenca a 69 kV; las subestaciones Gualaceo (S/E 15), Limón (S/E 23), Méndez (S/E 22) y Macas (S/E 21), se encuentran a lo largo de la línea Cuenca – Macas [5].

Estos voltajes no son posibles de emplearlos en instalaciones de industrias, comercios y residencias, de aquí que se tenga la necesidad de reducir dichas tensiones a otras de menor valor. Es por esta razón que se emplean subestaciones eléctricas que tienen la finalidad de transformar las tensiones de transmisión a valores de sub-transmisión y distribución, para posteriormente limitarla a valores nominales de 127/220 V o 120/240 V en uso doméstico y 220/380 o 440 V para uso industrial [1].

Las subestaciones son parte importante para el sistema de distribución de la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C.A., por lo cual es necesario evaluar la confiabilidad de cada una de ellas, para tener presente donde se encuentran las más potenciales fallas.

Como sistema a analizar, usando la metodología propuesta, se toman las S/Es del área de concesión de la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C.A.

Diferentes subestaciones operan a distintos voltajes y están distribuidas a lo largo del área de concesión de la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C.A., se describen en la siguiente tabla todas las existentes y en operación:

Tabla 1. Subestaciones de potencia EERCS C.A [5].

Descripción			Voltaje [KV]		Ubicación
Código	Denominación	Tipo	1	2	
SE 01	Luis Cordero	Reducción	22	6,3	Luis Cordero
SE 02	Puente Centenario	Reducción	22	6,3	Benigno Malo
SE 03	Monay	Reducción	69	22	Monay
SE 04	Parque Industrial	Reducción	69	22	Visorrey
SE 05	El Arenal	Reducción	69	22	El Arenal
SE 06	Verdillo	Reducción	69	22	Verdillo
SE 07	Ricaurte	Reducción	69	22	Ricaurte
SE 08	Turi	Reducción	69	22	Turi
SE 09	Azogues	Reducción	69	22	Guablincay
SE 12	Descanso	Reducción	69	22	Descanso
SE 13	Chauclayacu	Reducción	69	22	Chauclayacu
SE 14	Léntag	Reducción	69	22	Léntag
SE 18	Cañar	Reducción	69	22	Cañar
SE 19	Corpanche	Seccionamiento	69	69	Corpanche
SE 21	Macas	Reducción	69	22	Macas
SE 50	La Troncal	Reducción	69	13,8	La Troncal

De las subestaciones antes mencionadas se excluirán las subestaciones: Ricaurte, Verdillo, Chauclayacu (en construcción) y Corpanche por no tener registros de fallas.

La razón del desarrollo del análisis de confiabilidad es apoyar a la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C.A., inicialmente con el plan de mantenimiento a través de plantear el diagnóstico de confiabilidad e identificar de manera sistemática y priorizada, donde intervenir a fin de agregar el mayor valor a través de las mejores prácticas de gestión de mantenimiento, identificando los puntos débiles del sistema de subestaciones.

Además el objetivo es ayudar al análisis de confiabilidad que permita, en lo posterior fortalecer la prestación de servicio público de energía eléctrica y garantizar los estándares de calidad, atributos técnicos y comerciales tratando de tener en menor porcentaje el **FMIK** (Frecuencia Media de Interrupción por KVA nominal instalado) y el **TTICK** (Tiempo Total de Interrupción por KVA nominal instalado) [6].

Análisis de confiabilidad de las subestaciones de la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C.A.

Universidad del Azuay

Cuenca - Ecuador

allgadrian@gmail.com

Adrián Luis León González

Departamento de Posgrados

Resumen— El presente trabajo tiene como objetivo el análisis de confiabilidad de las diferentes subestaciones en operación de la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C.A. tomando en consideración las principales fallas registradas dentro de los últimos 10 años.

El análisis de confiabilidad se complementa con la determinación de la criticidad de los equipos mantenibles.

El presente estudio plantea y recomienda el inicio del camino sistemático para la mejora de la gestión de mantenimiento, que debe ser complementado con las estrategias de mantenimiento que deberá enriquecer el plan de mantenimiento dentro de un proceso de mejora continua.

La modelación de la confiabilidad de las subestaciones, se basa en la aplicación del método de Weibull, que tiene sustento en la información histórica de fallas, proporcionada por el departamento técnico de subestaciones.

Palabras Clave— Confiabilidad, modelación, gestión de mantenimiento, Weibull.

Abstract— the present work has as objective the reliability analysis of the different substations in operation of the Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C.A. taking into consideration the main failures registered within the last 10 years.

