

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

ESCUELA DE POSGRADO

**UNIDAD DE POSGRADO DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**



**“EVALUACIÓN DE INDICES DE CONFIABILIDAD EN REDES DE
ELECTROCENTRO S.A. PARA MEJORAR LA CALIDAD DE SERVICIO
UTILIZANDO REDES NEURONALES”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO
ACADÉMICO DE DOCTOR EN
INGENIERÍA ELÉCTRICA.**

AUTOR: M. Sc. PERCY HUMBERTO CUEVA RIOS

**Callao, 2019
PERÚ**

ASESOR
DR. JUAN HERBER GRADOS GAMARRA

HOJA DE REFERENCIA DEL JURADO

MIEMBROS DEL JURADO

Dr.	: JACOB ASTOCONDOR VILLAR	PRESIDENTE
Dr.	: NICANOR RAUL BENITES SARAVIA	SECRETARIO
Dr.	: SANTIAGO LINDER RUBIÑOS JIMENEZ	MIEMBRO
Dr.	: ADAN AMILCAR TEJADA CABANILLAS	MIEMBRO
Dr.	: JUAN HERBER GRADOS GAMARRA	ASESOR

N° DE LIBRO	: 01
FOLIO	: 088
FECHA DE APROBACION	: 16 octubre 2019
RESOLUCION DIRECTORAL	: 060-2019-DUPFIEE

DEDICATORIA

In Memoriam:

A Jesús, mi querido y siempre recordado padre, por sus sabios consejos.

Al Dr. Elmer Córdova Zapata, por sus enseñanzas y apoyo.

A mí querida madre Lilia, por brindarme todos sus esfuerzos a pesar de las adversidades.

AGRADECIMIENTO

A MI ASESOR

Por su apoyo incondicional y compartir sus conocimientos en la realización del presente trabajo.

INDICE

HOJA DE REFERENCIA DEL JURADO	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO	IV
INDICE	1
RESUMEN.....	6
ABSTRACT	8
INTRODUCCION.....	9
PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACION.....	11
1.1 Identificación del Problema	13
1.2 Formulación del problema	13
1.2.1. Problema General	13
1.2.2. Problemas específicos	14
1.3. Objetivos de la Investigación	14
1.3.1. Objetivo General	14
1.3.2. Objetivos específicos.....	14
1.4. Justificación	15
CAPITULO II.....	17
MARCO TEÓRICO.....	17
2.1 Antecedentes del Estudio	17
2.1.1 Internacionales	17
2.1.2 Nacionales	29
2.2 Marco Filosófico.....	29
2.3. Marco Legal.....	30
2.4. Bases Epistémicas	31
2.4.1. Bases Culturales	31
2.4.2. Bases Científicas.....	37

2.5. Bases Teóricas	38
2.5.1. Confiabilidad del sistema eléctrico.....	38
2.5.2. Parámetros de confiabilidad	38
2.5.3. Como se calcula la Confiabilidad.....	40
2.5.4. Los Datos Base	41
2.5.6. Los Sistemas en Serie.....	45
2.5.7. Los Sistemas en Paralelo	47
2.5.8. Los Sistemas Redundantes.....	48
2.5.9. Tipos de Valoración.....	54
2.6. Redes Neuronales	59
2.6.1. Definición	59
2.6.2. Ventajas que ofrecen la red neuronal.	59
2.6.3. Redes Neuronales y Computadoras Digitales.	65
2.7. Definición de Términos (OSINERGMIN, 2004)	72
CAPITULO III.....	75
VARIABLES E HIPOTESIS	75
3.1. Definición de Variables	75
3.1.1 Variable Independiente.....	75
3.1.2 Variable dependiente.....	75
3.2 Operacionalización de las variables.....	75
3.3 Hipótesis General e Hipótesis Específica.....	76
3.3.1. Hipótesis General:	76
3.3.2. Hipótesis específica:.....	76
METODOLOGÍA.....	77
4.1. Tipo de investigación	77
4.2. Diseño de la investigación	77
METODOLOGÍA KAASTRA-BOYD PARA PRONÓSTICO UTILIZANDO	
.....	83
REDES NEURONALES ARTIFICIALES.....	83

4.3. Etapas de la Investigación	84
4.4. Población y Muestra	85
4.4.1. Población	85
4.4.2. Muestra	85
4.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	91
4.6. Procedimientos de recolección de datos	92
4.7. Análisis estadístico de datos	93
CAPITULO V	94
RESULTADOS	94
5.1. Análisis de Flujo de carga	94
5.2. Análisis de Cortocircuito	95
5.3. Proceso de la prueba de hipótesis	101
5.3.1. Verificación de la hipótesis	101
CAPITULO VI	102
DISCUSION DE RESULTADOS	102
6.1. Discusión de resultados del flujo de carga	102
6.2. Discusión de resultados de cortocircuito	102
6.3. Discusión de resultados de la evaluación	103
CONCLUSIONES	109
RECOMENDACIONES	110
REFERENCIA BIBLIOGRAFICA	111
ANEXOS	114

Lista de Figuras

FIGURA N° 1 DIAGRAMA UNIFILAR	12
FIGURA N° 2 LOS SISTEMAS SERIE.....	45
FIGURA N° 3 LOS SISTEMAS PARALELO.....	47
FIGURA N° 4 LOS SISTEMAS REDUNDANTES	50
FIGURA N° 5 SISTEMA EJEMPLO TEXTO BILLINTON	55
FIGURA N° 6 RESULTADO SOFTWARE DIGSILENT SISTEMA EJEMPLO FUENTE: ELABORACION PROPIA	58
FIGURA N° 7 ESQUEMA DE UNA RED NEURONAL	67
FIGURA N° 8 NEURONA Ni	69
FIGURA N° 9 DIAGRAMA DE FLUJO EN RED NEURONAL	74
FIGURA N° 10 S.E. NINATAMBO	86
FIGURA N° 11 ALIMENTADOR A4701 S.E. NINATAMBO.....	87
FIGURA N° 12 ALIMENTADOR A4702 S.E. NINATAMBO.....	88
FIGURA N° 13 ALIMENTADOR A4703 S.E NINATAMBO.....	89
FIGURA N° 14 ALIMENTADOR A4704 S.E. NINATAMBO.....	90
FIGURA N° 15 ALIMENTADOR A4720 S.E. NINATAMBO.....	91
FIGURA N° 16 PERFILES DE TENSION ALIMENTADOR A4701	98
FIGURA N° 17 RECLOSER DE MEDIA TENSION PARA EL ESCENARIO FAVORABLE	105
FIGURA N° 18 SECCIONADORES FUSIBLE CON SENSOR ELECTRONICO FUENTE: OSINERGMIN.....	106
FIGURA N° 19 SECCIONADOR FUSIBLE DE TRES TIEMPOS	107

Lista de Tablas

TABLA N° 1. 1 INDICADORES DE CONFIABILIDAD S.E. NINATAMBO	12
TABLA N° 2. 1 PORCENTAJES DE PARTICIPACIÓN DE LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN EN SISTEMA DE POTENCIA.....	52
TABLA N° 2. 2 ESTADOS DEL SISTEMA	56
TABLA N° 2. 3 COMPONENTES DEL SISTEMA	57
TABLA N° 4. 1 Diseño de la RNA	84
TABLA N° 5. 1 “DESEMPEÑO ESPERADO (ANEXO 13 RES 590-2007-OS/CD)”	97
TABLA N° 5. 2 DATOS INICIALES ALIMENTADOR A4701	99
TABLA N° 5. 3 DATOS INICIALES ALIMENTADOR A4702	99
TABLA N° 5. 4 SALIDA DIGSILENT ESCENARIO FAVORABLE	100
TABLA N° 5. 5 SALIDA DIGSILENT CORTO CIRCUITO	100
TABLA N° 5. 6 SALIDA DIGSILENT ESCENARIO CONSERVADOR.....	101
TABLA N° 6. 1 COSTO DE INVERSION PARA EL ESCENARIO FAVORABLE ALIMENTADOR A4701	103
TABLA N° 6. 2 COSTO DE INVERSION PARA EL ESCENARIO FAVORABLE ALIMENTADOR A4702	104
TABLA N° 6. 3 COSTO DE INVERSION PARA EL ESCENARIO CONSERVADOR ALIMENTADOR A4701	105
TABLA N° 6. 4 COSTO DE INVERSION PARA EL ESCENARIO CONSERVADOR ALIMENTADOR A4702.....	106

RESUMEN

En el ámbito de concesión de la Empresa Electrocentro S.A., la problemática de las interrupciones por diversos motivos, se producen con mayor frecuencia en la zona rural, normalmente causados por tormentas eléctricas, huaycos que arrasan con las líneas de distribución, vandalismo, cortocircuitos, las cuales repercuten en el sistema por la extensión de las mismas y la topología de las redes que normalmente son del tipo radial, lo cual influye directamente en los tiempos de reparación, todo esto ligado a la escasa inversión que se realiza en estas zonas donde el índice de morosidad es muy alto, considerando que las electrificaciones fueron realizadas a manera de apoyo social.

