



## **DEPARTAMENTO DE POSGRADOS**

### **MAESTRÍA EN GESTIÓN DE MANTENIMIENTO**

#### **“PROPUESTA DE UN MODELO DE CONFIABILIDAD PARA LA RED DE TELECOMUNICACIONES DE LA EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL CENTRO SUR C.A.”.**

**Trabajo de graduación previo a la obtención del título de Magíster en  
Gestión de Mantenimiento**

**AUTOR**

**Ing. Patricio Pérez Fajardo**

**DIRECTOR**

**Ing. Luis Felipe Sexto M.Sc.**

**CUENCA – ECUADOR**

**2017**

## **DEDICATORIA**

Mi tesis la dedico a mi amada esposa LINA ALEXANDRA, por ser pilar fundamental en mi vida y un apoyo incondicional durante mis años de estudio. Te amo.

A mis hijos SOFÍA ALEJANDRA Y JOSÉ DANIEL, mis tesoros más grandes, por ser la razón de todos los esfuerzos en mi vida.

A mis padres, GUIDO e INÉS, por su cariño y por ser ejemplo de lucha y dedicación en todos los aspectos de la vida.

A mis hermanos, suegros y cuñados, por vivir siempre unidos en familia.

El Autor.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a DIOS todopoderoso, quién me ha demostrado su presencia en todos y cada uno de los momentos de la vida.

A la Universidad del Azuay, por brindarme la oportunidad de alcanzar nuevos conocimientos para el desempeño de mi vida profesional.

Al Ing. Luis Felipe Sexto, por su total confianza en el desarrollo del presente trabajo y ser una referencia fundamental en el ámbito personal y profesional.

A mis amigos SEREINS, con quienes a más de consolidar un privilegiado grupo de estudio, afianzamos una amistad sincera. Mis mejores deseos para ellos en el futuro.

El Autor.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

|                                                                                                                                                     |        |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| Dedicatoria .....                                                                                                                                   | II     |
| Agradecimiento .....                                                                                                                                | III    |
| Índice de Contenidos .....                                                                                                                          | IV     |
| Índice de Figuras y Tablas .....                                                                                                                    | V      |
| Resumen .....                                                                                                                                       | VI     |
| Abstract .....                                                                                                                                      | VII    |
| <br>Introducción.....                                                                                                                               | <br>1  |
| <br>CAPÍTULO 1. Materiales y métodos .....                                                                                                          | <br>2  |
| 1.1. Estado del arte .....                                                                                                                          | 2      |
| 1.1.1 Red de telecomunicaciones .....                                                                                                               | 2      |
| 1.1.2. Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad .....                                                                                         | 3      |
| 1.1.3. Tasa de fallos y su relación con la confiabilidad .....                                                                                      | 4      |
| 1.1.4. Diagramas de bloques de confiabilidad .....                                                                                                  | 6      |
| 1.1.4.1. Sistemas serie.....                                                                                                                        | 6      |
| 1.1.4.2. Sistemas paralelo.....                                                                                                                     | 7      |
| <br>CAPÍTULO 2.- Resultados .....                                                                                                                   | <br>9  |
| 2.1. Descripción de la red de telecomunicaciones de CENTROSUR.....                                                                                  | 9      |
| 2.2. Definición de la función operacional .....                                                                                                     | 10     |
| 2.3. Clasificación de los nodos.....                                                                                                                | 11     |
| 2.3.1. Por su infraestructura .....                                                                                                                 | 12     |
| 2.3.2. Por su jerarquía .....                                                                                                                       | 12     |
| 2.4. Consideraciones iniciales del modelo de gestión .....                                                                                          | 12     |
| 2.5. Cálculo del modelo de confiabilidad.....                                                                                                       | 15     |
| 2.5.1. Cálculo del nodo <i>Data Center</i> .....                                                                                                    | 15     |
| 2.5.2. Cálculo del nodo Subestación 3.....                                                                                                          | 16     |
| 2.5.3. Cálculo del nodo Subestación 4 .....                                                                                                         | 18     |
| 2.5.4. Cálculo del nodo Sinincay .....                                                                                                              | 19     |
| 2.6. Modelo de confiabilidad de la red de telecomunicaciones.....                                                                                   | 20     |
| <br>CAPÍTULO 3. Discusión.....                                                                                                                      | <br>24 |
| 3.1. Relación entre la confiabilidad de la red de telecomunicaciones y la<br>disponibilidad del servicio de distribución de energía eléctrica ..... | 24     |

|                                  |    |
|----------------------------------|----|
| Conclusiones.....                | 34 |
| Recomendaciones .....            | 35 |
| Referencias bibliográficas ..... | 36 |

#### Índice de Figuras, Tablas, Ecuaciones y Anexos

|                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad .....         | 4  |
| Figura 2. Curva de la Bañera .....                                     | 5  |
| Figura 3. Sistemas en Serie.....                                       | 6  |
| Figura 4. Sistemas en Paralelo .....                                   | 7  |
| Figura 5. Diagrama de Red de Telecomunicaciones.....                   | 9  |
| Figura 6. <i>WHASTUP GOLD v14.1.2</i> .....                            | 14 |
| Figura 7. Alarmas <i>WHASTUP GOLD v14.1.2</i> .....                    | 15 |
| Figura 8. Diagrama de bloques <i>Data Center</i> .....                 | 16 |
| Figura 9. Diagrama de bloques S/E 3.....                               | 17 |
| Figura 10. Diagrama de bloques S/E 4.....                              | 18 |
| Figura 11. Diagrama de bloques S/E Sinincay .....                      | 19 |
| Figura 12. Diagrama de bloques simplificado S/E Sinincay .....         | 20 |
| Figura 13. Diagrama unifilar alimentador 1221.....                     | 27 |
| Tabla 1. Resumen cálculo confiabilidad red de telecomunicaciones ..... | 21 |
| Tabla 2. Confiabilidad nodos individuales.....                         | 22 |
| Tabla 3. Confiabilidad nodos equivalentes .....                        | 22 |
| Tabla 4. Confiabilidad individual vs Confiabilidad equivalente .....   | 23 |
| Fórmula 1. Tasa de falla .....                                         | 6  |
| Fórmula 2. Confiabilidad .....                                         | 6  |
| Fórmula 3. Confiabilidad total sistemas serie .....                    | 7  |
| Fórmula 4. Confiabilidad total sistemas paralelo .....                 | 8  |
| Fórmula 5. Confiabilidad <i>Data Center</i> .....                      | 16 |
| Fórmula 6. Confiabilidad individual Subestación 3 .....                | 17 |
| Fórmula 7. Confiabilidad equivalente Subestación 3.....                | 17 |
| Fórmula 8. Confiabilidad individual Subestación 4 .....                | 18 |
| Fórmula 9. Confiabilidad equivalente Subestación 4.....                | 18 |
| Fórmula 10. Tasa de falla Subestación Sinincay.....                    | 19 |
| Fórmula 11. Confiabilidad individual Subestación Sinincay .....        | 19 |
| Fórmula 12. Confiabilidad equivalente Subestación Sinincay .....       | 20 |
| Fórmula 13. FMIK Red de distribución .....                             | 24 |
| Fórmula 14. FMIK Alimentador .....                                     | 24 |
| Fórmula 15. TTIK Red de distribución .....                             | 25 |

Fórmula 16. TTIK Alimentador .....25

Anexos .....37

## RESUMEN

Las redes de telecomunicaciones han incursionado en los sistemas de control y automatización del servicio eléctrico de distribución, como herramienta principal de desarrollo, expansión y aseguramiento de la continuidad. Su confiabilidad al ser un factor importante, necesita ser evaluado constantemente. Por medio de la metodología de simplificación de diagramas de bloques serie – paralelo, se realizó una propuesta de modelo de confiabilidad, que permite conocer el estado de la red de telecomunicaciones, facilitando información para la toma de decisiones técnicas y administrativas, que ayude a incrementar la eficiencia de la red, contribuyendo al mejoramiento de los indicadores del servicio eléctrico de distribución.

**PALABRAS CLAVE:** Confiabilidad telecomunicaciones, control y automatización, red eléctrica, diagramas de bloque, tasa de fallos, telegestión.

**ABSTRACT**

Telecommunication networks have ventured into the control and automation systems of electric distribution service as a main tool for development, expansion and continuity assurance. Due to the fact that its reliability is an important factor, it needs to be constantly evaluated.

A reliability model of serial - parallel block diagrams was proposed through a simplification methodology. This enabled to know the telecommunications network status, facilitating information for technical and administrative decision making, in order to help to increase network efficiency, contributing to the improvement of electricity distribution service indicators.



UNIVERSIDAD DEL  
AZUAY  
Dpto. Idiomas



Translated by,  
Lic. Lourdes Crespo



## INTRODUCCIÓN

La Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C.A., conocida comercialmente con el nombre de CENTROSUR, es una empresa dedicada a la distribución y comercialización del servicio eléctrico y de telecomunicaciones, dentro de las provincias de Azuay, Cañar y Morona Santiago.

Como parte de su desarrollo, CENTROSUR implementó una red de telecomunicaciones para mejorar la continuidad del sistema eléctrico de distribución de energía, siendo ésta una herramienta para el control y automatización de: las subestaciones, de las líneas de subtransmisión y de los equipos de protección de línea eléctrica de distribución, permitiendo disminuir el tiempo de cortes de servicio eléctrico, y mejorando el servicio a los usuarios de CENTROSUR, quienes son los beneficiarios.

En la actualidad, esta red de telecomunicaciones, no cuenta con un modelo de confiabilidad, que convierta los datos de los sistemas de monitoreo en documentos ejecutivos, que permita a la administración de la Empresa conocer el estado de su infraestructura tecnológica, por esta razón, se investigó las debilidades y los aspectos relevantes relacionados a esta realidad que facilite la toma de decisiones sobre las inversiones que deban realizar para mejorar la eficacia y eficiencia.

En la elaboración del modelo de confiabilidad de la red de telecomunicaciones, aplicada a los equipos del sistema eléctrico de potencia (SEP), objetivo general previsto, se definió y delimitó los equipos, se calculó la confiabilidad individual y la confiabilidad total de los nodos, obteniendo como resultado, la propuesta de un modelo de confiabilidad, con miras a que en un futuro se pueda aplicar a la red eléctrica en su totalidad.

Este trabajo enfoca a las telecomunicaciones como un servicio, por lo que, las expresiones que se describen están enfocadas a los usuarios del servicio eléctrico, simplificando los conceptos de la Ingeniería de Telecomunicaciones.

# **PROPUESTA DE UN MODELO DE CONFIABILIDAD PARA LA RED DE TELECOMUNICACIONES DE LA EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL CENTRO SUR C.A.**

## **CAPÍTULO 1. Materiales y Métodos**

### **1.1. Estado del arte**

#### **1.1.1. Red de telecomunicaciones**

Una Red de telecomunicaciones es el conjunto de medios (transmisión y conmutación), tecnologías (procesado, multiplexación, modulaciones), protocolos y facilidades en general, necesarios para el intercambio de información entre los usuarios de la red.

La red de telecomunicaciones funciona de la siguiente manera: Un terminal de envío genera los mensajes, a continuación se transmiten a través de la red de enlaces y nodos hasta que llegan a la terminal de destino. Es trabajo de los nodos intermedios gestionar los mensajes y enviar el enlace correcto hacia su destino final. Estos mensajes constan de secciones de control (o señalización) y secciones portadoras que son enviadas juntas o por separado. La parte portadora es el contenido real que el usuario desea transmitir (por ejemplo un correo electrónico), mientras que la parte de control instruye a los nodos acerca de dónde y de qué forma tiene que ser enviado a través de la red.

Se han desarrollado un gran número de protocolos a lo largo de los años para especificar cómo cada tipo de red de telecomunicaciones maneja los mensajes de control y los mensajes portadores para lograr esto de manera eficiente.

Para estandarizar los protocolos de comunicación y ayudar a que los productos de los fabricantes sean compatibles unos con otros, la ISO (*International Organization for Standardization*) desarrolló el modelo OSI (*Open System Interconnection*) (ISO7498:1984) que ocupa una arquitectura de red en siete capas, definiendo las fases por las que los datos pasan para viajar de un dispositivo a otro sobre una red de telecomunicaciones. De un modo simplificado, se conforman de la siguiente manera (Comer, 2000):

- **CAPA FÍSICA (Primera Capa):** Es la capa encargada de transmitir la información por un medio determinado, ocupando las propiedades físicas y las características eléctricas a fin de transformar la información en impulsos, sean estos, eléctricos, si

la transmisión es por cable, electromagnéticos, si la transmisión es inalámbrica y luminosos, si se ocupa un medio óptico.