The reliability analysis is complemented with the determination of the criticality of the maintainable equipment.

The present study raises and recommends the beginning of the systematic path for the improvement of the maintenance management, which should be complemented with the maintenance strategies that should enrich the maintenance plan within a process of continuous improvement.

The modeling of the reliability of the substations is based on the application of the Weibull method, which is based on the historical information of failures, provided by the technical department of substations.

Key Words— Reliability, modeling, maintenance management, Weibull.

INTRODUCCION

La energía eléctrica es indispensable para muchos aspectos de la vida cotidiana, ninguna persona es ajena al consumo de la energía eléctrica, ya sea en la casa, en la industria, en los hospitales, etc. [1].

La sociedad es muy sensible a las interrupciones en el servicio de suministro de energía eléctrica dada la alta dependencia que de éste insumo se tiene en todas las actividades de la vida diaria [2].

Confiabilidad se define como la probabilidad de que un Sistema realice satisfactoriamente su función específica para la cual fue diseñada, durante un periodo de tiempo determinado y bajo un conjunto dado de condiciones técnicas, operativas, de seguridad y ambientales previamente definidas [3].

La confiabilidad de un sistema eléctrico en una distribuidora representa un componente crítico en el sistema eléctrico[4], la falla en una de esta representa la interrupción de servicio de varios usuarios en actividades industriales y comerciales, esto representaría pérdidas económicas para la empresa Distribuidora, en este caso la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C.A. y a la sociedad a la que sirve.

La S/E es la conformación de componentes eléctricos, estos dispositivos permiten cambiar las características como tensión, corriente y frecuencia, [2]. Entre las partes que integran principalmente se encuentran:

- Transformador de potencia
- Interruptores
- Seccionadores
- Tableros
- Pararrayos
- Banco de baterías

La CENTROSUR cuenta con seis puntos de interconexión con el Sistema Nacional de Transmisión (SNT): las subestaciones Sinincay y Cuenca que forman parte del anillo urbano de Cuenca a 69 kV; las subestaciones Gualaceo (S/E 15), Limón (S/E 23), Méndez (S/E 22) y Macas (S/E 21), se encuentran a lo largo de la línea Cuenca – Macas [5].

Estos voltajes no son posibles de emplearlos en instalaciones de industrias, comercios y residencias, de aquí que se tenga la necesidad de reducir dichas tensiones a otras de menor valor. Es por esta razón que se emplean subestaciones eléctricas que tienen la finalidad de transformar las tensiones de transmisión a valores de sub-transmisión y distribución, para posteriormente limitarla a valores nominales de 127/220 V o

120/240 V en uso doméstico y 220/380 o 440 V para uso industrial [1].

Las subestaciones son parte importante para el sistema de distribución de la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C.A., por lo cual es necesario evaluar la confiabilidad de cada una de ellas, para tener presente donde se encuentran las más potenciales fallas.

Como sistema a analizar, usando la metodología propuesta, se toman las S/Es del área de concesión de la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C.A.

Diferentes subestaciones operan a distintos voltajes y están distribuidas a lo largo del área de concesión de la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C.A., se describen en la siguiente tabla todas las existentes y en operación:

Tabla 2. Subestaciones de potencia EERCS C.A [5].

Descripción			Voltaje [KV]		Ubicación
Código	Denominación	Tipo	1	2	
SE 01	Luis Cordero	Reducción	22	6,3	Luis Cordero
SE 02	Puente Centenario	Reducción	22	6,3	Benigno Malo
SE 03	Monay	Reducción	69	22	Monay
SE 04	Parque Industrial	Reducción	69	22	Visorrey
SE 05	El Arenal	Reducción	69	22	El Arenal
SE 06	Verdillo	Reducción	69	22	Verdillo
SE 07	Ricaurte	Reducción	69	22	Ricaurte
SE 08	Turi	Reducción	69	22	Turi
SE 09	Azogues	Reducción	69	22	Guablinay
SE 12	Descanso	Reducción	69	22	Descanso
SE 13	Chauillayacu	Reducción	69	22	Chauillayacu
SE 14	Léntag	Reducción	69	22	Léntag
SE 18	Cañar	Reducción	69	22	Cañar
SE 19	Corpanche	Seccionamiento	69	69	Corpanche
SE 21	Macas	Reducción	69	22	Macas
SE 50	La Troncal	Reducción	69	13,8	La Troncal

De las subestaciones antes mencionadas se excluirán las subestaciones: Ricaurte, Verdillo, Chauillayacu (en construcción) y Corpanche por no tener registros de fallas.