En el presente trabajo se evaluó los índices de confiabilidad SAIDI y SAIFI en los alimentadores A4701 y A4702 de la S.E. Ninatambo, dado que son las de mayor extensión y por lo tanto las más propensas a tener mayor cantidad de interrupciones, se realizaron simulaciones bajo dos escenarios, uno favorable y uno conservador, utilizando la herramienta computacional Digsilent Power Factory, contando con una data correspondiente al año 2016 y 2017, los resultados que se presentan contemplan la disminución de la frecuencia y el tiempo de las interrupciones para los alimentadores mencionados, considerando la

reubicación e inclusión de equipos de protección en el recorrido de las líneas.

ABSTRACT

In the area of concession of the company Electrocentro S.A., the problem of interruptions for various reasons, occur more frequently in the rural area, usually caused by electrical storms, mudslides that wipe out distribution lines, vandalism, short circuits, which affect the system by the extension of the same and the topology of the networks that are usually of the radial type, which directly influences the repair times, all this linked to the scarce investment that is made in these areas where the index of delinquency is very high, considering that electrification was carried out as a social support.

In the present work, the SAIDI and SAIFI reliability indices were evaluated in the feeders A4701 and A4702 of the S.E. Ninatambo, given that they are the largest and therefore the most prone to have more interruptions, simulations were carried out under two scenarios, one favorable and one conservative, using the Digsilent Power Factory computer tool, with data corresponding to the 2016 and 2017, the results presented contemplate the reduction of the frequency and duration of interruptions for the aforementioned feeders, considering the relocation and inclusion of protection equipment in the route of the lines.

INTRODUCCION

Las interrupciones en el servicio eléctrico, causan malestar al usuario final , al concesionario y al sistema interconectado nacional, en primer lugar en el usuario porque interrumpe la actividad diaria y de rutina que viene realizando trayendo consigo perdidas económicas y de materia prima, que muchas veces no se pueden recuperar y que no son compensadas, en segundo lugar al concesionario porque constituye una energía no suministrada y por lo tanto que no puede ser cobrada al usuario, y en tercer lugar al sistema interconectado nacional porque las salidas de servicio o interrupciones en las líneas de los concesionarios causan inestabilidad del sistema, las que podrían provocar oscilaciones, con consecuencias aún mayores que puedan repercutir en un número mayor de usuarios afectados.

La Ley de Concesiones Eléctricas establece que las empresas concesionarias están en la obligación de dotar de energía eléctrica a las poblaciones ubicadas dentro de su ámbito de concesión en forma estable y confiable y para el cumplimiento de estos requisitos, se tiene a OSINERGMIN como ente regulador y supervisor de los concesionarios.

Para un mejor control y fiscalización los concesionarios tienen divididos sus ámbitos en sectores típicos, la Norma de Calidad de Servicio nos detallan los indicadores que están sujetos a la cantidad y la duración de las interrupciones, así mismo la resolución de Osinergmin N° 178-2012-OS/CD establece las multas y sanciones a los concesionarios e indica los desempeños esperados de acuerdo a los sectores típicos.

Bajo estos considerandos se plantea el presente trabajo, con el propósito de mejorar índices de confiabilidad en las redes de Electrocentro S.A., básicamente en los alimentadores A4701 y A4702 de la S.E. Ninatambo y contando con el apoyo del software Digsilent y las redes neuronales.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACION

Actualmente las sanciones y multas referidas en la resolución de Osinergmin N° 178-2012-OS/CD, ya son efectivas por lo que los concesionarios, deben de tener mucho cuidado de no excederse de las horas de reposición o reparación y mantenimiento, cuando se produce una interrupción en sus redes eléctricas, pues esto supondría unas multas bastante elevadas al concesionario.

La Norma Técnica de Calidad de Servicio Eléctrico (NTCSE) y la Norma Técnica de Calidad de Servicio Eléctrico Rural (NTCSER), establecen los mínimos valores de calidad en los servicios eléctricos, así mismo plantea a que están obligadas las empresas concesionarias y los clientes, todo esto lo podemos resumir en la confiabilidad de los sistemas eléctricos.

En Electrocentro S.A. a mayo del 2017 se reportaron altos índices de confiabilidad en sus redes de distribución, por lo que hubo necesidad de mejorar estos índices, reduciéndolos a niveles permitidos en la norma, por lo tanto en el presente trabajo se planteó la reducción de los índices de confiabilidad en las redes de Electrocentro S. A., para mejorar la calidad de servicio eléctrico.

TABLA N° 1. 1 INDICADORES DE CONFIABILIDAD S.E. NINATAMBO

Alimentador	SAIDI	SAIFI
A7401	59	26.8
A7402	59.8	33.1

Fuente: Electrocentro S.A. Mayo 2017

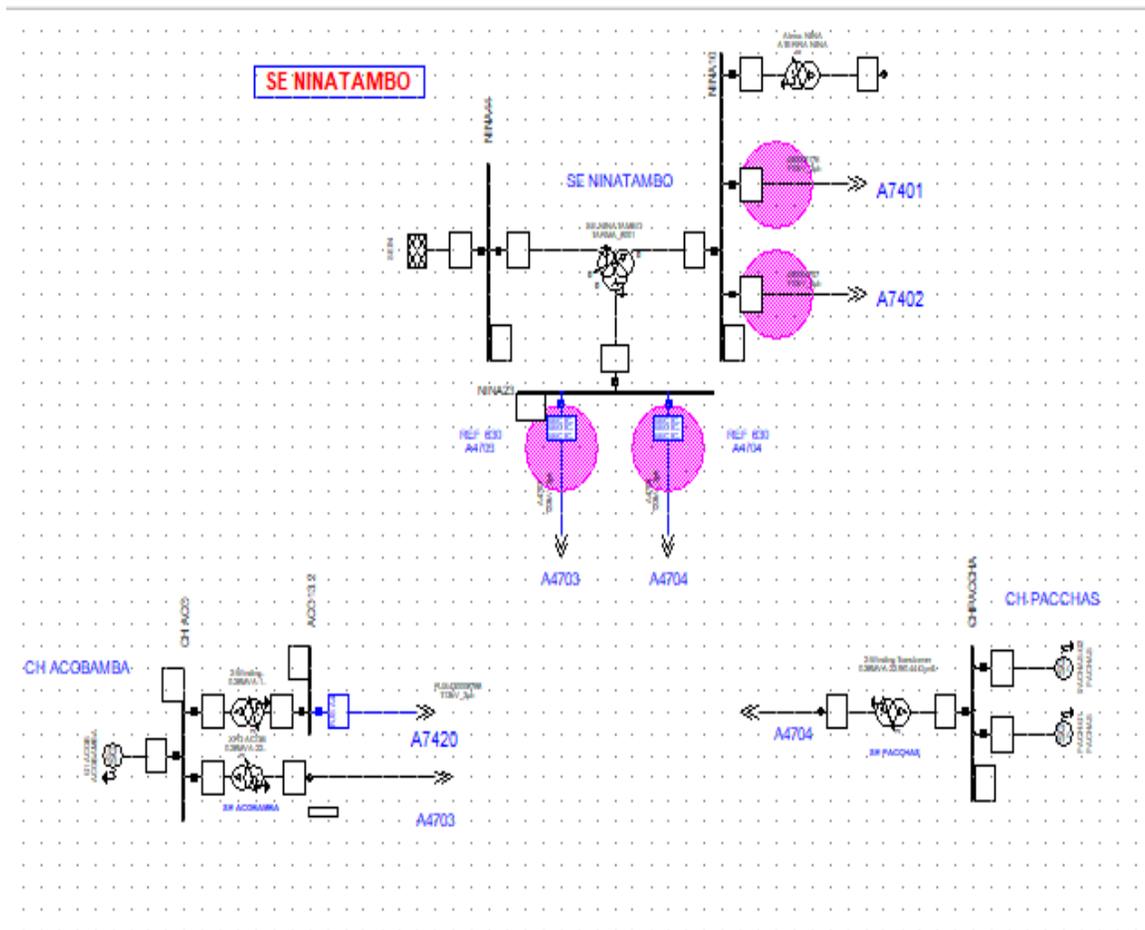


FIGURA N° 1 DIAGRAMA UNIFILAR

FUENTE: ELECTROCENTRO S.A.