- CAPA DE ENLACE (Segunda Capa): Es la encargada de trasladar los mensajes desde y hacia la capa física a la capa de red.
- CAPA DE RED (Tercera Capa): Se ocupa de la transmisión de los paquetes encaminándolos de manera adecuada a una dirección de destino y viceversa.
- CAPA DE TRANSPORTE (Cuarta Capa): Garantiza la fiabilidad del servicio, es decir, es la encargada de reordenar los paquetes recibidos en la capa de red.
- CAPA DE SESIÓN (Quinta Capa): Es una extensión de la capa de transporte que ofrece control de diálogo y sincronización.
- CAPA DE PRESENTACIÓN (Sexta Capa): Esta capa define la calidad y naturaleza del envío de datos, estableciendo los arreglos necesarios para presentar los datos a la capa de aplicación
- CAPA DE APLICACIÓN (Séptima Capa): Interactúa entre la capa de presentación y el interfaz del usuario, entregando datos y recibiendo comandos que permiten la comunicación.

### **1.1.2. Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad**

Para comprender la esencia del presente trabajo, y la importancia que la confiabilidad tiene sobre la red de telecomunicaciones, es necesario definir su concepto el cual de un modo simplificado es:

Confiabilidad o fiabilidad: Es la probabilidad de que un elemento, conjunto o sistema funcione sin fallos, durante un tiempo dado, en condiciones operacionales establecidas. (Sexto, 2015; Nachls, 1995)

La importancia que tiene la confiabilidad dentro de una empresa, se obtiene de la relación que existe entre ella y los elementos que engloba el control y evaluación de la gestión de mantenimiento, como son la disponibilidad y mantenibilidad. Sus conceptos son:

Disponibilidad: Es la probabilidad de que un elemento, conjunto o sistema esté en estado de funcionar, es decir ni averiado, ni en revisión, en un tiempo dado. (Sexto, 2015; Nachls, 1995)

Mantenibilidad: Es la probabilidad de que, después de un fallo, un elemento, conjunto o sistema sea reparado en un tiempo dado a un estado donde sea capaz de realizar su función original nuevamente. (Sexto, 2015; Nachls, 1995)

La relación de los tres elementos se expresa en la figura 1.

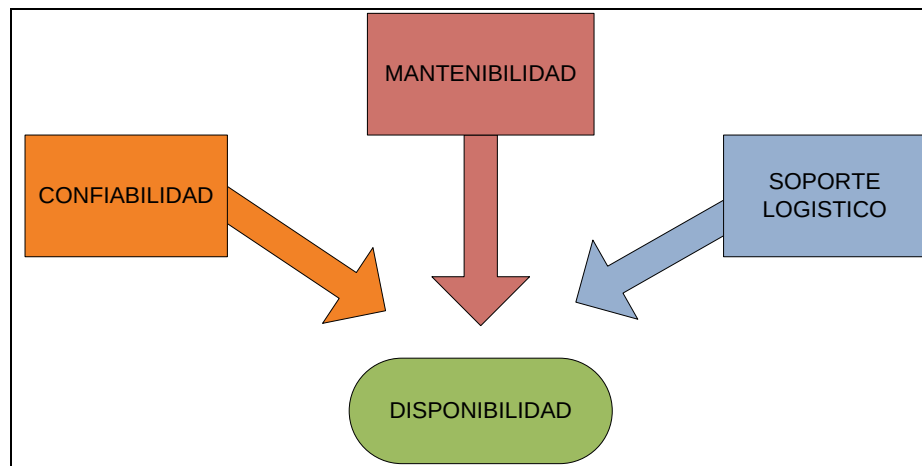


Figura 1. Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad. Fuente Sexto L.

Tomando en consideración que el soporte logístico, no siempre es un tema dependiente del área de mantenimiento como tal, ya que este ámbito pertenece al área financiera y administrativa y no a la técnica, se advierte con claridad que la disponibilidad es directamente proporcional a la confiabilidad y mantenibilidad; ya que, si cualquiera de las dos tiene una tendencia a la baja, la disponibilidad de la red también asumirá dicha tendencia, es decir se tendrá valores por debajo a los declarados dentro de la función operacional que definiremos más adelante.

### 1.1.3. Tasa de fallos y su relación con la confiabilidad

La confiabilidad de un sistema se relaciona directamente con la tasa de fallos, que es la función descriptiva del número de fallos que puede ocurrir en un sistema y/o componente en un tiempo dado. Se puede representar gráficamente para una población homogénea de componentes a medida que crece su edad ( $t$ ), teniendo como resultado la “curva de bañera” (figura 2) que tiene tres fases claramente definidas: (Sexto, 2015)

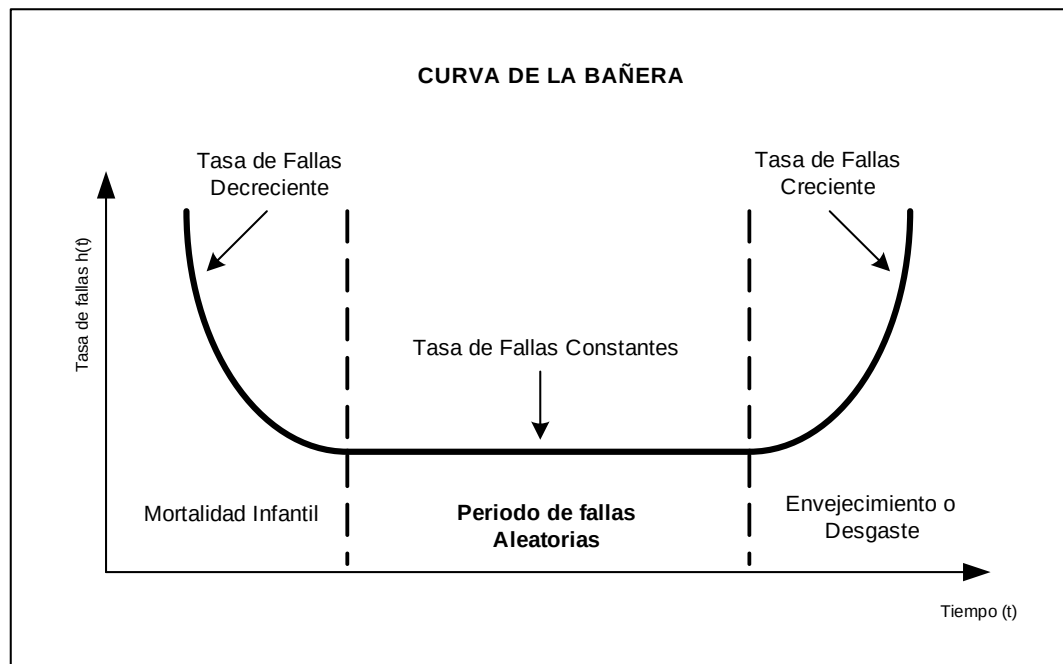


Figura 2. Curva de la Bañera. Fuente Sexto L. 2015

#### Período de mortalidad infantil

- Fallos de rodaje, ajuste o montaje.
- La tasa de fallos es decreciente.
- Propio de componentes de tecnología mecánica.

#### Período de fallas aleatorias

- Tasa de fallos constante.
- Propio de materiales de tecnología eléctrica/electrónica.

#### Período de envejecimiento o desgaste

- Desgaste progresivo.
- Tasa de fallos creciente.
- Propio de materiales de tecnología mecánica o electromecánica.

Los equipos de telecomunicaciones, al poseer en su mayoría componentes electrónicos, aplica la curva de la bañera para el cálculo de confiabilidad, pero únicamente la función del período de fallas aleatorias.

La condición del periodo de fallas aleatorias, es que su tasa de fallos es constante, por lo tanto, la fórmula que determina este estado es:

$$Tasa\ de\ Falla\ (\lambda) = Tf / Tp$$

Donde  $Tf$  = # total de fallas

$Tp$  = Tiempo Total

Fórmula 1. Tasa de falla. Fuente Sexto L. 2015

Si la tasa de fallos de los equipos de la red de telecomunicaciones es constante para un tiempo dado, la fórmula de confiabilidad queda expresada de la siguiente manera:

$$Confiabilidad\ (R) = e^{-\lambda/t.T}$$

Donde  $\lambda$  = Tasa de fallos

$T$  = Tiempo de estudio

Fórmula 2. Confiabilidad. Fuente Sexto L. 2015

#### 1.1.4. Diagramas de bloques de confiabilidad

Tomando los conceptos de Mike Sondalini, en su libro “*Plant and Equipment Wellness*” del 2009, en el cual explica cómo realizar el cálculo de confiabilidad equivalente en sistemas serie – paralelo en la industria, se rescata las fórmulas probabilísticas ocupadas en su explicación, para realizar una semejanza de cálculo matemático hacia el ámbito de los servicios y puntualmente en este estudio, al servicio de telecomunicaciones.

Los sistemas pueden ser de dos tipos:

**1.1.4.1. Sistemas serie:** En una configuración del sistema en serie (figura 3) el fallo de cualquiera de sus componentes provoca el fallo total del sistema.

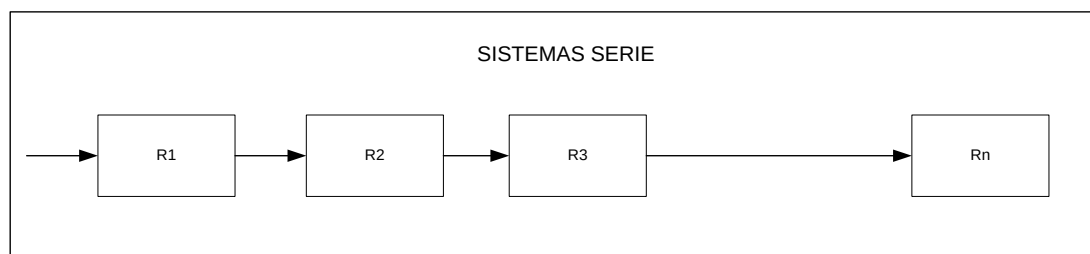


Figura 3. Sistemas en Serie. Fuente Autor

Su función estructural es la siguiente:

$$Rt = \prod_{i=1}^n Ri$$

Donde  $R_t$  = Confiabilidad total  
 $R_i$  = Confiabilidad individual

De manera simplificada:

$$R_t = R_1 * R_2 * R_3 \dots R_n$$

Donde  $R_t$  = Confiabilidad total  
 $R_1..R_n$  = Confiabilidad individual

Fórmula 3. Confiabilidad sistemas serie. Fuente Sondalini M. 2015

Siendo  $n$ , el número de elementos del sistema.

En un sistema en serie, el elemento con menor confiabilidad, es el que tiene mayor influencia en el sistema, por lo que, la confiabilidad total del sistema, siempre será menor que el valor menor de confiabilidad individual de los componentes.

**1.1.4.2. Sistemas paralelo:** En una configuración en paralelo, (figura 4) basta con el funcionamiento de uno de los componentes para que el sistema funcione, por lo que el sistema es redundante.

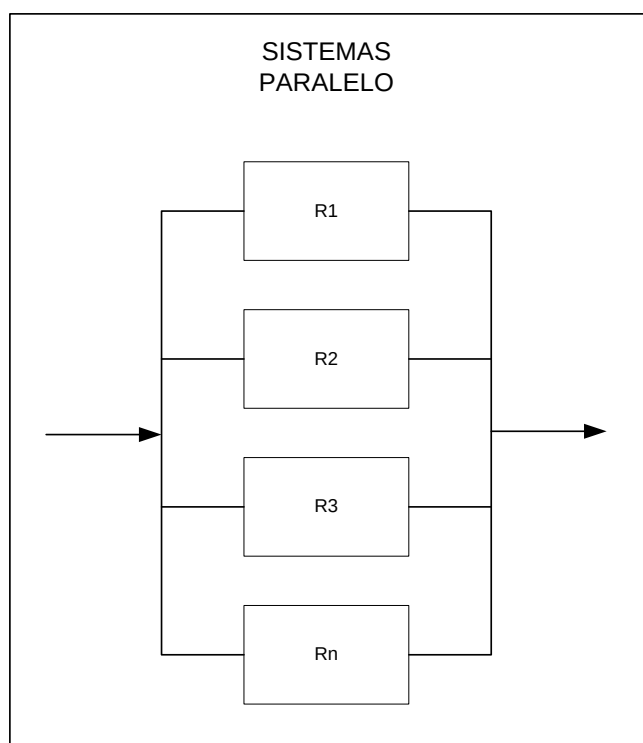


Figura 4. Sistemas en Paralelo. Fuente Autor

Su función estructural es la siguiente:

$$R_t = \prod_{i=1}^n (1 - R_i)$$

Donde  $R_t$  = Confiabilidad total  
 $R_i$  = Confiabilidad individual

De manera simplificada

$$R_t = 1 - (1 - R_1) * (1 - R_2) * \dots (1 - R_n)$$

Donde  $R_t$  = Confiabilidad total  
 $R_1..R_n$  = Confiabilidad individual

Fórmula 4. Confiabilidad sistemas paralelo. Fuente Sondalini M. 2015

Siendo  $n$  , el número de elementos del sistema.