La razón del desarrollo del análisis de confiabilidad es apoyar a la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C.A., inicialmente con el plan de mantenimiento a través de plantear el diagnostico de confiabilidad e identificar de manera sistemática y priorizada, donde intervenir a fin de agregar el mayor valor a través de las mejores prácticas de gestión de mantenimiento, identificando los puntos débiles del sistema de subestaciones.

Además el objetivo es ayudar al análisis de confiabilidad que permita, en lo posterior fortalecer la prestación de servicio público de energía eléctrica y garantizar los estándares de calidad, atributos técnicos y comerciales tratando de tener en menor porcentaje el **FMIK** (Frecuencia Media de Interrupción por KVA nominal instalado) y el **TTICK** (Tiempo Total de Interrupción por KVA nominal instalado) [6].

I. METODO

La metodología adoptada parte del análisis y valoración de los datos de fallas registradas en el centro de control (COD), los mismos que fueron proporcionados mediante convenio firmado entre la Universidad del Azuay y la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur, para el desarrollo del presente trabajo, la información de fallas fue entregada mediante oficio **Nro.CENTROSUR-DEPRS-2019-0008-O**.

La confiabilidad está relacionada con la disposición de los equipos para proporcionar bajo las normas emitidas por el Arconel y cumpliendo requerimientos y estándares de seguridad y calidad [7].

El análisis de la información ayuda a calcular estadísticas operativas, conocer las principales causas de salida de funcionamiento y detectar cuál de las subestaciones tiene la menor confiabilidad y poder trabajar sobre ésta para disminuir los paros imprevistos y su impacto en el servicio al usuario final.

Distribución de Weibull

La distribución de Weibull fue desarrollada por el sueco Walodi Weibull y fue anunciada por primera vez en 1951 e implementada por primera vez en una refinería en el año 1955. El análisis de Weibull es la técnica mayormente elegida para estimar la probabilidad debido a su utilidad para simular un amplio rango de distribuciones [8].

Los datos analizados mediante las distribuciones pueden responder a diferentes características, de acuerdo con el tipo y el evento de estudio, por ejemplo, el tiempo de funcionamiento del equipo (MTTF), el tiempo de operación del sistema (MTBF), o el tiempo que tarda en repararse un equipo después de fallar (MTTR). Estos tiempos de vida pueden medirse en horas, millas, ciclos de fracaso, ciclos de tensión, o cualquier otra medida con que se puedan evaluar la vida [9].

Weibull se acomoda a las zonas (infancia, madurez y envejecimiento) de la función de falla y confiabilidad, con el ajuste adecuado, permite obtener mejores resultados que con otras distribuciones.

Papel de Weibull

El procedimiento consiste en graficar los valores de $F(t)$ o de $M(t)$ en el eje Y, con sus respectivos tiempos t en el eje X. La forma que posee el papel de Weibull permite conformar una línea recta, a partir de la cual se logra valorar tanto la pendiente como su intersección con el eje Y vertical; y a

partir de estos dos valores se pueden obtener los parámetros propios de la función Weibull de Beta, Eta, etc.

Una vez registrados y depurados los tiempos de fallos, se ordenan y divide por cada una de las subestaciones.

Como segundo paso, procedemos a ordenar las fallas desde el menor a mayor tiempo de falla.

Procedemos a calcular la función de falla dada por la siguiente formula:

$$F(t) = \frac{i - 0.3}{n + 0.4}$$

Donde:

$F(t)$ = función de falla

i = número de la falla

n = número de fallas [9]

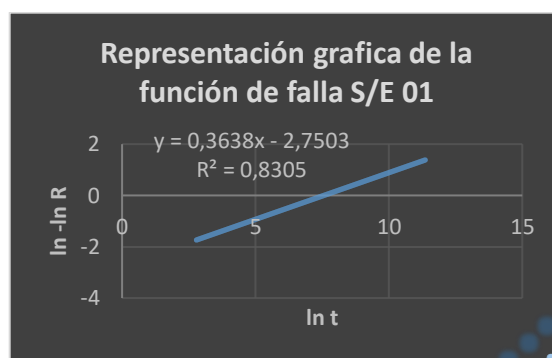


fig 1. Representación gráfica de la función de falla de la subestación 1.

Este diseño de los ejes se basa en la alineación de la función de tiempo de falla en la abscisa (X, en este caso eje t) y en el eje vertical (Y) la función de no confiabilidad o de probabilidad de falla acumulada, o la de mantenibilidad, cuando de ésta se trate el análisis [9].