1.1 Identificación del Problema

El problema investigado, intitulado “EVALUACIÓN DE INDICES DE CONFIABILIDAD EN REDES DE ELECTROCENTRO S.A. PARA MEJORAR LA CALIDAD DE SERVICIO UTILIZANDO REDES NEURONALES”, tuvo por objetivo fundamentar teóricamente, implementar y aplicar un método de mejora de los índices de confiabilidad, que nos permitan reubicar o incrementar el número de dispositivos de protección con recierre automático, entendiéndose la mejora como una reducción de los índices a valores permitidos por la norma. Haciendo un cálculo preliminar del SAIDI y SAIFI, podemos verificar los valores de cada alimentador de las redes de Electrocentro S.A. posteriormente haciendo uso del Digsilent, se procederá a simular las mejoras en las líneas y finalmente se hará uso de un algoritmo en redes neuronales para la mejora en los indicadores de confiabilidad y la reubicación de la protección requerida o el incremento de los mismos.

1.2 Formulación del problema

1.2.1. *Problema General*

- ❖ ¿Cómo se pueden mejorar los índices de confiabilidad que influyen en la calidad de servicio en las redes de Electrocentro S.A.?

1.2.2. Problemas específicos

- a) ¿Cómo aprovechar la topología de las redes de Electrocentro para la evaluación de los índices de confiabilidad, mediante un modelo matemático?
- b) ¿Es factible implementar un método de diagnóstico de los índices de confiabilidad basados en el SAIDI y SAIFI y realizar la mejora de la calidad de servicio en las redes de Electrocentro S.A., utilizando el método de las redes neuronales?

1.3. Objetivos de la Investigación

1.3.1. Objetivo General

Mejorar los índices de confiabilidad que intervienen en la calidad de servicio en las redes de Electrocentro S.A.

1.3.2. Objetivos específicos

- ❖ Desarrollar un modelo matemático para la evaluación de los índices de confiabilidad de las redes de Electrocentro S.A.
- ❖ Implementar un método de diagnóstico de los índices de confiabilidad basados en el SAIDI y SAIFI y realizar la mejora de la calidad de servicio en las redes de Electrocentro S.A., utilizando el método de las redes neuronales.

1.4. Justificación

Justificaciones del proyecto:

- a) **Legal.** Dado que en la actualidad se cuenta con una normatividad expresa como es la resolución de Osinergmin N° 178-2012-OS/CD, en la que establece las multas y sanciones para los Concesionarios, este estudio pretendió efectuar mejoras a índices de confiabilidad reubicando los equipos de protección actuales o incrementándolos de ser necesario y así evitar las sanciones de parte de Osinergmin.
- b) **Teórica.** El problema fue enfocado, tratado y resuelto con la ayuda de los índices de confiabilidad planteados en la Norma, utilizando las redes neuronales dentro del software Digsilent, debemos tener en cuenta el avance de la tecnología, lo que se propuso es una alternativa de solución actual, que probablemente no sea útil en el futuro.
- c) **Tecnológica.** En el presente trabajo de investigación se planteó una propuesta de evaluación de los índices de confiabilidad, basados en el software Digsilent, pero para la realidad actual y con los considerandos establecidos en la Norma Técnica de Calidad de Servicio Eléctrico.
- d) **Económica.** La salida intempestiva de un alimentador de las redes de Electrocentro S.A., significaba el corte de servicio

eléctrico para un gran sector de la población que se alimenta a través de ellas, trayendo perjuicios económicos a nivel residencial, comercial e industrial, en el sector que se producía la interrupción y para la empresa puesto que era una energía no suministrada y por lo tanto no cobrada.

- e) **Social** Debido a que la electricidad es una fuente de desarrollo para un país, la interrupción de servicio que se daba, por la salida de uno de los alimentadores de las redes de Electrocentro S.A., influían directamente en la producción en todos los niveles, trayendo como consecuencia perjuicios económicos en la población.
- f) **Práctico**. Porque el monitoreo constante del comportamiento de los índices de confiabilidad permitía plantear otros programas de mantenimiento que resulten más efectivos dada las características reales de funcionamiento de cada alimentador de las redes de Electrocentro S.A., consideremos que gran parte de las fallas son del tipo transitorio.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO.

2.1 Antecedentes del Estudio

2.1.1 Internacionales

a) El Ing. Miguel Piumetto¹ en su Tesis Doctoral, toma como base lo mencionado por el Dr. Juan Gómez, que dice “Los cambios y las tendencias a nivel mundial de las estructuras de mercado en el sector eléctrico, plantean importantes desafíos en el diseño, control, operación y protección de las redes de distribución” (Targarona, 2010).

“En esta conferencia el Dr. Gómez considera la generación distribuida para una empresa de distribución, la cual opera con niveles de media tensión, se incluye los impactos que se originarían por el ingreso de esta generación, el comportamiento de la topología de red, las formas de optimización del modelo”. (Targarona, 2010).

“Se estudió una red de distribución de Media Tensión con puesta a tierra rígida, modelizando una parte de la red de subtransmisión y distribución de la Región de Río Segundo y Pilar, Provincia de Córdoba, llegándose a determinar que la inclusión de la generación distribuida constituye un potencial económico para la empresa distribuidora al

¹ Miguel Piumetto, Tesis Doctoral

mismo tiempo ayuda a tener una mejor operación del sistema”.
(Targarona, 2010)

“ La GD modifica toda una estructura convencional de las redes en cuanto a su jerarquía se refiere, donde el flujo de energía va desde los centros de producción hacia los consumidores finales, en forma radial y en una sola dirección, considerando redes de distribución con un nivel de tensión mayor a tensiones menores. Con el ingreso de la generación distribuida a estas redes, muchos conceptos tradicionales se van cambiando o eliminando. Los mayores aportes que entrega la generación distribuida, esta esencialmente en los sentidos que tiene los flujos de potencia de las redes”. (Piumetto, 2015)

“Lo que se quería era lograr un entendimiento cabal del comportamiento de la GD en las redes eléctricas de distribución de Media Tensión con puesta a tierra rígida, concretando el estudio mediante el desarrollo de herramientas computacionales y metodologías de alta fidelidad para ser utilizadas en simulaciones, permitiendo evaluar las tecnologías actuales de los elementos y equipos eléctricos de la redes ante esta nueva concepción de inyección de potencia eléctrica. Los nuevos conocimientos derivados de este estudio, serán usados para predecir las respuestas de las redes ante situaciones controladas o no controladas de los generadores. De esta manera con el desarrollo de herramientas, procedimientos y modelos

de simulación, se investigó, analizó y observó la interacción de generadores en las redes, su comportamiento, adaptabilidad a la inserción de flujos de potencia, fijando pautas para su mejor aprovechamiento, eficientización de la explotación y definiendo pautas para la estabilidad del sistema eléctrico al cual se acopla. Uno de los aspectos que se consideraron fue la mejora de la calidad de potencia, para atenuar los impactos de los eventos en la redes. La presencia de la GD en las redes de distribución, generaron inconvenientes del tipo normativo y técnico que abarcan a una diversidad de factores dentro del sistema eléctrico”. (Piumetto, 2015)

“En el presente trabajo se analizaron distintas alternativas reales en las que la GD adquiere una relevancia especial para la Empresa Distribuidora (ED) como transportista y distribuidor de energía. Por lo tanto se abordó el problema de la implementación de esta concepción, con análisis cualitativos y cuantitativos, analizando la inyección de flujo de potencia en el dominio del tiempo, para conocer el comportamiento y los cambios de las variables ante diversas situaciones”. (Piumetto, 2015)

“Un aspecto importante del ingreso de la generación distribuida para un concesionario de distribución, se da básicamente en la administración de las redes, dado que en distribución la demanda es muy variable e impredecible y por lo tanto tiene un comportamiento más

dinámico que una red de transmisión. Los sistemas modernos que han integrado generación distribuida en sus redes, tienen que considerar nuevas variables de operación y de normatividad y sobre todo decidir las prioridades de la operación”. (Piumetto, 2015)