En un sistema en paralelo, el elemento con mayor confiabilidad, es el que tiene mayor influencia en el sistema. La característica de este tipo de sistema es su redundancia, es decir, existe más de un componente para desempeñar una función dada.



## CAPÍTULO 2.- Resultados

### 2.1. Descripción de la red de telecomunicaciones de CENTROSUR

La red de telecomunicaciones de CENTROSUR es un sistema que sirve a varios sectores en sus necesidades de comunicación como son: el servicio de internet y transmisión de datos (ISP), los servicios empresariales corporativos (telefonía IP, videoconferencia...) y los servicios de transmisión de datos de los equipos de control, automatización y protección de la red de transmisión y distribución del servicio eléctrico.

El diagrama de la figura 5, expone el funcionamiento de la red de telecomunicaciones en bloques, sirve para viabilizar el contexto operacional que describe las características de los sistemas a fin de determinar su función operacional.

#### DIAGRAMA RED DE TELECOMUNICACIONES

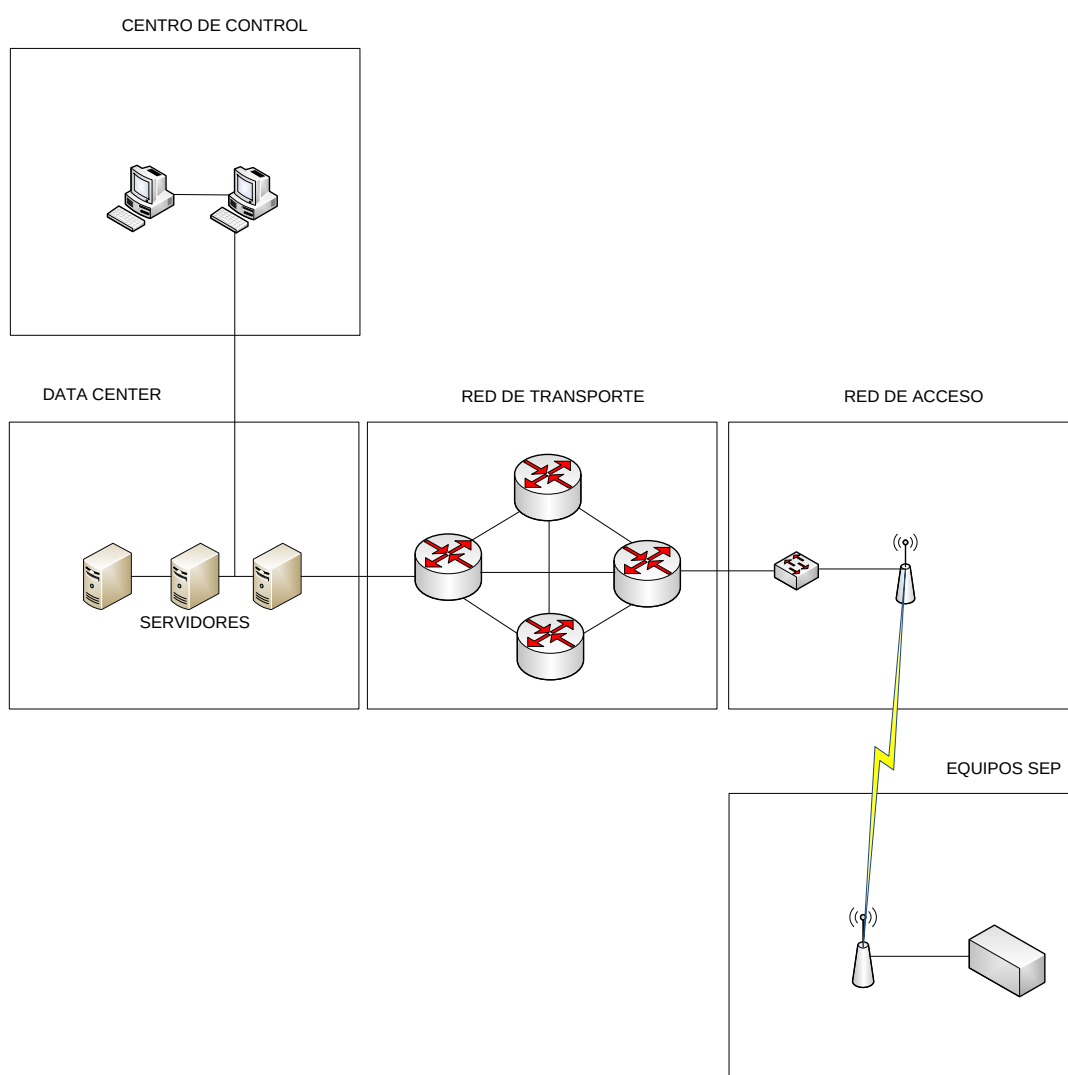


Figura 5. Diagrama de Red de Telecomunicaciones. Fuente Autor

En base a los conceptos establecidos en CENTROSUR, se describe cada una de los bloques del diagrama señalado anteriormente:

**CENTRO DE CONTROL:** Es el centro de supervisión y operación del sistema eléctrico de potencia (SEP), área destinada a monitorear y operar los equipos de control y protección; es el usuario que devengan servicios de la red de telecomunicaciones, interactuando con la información obtenida mediante un sistema SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*).

**DATA CENTER:** También conocido como centro de procesamiento de datos, es el lugar destinado a albergar el hardware de todos los sistemas de información y comunicación; sus prestaciones permiten garantizar la continuidad de los servicios, por lo cual, es considerado el núcleo de cualquier sistema de telecomunicaciones. En el caso de CENTROSUR, el *Data Center* almacena los equipos routers y switches, que permiten la comunicación del Centro de Control con los equipos del SEP, a más del resto de servicios informáticos corporativos necesarios para el desarrollo de las funciones de la empresa.

**RED DE TRANSPORTE:** La red de transporte o también conocida como *Backbone*, tiene como objetivo concentrar el tráfico de información que proviene de las redes de acceso y enviarla hacia el Centro de Datos. El *Backbone* de CENTROSUR, dependiendo de la zona geográfica, ocupa para la intercomunicación de sus nodos varios medios de transmisión como: fibra óptica, microonda y radio enlaces en bandas no licenciadas.

**RED DE ACCESO:** Se denomina red de acceso al tramo final que une a los equipos suscriptores con el resto de la red de telecomunicaciones, a fin de poder adquirir y/o proveer servicios.

**EQUIPOS SEP:** Son los equipos finales del sistema eléctrico de potencia, en las subestaciones son los concentradores de datos y en la red de distribución los equipos finales son los reconectores y reguladores.

## **2.2. Definición de la función operacional**

Con los conceptos establecidos, la función operacional de la red de telecomunicaciones de CENTROSUR, desde el punto de vista del servicio eléctrico como cliente, es:

**Comunicar los equipos del sistema eléctricos de potencia (SEP) con el Centro de Control, con una disponibilidad mínima del 99.6% al mes.**

En términos ideales, la red funciona de manera continua, es decir, 24 horas, los 365 días del año, por esta razón, dentro del diseño de los diferentes nodos o puntos intermedios de conexión, se prevé equipamiento adicional que ayude a garantizar la continuidad del servicio de telecomunicaciones, teniendo un contingente a los fallos funcionales que se puedan presentar, entendiendo como fallo funcional, el evento que impida desarrollar la función de red de manera normal.

Dichos fallos funcionales, a nivel de la red de telecomunicaciones de CENTROSUR, pueden ser:

**POR FALLA DEL SUMINISTRO ELÉCTRICO:** Se presenta cuando el nodo o repetidor, pierde continuidad del servicio eléctrico, ya sea, por eventos inesperados dentro de la red de distribución, o por consignaciones programadas por mantenimientos en la red. Para contrarrestar este fallo, los nodos poseen sistemas de respaldo de energía, que tienen una autonomía dada por la carga conectada frente a la capacidad ofertada. Dependiendo de este factor, más su ubicación, los sistemas pueden ser:

- UPS (*Uninterruptible Power Supply*), sistemas de alimentación ininterrumpida con un banco de baterías externo para aumentar la autonomía del mismo.
- Sistemas rectificador, inversor, banco de baterías, estos sistemas permiten a más de garantizar la continuidad del servicio eléctrico, mejorar el mantenimiento de los mismos al ser un sistema modular, pero a un costo mayor que los UPS.

**POR FALLO EN EL BACKBONE:** Se refiere a la pérdida de comunicación por un daño en la red de transporte, es decir, en uno o varios nodos que topológicamente preceden al nodo en estudio. Para evitar esta pérdida de comunicación, se instalan enlaces redundantes (*backup*) con diferentes tecnologías, dependiendo de la criticidad en la que esté clasificado el nodo.

**POR FALLO EN LOS EQUIPOS:** Está relacionado directamente con la confiabilidad individual de los equipos, indica los fallos producidos de manera súbita y fortuita sin que otro equipo afecte su funcionamiento normal, para evitar este fallo, se adquieren equipos que tecnológicamente ofrezcan una baja tasa de fallos.

### **2.3. Clasificación de los nodos**

La red de telecomunicaciones de CENTROSUR, en forma general, es un sistema de nodos que se entrelazan de manera lógica para garantizar la función descrita anteriormente, se clasifica de dos maneras: por su infraestructura y por su jerarquía.

### 2.3.1. Por su infraestructura.- Los nodos pueden ser:

ESTACIÓN: Se considera el nodo de comunicación que oferta las siguientes facilidades:

- Terreno cercado con protección.
- Torre autosoportada.
- Cabina o *Shelter* hermético con sistema de climatización.

REPETIDOR: Están caracterizarlos por:

- Terreno sin cerco: equipos directamente sujetos a la base de una estructura.
- Estructuras que son torres con tensores o postes de fibra de vidrio.
- Los equipos están alojados dentro de un armario o *rack* de exteriores.

**2.3.2. Por su jerarquía:** La jerarquía de los nodos depende de su criticidad con relación al servicio que prestan a la red eléctrica de manera exclusiva, se clasifica de la siguiente manera:

NODO PRIMARIO:                      Atiende a Subestaciones y *Data Center*

NODO SECUNDARIO:                Atiende a Reconectores y Reguladores

NODOS TERCARIOS:                Atiende a Agencias y Oficinas

### 2.4. Consideraciones iniciales del modelo de gestión:

Al tener declaradas las fórmulas de tasa de fallas, confiabilidad, el desarrollo de los sistemas serie – paralelo y la clasificación de los nodos, se puede empezar con el cálculo matemático del modelo de confiabilidad, para ello se tomará las siguientes consideraciones iniciales:

- El tiempo de considerado para el presente estudio es 161 días, es decir, 3864 horas.
- Los nodos cuya función principal es la de proveer servicio de internet o transmisión de datos a clientes externos de la empresa, no se incluye en este estudio porque no forman parte de la clasificación jerárquica referida anteriormente.
- Del listado de nodos de CENTROSUR, se realizó un análisis y selección de acuerdo clasificación jerárquica, teniendo los siguientes datos:

- 194 Nodos totales de la red de telecomunicaciones
  - 27 Nodos Principales
  - 26 Nodos Secundarios
  - 18 Nodos Terciarios
  - 123 Nodos son excluidos del estudio.
- 
- La red de telecomunicaciones de CENTROSUR cuenta con un sistema informático de gestión de monitoreo licenciado denominado "*WHATSUP GOLD v14.1.2*" (figura 6), el cual almacena la información de la red en tiempo real. La base de datos del sistema de gestión se tomará para la elaboración de los diferentes cálculos que el presente estudio plantea, de tal manera que se tendrá datos sin errores ni manipulaciones, para que los resultados sean 100% reales.
  - La base de datos se almacena mediante el sistema "*SQL Server*" y actualmente tiene un tamaño de 2,5 GB (ANEXO 3), por lo que la información para el presente estudio será resumida en tablas informativas.
  - El origen del fallo de comunicación no es trascendental, es decir, no importa la razón por la cual se produjo la falla funcional, en primer lugar porque el sistema de gestión no es capaz de discriminar la diferencia de alarmas, y segundo porque la perspectiva desde el punto de vista del cliente es la misma, es decir, pierde conectividad.
  - La discriminación de las alarmas se realizará bajo la siguiente lógica:
    - El resto de alarmas se consideran irrelevantes para el estudio, puesto que la mayoría son informativas sobre el estado de los equipos.
    - En la figura 7 podemos observar como el sistema de alarmas reporta los diferentes eventos que se producen en la red, siendo estos datos la base para el desarrollo del modelo que plantearemos más adelante dentro del estudio.