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

Donde:

t : tiempo de estudio en años

t_0 : tiempo de inicio del estudio $t_0=0$

η : vida útil del elemento

β : parámetro de forma[9]

Tasa de fallos λ : en una función que describe el número de fallos de un sistema, componente que puede ocurrir en un cierto tiempo [10].

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t - t_0}{\eta} \right)^{\beta-1}$$

Gamma - Parámetro de posición (γ): el más difícil de estimar y por este motivo se asume con demasiada frecuencia que vale cero. Indica el lapso en el cual la probabilidad de falla es nula.

Eta - Parámetro de escala o característica de vida útil (η): su valor es determinante para fijar la vida útil del producto o del

sistema, entre más alto las máquinas pueden ser más robustas o de trabajos de mayor duración.

β - Parámetro de forma (β): refleja la dispersión de los datos y determina la forma que toma la distribución [9].

Las expresiones enunciadas en este literal son válidas para rangos donde $(t - t_0) = 0$; cuando éste es menor que cero (0), la función de densidad de probabilidad de fallas o falla instantánea $f(t)$ y la tasa de fallas $\lambda(t)$ valen 0.

Luego de haber aplicado los datos de falla de una subestación, en la ecuación, obtenemos el valor de β y la constante que nos servirá para encontrar η con la siguiente formula:

$$\eta = \exp\left(\frac{cte}{\beta}\right)$$

Una vez obtenidos los coeficientes, modelamos la confiabilidad en el tiempo, para cada subestación, finalmente determinamos los rangos de clasificación de los niveles de confiabilidad, para la toma de decisiones:

Debajo de 60% es inaceptable
De 60 a 65 % es indeseable
Entre 65 a 70% es mínimamente inaceptable
De 70 a 80% es respetable
De 80 a 90 es muy buena [11].

Metodología de equipos críticos

Análisis de Criticidad: Es una metodología que permite la mejora de confiabilidad operacional, jerarquizar sistemas, instalaciones y equipos, en función de su impacto global, con el fin de facilitar la toma de decisiones. Para realizar un análisis de criticidad se debe: definir un alcance y propósito, establecer los criterios de evaluación para jerarquizar la selección de los sistemas objeto del análisis [12].

$$\text{Criticidad} = \text{frecuencia} \times \text{consecuencia}$$

La criticidad está asociada al número de fallos del sistema estudiado o evaluado y al impacto en los costos de reparación, seguridad y ambiente.

El equipo de trabajo evaluador para la aplicación de la metodología de criticidad está compuesto de personal que tiene una larga trayectoria en el departamento de subestaciones es decir la metodología se aplicó sobre la base de juicio de expertos.

A partir del historial de fallos en el sistema se analizan según su origen (externo, operacional, falla interna y/o desconocido).

Los equipos eléctricos presentan una alta confiabilidad intrínseca, pues la probabilidad de ocurrencia de fallo se estima en años, pero la mayoría de los equipos de las subestaciones son de una edad avanzada, por lo cual esta metodología nos ayuda a considerar la matriz de criticidad de los equipos.

Para determinar un equipo crítico se debe armar una matriz que considere las frecuencias y las consecuencias de las fallas, en la fig. 2 se muestra una matriz de criticidad:



fig 2. Matriz de Criticidad [13].

Los colores en la fig. 2 ayuda a identificar el menor o mayor grado de riesgo relacionado en el sistema que se analiza.

En función de lo antes expuesto se establecen criterios fundamentales para realizar un análisis de criticidad:

- Seguridad
- Ambiente
- Producción
- Costos de reparación
- Tiempo de reparación [14].

Pasos para realizar el análisis de Criticidad

1. Definir universo de los equipos o sistemas a analizar.
2. Determinar la frecuencia de fallos.
3. Estimar el impacto o consecuencias de las fallas.
4. Determinar el valor de criticidad.
5. Valorar los quipos más críticos que permita orientar los recursos y esfuerzos.

Cuando tengamos valorada la criticidad de cada sistema o equipo, se debe tabular y categorizar su nivel de criticidad.

Tabla 3. Niveles de criticidad

Categoría	Nivel
	Criticidad Alta
	Criticidad Media
	Criticidad Baja

II. RESULTADOS

Confiabilidad

Luego de tabular la información de cada una de las subestaciones en estudio, se calcula los días entre fallas de cada una de ellas, considerando como falla la salida total de la subestación, eventos que fueron registrados en el centro de control (COD).