“El resultado que se obtiene de los algoritmos, ayudan significativamente al operador del sistema en la toma de mejores decisiones, en una gama de alternativas que se pueden plantear para un determinado sistema”. (Piumetto, 2015)

b) Tesis Doctoral autor RAFAEL MUÑOZ GÓMEZ²

La Calidad de Servicio en un país es indicativo del desarrollo de la industrialización, de la economía, etc. Lo que ocurre, es que la forma de conseguir ésta, puede inducir a objetivos que pueden mermar tanto a las empresas que invierten con sus propios capitales (distribuidores y transportistas) como a la propia administración estatal o autonómica que las retribuye por esta actividad. (Muñoz Gomez, 2015)

Mayoritariamente nuestro país está claramente definido por las empresas transportistas, en España solamente existe una REEIV. Sin embargo en la actividad de distribución, la dificultad, y con buen criterio, es más compleja. Existen varios distribuidores mayoritarios, ENDESA,

² Rafael Muñoz Gómez, Tesis Doctoral

IBERDROLA, EDP. FENOSA, E.ON y así un total de 342 empresas distribuidoras. (Muñoz Gomez, 2015)

Muchas veces oímos los términos “déficit tarifario”, o los comentarios de los consumidores que dicen “me han subido la luz” y “reviso mi facturación y no encuentro nada anormal.... “llamo al teléfono que me han dicho y no me lo coge nadie” en otros caso “llamo y me sale un contestador”..... “He ido donde me han dicho que me atenderían en persona y no me han aclarado nada y”.... “me han dicho que vaya a Industria a reclamar”.... “¿me he enterado que han subido la luz por las renovables? ¿Es verdad?”. “Pues yo creo que no....” Me dicen “Que es por algo de la eficiencia energética.....” y lo más crítico que todo esto sucede cuando la economía no pasa por su mejor momento. (Muñoz Gomez, 2015)

Pues bien todo lo anterior y más, dependen de dos términos el TIEPIVII y el NIEPIVIII. Ambos térmicos, quedan dentro de lo que se llama Calidad de Servicio y a su vez relacionadas con figuras jurídicas o agentes del mercado eléctrico, que están perfectamente cuantificados en la legislación vigente. Así como por las empresas distribuidoras y las transportistas, principales actores jurídicos de ello. (Muñoz Gomez, 2015)

c) Tesis Doctoral autor José Luis Bernal Agustín³

“En este documento se recogen los desarrollos y resultados correspondientes a la implementación de algoritmos genéticos en el mejor diseño para los sistemas de distribución de energía eléctrica. Los algoritmos genéticos simulan los fenómenos presentes en la naturaleza (reproducción, mutaciones, supervivencia y evolución de las especies), siendo posible aplicar estos conceptos a la resolución de un determinado problema tecnológico y obtener soluciones difícilmente alcanzables con otras técnicas. En el presente trabajo se ha desarrollado un algoritmo genético con el que se han alcanzado excelentes resultados al ser aplicado al mejor esquema de los sistemas de distribución de energía eléctrica”. (Bernal Agustín, 1998)

“Dado un sistema de distribución, pueden ser conocidos los valores actuales de las demandas de potencias y es factible prever el crecimiento de las mismas. En el mejor esquema de un sistema de distribución se debe obtener una solución técnicamente factible. Para ello se han de realizar los cálculos necesarios con el fin de comprobar que los requisitos técnicos habituales se cumplen (por ejemplo, las limitaciones en las caídas de tensión máximas permisibles y las de los valores máximos de capacidad de transporte de las redes del sistema).

³ José Luis Bernal Agustín, Tesis Doctoral

También es preciso evaluar y minimizar el coste total asociado a las líneas eléctricas y subestaciones del sistema, que deben analizarse en función a valores monetarios para un determinado lapso de tiempo. El problema fundamental de un mejor esquema, resulta de minimizar una sola función objetivo, de allí el nombre de monobjetivo, que representa los valores globales ligados al crecimiento del sistema (líneas y subestaciones simultáneamente), conocidas las demandas futuras y los valores límites de la capacidad de transporte de potencia de las redes y los de inyección de potencia de los transformadores. En la revisión bibliográfica se analizan los desarrollos considerados dentro del mejor esquema de los sistemas de distribución, apreciándose cómo existen aspectos relevantes que bien no se han tratado con detalle o no han sido considerados hasta ahora. Puede observarse que, con frecuencia, se han tratado diseños óptimos de sistemas de distribución de pequeñas dimensiones. Por otro lado, pocos autores han abordado la optimización de la fiabilidad con el fin de tenerla en cuenta simultáneamente junto a la optimización de los costes económicos en el proceso del diseño óptimo multiobjetivo. En cuanto a las técnicas matemáticas de optimización aplicadas, una buena parte de los autores han utilizado técnicas clásicas en el mejor esquema de los sistemas de distribución". (Bernal Agustin, 1998)

“No obstante, en los últimos tiempos, se están desarrollando trabajos con la aplicación de nuevas herramientas tales como los algoritmos genéticos y algoritmos específicos con los que se intentan superar las limitaciones de los programas de optimización clásicos (limitaciones relativas a elevados tiempos de cálculos, a las dimensiones del sistema de distribución y a la dificultad para ampliar el modelo matemático considerado), estando estos programas clásicos basados principalmente en modelos de programación matemática entera-mixta que hacen uso de algoritmos de ramificación y acotamiento. El algoritmo genético que se ha presentado en este trabajo está como una mejor propuesta, frente a los algoritmos que usualmente se utilizan en los sistemas de distribución. Esto se ha comprobado por medio de la comparación de los resultados que se han alcanzado y de las ventajas mostradas por el algoritmo genético cuando la dimensión del sistema de distribución a diseñar crece significativamente”. (Bernal Agustin, 1998)

“En el esquema monobjetivo usado se contempla la magnitud y la ubicación de las redes y subestaciones, también la magnitud del sistema bajo estudio sea en una etapa o en varias etapas y sus parámetros técnicos. El mejor esquema multiobjetivo de sistemas de distribución se ha desarrollado, con el algoritmo genético, utilizando una programación entera-mixta no lineal que involucra los valores

económicos y la confiabilidad del sistema de distribución”. (Bernal Agustin, 1998)

“Los algoritmos genéticos requieren utilizar valores concretos de unos determinados parámetros que controlan su funcionamiento. En el presente trabajo se ha procedido a realizar un estudio amplio para la obtención de dichos valores con el fin de alcanzar resultados muy satisfactorios en el diseño óptimo de redes de distribución. El algoritmo genético incluye la implementación original de unos nuevos operadores que permiten mejorar extraordinariamente la eficacia en su funcionamiento. Así, ha sido posible alcanzar el óptimo global o una solución muy cercana al mismo. Además, hace uso de algoritmos especializados en el cálculo de tensiones y flujos de potencia, así como de un nuevo método que se ha desarrollado y que permite evaluar una función de la fiabilidad del sistema de distribución a efectos del diseño óptimo”. (Bernal Agustin, 1998)

“El mejor esquema multiobjetivo utilizado nos da una gama de soluciones “no dominadas” (coste económico y fiabilidad) de las cuales el operador puede optar por una mejor solución, considerando varios factores. El alfabeto no binario que se utiliza en la codificación de las soluciones ha permitido incluir fácilmente, en el esquema, el radio óptimo de las redes y subestaciones, superando las dificultades que presenta un alfabeto binario para tener en cuenta este aspecto técnico

en el modelo de diseño óptimo. Esta codificación de las soluciones (usando un alfabeto no binario) permite, además, incluir de una forma sencilla líneas eléctricas de reserva, siendo este hecho fundamental para la evaluación de una función de la fiabilidad mediante un método original desarrollado en la investigación”. (Bernal Agustin, 1998)

“El algoritmo genético se ha aplicado a varios casos de proyectos mejorados en redes de distribución con tamaños muy grandes, mucho mayores a las que se hacen referencia en la literatura especializada, aplicando los modelos de diseño óptimo monobjetivo y multiobjetivo, los cuales contemplan una amplia variedad de aspectos relevantes del diseño tal y como se indica en los capítulos correspondientes”. (Bernal Agustin, 1998)