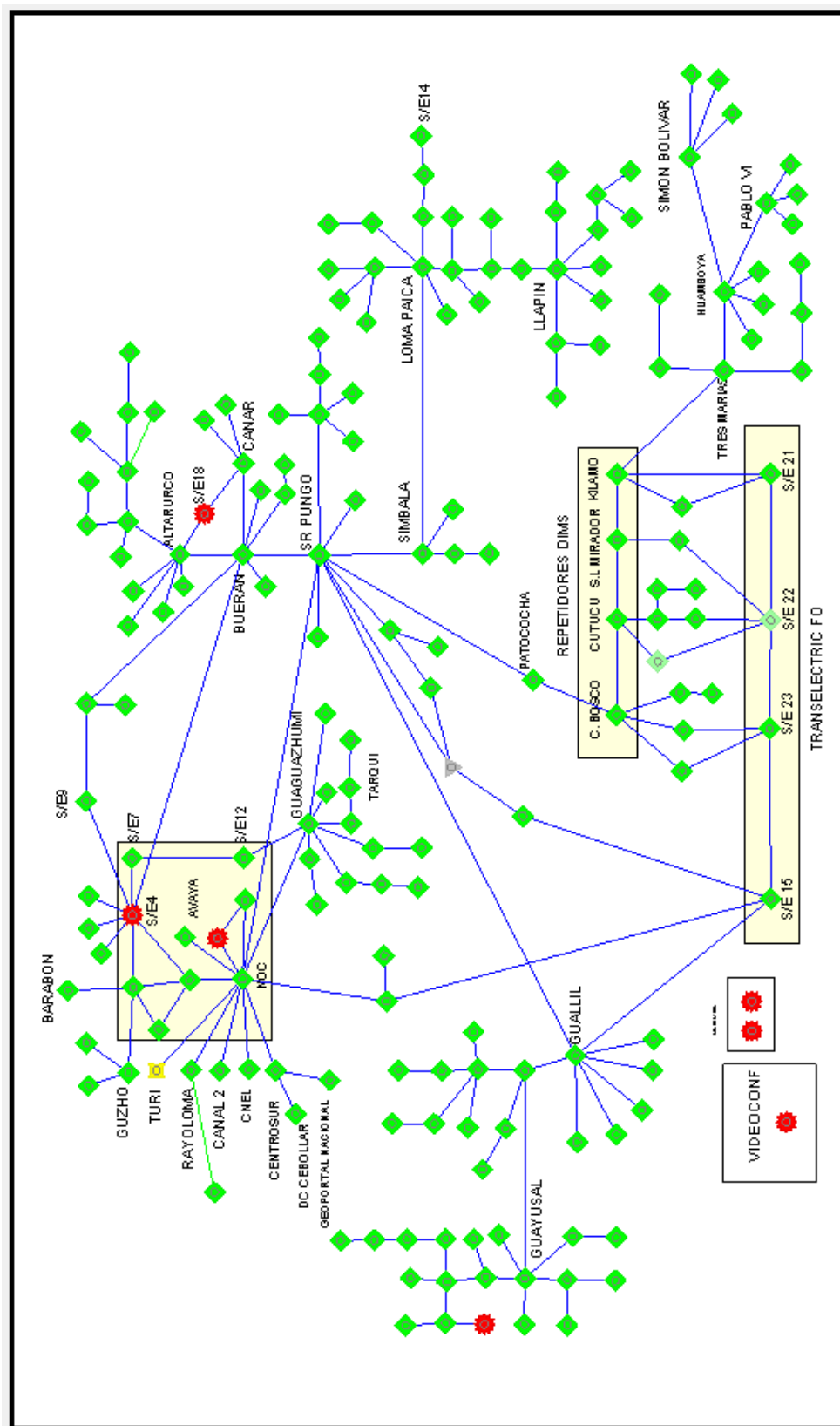


Figura 6. "WHATSUP GOLD v14.1.2". Fuente CENTROSUR

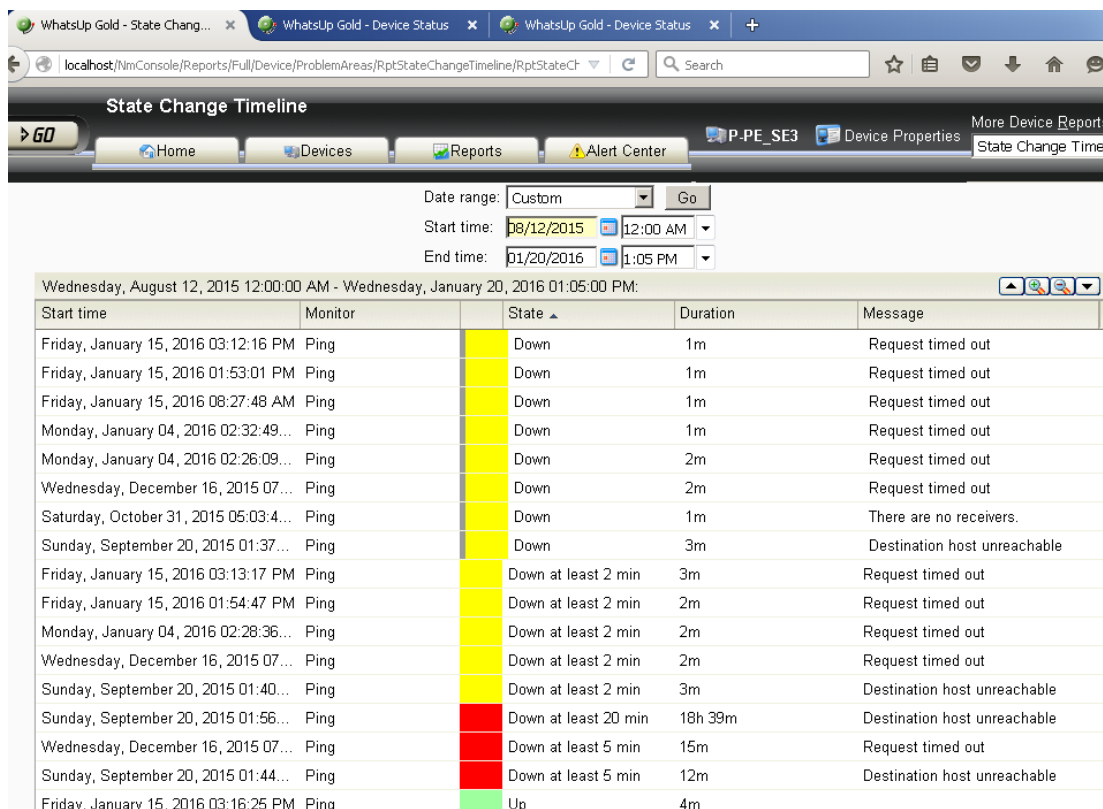


Figura 7. Alarmas “WHATSUP GOLD v14.1.2” Fuente CENTROSUR

## 2.5. Cálculo del modelo de confiabilidad

La red de telecomunicaciones es un sistema serie – paralelo de varios ramales individuales, que parten desde el Data Center y se anidan de manera lógica según las necesidades topológicas de los equipos del SEP. Varios nodos, a más de ser puntos de acceso a los enlaces de última milla (UM), forman parte del *backbone* para otros nodos que se encuentran más alejados del *Data Center*. Esto crea una dependencia a nivel de confiabilidad, ya que como se indica anteriormente, en este tipo de sistemas, la confiabilidad total depende de la disposición que tengan los nodos dentro de la red.

A continuación se explica, como realizar el cálculo de algunos de los ramales de la red a modo de ejemplificación, para luego indicar, en tablas, los resultados totales con sus respectivas conclusiones

El total de diagramas de la red de telecomunicaciones están incluidos dentro del ANEXO 1.

### 2.5.1. Cálculo del nodo *data center*

En la figura 8 se ilustra el diagrama de bloque del *Data Center*

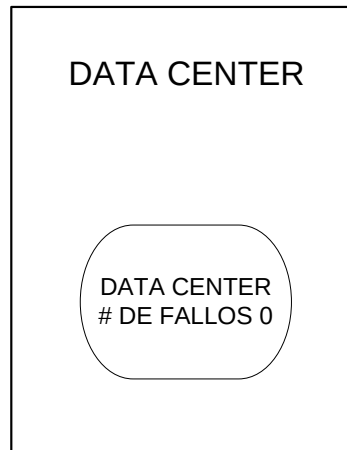


Figura 8. Diagrama de bloques Data Center. Fuente Autor

El *Data Center* no presenta fallos durante el tiempo de estudio, por lo tanto no se puede realizar el cálculo de la confiabilidad con la fórmula señalada anteriormente, por ello, según la teoría de confiabilidad indica, se tomará como tasa de falla al valor indicado por el fabricante dentro de sus especificaciones técnicas, en este caso; el equipo principal del *Data Center*, es un router marca CISCO® modelo 7604, que en catálogo tiene un  $\lambda = 1.653 \text{ E} - 5$ , es decir, 7 años de funcionamiento sin fallo, en condiciones normales de operación.

Aplicando la fórmula de confiabilidad, al *Data Center*, se obtiene:

$$R(DC) = e^{-(\lambda/t).T}$$

Donde  $R(DC)$  = Confiabilidad *Data Center*

$\lambda/t$  = Tasa de Fallas

T = Tiempo de análisis

Fórmula 5. Confiabilidad *Data Center*. Fuente Autor

$$R(DC) = e^{-1.653 \text{ E} - 5 \left( \frac{f}{h} \right) \times 3864 \text{ (h)}}$$

$$R(DC) = 93.81 \%$$

El dato obtenido de la fórmula expresa el valor de confiabilidad total del nodo, ya que es el único, no dependiente, en el sistema de telecomunicaciones.

### 2.5.2. Cálculo del nodo subestación 3 (S/E 3)

El Diagrama de bloque de la S/E 3 se ilustra en la figura 9



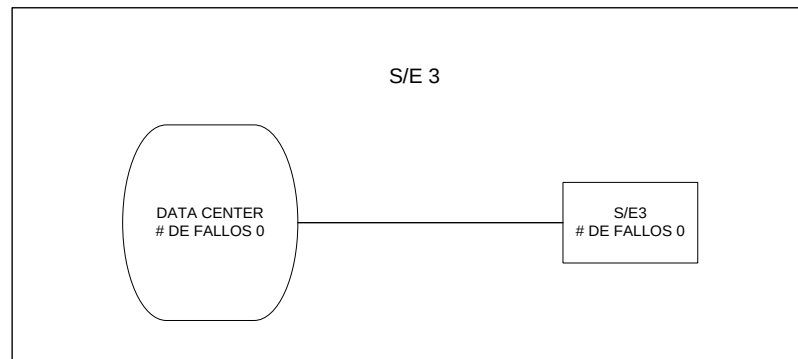


Figura 9. Diagrama de bloques S/E 3. Fuente Autor

De igual forma que en el caso del Data Center, el nodo S/E 3 no ha perdido comunicación dentro del período de estudio y su equipo principal es un *router* de iguales prestaciones que el del Centro de Datos (CISCO 7604). El cálculo de la confiabilidad individual se realiza de igual manera que en el *Data Center*:

$$R(S/E3) = e^{-\lambda/t \cdot T}$$

Donde  $R(S/E3)$  = Confiabilidad S/E 3

$\lambda/t$  = Tasa de Fallas

T = Tiempo de análisis

Fórmula 6. Confiabilidad individual Subestación 3. Fuente Autor

$$R(S/E3) = e^{-1.653 \cdot 10^{-5} \left(\frac{f}{h}\right) \times 3864 \text{ (h)}}$$

$$R(S/E3) = 93.81 \%$$

Para el cálculo de la confiabilidad total del nodo, se observa un sistema serie, por tanto, aplicando la formula se tiene el siguiente resultado:

$$R_t(S/E3) = R(DC) * R(S/E3)$$

Donde  $R_t(S/E3)$  = Confiabilidad total S/E3

$R(DC)$  = Confiabilidad individual Data Center

$R(S/E3)$  = Confiabilidad individual S/E 3

Fórmula 7. Confiabilidad equivalente Subestación 3. Fuente Autor

$$R_t(S/E3) = 93.81 * 93.81$$

$$R_t(S/E3) = 88.00 \%$$

Cumpliendo con el principio de los sistemas en serie, se observa que la confiabilidad total del nodo, es menor que el valor menor de sus componentes.