La confiabilidad para cada subestación, considerando la metodología indicada, se calcula en tablas de Excel, obteniendo los siguientes resultados:

Sobre la base de la aplicación de la metodología descrita, y considerando el juicio de expertos, los resultados obtenidos:

Tabla 4. Confiabilidad de las S/Es de la Centro sur

DIAS	AÑOS	CONFIABILIDAD %											
		S/E1	S/E2	S/E3	S/E4	S/E5	S/E8	S/E12	S/E14	S/E18	S/E21	S/E50	
1		95%	99%	99%	99%	100%	100%	97%	100%	100%	99%	99%	
365	1 AÑO	66%	62%	77%	81%	82%	72%	59%	91%	97%	78%	26%	
730	2 AÑOS	59%	46%	68%	73%	70%	54%	47%	86%	96%	70%	9%	
1095	3 AÑOS	54%	36%	62%	67%	60%	42%	40%	81%	95%	64%	3%	
1460	4 AÑOS	50%	29%	57%	63%	52%	33%	34%	77%	94%	59%	1%	
1825	5 AÑOS	47%	23%	52%	59%	45%	26%	30%	74%	94%	55%	0%	
2190	6 AÑOS	45%	19%	49%	55%	39%	20%	27%	71%	93%	52%	0%	
2555	7 AÑOS	43%	16%	46%	52%	34%	16%	24%	68%	92%	49%	0%	
2920	8 AÑOS	41%	13%	43%	49%	29%	13%	22%	65%	92%	46%	0%	
3285	9 AÑOS	40%	11%	40%	47%	26%	10%	20%	63%	92%	44%	0%	
3650	10 AÑO	38%	10%	38%	45%	23%	8%	18%	61%	91%	42%	0%	

Representamos gráficamente los resultados obtenidos en un solo gráfico:

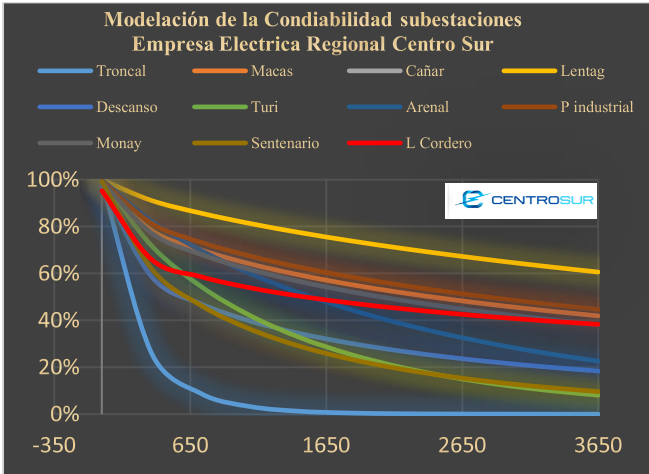


fig 3. Modelación de Confiabilidad de las subestaciones en función del tiempo en días

Tabla 5. Tasa de fallos de las subestaciones.

S/E N°	λ
S/E 01	0,0177
S/E 02	0,0056
S/E 03	0,0051
S/E 04	0,0037
S/E 05	0,0009
S/E 12	0,0016
S/E 14	0,0138
S/E 18	0,0009
S/E 21	0,0008
S/E 50	0,0073

Equipos críticos de una subestación

Tabla 6. Resultados de criticidad obtenidos.

EQUIPOS DE UNA SUBESTACIÓN	TOTAL
TRANSFORMADORES DE POTENCIA	22,40
DISYUNTORES	22,40
TABLEROS DE CONTROL	21,00
SECCIONADORES	16,80
MEDICIÓN TC's Y TP's	15,20
PARARRAYOS	12,60
PUESTA A TIERRA	3,20
BANCO DE BATERIAS	3,00
RECTIFICADOR	2,60