“En los casos propuestos de esquema monobjetivo se comparó el modelo linealizado con el sistema real, verificándose que este tiene muchas ventajas. La utilización de costes variables no lineales ha dado lugar a un mejor comportamiento del algoritmo genético en cuanto a su convergencia, con variaciones poco significativas de los tiempos de cálculo a efectos prácticos y mejorando tanto la representación de los costes económicos asociados al sistema de distribución como su diseño óptimo”. (Bernal Agustin, 1998)

“Además, se han resuelto ejemplos ilustrativos de diseño óptimo monobjetivo considerando la restricción de radialidad o las de caídas

de tensión máximas permisibles, mostrando la influencia que puede tener su inclusión en el resultado final obtenido en el proceso de diseño óptimo. En los casos desarrollados con esquema multiobjetivo se ha contrastado cada solución con la del esquema monobjetivo obtenida, apreciándose que en la solución multiobjetivo se tiene una gran mejora de la confiabilidad con respecto a la del esquema monobjetivo, lo que se consigue por medio del aumento óptimo en las inversiones relativas a la construcción de líneas. Así, el esquema multiobjetivo consigue mejorar en forma simultánea los costes económicos y la confiabilidad del sistema de distribución”. (Bernal Agustin, 1998)

d) Alejandro Garcés (2008) en su artículo “MEJORAMIENTO DE LA CONFIABILIDAD EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN MEDIANTE RECONFIGURACIÓN DE ALIMENTADORES PRIMARIOS”⁴.

“Para este artículo el autor desarrolla un algoritmo que tiene como función minimizar a los índices de confiabilidad, teniendo en cuenta la topología de la red primaria y su reconfiguración, considerándose para ello las restricciones técnicas y operativas”. (Garces, 2008)

“El realizar un análisis conjunto para minimizar los índices SAIDI +SAIFI nos da un resultado global, que podría ser una alternativa utilicen comparación se haría un análisis independiente de cada

⁴ Alejandro Garcés, Artículo Científico

indicador, además propone la utilización de otras técnicas para la evaluación de los índices de confiabilidad”. (Garces, 2008)

e) “Rubén Segundo Collantes Véliz⁵ en su tesis de maestría, concluye que los indicadores SAIFI y SAIDI para que respondan a un equilibrio representativo entre los costos y la confiabilidad deberían de estar en el orden de 2.78 fallas/usuario-año y 8.60 horas/usuario-año respectivamente, debe considerarse que la inversión promedio para la obtención de los indicadores mencionados alcanza la suma de 12,688 millones de dólares”. (Collantes Veliz, 2010)

“Para un sistema de distribución de alta densidad de carga, con conductores subterráneos, plantea la utilización de seccionadores bajo carga con fusible limitador en sus laterales y alimentaciones alternativas manuales y cuando se trata de sistemas aéreos la mejor solución sería la utilización de seccionadores en la troncal. Y para el caso de sistemas mixtos, es decir con conductores aéreos y subterráneos tendría que utilizarse también una combinación de los equipos de protección”. (Collantes Veliz, 2010)

⁵ Rubén Segundo Collantez Veliz, Tesis de Maestria

2.1.2 Nacionales

No se encontró información al respecto.

2.2 Marco Filosófico.

“En base al positivismo lógico, que examina propuestas que tienen un significado cognoscitivo: ellas son las analíticas y las sintéticas. Pero esto no es nada nuevo, ya que Hume⁶ había mencionado que la verdad o la falsedad de una propuesta analítica parte de su forma lógica: o es verdadera o falsa obligatoriamente (tautología o contradicción). Por el contrario, las propuestas sintéticas necesitan aparte de los procedimientos lógicos de alguna forma de verificación”. (Taringa;, 2012)

“De otro lado, las propuestas lógicas y matemáticas en general son del tipo analítico, debido a que no se refieren a los hechos reales y para su validez no se requiere de la experiencia sino se da a priori. Entonces, exceptuando a las propuestas lógicas y matemáticas, las demás propuestas son sintéticas” (Taringa;, 2012) y cuyo contenido puede ser:

► Cognoscitivo o descriptivo: información sobre "hechos"

⁶ Kant y Hume, Propositiones Cognoscitivas

► Emotivo: referido al plano de las emociones (Taringa;, 2012)

Para el presente trabajo de tesis doctoral, en el que la influencia de las ciencias naturales, esencialmente físicas y matemáticas tienen un carácter significativo, para poder determinar cuáles son los factores que inciden en los índices de confiabilidad de las redes de Electrocentro S.A.

Además se debe de considerar a la persona como fin supremo de la humanidad, que debe estar en el pedestal más alto del conocimiento y por lo tanto debe ser capaz de satisfacer todas las necesidades que requiera, en este caso viene a ser la electricidad que se distribuye a través de las líneas de Electrocentro S.A. en su ámbito de concesión.

2.3. Marco Legal

- LEY DE CONCESIONES ELECTRICAS, DECRETO LEY N° 25844
DECRETO SUPREMO N° 009-93-EM (MEM, 1992)
- MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS (DGE), Decreto Supremo N° 020-97-EM.- Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos (1997-10-11). (MEM, 1997)

- IEEE, “Guide for Electric Power Distribution Reliability Indices”, Standard 1366, IEEE, 2003. (IEEE, 2003)
- NTCSEER. Norma técnica de calidad de servicios eléctricos rurales. (MEM, 2008)

2.4. Bases Epistémicas

2.4.1. Bases Culturales

“El objetivo del presente trabajo “Bases culturales del Comportamiento” (Cultural Bases of Behavior), (Comportamiento Humano, 2014), es la comprensión de los enfoques psico-sociológicos de las bases culturales del comportamiento humano, con especial atención a los agentes del orden social; la familia, las religiones , los sistemas educativos y algunas observaciones sobre la solidaridad social. Desde el punto de vista de la sociología y de la psicología, el propio comportamiento humano cuenta con bases sociales y el individuo, su comportamiento y sus actitudes se encuentran totalmente conexos a la sociedad que lo rodea y resultan ser dos realidades en una. Por lo tanto el curso incluye como actividades el proceso de comprensión de textos y una aplicación de vocabulario apropiado psico-sociológico. Algunas herramientas de concepto básico en la sociología: las estructuras y clases sociales, las culturas, valores y conflictos sociales se han desarrollado de

modo de contar con el conocimiento esencial y sus posibles bifurcaciones”. (Psicología actual, 2011)

Orígenes del pensamiento sociológico

Comportamiento y sociedad

El comportamiento humano cuenta con bases sociales y es desde éste punto de vista, que el comportamiento individual puede comprenderse en mejor manera; o sea a través de relaciones interpersonales del denominado “*individuo social*”.

“Algunos conceptos vertidos en la historia han mostrado diferentes formas para lograr entender y reflexionar sobre el comportamiento de las personas y su entorno social. Coincidiendo con el investigador José Luis Estramiana⁷ (*Fundamentos sociales del Comportamiento humano*), “*no existe sociedad al margen de los individuos ni hay individuos sin sociedad. Así pues, la realidad social debe ser entendida como una construcción de los individuos y las relaciones que mantienen entre sí*”. La realidad social está basada en la estructura de los individuos y la interrelación que tienen entre ellos”. (Estramiana, 2003, pág. 15)

⁷ Jose Luis Estramiana, Fundamentos Sociales del Comportamiento Humano

La conducta humana se puede apreciar desde varios enfoques;

- a) personal,
- b) interpersonal y
- c) social.