### 2.5.3. Cálculo nodo subestación 4 (S/E 4)

CENTROSUR cuenta con la instalación de un anillo lógico entre sus subestaciones estratégicas, mismo que permite tener redundancia de comunicación ante el fallo de algún nodo que conforma el anillo, su cálculo es el siguiente:

El Diagrama de bloque de la S/E 4 se ilustra en la figura 10

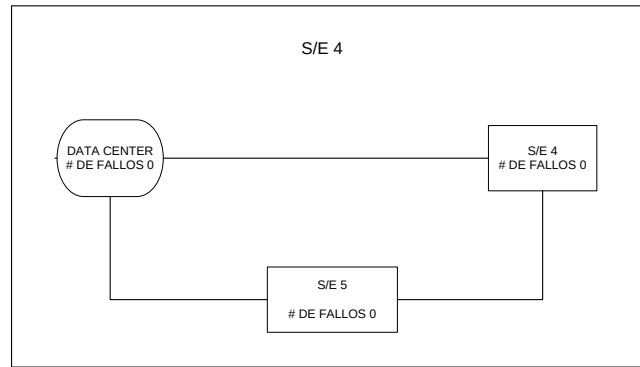


Figura 10. Diagrama de bloques S/E4. Fuente Autor

La confiabilidad individual de la Subestación 4, está definida con la fórmula:

$$R(S/E4) = e^{-\lambda/t.T}$$

Donde  $R(S/E4)$  = Confiabilidad S/E 4  
 $\lambda/t$  = Tasa de Fallas  
 $T$  = Tiempo de análisis

Fórmula 8. Confiabilidad individual Subestación 4. Fuente Autor

$$R(S/E4) = e^{-1.653 \text{ E-}5 \left(\frac{f}{h}\right) \times 3864 \text{ (h)}}$$

$$(S/E4) = 93.81 \%$$

La confiabilidad total tiene para su cálculo dos canales de comunicación: en el principal, la S/E 4 está en serie con el Data Center y en el canal de respaldo (*backup*) tiene en serie la S/E 4 con la S/E 5 y con el *Data Center*, la fórmula se expresa de la siguiente manera:

$$Rt(S/E4) = 1 - \left( (1 - (RDC * RS/E4)) * \left( (1 - (RDC * RS/E4 * RS/E5)) \right) \right)$$

Donde  $Rt(S/E4)$  = Confiabilidad total S/E4  
 $R(DC)$  = Confiabilidad individual Data Center  
 $R(S/E3)$  = Confiabilidad individual S/E 3  
 $R(S/E4)$  = Confiabilidad individual S/E 4  
 $R(S/E5)$  = Confiabilidad individual S/E 5

Fórmula 9. Confiabilidad equivalente Subestación 4. Fuente Autor

$$Rt(S/E4) = 1 - \left( (1 - (93.81 * 93.81)) * ((1 - (93.81 * 93.81 * 93.81))) \right)$$

$$Rt(S/E 4) = 97.90 \%$$

Como se puede observar, el valor de la confiabilidad de la S/E 4 es mayor que la del propio *Data Center*, ya que cuenta con un canal redundante.

#### 2.5.4. Cálculo nodo subestación Sinincay

Del anillo de subestaciones que se menciona anteriormente, se deriva el resto de nodos que forman parte de la red de telecomunicaciones, para su cálculo se debe realizar simplificaciones de los diagramas de bloques hasta encontrar una equivalencia serie – paralelo que permita realizar un cálculo sencillo, de la siguiente manera.

El diagrama de bloque original de la Subestación Sinincay, está ilustrado en la figura 11

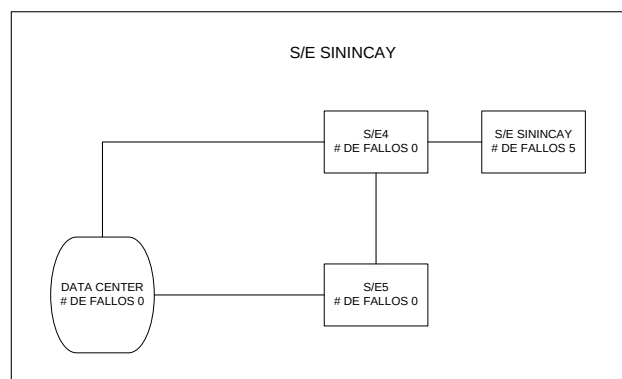


Figura 11. Diagrama de bloques S/E Sinincay. Fuente Autor

Para calcular la confiabilidad individual de la S/E Sinincay, primero se utiliza la fórmula de la tasa de fallas enunciada anteriormente, ya que en esta subestación, si se produjo fallos durante el periodo de estudio. Por lo tanto:

$$\lambda (S/E Sinincay) = \# Fallos S/E Sinincay / Tiempo de estudio$$

Fórmula 10. Tasa de falla Subestación Sinincay. Fuente Autor

$$\lambda (S/E Sinincay) = 5 / 3864$$

$$\lambda (S/E Sinincay) = 1.2940E - 03$$

Teniendo este dato, la confiabilidad individual del nodo será:

$$R(S/E Sinincay) = e^{-\lambda/t.T}$$

Fórmula 11. Confiabilidad individual Subestación Sinincay. Fuente Autor

$$R(S/E \text{ Sinincay}) = e^{-1.2940 \text{ E-}03 \left(\frac{f}{h}\right) \times 3864 \text{ (h)}}$$

$$R(S/E \text{ Sinincay}) = 0.67 \%$$

La figura 12 ilustra el diagrama de bloque simplificado de la Subestación Sinincay que servirá para el cálculo de la confiabilidad total del nódulo

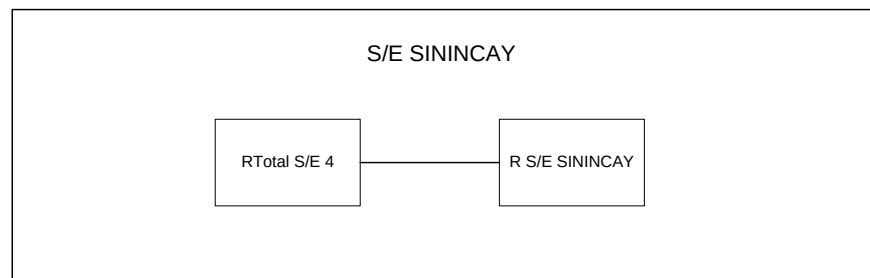


Figura 12. Diagrama de bloques simplificado S/E Sinincay. Fuente Autor

Ahora, según el diagrama de bloques simplificado, se advierte que la S/E Sinincay se encuentra en serie con la confiabilidad equivalente de la S/E4, por tanto la confiabilidad total del nodo S/E Sinincay será:

$$R_t(S/E \text{ Sinincay}) = R_t(S/E4) * R(S/E \text{ Sinincay})$$

Fórmula 12. Confiabilidad equivalente Subestación Sinincay. Fuente Autor

$$R_t(S/E \text{ Sinincay}) = 97.90 * 0.67\%$$

$$R_t(S/E \text{ Sinincay}) = 0.6597\%$$

Se demuestra con la formula anterior, que en los sistemas serie – paralelo, la relación de confiabilidad entre nodos es directa, por tanto, el fortalecimiento de la red debe ser holística, ya que la presencia de un solo nodo con baja confiabilidad provocará que el resto de la cadena baje en igual o mayor proporción su confiabilidad.

## 2.6. Modelo de confiabilidad de la red de telecomunicaciones

Continuando con la misma lógica de cálculo para el resto de los 67 nodos de la red se obtiene la tabla 1, que simplifica los resultados del modelo de confiabilidad, que consta en el ANEXO 2