Rangos de clasificación de los niveles de confiabilidad

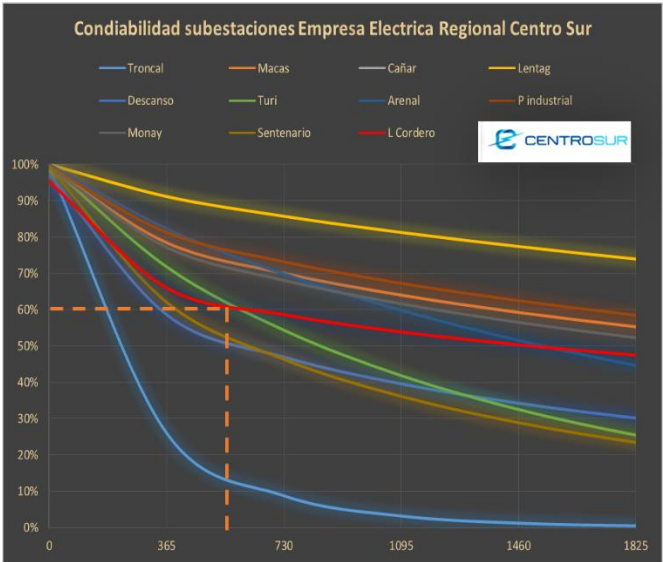


fig 4. Rangos de clasificación de los niveles de confiabilidad

Una vez obtenida la modelación de confiabilidad de las subestaciones, se aplica el criterio de rangos de clasificación de niveles de confiabilidad, dando como resultados que en el primer año la confiabilidad de algunas de las subestaciones decae por debajo del 60% o cerca de esté, valor que corresponde al nivel inaceptable, situación que determina la necesidad de implementar nuevas estrategias en la gestión de mantenimiento.

III. CONCLUSIONES

La modelación de la confiabilidad ayuda a definir la prioridad de las acciones sobre las subestaciones que presentan los menores niveles de confiabilidad.

A continuación, se listan la prioridad con la que se debe desarrollar la mejora a los planes de mantenimiento de las subestaciones de la Empresa Regional Centro Sur C.A. partiendo del análisis del comportamiento de la confiabilidad en el tiempo y el rango del nivel de confiabilidad inaceptable incluido en la tabla 7:

Tabla 7. Tabla de Confiabilidad a un año de operación

CODIGO	SUBESTACIÓN	Conf Act	Conf 1 año
S/E 01	LUIS CORDERO	95%	66%
S/E 02	PUENTE CENTENARIO	99%	62%
S/E 03	MONAY	99%	77%
S/E 04	PARQUE INDUSTRIAL	99%	81%
S/E 05	EL ARENAL	100%	82%
S/E 08	TURI	100%	72%
S/E 12	DESCANSO	97%	59%
S/E 14	LENTAG	100%	91%
S/E 18	CAÑAR	100%	97%
S/E 21	MACAS	99%	78%
S/E 50	LA TRONCAL	99%	26%

De acuerdo a la aplicación del método de Weibull durante los primeros 365 días de análisis de la confiabilidad del sistema se encuentran las siguientes conclusiones:

Como resultado tenemos que la S/E 50 Troncal presenta la más baja confiabilidad (está siendo reemplazada por problemas presentados el momento que se realiza el estudio), la metodología aplicada es consistente con la realidad actual de la subestación.

Como la de S/E 12 Descanso y S/E 1 y 2 Luis Cordero y Centenario respectivamente tienen una baja notable su confiabilidad, tomar en cuenta para un análisis de las partes y piezas que estén con más años y presenten mayores problemas para incluir en el plan de mantenimiento.

A partir del año y medio de operación cabe recalcar, que muchas más de la mitad de las subestaciones como: S/E 3 Monay y S/E 8 Turi, también decaen al valor por debajo o cercano de los 60% que es el valor inaceptable, se deben también realizar acciones para evitar que lleguen a estos valores aplicando la gestión del mantenimiento.

Con los datos de confiabilidad analizados y aplicados con un correcto plan de mantenimiento y plan de repuestos, tendremos una disminución de los índices **FMIK** (Frecuencia Media de Interrupción por KVA nominal instalado) y el **TTICK** (Tiempo Total de Interrupción por KVA nominal instalado), van a ser mucho menores a los actuales.

La confiabilidad es más precisa si se disponen de datos exactos bien organizados, tabulados y analizados, de cada uno de las subestaciones y de cada componente principal que la compone.

La aplicación de la metodología de la criticidad descrita presenta como resultado, que las familias de equipos más críticos corresponden a:

1. Transformadores de potencia,
2. Disyuntores y
3. Tableros de control

Estos equipos requieren contar con la mayor atención para evitar fallas inesperadas que ocasionen falta de servicio debido a baja confiabilidad.

La metodología de confiabilidad operacional aplicada se complementa con los resultados de la metodología criticidad aplicada, dando como resultado la identificación de los equipos más vulnerables que pueden dar lugar a una salida intempestiva de servicio de las subestaciones de más baja confiabilidad.

Es importante recalcar que en estos cálculos se consideran: los paros de los equipos por mantenimiento, salidas de operación tanto externas como internas o problemas operativos, por la razón de que el no dotar de servicio eléctrico al consumidor final es el principal problema que atrae perdida tanto para el usuario como para la empresa.