“Cada enfoque significa un cierto nivel de independencia analítica, que no pueden estar desunidos uno del otro, pues para comprender el comportamiento de una persona, deben de analizarse que interacción tiene esta persona con su entorno. Igualmente, se debe analizar las interacciones entre personas, pues son los motivos en general y en particular, los que dan lugar a distintos comportamientos. El individuo, su comportamiento y sus actitudes están ligadas firmemente a la sociedad que lo acoge y vienen a ser dos realidades en una sola, en alguna forma se podría decir, *inseparables*”. (Estramiana, 2003)

“Para *Emile Dukheim*⁸, la *fundamentación de la sociología* está en base a los estudios de los *hechos sociales*, que vienen a ser de naturaleza externa a las personas y se imponen a la *conciencia individual*. Así, *Dukheim* opinaba que el origen de los *hechos sociales*

⁸ Emile Dukheim, Fundamento de la sociología

no se encontraba en las *conciencias individuales*, sino en otros *hechos sociales*; en cambio *Gabriel Tarde* pensaba que los *acontecimientos sociales* no eran independientes de los individuos, sino conexos íntimamente con la *conducta individual*". (Estramiana, 2003)

"*Max Weber*⁹, indica que la sociedad no se podía comprender lejos del actuar individual y de los significados variables que éstos dan a su conducta. Para *Weber*, los *sociólogos* deben estudiar y entender los *fenómenos sociales* y como ciencia comprender cada fenómeno de acción social; por lo cual ésta denominada "*Sociología de la Acción*" presume que la persona viene a ser un actor reflexivo y no reactivo, cuyo comportamiento es variable, otorgando *primacía individual* al *individuo social*. Se puede notar que ambos pensadores de la sociología consideran a un individuo social diferente; *Durkheim* lo plantea como colectivista, obligado por hechos sociales y *Weber* como individual, influyente con sus acciones a la sociedad". (Estramiana, 2003)

*Norbert Elias*¹⁰ ("*La sociedad de los individuos*" 1990, pag.48) no contempla a los duales, más bien ve la parte complementaria entre

⁹ Max Weber, Fenómenos Sociales

¹⁰ Norbert Elias, La Sociedad de los Individuos

la persona y la sociedad, resaltando *“que el yo puro, objeto de estudio de la psicología, sale fuera de sí mismo para relacionarse con otras personas, y una sociedad, el objeto de estudio de la sociología, exterior a la existencia del individuo, tiene sin duda sentido como expresión de una determinada configuración histórica del tejido humano y del correspondiente automodelado de la conciencia del ser humano; pero resulta insuficiente cuando se amplía el campo visual, cuando la persona, al reflexionar en torno a la sociedad, no parte directamente de sí misma y de sus sensaciones, sino que ve su propia figura y su propia autoconciencia dentro del más amplio contexto del devenir histórico”...* (Estramiana, 2003)

“Con las distintas concepciones de la persona y la sociedad, el análisis del comportamiento personal, debe entenderse, no aisladas entre si, sino desde distintos puntos de vista del “yo” y la sociedad externa; para lo cual debe tenerse una concepción amplia de las distintas formas de organización social, sus elementos, los componentes del sistema social que otorgan estabilidad a la sociedad. El comportamiento humano está inmerso con el crecimiento social y debe entenderse los cambios dentro de ella estudiando los conflictos sociales, relacionando las transformaciones que las sociedades sufren y sus evoluciones (conocimiento, inventos,

investigaciones, mayor participación individual social) así como también las involuciones (guerras religiosas, egoísmos a ultranza o violencia radical)”. (Estramiana, 2003)

“El fundamento de la sociología, vienen a ser las evidencias obtenidas a través de las observaciones sistemáticas que la convierten en una disciplina empírica. La información en sociología es medible en la parte individual y como ciencia, solo acepta datos comprobables. Teniendo en cuenta que todo individuo, piensa y desarrolla diversas actividades dentro de la sociedad, tiene un comportamiento distinto para una misma causa. La sociología como ciencia es pública, está basada en la globalización de sus trabajos, interpreta los casos particulares, interrelaciona los hechos sociales, analiza nuevos eventos en la sociedad y los relaciona”. (Estramiana, 2003)

“Para *Taylor (1871)* la cultura o civilización involucra el conocimiento, las creencias, la moral, el derecho, los usos y costumbres de las personas como integrantes de la sociedad. La cultura debe ser compartida por los integrantes de la sociedad y ser transmitida a las generaciones. A consecuencia de la desigualdad social, no todos los grupos sociales pueden desarrollar sus formas de pensar, sentir y obrar, menos aún transmitirlos, lo que se traduce

en una cultura dominante (cultura y grupo que la impone). La cultura sirve de base para una acción social dando pautas para su conocimiento y se expresa además externamente en actividades realizadas por el grupo social que la comparte y en sus sistemas tecnológicos, vertiente que hoy se denomina cultura material". (Estramiana, 2003)

2.4.2. Bases Científicas

Contribuir al desarrollo del país y al bienestar de la sociedad mediante la formación de recursos humanos de alto nivel, la investigación científica y tecnológica en ingeniería eléctrica y la vinculación con la industria, el sector social y de servicios.

Ser líder en la formación de investigadores de alto nivel y la generación de conocimiento científico y tecnológico de vanguardia en áreas de electricidad, consolidándose como modelo en la generación de grupos científicos y académicos en el ámbito nacional e internacional y aportando soluciones a problemas del sector productivo y social del país.

Deberá tener la habilidad y el interés en participar en trabajo experimental, la disposición para el trabajo en equipo y una gran capacidad de análisis y observación, estas características de calidad son el resultado del análisis de su trayectoria en sus estudios de

posgrado y de su experiencia profesional. Las actitudes deseables son: iniciativa, capacidad de liderazgo, compromiso personal, responsabilidad, interés en la investigación, ética profesional y honestidad.

2.5. Bases Teóricas

2.5.1. *Confiabilidad del sistema eléctrico*

Actualmente la continuidad del suministro de energía eléctrica está basado en la evaluación histórica del sistema eléctrico, para lo cual se requiere de una data histórica de las empresas concesionarias, las cuales en la mayoría de los casos solo tienen a partir del año 2010, para los años anteriores no se tenía esa información, dado que la Norma recién se dio el año 2008 y por lo tanto el reporte de fallas no era prioritario para las empresas de distribución, es más los índices de confiabilidad en los años 2010 a 2015 no eran relevantes para los concesionarios puesto que las multas no eran efectivas, hoy en día el organismo supervisor, está cambiando la metodología de toma de datos de interrupciones de modo que los cálculos representen lo que realmente está ocurriendo en el sistema eléctrico.

2.5.2. *Parámetros de confiabilidad*

Basándonos en el método de Modo de Fallas para la evaluación de análisis de confiabilidad del sistema, se requiere datos para cada uno

de los elementos que componen una red de distribución, y son: la tasa de falla y los tiempos de reparación.

Es posible hacer una estimación de las tasas de fallas y los tiempos de reparación para todos los equipos que componen un sistema de distribución a partir de datos estadísticos y de registros que se elaboren de todas las suspensiones en el servicio. A continuación, se mencionan las características de los datos que se requieren.

Tasa de falla. -Es el número de fallas de un componente por año causado por una salida permanente. Estas fallas pueden ser causadas por una mala operación, relámpagos, animales, cortocircuito, árboles, sobrecargas, fallas de aislamiento, etc. La tasa de salida es obtenida al dividir el número total de fallas por un equipo dado entre el total de los componentes y dividida por el número de años.

Tiempos de reparación.- representa la acción de cambio o reparación del componente causante de la interrupción del servicio, también representa el periodo transcurrido desde la desconexión del circuito hasta la re-energización del mismo. El tiempo de reparación es el tiempo promedio que dura una falla de suministro, expresado en horas; y dependerá de la clase de protección asociada y del tipo

de trabajo que se debe realizar para restablecer el servicio eléctrico (maniobras de transferencia, reparaciones, limpieza, etc.)

2.5.3. Como se calcula la Confiabilidad

No basta con un solo índice para medir la gestión del mantenimiento. Para tener una visión más completa, se hace necesario analizar el índice de confiabilidad junto con la disponibilidad, la mantenibilidad, etcétera.

Aun así, la metodología para llevar a cabo el cálculo de este índice no aparece con claridad en los textos especializados o se remiten al empleo de la distribución de Weibull; el cual es complejo por el cálculo de sus parámetros; y que éstos sólo se limitan al cálculo de variables como el MTBF (Tiempo Medio entre Fallas) y el MTTR (Tiempo Medio Para Reparación) como un indicativo de la confiabilidad y ninguna referencia directa al cálculo de ésta.

Con base en lo anterior, el objetivo es desarrollar un método para el cálculo de este índice, con base en el MTBF y el MTTR y teniendo en cuenta los tres posibles arreglos de los sistemas: Serie, Paralelo y Redundante, pues la confiabilidad se ve afectada de forma directa dependiendo del tipo de sistema.

Es de aclarar que el método de cálculo de la confiabilidad es un método discreto, en contraposición al método que emplea la distribución de Weibull, que es una distribución continua.