| #  | NODO                  | # DE FALLA<br>TOTALES | # DE FALLA<br>INDEPENDIENTES | #FALLAS<br>DEPENDIENTES | TASA DE<br>FALLAS | CONFIABILIDAD<br>INDIVIDUAL | CONFIABILIDAD<br>EQUIVALENTE<br>DEL NODO | TIPO        |
|----|-----------------------|-----------------------|------------------------------|-------------------------|-------------------|-----------------------------|------------------------------------------|-------------|
| 1  | DATACENTER            | 0                     | 0                            | 0                       | 1.6534E-05        | 93.81%                      | 93.81092%                                | PRIMARIO    |
| 2  | S/E3                  | 0                     | 0                            | 0                       | 1.6534E-05        | 93.81%                      | 88.00489%                                | PRIMARIO    |
| 3  | S/E4                  | 0                     | 0                            | 0                       | 1.6534E-05        | 93.81%                      | 97.90784%                                | PRIMARIO    |
| 4  | S/E5                  | 0                     | 0                            | 0                       | 1.6534E-05        | 93.81%                      | 97.90784%                                | PRIMARIO    |
| 5  | S/E2                  | 1                     | 1                            | 0                       | 2.5880E-04        | 36.79%                      | 34.51111%                                | PRIMARIO    |
| 6  | S/E8                  | 2                     | 2                            | 0                       | 5.1760E-04        | 13.53%                      | 23.09399%                                | PRIMARIO    |
| 7  | S/E SININCAY          | 5                     | 5                            | 0                       | 1.2940E-03        | 0.67%                       | 0.65970%                                 | PRIMARIO    |
| 8  | S/E1                  | 0                     | 0                            | 0                       | 1.6534E-05        | 93.81%                      | 91.84825%                                | PRIMARIO    |
| 9  | S/E6                  | 4                     | 4                            | 0                       | 1.0352E-03        | 1.83%                       | 1.79324%                                 | PRIMARIO    |
| 10 | S/9                   | 5                     | 0                            | 5                       | 1.6534E-05        | 93.81%                      | 0.01141%                                 | PRIMARIO    |
| 11 | S/E7                  | 2                     | 2                            | 0                       | 5.1760E-04        | 13.53%                      | 13.25038%                                | PRIMARIO    |
| 12 | S/E12                 | 9                     | 7                            | 2                       | 1.8116E-03        | 0.09%                       | 0.01208%                                 | PRIMARIO    |
| 13 | AGENCIA BIBLIAN       | 10                    | 10                           | 0                       | 2.5880E-03        | 0.00%                       | 0.00008%                                 | SECUNDARIOS |
| 14 | BUERAN                | 4                     | 4                            | 0                       | 1.0352E-03        | 1.83%                       | 1.71821%                                 | SECUNDARIOS |
| 15 | AGENCIA CAÑAR         | 11                    | 0                            | 11                      | 1.6534E-05        | 93.81%                      | 0.00004%                                 | SECUNDARIOS |
| 16 | S/E18                 | 11                    | 11                           | 0                       | 2.8468E-03        | 0.00%                       | 0.00004%                                 | PRIMARIO    |
| 17 | ALTARURCO             | 4                     | 0                            | 4                       | 1.6534E-05        | 93.81%                      | 1.51211%                                 | SECUNDARIOS |
| 18 | MESALOMA              | 6                     | 2                            | 4                       | 5.1760E-04        | 13.53%                      | 0.20464%                                 | TERCIARIOS  |
| 19 | CIMIENTOS             | 16                    | 10                           | 6                       | 2.5880E-03        | 0.00%                       | 0.00001%                                 | TERCIARIOS  |
| 20 | AGENCIA SUSCAL        | 4                     | 0                            | 4                       | 1.6534E-05        | 93.81%                      | 1.41852%                                 | TERCIARIOS  |
| 21 | GUAGUAZHUMI           | 9                     | 0                            | 9                       | 1.6534E-05        | 93.81%                      | 0.01133%                                 | SECUNDARIOS |
| 22 | CHECA                 | 9                     | 0                            | 9                       | 1.6534E-05        | 93.81%                      | 0.01063%                                 | SECUNDARIOS |
| 23 | DISHA                 | 20                    | 11                           | 9                       | 2.8468E-03        | 0.00%                       | 0.00000%                                 | SECUNDARIOS |
| 24 | CERRO COLES           | 20                    | 0                            | 20                      | 1.6534E-05        | 93.81%                      | 0.00000%                                 | SECUNDARIOS |
| 25 | VALLE                 | 9                     | 0                            | 9                       | 1.6534E-05        | 93.81%                      | 0.01063%                                 | SECUNDARIOS |
| 26 | GUZHO                 | 2                     | 2                            | 0                       | 5.1760E-04        | 13.53%                      | 13.25038%                                | SECUNDARIOS |
| 27 | MINAS                 | 3                     | 1                            | 2                       | 2.5880E-04        | 36.79%                      | 4.87454%                                 | SECUNDARIOS |
| 28 | TURI                  | 1                     | 1                            | 0                       | 2.5880E-04        | 36.79%                      | 58.09908%                                | SECUNDARIOS |
| 29 | RAYOLOMA              | 3                     | 3                            | 0                       | 7.7640E-04        | 4.98%                       | 4.67057%                                 | SECUNDARIOS |
| 30 | DC CEBOLLAR           | 0                     | 0                            | 0                       | 1.6534E-05        | 93.81%                      | 88.00489%                                | PRIMARIO    |
| 31 | SR PUNGO              | 0                     | 0                            | 0                       | 1.6534E-05        | 93.81%                      | 97.90784%                                | SECUNDARIOS |
| 32 | YUQUIN                | 2                     | 2                            | 0                       | 5.1760E-04        | 13.53%                      | 13.25038%                                | TERCIARIOS  |
| 33 | ÑUÑURCO               | 3                     | 3                            | 0                       | 7.7640E-04        | 4.98%                       | 4.87454%                                 | SECUNDARIOS |
| 34 | SIMBALA               | 2                     | 2                            | 0                       | 5.1760E-04        | 13.53%                      | 13.25038%                                | SECUNDARIOS |
| 35 | REPETIDOR SAN GERARDO | 2                     | 0                            | 2                       | 1.6534E-05        | 93.81%                      | 12.43031%                                | SECUNDARIOS |
| 36 | LOMA PAICA            | 2                     | 0                            | 2                       | 1.6534E-05        | 93.81%                      | 12.43031%                                | SECUNDARIOS |
| 37 | S/E14                 | 2                     | 0                            | 2                       | 1.6534E-05        | 93.81%                      | 30.99455%                                | PRIMARIO    |
| 38 | LA PAZ                | 4                     | 2                            | 2                       | 5.1760E-04        | 13.53%                      | 1.68226%                                 | SECUNDARIOS |
| 39 | LOMA MAUTA            | 2                     | 0                            | 2                       | 1.6534E-05        | 93.81%                      | 11.66099%                                | TERCIARIOS  |
| 40 | SILLARRUMI            | 2                     | 0                            | 2                       | 1.6534E-05        | 93.81%                      | 11.66099%                                | PRIMARIO    |
| 41 | NARIHUIÑA             | 5                     | 3                            | 2                       | 7.7640E-04        | 4.98%                       | 0.58057%                                 | PRIMARIO    |
| 42 | REPETIDOR NARIHUIÑA   | 5                     | 0                            | 5                       | 1.6534E-05        | 93.81%                      | 0.54463%                                 | PRIMARIO    |
| 43 | LLAPIN                | 5                     | 0                            | 5                       | 1.6534E-05        | 93.81%                      | 0.51093%                                 | PRIMARIO    |
| 44 | ANTENAS MOLLETURO     | 8                     | 3                            | 5                       | 7.7640E-04        | 4.98%                       | 0.02544%                                 | TERCIARIOS  |
| 45 | CASCAJO               | 8                     | 3                            | 5                       | 7.7640E-04        | 4.98%                       | 0.02544%                                 | SECUNDARIOS |
| 46 | AGENCIA LA TRONCAL    | 6                     | 1                            | 5                       | 2.5880E-04        | 36.79%                      | 0.18796%                                 | TERCIARIOS  |
| 47 | MIRADOR               | 7                     | 1                            | 6                       | 2.5880E-04        | 36.79%                      | 0.06915%                                 | PRIMARIO    |
| 48 | S/E 50                | 7                     | 1                            | 6                       | 2.5880E-04        | 36.79%                      | 0.06915%                                 | PRIMARIO    |
| 49 | PATOCOCHA             | 4                     | 4                            | 0                       | 1.0352E-03        | 1.83%                       | 1.79324%                                 | TERCIARIOS  |
| 50 | CERRO BOSCO           | 10                    | 10                           | 0                       | 2.5880E-03        | 0.00%                       | 0.00008%                                 | TERCIARIOS  |
| 51 | ANKUASH               | 22                    | 12                           | 10                      | 3.1056E-03        | 0.00%                       | 0.00000%                                 | TERCIARIOS  |
| 52 | CUTUCU                | 6                     | 6                            | 0                       | 1.5528E-03        | 0.25%                       | 0.00000%                                 | TERCIARIOS  |
| 53 | TIWINTZA              | 26                    | 4                            | 22                      | 1.0352E-03        | 1.83%                       | 0.00000%                                 | TERCIARIOS  |
| 54 | CHUPIANZA             | 7                     | 1                            | 6                       | 2.5880E-04        | 36.79%                      | 0.00000%                                 | TERCIARIOS  |
| 55 | SAN LUIS DEL MIRADOR  | 4                     | 4                            | 0                       | 1.0352E-03        | 1.83%                       | 0.00000%                                 | TERCIARIOS  |
| 56 | KILAMO                | 3                     | 3                            | 0                       | 7.7640E-04        | 4.98%                       | 0.00000%                                 | TERCIARIOS  |
| 57 | MARAS                 | 2                     | 2                            | 0                       | 5.1760E-04        | 13.53%                      | 13.25038%                                | SECUNDARIOS |
| 58 | AGENCIA GUALACEO      | 0                     | 0                            | 0                       | 1.6534E-05        | 93.81%                      | 91.84825%                                | PRIMARIO    |
| 59 | S/E15                 | 0                     | 0                            | 0                       | 1.6534E-05        | 93.81%                      | 91.84825%                                | PRIMARIO    |
| 60 | S/E23                 | 6                     | 6                            | 0                       | 1.5528E-03        | 0.25%                       | 0.22767%                                 | PRIMARIO    |
| 61 | S/E22                 | 21                    | 21                           | 0                       | 5.4348E-03        | 0.00%                       | 0.00000%                                 | PRIMARIO    |
| 62 | S/E21                 | 5                     | 5                            | 0                       | 1.2940E-03        | 0.67%                       | 0.00000%                                 | PRIMARIO    |
| 63 | S/E CUENCA            | 0                     | 0                            | 0                       | 1.6534E-05        | 93.81%                      | 82.55820%                                | PRIMARIO    |
| 64 | GUALLIL               | 1                     | 1                            | 0                       | 2.5880E-04        | 36.79%                      | 36.01828%                                | SECUNDARIOS |
| 65 | GUEL                  | 11                    | 10                           | 1                       | 2.5880E-03        | 0.00%                       | 0.00164%                                 | SECUNDARIOS |
| 66 | TRES MARIAS           | 15                    | 12                           | 3                       | 3.1056E-03        | 0.00%                       | 0.00000%                                 | TERCIARIOS  |
| 67 | WISUI                 | 15                    | 0                            | 15                      | 1.6534E-05        | 93.81%                      | 0.00000%                                 | TERCIARIOS  |
| 68 | TAISHA                | 24                    | 9                            | 15                      | 2.3292E-03        | 0.01%                       | 0.00000%                                 | TERCIARIOS  |
| 69 | BARABON               | 1                     | 1                            | 0                       | 2.5880E-04        | 36.79%                      | 36.01828%                                | SECUNDARIOS |
| 70 | MIRIN                 | 9                     | 0                            | 9                       | 1.6534E-05        | 93.81%                      | 0.01063%                                 | SECUNDARIOS |
| 71 | TARQUI                | 13                    | 4                            | 9                       | 1.0352E-03        | 1.83%                       | 0.00019%                                 | SECUNDARIOS |

Tabla 1. Resumen cálculo confiabilidad red de telecomunicaciones. Fuente Autor

Al analizar la tabla de valores de confiabilidad individual y de confiabilidad total o equivalente de cada nodo; se puede distinguir la semaforización obtenida de acuerdo al porcentaje de confiabilidad que se necesita garantizar, siendo los resultados los siguientes:

- El color blanco indica los nodos con confiabilidad individual o total mayor al 80%
- El amarillo indica los nodos con confiabilidad individual o total mayor al 10% pero menor al 80%
- El rojo indica los nodos con confiabilidad individual o total menor al 10%

Los resultados de la confiabilidad individual de los nodos constan en la tabla 2:

| CONFIABILIDAD                                                                     |                           | NODOS INDIVIDUALES |        |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|--------------------|--------|
|  | <b>MAYOR AL 80%</b>       | 27                 | 38.03% |
|  | <b>ENTRE EL 10% Y 80%</b> | 17                 | 23.94% |
|  | <b>MENOR AL 10%</b>       | 27                 | 38.03% |

Tabla 2. Confiabilidad nodos individuales. Fuente Autor

Las siguientes conclusiones connotan el resultado de la confiabilidad individual que dependa única y exclusivamente de los fallos funcionales propios de cada nodo:

- El 38.03% de nodos tienen una alta confiabilidad (mayor a 80%), por tanto no se ha presentado ninguna falla funcional durante el tiempo de estudio.
- El 61.97% de los nodos ha presentado al menos una falla funcional durante el tiempo de estudio, es decir, el personal del centro de control no tuvo la posibilidad de realizar telegestión de los equipos del SEP, al menos por 5 minutos durante el lapso de estudio.
- El 38.03% de los nodos presentan una baja confiabilidad (menor al 10%), es decir que en su tiempo de funcionamiento ha tenido tres o más fallas.

La tabla 3 resume los datos de confiabilidad total de los nodos:

| CONFIABILIDAD                                                                       |                           | NODOS EQUIVALENTES |        |
|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|--------------------|--------|
|  | <b>MAYOR AL 80%</b>       | 10                 | 14.08% |
|  | <b>ENTRE EL 10% Y 80%</b> | 15                 | 21.13% |
|  | <b>MENOR AL 10%</b>       | 46                 | 64.79% |

Tabla 3. Confiabilidad nodos equivalentes. Fuente Autor

De la tabla se obtiene las conclusiones siguientes:

- El porcentaje de nodos con confiabilidad alta tuvo una disminución considerable con respecto a la confiabilidad individual; esto se produce por efecto de los sistemas serie predominantes en la red de telecomunicaciones.
- El mayor porcentaje de nodos presentan un nivel de baja confiabilidad equivalente, es decir, que al menos en dos ocasiones y por un lapso de 5 minutos, los operadores no pudieron realizar acciones correctivas para restaurar una posible condición de fallo en la red de distribución de la CENTROSUR.

La tabla 4 indica la afección de la confiabilidad total con respecto a la confiabilidad individual, por el contexto operativo de la red de telecomunicaciones, es decir, por su funcionamiento en serie.

| PERDIDA DE CONFIABILIDAD |       |            |
|--------------------------|-------|------------|
| CAMBIO DE ESTADO         | NODOS | PORCENTAJE |
| MENOR AL 80%             | 17    | 62.96%     |
| ENTRE EL 10% Y 80%       | 2     | 11.76%     |
| MAYOR AL 10%             | 19    | 70.37%     |

**Tabla 4. Confiabilidad individual vs. Confiabilidad equivalente. Fuente Autor**

Al aplicar las fórmulas respectivas, se advierte que el 62.96% de los nodos perdieron su condición de confiabilidad alta y pasaron a un plano de observación y/o atención urgente.