La identificación de elementos relevantes e importantes de una subestación y el análisis de equipos vulnerables ayudan a prever una salida de servicio o un daño grave, contando con un plan de mantenimiento o reposición en caso de su salida de operación.

IV. RECOMENDACIONES

Todas las tácticas de gestión de mantenimiento exigen capacitar y entrenar al recurso humano involucrado en las actividades del departamento, por lo que se recomienda implementar nuevas técnicas de la gestión del mantenimiento centrado en la mejora continua y disponibilidad de las subestaciones.

Tratar de implementar un plan de documentación mediante la norma ISO 9001:2015, Capítulo 6.3 Infraestructura, para evitar paradas imprevistas, manejo más racional del capital humano, compra ordenada de repuestos y prolongación de vida útil.

Adquirir o implementar un software de trabajo que facilite la recolección de datos y el manejo de las órdenes de trabajo para un estudio más dedicado a la gestión de mantenimiento; EAM ayuda a administrar, mantener y realizar un seguimiento de los activos de la empresa, gestión de activos, gestión de materiales y adquisiciones.

Para el cálculo los datos deben tener los siguientes parámetros: codificación y clasificación.

Realizar el cálculo de la función confiabilidad operacional, de manera periódica y de la criticidad a través de la estadística de MTBF (tiempo medio entre fallas) y MTTR (tiempo medio para la reparación) y que está no sea mayor a un año.

Siempre tener en cuenta la criticidad evaluada por el mismo personal a juicio de expertos ya que es una pauta para dirigir los esfuerzos a esos equipos y controlar en su mayor parte su vida útil.

A través de la estrategia de cálculo o modelación de la confiabilidad y criticidad se ha llegado a determinar el comportamiento de la confiabilidad de las S/E's y definir los equipos críticos, de esta manera se define la condición de los activos que permite contar con un punto de partida para determinar el plan de mantenimiento óptimo bajo una prioridad determinada en el presente trabajo.

Las estrategias de mantenimiento deben estar siempre alineadas con los planes de negocio de la empresa ya que de esto depende la consecución de los objetivos del mantenimiento.

Contar con un programa de mantenimiento, como ejemplo uno basado en RCS, nos proporciona actividades concretas a realizar como tareas de predictivo, preventivo o correctivo, así como también tareas de "búsqueda de fallos". Para ejecutar estas tareas necesitaremos los repuestos asociados a los modos de fallo en cantidad suficiente para tener un resultado costo-eficiencia a partir de la función de falla.

A continuación, se recomienda de manera referencial las pruebas para los transformadores de potencia los cuales son considerados equipos críticos:

1. Pruebas de resistencia de aislamiento en devanados (ANSI C57.12.91).
2. Pruebas dieléctricas de aceite aislante, dos veces por año (ASTM D-877).
3. Pruebas de factor de potencia de devanados y aceite (ANSI/IEEE Std. 62-1995).
4. Pruebas físicas y químicas del aceite (IEEE C57.106-2006).
5. Pruebas de funcionamiento de válvula de explosión y protección por elevación de temperatura (manual de mantenimiento del fabricante).
6. Pruebas de relación de transformación y polaridad (ANSI C57.12.91).
7. Pruebas de cortocircuito y circuito abierto (ANSI C57.12.91)
8. Prueba de resistencia de aislamiento a motores y mandos del sistema de enfriamiento, dos veces al año (ANSI C57.12.91).

Tabla 8. Cuadro de inspección para transformadores de potencia

TRANSFORMADOR CUADRO DE INSPECCIÓN				
CR	6M	A	SA	Puntos de inspección
	X	X		Verificar los biveles de aceite
	X	X	X	verificar estado exterior de los bushings y terminales
X	X	X		Verificar existencia de fugas de aceite
	X	X		Chequear la coloración de la sílica gel
	X	X		corregir fallas de pintura
X			X	Chequear conexiones a tierra
			X	Medición del aislamiento de motores de enfriamiento
			X	Chequear los medidores de temperatura
			X	verificar el ajuste mecánico total del transformador
				CAMBIADOR DE TAPS BAJO CARGA L.T.C.
X	X			Registrar las lecturas del manómetro
X	X			Revisar la operación de los calefactores
X	X			Chequear las fugas del aceite LTC
X	X			Registrar lectura del contador de operaciones
			X	Reajuste del conexionado
			X	Medir la resistencia del aislamiento del motor
		X	X	Inspeccionar el mecanismo, del tap y pruebas de operación
		X		Chequear engranajes en Gabinete
				RELE DE BUCHHOLZ
	X			Verificar que el relé se encuentre lleno de aceite
	X	X		Realizar pruebas de operación
	X			Verificar estanqueidad del relé
	X			Pruebas de aceite, cromatografía, físicas, químicas y rigides dieléctrica
				Pruebas de factor de potencia, resistencia de aislamiento, resistencia
	X			ohmica, relación de transformación