“El procedimiento está basado en una ecuación presentada por Lourival Augusto Tavares¹¹ para el análisis de la confiabilidad. Al respecto, el autor menciona lo siguiente: “La fórmula planteada es muy fácil de usar a pesar de que hay un error insignificante el cual no altera el análisis y menos aún influye en la toma de decisiones por lo que puede depurarse en los cálculos estadísticos, donde se utiliza la distribución de Weibull”. (Tavares, 2010)

2.5.4. Los Datos Base

“Para que el cálculo de los indicadores de confiabilidad sea creíble, la fuente de información también debe ser confiable, esto constituye el registro histórico de las interrupciones que se producen en el sistema. El registro de las interrupciones considera la codificación y la clasificación de la información; estas última se subdividen en propios, ajenos y programados. Las interrupciones propias son aplicables al equipo”. (Tavares, 2010)

¹¹ Lourival Augusto Tavares, Calculo de Confiabilidad

“Las interrupciones ajenas no son atribuibles a los equipos pero causan la salida de servicio del sistema. Las interrupciones programadas vienen a ser las que están incluidas en plan de mantenimiento. La codificación reconoce de forma casi inmediata la falla que se produce en las instalaciones del sistema”. (Tavares, 2010)

2.5.5. Definición de confiabilidad¹²

“Es necesario aclarar a que se refiere la confiabilidad, lo cual podrá se podrá definir de la siguiente manera: Es la probabilidad de que un sistema, o componente activo lleve a cabo su función debidamente durante unos lapsos de tiempo en situaciones de operación permisibles y constantes”. (Reliabilityweb.com, 2004)

“Como puede verse, la confiabilidad viene a ser un dato estadístico, dado que nos representa una probabilidad que se calcula a partir de la data histórica de las interrupciones., El análisis de la confiabilidad está basado en la definición de Laplace sobre probabilidades. Se debe tener en cuenta que la confiabilidad como concepto es factible aplicar a todo un sistema, a un equipo

¹² Osinergmin, Estudios de Confiabilidad en el Perú

determinado o a un componente del sistema. Considerando si el sistema está conectado en serie, en paralelo o es redundante”. (Reliabilityweb.com, 2004)

“Cabe resaltar, que la confiabilidad se calcula para un determinado lapso de tiempo, el mismo que puede ser semanal, mensual, anual, y considerando las restricciones de operación del sistema. Para una cierta condición dada, no se tendrá el mismo tipo de operación desde el punto de vista eléctrico”. (Reliabilityweb.com, 2004)

Ecuación básica

“Como se mencionó anteriormente, la expresión para el cálculo de la confiabilidad está basada en la ecuación planteada por Tavares, la cual involucra a los siguientes parámetros el MTBF y el MTTR” (Tavares, 2010):

$$R = f(MTBF, MTTR) \quad (2.1)$$

Donde:

R : Confiabilidad.

MTBF : Tiempo promedio entre fallas.

MTTR : Tiempo promedio en reparación.

Ahora veamos cómo se relacionan las tres variables de la ecuación (2.1):

$$R = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \times 100 \quad (2.2)$$

“Como se puede ver en la ecuación (2.2), nos representa la definición de Laplace para la probabilidad: que es igual al número de mediciones (MTBF= tiempo total de funcionamiento sin falla) entre el número total de sucesos (tiempo total sin falla más el tiempo que estuvo parado para mantenimiento). Es la ecuación para el cálculo de la confiabilidad”. (Reliabilityweb.com, 2004)

Ahora bien, ¿cómo se determinan el MTBF y el MTTR?

Las ecuaciones son las siguientes:

$$MTBF = \left[\frac{h_T}{p} \right] \times 100 \quad (2.3)$$

$$MTTR = \left[\frac{h_p}{p} \right] \times 100 \quad (2.4)$$

Donde:

h_T : total de horas trabajadas durante el período de evaluación.

p: Número de interrupciones en el período de evaluación.

h_p : total de horas de interrupción en el período de evaluación.

“Es necesario hacer hincapié que las interrupciones por mantenimiento, serán consideradas solamente en el cálculo de confiabilidad para los periodos de mantenimiento expresamente”.

(Reliabilityweb.com, 2004)

2.5.6. Los Sistemas en Serie

Los sistemas en serie se caracterizan por que el funcionamiento de cada ítem que lo compone depende directamente del funcionamiento del componente que lo antecede y precede; es decir, si uno de los componentes falla, falla todo el sistema.

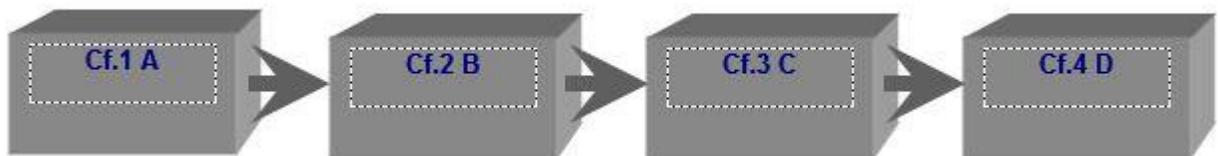


FIGURA N° 2 LOS SISTEMAS SERIE

FUENTE: TAVARES

La confiabilidad del sistema está dada por:

$$R_s = Cf_1 \times Cf_2 \times Cf_3 \times Cf_4 \quad (2.5)$$

Donde:

Cf1, Cf2,....., Cfn son las confiabilidades propias en cada estado.

Para la expresión anterior, se puede concluir que el cálculo de la confiabilidad total del sistema es el producto de las confiabilidades individuales.

Y para n componentes:

$$R_s = \prod_{j=1}^n R_j \quad (2.6)$$

Donde:

Rs: Confiabilidad total del sistema.

Rj: Confiabilidad del j-ésimo componente.

“En un sistema en serie, es fácil deducir que la confiabilidad total es mucho menor que la confiabilidad de cualquiera de sus componentes. Por lo tanto un sistema en serie es más propenso a las interrupciones”. (Reliabilityweb.com, 2004)

2.5.7. Los Sistemas en Paralelo

Según Tavares: “La confiabilidad final de un conjunto de equipos, será obtenida por la suma de los productos de las confiabilidades de cada ítem por sus capacidades de producción, dividido por la sumade las capacidades de producción de esos ítems”. (Reliabilityweb.com, 2004)

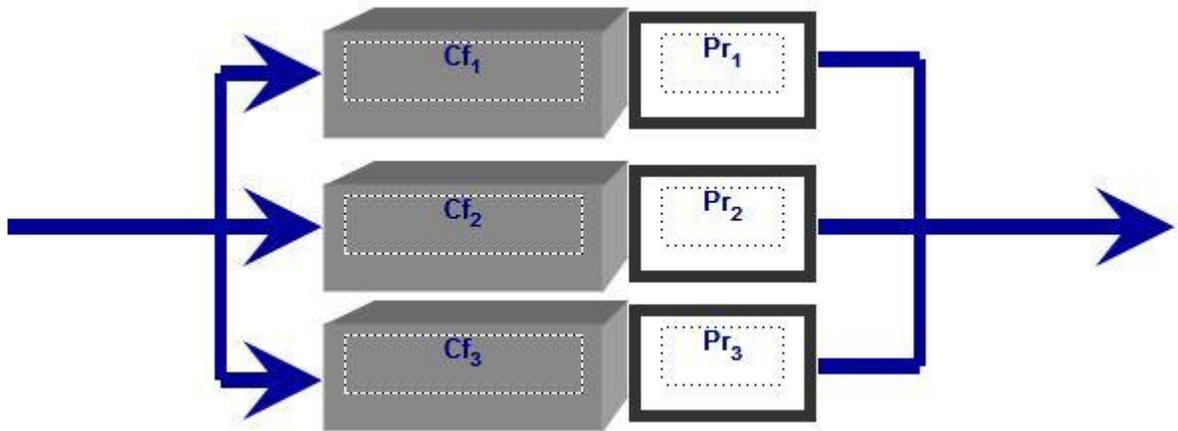


FIGURA N° 3 LOS SISTEMAS PARALELO

FUENTE: TAVARES

La confiabilidad de un sistema en paralelo se puede representar por:

$$R_s = \left[\frac{(Cf_1 \times Pr_1) + (Cf_2 \times Pr_2) + (Cf_3 \times Pr_3)}{Pr_1 + Pr_2 + Pr_3} \right] \quad (2.7)$$

Donde Cf_1, Cf_2, \dots, Cf_n son las confiabilidades de cada uno de los componentes.

Pr_1, Pr_2, \dots, Pr_n son las participaciones de cada uno de los componentes en la producción del sistema evaluado.