La condición anterior provoca que el número de nodos en observación aumente en un 11,76% mientras que los nodos que necesitan atención urgente se amplíe en un 70.37%.

Como se puede observar, la confiabilidad de la red de telecomunicaciones, por el número de fallos funcionales, tiene una tendencia a la baja, esto se debe a que el mantenimiento proactivo de los nodos no es el adecuado, tanto en frecuencia como en equipamiento, permitiendo que los fallos funcionales se presenten constantemente.

### CAPÍTULO 3. Discusión

#### 3.1. Relación entre la confiabilidad de la red de telecomunicaciones y la disponibilidad del servicio de distribución de energía eléctrica

Los esfuerzos realizados por hallar los valores de confiabilidad de la red de telecomunicaciones tienen como objetivo encontrar la relación existente entre ella y la mejora de la disponibilidad del servicio eléctrico.

Para entender la relación existente entre estos indicadores se señala la regulación No. CONELEC – 004/01 (2001), de la Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL), institución que emite las condiciones de calidad del servicio eléctrico de distribución.

En dicha regulación, dentro del artículo 3 numeral 2.1, constan los indicadores de calidad del servicio eléctrico de distribución, siendo los principales los conocidos como FMIK (indicador de confiabilidad) y TTIK (indicador de disponibilidad), se describe textualmente de la siguiente manera:

**“FMIK** Frecuencia Media de Interrupción por kVA nominal Instalado

En un período determinado, representa la cantidad de veces que el kVA promedio sufrió una interrupción de servicio.

$$FMIK_{Rd} = \frac{\sum_i kVA f s_i}{kVA_{inst}}$$

Fórmula 13. FMIK Red de distribución. Fuente ARCONEL 2001

$$FMIK_{Aj} = \frac{\sum_i kVA f s_{iAj}}{kVA_{instAj}}$$

Fórmula 14. FMIK Alimentador. Fuente ARCONEL 2001

**TTIK:** Tiempo Total de interrupción por kVA nominal Instalado

En un período determinado, representa el tiempo medio en que el kVA promedio no tuvo servicio.



$$TTIK_{Rd} = \frac{\sum_i kVAfs_i * Tfs_i}{kVA_{inst}}$$

Fórmula 15. TTIK Red de distribución. Fuente ARCONEL 2001

$$TTIK_{Aj} = \frac{\sum_i^{A_j} kVAfs_{iAj} * Tfs_{iAj}}{kVA_{inst,Aj}}$$

Fórmula 16. TTIK Alimentador. Fuente ARCONEL 2001

Dónde:

FMIK: Frecuencia Media de Interrupción por kVA nominal instalado, expresada en fallas por kVA.

TTIK: Tiempo Total de Interrupción por kVA nominal instalado, expresado en horas por kVA.

$\sum_i$  : Sumatoria de todas las interrupciones del servicio "i" con duración mayor a tres minutos, para el tipo de causa considerada en el período en análisis.

$\sum_i^{A_j}$  : Sumatoria de todas las interrupciones de servicio en el alimentador "Aj" en el período en análisis.

kVAfsi: Cantidad de kVA nominales fuera de servicio en cada una de las interrupciones "i".

kVAinst: Cantidad de kVA nominales instalados.

Tfsi : Tiempo de fuera de servicio, para la interrupción "i"

Rd : Red de distribución global

Aj : Alimentador primario de medio voltaje "j"

La relación que tiene la red de telecomunicaciones con los indicadores del servicio eléctrico es la que a continuación se detalla:

Con el FMIK: Si los equipos del SEP tienen conectividad de manera continua, y los fallos son transitorios en la línea de distribución, el operador puede realizar maniobras en un tiempo menor a tres minutos, con lo que, según la regulación, estos fallos no ingresan a ser contabilizados dentro de este indicador.

El TTIK: Es un indicador de indisponibilidad propiamente del servicio eléctrico, en base a la cantidad de KVA (Kilovoltamperio) desconectados frente a la cantidad de KVA nominales instalados. El siguiente ejemplo, ilustra directamente la relación entre la confiabilidad (R) de la red de telecomunicaciones y el TTIK del servicio eléctrico. El diagrama unifilar del alimentador 1221 de la subestación #12 de la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C.A. (figura 13) señala los equipos telegestionados a través de la red de telecomunicaciones que son los siguientes:

- IED (*Intelligent Electronic Device*) Cabecera del alimentador 1221
- Reconectador “El Descanso”
- Reconectador “Jadan”
- Reconectador “Taita”
- Reconectador “Challuabamba”

Para realizar el cálculo del TTIK y comprobar cómo se minimiza su valor mediante la red de telecomunicaciones, se simula un fallo del servicio eléctrico identificado en el diagrama como “A”. Los datos que ocuparemos para el cálculo, son reales de CENTROSUR del mes de Diciembre de 2015. Los escenarios a simular son:

FALLA TRANSITORIA EN “A”: El fallo se produjo por un cortocircuito momentáneo en la línea, por ejemplo, la caída de una rama en la línea eléctrica. La secuencia de eventos del fallo sería la siguiente:

CON TELEGESTIÓN:

- Desconexión del interruptor por medio del IED de cabecera.
- Pérdida del servicio eléctrico en todo el alimentador.
- El operador del Centro de Control, realiza un intento de conexión a los 2 minutos de sucedido el evento.
- Al ser la falla transitoria, se reconecta el alimentador con un tiempo menor a 3 minutos, por lo que, según la regulación el TTIK es igual a cero.

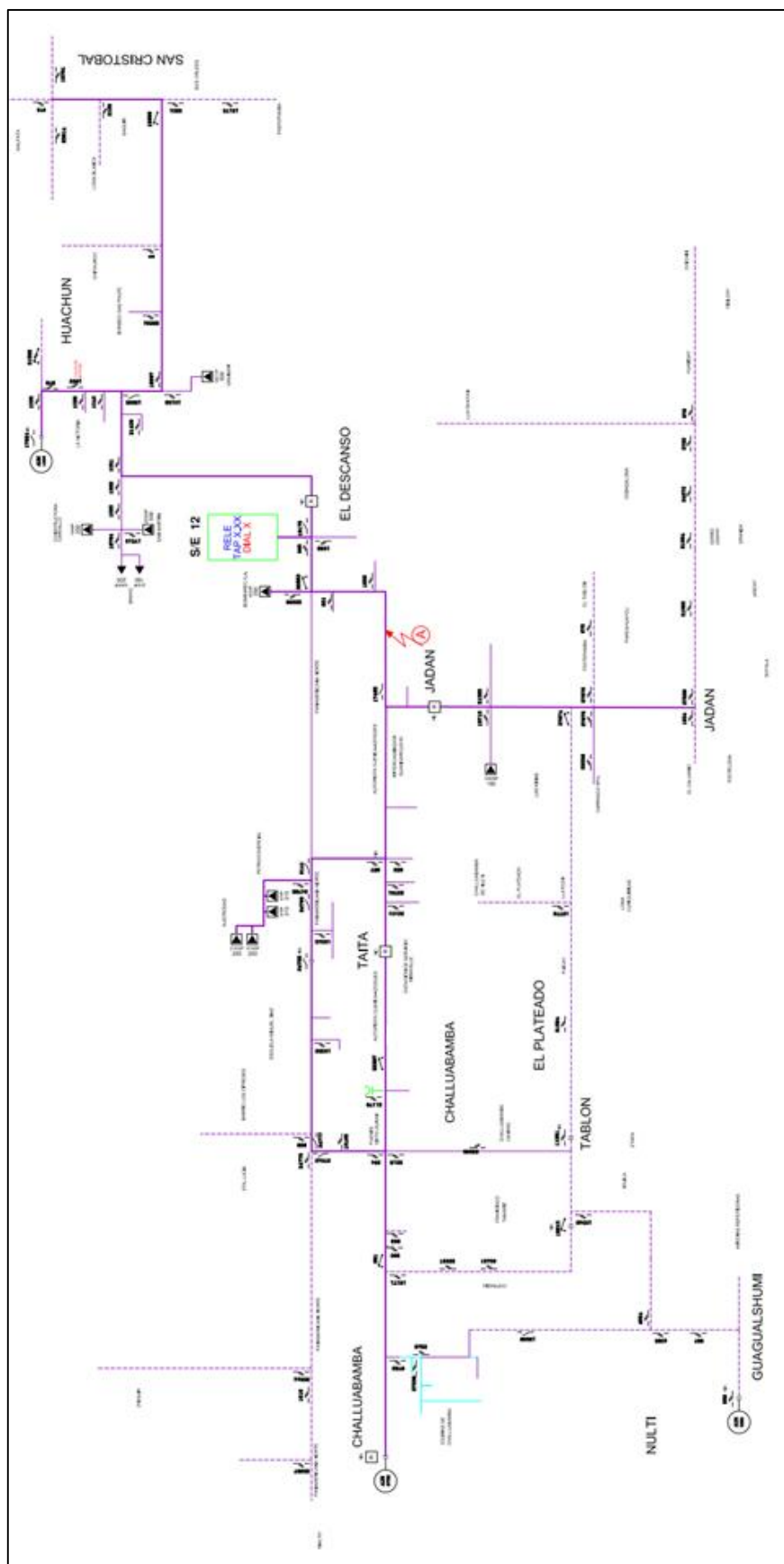


Figura 13. Diagrama unifilar alimentador 1221. Fuente CENTROSUR

## SIN TELEGESTIÓN:

- Desconexión del interruptor por medio del IED de cabecera.
- Pérdida del servicio eléctrico en todo el alimentador.
- El operador del Centro de Control, no tiene gestión sobre el IED de cabecera de alimentador.
- Es necesario movilizar personal a la subestación para realizar maniobras de manera local.
- Para el cálculo del TTIK, se toma como referencia el tiempo de pérdida de servicio al indicador de operación TMAR (Tiempo Medio de Atención a Reclamos) del mes de Diciembre 2015.
- El cálculo sería el siguiente:
  - kVA<sub>fsi</sub>: 16087.5 KVA
  - KVA<sub>instAJ</sub>: 16087.5 KVA
  - KVA<sub>instRD</sub>: 613594 KVA
  - T<sub>fsi</sub> = TMAR: 2.35 Horas

Para el TTIK del alimentador 1221

$$TTIK_{AJ} = \frac{KVA_{fsi} * T_{fsi}}{KVA_{insAJ}}$$

$$TTIK(1221) = \frac{16087.5 \text{ KVA} * 2.35h}{16087.5 \text{ KVA}}$$

$$TTIK(1221) = 2.35 \text{ h}$$

Para el TTIK global de la empresa

$$TTIK_{RD} = \frac{KVA_{fsi} * T_{fsi}}{KVA_{insRD}}$$

$$TTIK_{RD} = \frac{16087.5 \text{ KVA} * 2.35h}{613594 \text{ KVA}}$$

$$TTIK_{RD} = 0.061 \text{ h}$$

Como se puede observar, al no tener gestión remota del IED, los tiempos tanto para el TTIK del alimentador, como el TTIK global se incrementan en un 100%. Si se revisa la tabla de confiabilidad de los nodos primarios que abastecen de servicio de telecomunicaciones a las

subestaciones, de los 27 nodos solamente 9 tienen alta confiabilidad, es decir, que ante una eventual falla del sistema, la falta de confiabilidad de los 18 nodos restantes pueden producir un incremento del 100% en el TTIK.