También se recomienda de manera referencial las pruebas para disyuntores los cuales son considerados equipos críticos:

1. Verificación de fallas de la pintura o galvanizado en general (experiencia y manual de mantenimiento del fabricante).
2. Verificación del contador y engrase del mecanismo de trabajo (experiencia y manual de mantenimiento del fabricante).
3. Verificación de conexiones, contactores, contactos auxiliares, switchs auxiliares (experiencia y manual de mantenimiento del fabricante).
4. Limpieza de bushings y contactos (experiencia y manual de mantenimiento del fabricante).
5. Verificación de medidas de resistencia de contactos (IEC 62271-103 o IEC 62271-104).
6. Verificación de la hermeticidad del gas SF6 (IEC 60376).
7. Verificación de contactos en la capacidad de ruptura y consumo de aire en la apertura menor a 1.5 kg/cm2 (IEC 62271-103 o IEC 62271-104).
7. Verificación del funcionamiento continuo del compresor y fugas de aceite del amortiguador (experiencia y manual de mantenimiento del fabricante).

Tabla 9. Cuadro de inspección para disyuntor

DISYUNTOR CUADRO DE INSPECCIÓN				
CR	6M	A	SA	Puntos de inspección
	X	X		Realizar la inspección visual del disyuntor
	X	X		Revisar la operación de los calefactores
X	X	X		Verificar la operación del contador y registrarlo
	X			Observar la presión de aire y posibles fugas del SF6
	X			Chequear operación del cp,presor, escuchar ruidos
			X	Efectuar una prueba funcional de operación
X			X	Chequear bushings y realizar la limpieza exterior
			X	Corregir fallas de Pintura
			X	Revisar contactores, switches auxiliares y conexionado
			X	Inspeccionar el conexionado de puestas a tierra

V. BIBLIOGRAFIA

- [1] T. Centro, "Análisis de fiabilidad aplicado a interruptores de potencia en subestaciones eléctricas," 2016.
- [2] P. Issn, "Dialnet-ELMETODODESIMULACIONDEMONTecARL OENESTUDIOSDECONFIA-4844858," no. 24, pp. 55–60, 2004.
- [3] G. L. García Monsalve, "INTRODUCCION A LA TEORÍA DE LA CONFIABILIDAD Y SU APLICACION EN EL DISEÑO Y MANTENIMIENTO DE EQ̃TIPOS INDUSTRIALES DE tTN PROCESO DE RENOVACION," 2006.
- [4] P. Issn, "Valoración de confiabilidad de subestaciones eléctricas utilizando simulación de montecarlo," no. 32, pp. 2–7, 2006.
- [5] "12-DESCRIPCIÓN DE LA CENTROSUR DIC-2018."
- [6] CONELEC, "Regulación 004/01-Calidad del Servicio Eléctrico de Distribución." p. 25, 2001.
- [7] C. J. Zapata, "POTENCIA," 2011.
- [8] P. Sánchez and S. Andrés, "APROXIMACIÓN DE LA CONFIABILIDAD PARA OPTIMIZAR PROCESOS DE MANTENIMIENTO Y PRODUCTIVOS CON DISTRIBUCIÓN WEIBULL," 2019.
- [9] A. Mora and B. S. Mózo, *Mantenimiento*, vol. 53, no. 9, 2017.
- [10] L. F. Sexto, "¿ CUÁNTOS FALLOS USTED PUEDE PAGAR ?," pp. 2017–2019, 2019.
- [11] A. Barraza Macías, "Apuntes sobre Metodología de la Investigación Confiabilidad ?," *Univ. Pedagógica Durango*, no. 6, pp. 6–10, 2007.
- [12] "El Análisis de Criticidad, una Metodología para mejorar la Confiabilidad Operacional - Reliabilityweb: A Culture of Reliability." [Online]. Available: <https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/el-analisis-de-criticidad-una-metodologia-para-mejorar-la-confiabilidad-ope>. [Accessed: 09-Jan-2020].
- [13] J. L. Romero Carranza, "Análisis De Criticidad," p. 23, 2013.
- [14] L. Rojas and V. Alejandra, "SIMULACIÓN , PARA EVALUACIÓN DE DE UN PROYECTO INDUSTRIAL," 2018.