FALLA PERMANENTE EN “A”: Si el fallo se produce por un cortocircuito permanente en la línea, por ejemplo, líneas arrancadas por choque de un poste, la secuencia de eventos del fallo sería la siguiente:

#### CON TELEGESTIÓN:

- Desconexión del interruptor por medio del IED de cabecera.
- Pérdida del servicio eléctrico en todo el alimentador.
- El operador del Centro de Control, realiza un intento de conexión a los 2 minutos de sucedido el evento.
- Al ser la falla no transitoria, el interruptor comandado por el IED nuevamente realiza la desconexión de todo el alimentador.
- Los reconectores, ubicados estratégicamente a lo largo de los alimentadores, permiten realizar transferencias de carga a otros alimentadores, ya sea de la misma subestación o de una subestación cercana.
- El operador del Centro de control, al detectar la presencia de una falla permanente, puede tomar la decisión de transferir parte de la carga a otro alimentador. En este caso en particular, mediante la apertura del reconector “Taita” y posteriormente cierre del reconector “Challuabamba” se podría transferir un porcentaje de carga del alimentador al alimentador 0722 de la subestación #07, con lo cual, se bajaría considerablemente el TTIK de este evento. Este procedimiento de transferencia de carga en promedio dura 5 minutos.
- El cálculo sería el siguiente:
  - $kVA_{fsi}$ : 10032.5 KVA
  - $KVA_{instAJ}$ : 16087.5 KVA
  - $KVA_{instRD}$ : 613594 KVA
  - $T_{fsi}$  = 5 minutos = 0.0833 horas toda la carga
  - $T_{MAR}$ = 2.35 horas

El valor del TTIK del alimentador 1221, es la suma de los tiempos de la salida total del alimentador, más el tiempo en que un determinado porcentaje de la carga pierde servicio. Para el cálculo ese tiempo es igual al  $T_{MAR}$ .

$$TTIK_{1AJ} = \frac{KVA_{fsi} * T_{fsi}}{KVA_{insAJ}}$$

$$TTIK1(1221) = \frac{16087.5 \text{ KVA} * 0.0833h}{16087.5 \text{ KVA}}$$

$$TTIK1(1221) = 0.0833 \text{ h}$$

$$TTIK2(1221) = \frac{KVA_{fsi} * (TMAR - T_{fsi})}{KVA_{insAJ}}$$

$$TTIK2(1221) = \frac{10032.5 \text{ KVA} * (2.35 - 0.0833h)}{16087.5 \text{ KVA}}$$

$$TTIK2(1221) = 1.413 \text{ h}$$

$$TTIKT(1221) = TTIK1(1221) + TTIK2(1221)$$

$$TTIKT(1221) = 0.0833 + 1.413$$

$$TTIKT(1221) = 1.496 \text{ h}$$

Para el TTIK global de la Empresa será:

$$TTIK1RD = \frac{KVA_{fsi} * T_{fsi}}{KVA_{insRD}}$$

$$TTIK1RD = \frac{16087.5 \text{ KVA} * 0.0833h}{613594 \text{ KVA}}$$

$$TTIK1RD = 0.0021 \text{ h}$$

$$TTIK2RD = \frac{KVA_{fsi} * (TMAR - T_{fsi})}{KVA_{insRD}}$$

$$TTIK2RD = \frac{10032.5 \text{ KVA} * (2.35 - 0.0833h)}{613594 \text{ KVA}}$$

$$TTIK2RD = 0.037 \text{ h}$$

$$TTIKTRD = TTIK1RD + TTIK2RD$$

$$TTIKTRD = 0.0021 + 0.037$$

$$TTIKTRD = 0.0391 h$$

SIN TELEGESTIÓN:

- Desconexión del interruptor por medio del IED de cabecera.
- Pérdida del servicio eléctrico en todo el alimentador.
- El operador del Centro de Control, realiza un intento de conexión a los 2 minutos de sucedido el evento.
- Al ser la falla no transitoria, el interruptor comandado por el IED nuevamente realiza la desconexión de todo el alimentador.
- El operador del centro de control, al no tener control de cualquiera de los dos reconectores pertenecientes a este alimentador, no puede ejecutar las acciones necesarias para transferir carga a otro alimentador.
- De manera remota no se puede transferir carga, por lo que, para el cálculo del TTIK se considera la pérdida de toda la carga durante todo el tiempo de reposición del servicio, de la siguiente manera:

$$TTIKAJ = \frac{KVA_{fsi} * TMAR}{KVA_{insAJ}}$$

$$TTIK(1221) = \frac{16087.5 KVA * 2.35h}{16087.5 KVA}$$

$$TTIK(1221) = 2.35 h$$

Para el TTIK global de la Empresa será:

$$TTIKRD = \frac{KVA_{fsi} * TMAR}{KVA_{insRD}}$$

$$TTIKRD = \frac{16087.5 KVA * 2.35h}{613594 KVA}$$

$$TTIKRD = 0.0616 h$$

El incremento del TTIK del alimentador por un fallo en el sistema de telecomunicaciones será el siguiente:

$$\% \text{ de aumento del TTIK en alimentador} = \left( \frac{TTIK \text{ SIN TELEGESTION}}{TTIK \text{ CON TELEGESTION}} \right) - 1 * 100\%$$

$$\% \text{ de aumento del TTIK en alimentador} = \left( \frac{2.35 \text{ h}}{1.49 \text{ h}} \right) - 1 * 100\%$$

$$\% \text{ de aumento del TTIK en alimentador} = 57.71\%$$

El aumento del TTIK de la Red de Distribución, por una posible falla del sistema de telecomunicación podrá ser calculado porcentualmente con respecto al valor del indicador reportado al ente regulador ARCONEL en el mismo mes de Diciembre de 2015.

El valor reportador como TTIK global de la CENTROSUR es 12.4h, este valor representa la sumatoria de todos los TTIK de los eventos ocurridos en el mes de Diciembre y es el valor referencia para la relación de cuanto se puede mejorar o empeorar, dependiendo si el sistema de telecomunicaciones funciona de manera adecuada o presenta un fallo.

Aumento del TTIK por falla del sistema de telecomunicaciones

$$\text{Aumento del TTikRD} = \left( \frac{\text{TTIK SIN TELEGESTION}}{\text{TTIKRD REAL}} \right) * 100\%$$

$$\text{Aumento del TTikRD} = \left( \frac{0.0616 \text{ h}}{12.4 \text{ h}} \right) * 100\%$$

$$\text{Aumento del TTikRD} = 0.49 \%$$

Disminución del TTIK por correcto funcionamiento del sistema de telecomunicaciones

$$\text{Disminución del TTikRD} = \left( \frac{\text{TTIK SIN TELEGES} - \text{TTIK CON TELEGES}}{\text{TTIKRD REAL}} \right) * 100\%$$

$$\text{Disminución del TTikRD} = \left( \frac{0.0616 \text{ h} - 0.0391 \text{ h}}{12.4 \text{ h}} \right) * 100\%$$

$$\text{Disminución del TTikRD} = 0.18\%$$

Cuando la red de telecomunicaciones funciona de manera adecuada, es un aporte al mejoramiento del TTIK, pero cuando presenta falla, el porcentaje de degradación del TTIK aumenta en proporciones alarmantes, dependiendo de la cantidad de carga desconectada y el tiempo de reposición del servicio, hecho que incide directamente en gastos innecesarios para la CENTROSUR, mismos que pueden ser ahorrados y optimizados en el mejoramiento de la infraestructura y de la matriz productiva local y nacional.



Esta metodología considerada innovadora y precisa, puede aplicarse para el cálculo de los 64 alimentadores que conforman la red de distribución de CENTROSUR, solo así se podrá conocer el verdadero aporte de la red de telecomunicaciones en la red de distribución del servicio eléctrico.

**CONCLUSIONES:**

- Al elaborar el modelo de confiabilidad para la red de telecomunicaciones de CENTROSUR, notamos que es la herramienta de gestión faltante para enfocar de manera óptima las decisiones administrativas y técnicas en la mejora continua del sistema.
- La investigación sobre el cálculo de confiabilidad individual de los nodos evidenció la falta de mantenimiento durante los últimos años, llegando a señalar que el 38.03% de ellos tiene un valor inferior al 10% de confiabilidad, comprometiendo la continuidad del servicio eléctrico en una eventual falla en el sistema.
- Se observa con claridad la necesidad de elaborar un plan de mantenimiento proactivo holístico en cada uno de los ramales de la red de telecomunicaciones, puesto que el cálculo de confiabilidad total de los nodos, indica que el 62.96% pierden su condición de alta confiabilidad, al tener nodos en condiciones no adecuadas, antecediendo a su funcionamiento.
- Si se realizan cambios a nivel lógico, físico o se instalan enlaces redundantes, se debe actualizar y efectuar nuevamente el cálculo de confiabilidad del nuevo modelo, puesto que el actual no estaría brindando un valor real sobre el sistema instalado.
- La topología en anillo, según la teoría y los cálculos realizados, permite el aumento de confiabilidad dentro de los nodos de CENTROSUR, por tanto, debe ser considerada una práctica óptima que se adopte, por lo menos, en los nodos primarios.
- La red de telecomunicaciones tiene gran influencia sobre los indicadores de confiabilidad y disponibilidad del servicio de eléctrico de distribución, por lo que es estrictamente necesario desarrollar un correcto y adecuado plan de mantenimiento que permita alcanzar las metas impuestas por el ente regulador, logrando una mejor percepción del servicio por parte de los abonados.

**RECOMENDACIONES:**

Con las conclusiones obtenidas, se enuncia las siguientes recomendaciones:

- Los datos del presente modelo de confiabilidad, deben considerarse para la elaboración el Plan Operativo Anual de Mantenimiento de Telecomunicaciones, a fin de optimizar los recursos financieros y humanos, enfocando los esfuerzos a mejorar la confiabilidad de los nodos críticos dentro de la red de telecomunicaciones.
- Es necesario realizar una reingeniería, que permita instalar un sistema redundante al nodo primario Subestación 50 (S/E 50), debido a que esta subestación no cuenta con personal de operación en sitio (operador) y los tiempos de TTIKRd, pueden verse afectados de manera considerable ante un fallo eléctrico.
- Es necesario adquirir sistemas de monitoreo complementarios, que permitan visualizar y almacenar alarmas que discriminen e identifiquen posibles fallos funcionales, como por ejemplo un gestor del estado del UPS, un gestor del estado de interfaces físicas y un gestor de uso de recursos.
- Es preciso realizar pruebas de los sistemas redundantes, a fin de que no ocurra fallas ocultas, es decir, un fallo en el canal de *backup*, que impida continuar con el correcto funcionamiento del sistema de telecomunicaciones ante una falla del canal principal.
- El *Data Center*, es el “corazón” de la red de telecomunicaciones, bajo esta premisa debe tener un trato preferencial, por lo que se recomienda realizar un plan de mantenimiento basado en la estrategia RCM (*Reliability Centred Maintenance*) Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.
- La metodología empleada en el presente trabajo, diagramas de bloque serie-paralelo, puede y debe servir como base para elaborar modelos de confiabilidad en otros sistemas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agudelo T., Luis F.; Escobar B., Jorge. Gestión por procesos. Medellín: ICONTEC, cuarta edición, 2007.
- Ávila Espinosa, Rubén. Fundamentos del mantenimiento Guías Económicas, Técnicas y Administrativas. México: Limusa Grupo Noriega, 1992.
- Barlow, Richard E. Engineering Reliability. s.l.: Editorial Board SIAM, 1998.
- Beltran J., Jesús M. Indicadores de gestión – Herramientas para lograr la competitividad. Bogotá: Temas Gerenciales y 3R Editores, segunda edición, 2011.
- CALIDAD DEL SERVICIO ELÉCTRICO DE DISTRIBUCIÓN, REGULACIÓN No. CONELEC 004/01,2001
- Comer, D., Internetworking with TCP/IP Vol. I: Principles, Protocols, and Architecture. USA: Prentice Hall International, cuarta edición, 2000.
- ISO 14224:2004 - Petroleum, petrochemical and natural gas industries - Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment
- ISO/IEC 7498:1984 - Open System Interconnection
- Manganelli, Raymond L.; KLEIN, Mark M. Cómo hacer reingeniería. Bogotá: Editorial Norma S. A., primera edición, 2004.
- Mariño N., Hernando. Gerencia de procesos. Bogotá: Alfaomega Colombiana S. A., primera edición, 2004.
- Nachls, Joel A. Fiabilidad. Madrid: Isdefe, primera edición, 1995
- Sexto, L. (Febrero 2005). Confiabilidad Integral del Equipo. Seminario Internacional de Mantenimiento. Arequipa, Perú.
- Sexto, L. Confiabilidad Operacional, 2015.
- Sexto, L. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, 2015.
- Sondalini, Mike. Plant and Equipment Wellness. Australia. EA Books. 2009

## **ANEXOS**

ANEXO 1. Diagramas de bloque de los nodos de telecomunicaciones de la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C.A.

ANEXO 2. [MODELO DE CONFIABILIDAD DE LA RED DE TELECOMUNICACIONES.xlsx](#)

ANEXO 3. Base de Datos. “backupPP20-01-2016.dat”. Archivo de respaldo de la configuración y alarmas del sistema WHATSUP GOLD v14.1.2.

## ANEXO 1

Diagramas de bloque de los nodos de telecomunicaciones de la Empresa Eléctrica Regional  
Centro Sur C.A.