Y para n equipos en paralelo:

$$R_s = \frac{\sum_{j=1}^n (R_j \times Pr_j)}{\sum_{j=1}^n Pr_j} \quad (2.8)$$

“De la expresión anterior, se concluye que el paro de un equipo no implica el paro del sistema. Esta característica de los sistemas en paralelo se debe al carácter aditivo de las confiabilidades ponderadas con la producción de cada uno de ellos. Con respecto a la participación en la producción de cada uno los equipos involucrados, es válida la siguiente observación: No necesariamente la sumatoria de las participaciones debe ser 100% pues, por lo general, las líneas de producción son sobredimensionadas”. (Reliabilityweb.com, 2004)

2.5.8. Los Sistemas Redundantes

“Se entiende por un sistema redundante, un sistema que permanece en stand by (reserva) con el propósito de garantizar el funcionamiento normal del proceso. En la realidad, sistemas completos en reserva

son poco comunes, por el costo que ello implica. Un ejemplo de ello lo constituye una planta donde se producen químicos letales para el ambiente y la vida en general. En este tipo de plantas se hace obligatorio tener un sistema de control de emisiones al ambiente en reserva por las implicaciones que se derivan de la emisión al ambiente de estos químicos. Lo que sí es común, es tener componentes en reserva para garantizar el normal funcionamiento del proceso". (Reliabilityweb.com, 2004)

"Tal como lo menciona Tavares, un sistema redundante se puede definir como: Cualquier componente que tenga por un lapso de tiempo el 100% de confiabilidad iguala a la unidad a toda la ecuación. Una vez ocurrida la interrupción, si la conmutación es instantánea, la confiabilidad se conservara en el 100% hasta la siguiente interrupción del elemento". (Tavares, 2010)

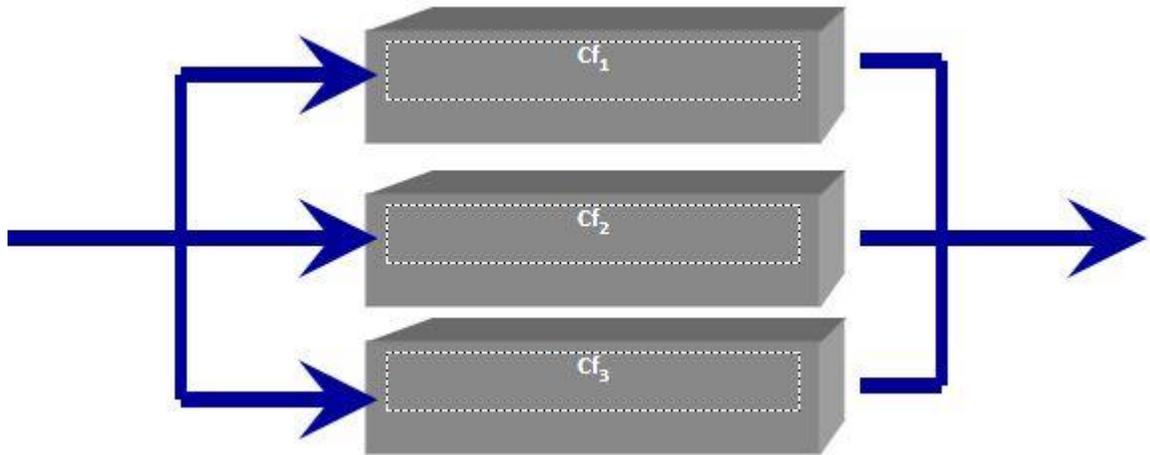


FIGURA N° 4 LOS SISTEMAS REDUNDANTES

FUENTE: TAVARES

La confiabilidad para un sistema redundante se puede representar por:

$$R_s = 1 - [(1 - Cf_1)x(1 - Cf_2)x(1 - Cf_3)] \quad (2.9)$$

Donde las variables tienen el mismo significado que en los casos anteriores.

Generalizando para n equipos:

$$R_s = 1 - \prod_{j=1}^n (1 - R_j) \quad (2.10)$$

De la anterior expresión se puede deducir lo siguiente:

“La redundancia, que se representa en (10) está indicando el uno fuera de la unidad productora, lo cual nos da una confiabilidad cercana al 100% del sistema de generación, pero considerando que la conmutación (o el cambio al sistema en reserva) se haga instantáneamente. También se puede mencionar que si un componente del sistema tiene una confiabilidad del 100%, todo el sistema alcanzará una confiabilidad del 100%”. (Reliabilityweb.com, 2004)

Los sistemas de distribución y su importancia

Los sistemas de distribución constituyen el enlace entre un sistema de transmisión y el usuario final o el consumidor final, siendo esta la de mayor volumen de usuarios o abonados, principalmente del tipo doméstico y que constituyen una carga vegetativa, para la realidad nuestra solo los usuarios que superen una carga superior a un MVA, podrían optar por conectarse a las barras de alta tensión. En la Tabla N° 2.1 se muestra la participación de los sistemas de distribución sobre las cifras del sistema de potencia.

TABLA N ° 2. 1 PORCENTAJES DE PARTICIPACIÓN DE LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN EN SISTEMA DE POTENCIA

Ítem	Descripción	Participación [%]
1	Pérdidas de energía	70
2	Número de fallas	90
3	Indisponibilidad	99
4	Energía no entregada	75
5	Costo de entrega de energía	40
6	Inversión anual para transporte	70
7	Costo de operación	20

Fuente: OSINEGMIN N° 178-2012-OS/CD

Un sistema de distribución está constituido por subestaciones de distribución, cuya alimentación proviene de un sistema de transmisión, de estas se conectan los circuitos primarios de distribución.

Normalmente, los circuitos de distribución primarios tienen una topología radial. Se pueden contar con algunos circuitos primarios que tengan topología en malla o anillo, pero en la práctica son operados en forma radial.

Los niveles de tensión normalizados para media tensión son ($V < 60$ kV)

En la zona rural se tienen pocos usuarios dispersos en grandes zonas geográficas. Llamados sectores típicos.

En la zona urbana se tiene una alta concentración de usuarios, o una alta densidad de carga. Es un sistema donde es factible la reparación de sus componentes, el sistema de potencia cambia su topología de radial a malla, lo cual favorece considerablemente a la confiabilidad.

Indicadores de confiabilidad

La confiabilidad para sistemas de distribución se calcula a través de sus índices concentrándose en cada extremo de carga a los usuarios del sistema de distribución primario; normalmente estos puntos de carga vienen a ser los circuitos secundarios de las sub estaciones de distribución. Con esto queda claro que las líneas y redes de un sistema de distribución secundaria, incluyendo sus componentes no intervienen en el cálculo de los índices de confiabilidad. La concentración de los puntos de carga de los usuarios, normalmente se reflejan al circuito primario del transformador. Por lo tanto el cálculo de los índices de confiabilidad de los lados primarios pueden concentrarse a su vez para calcular los índices de confiabilidad de la subestación y así mismo el cálculo

de los índices de todas las subestaciones pueden concentrarse para obtener los índices de confiabilidad de un sistema.

2.5.9. Tipos de Valoración

Desempeño histórico

Se refiere al cálculo de los índices de confiabilidad del sistema a partir de registros operativos. Es decir, corresponde a un análisis de lo que ya pasó en el sistema. Generalmente, la regulación obliga a coleccionar esta información y calcular los índices de confiabilidad para un periodo dado, normalmente anual. Esta información sirve para valorar el desempeño del sistema respecto a lo establecido para la regulación y establecer medidas correctivas: cambio de equipos, mejora de especificaciones, estrategias operativas (poda de árboles, limpieza, inspecciones, etc.), traslado de cargas, reconfiguración y todo aquello que nos pueda significar en algún momento algún tipo de interrupción.

Predicción¹³

Se refiere al cálculo de los índices de confiabilidad del sistema mediante un modelo matemático (simulación) el cual se resuelve en forma analítica o numérica. Es decir, corresponde a una predicción

¹³ Roy Billinton, Evaluación de Confiabilidad en Sistemas de Potencia

de lo que pasará en el sistema. Este tipo de análisis se realiza dentro de las actividades de planeamiento del sistema y sirve para valorar si el sistema es “adecuado” para atender la demanda futura. La valoración se hace para un año dado de interés y diversas alternativas de expansión o medidas correctivas tomadas del análisis del desempeño histórico del sistema. (Billinton, 1996)

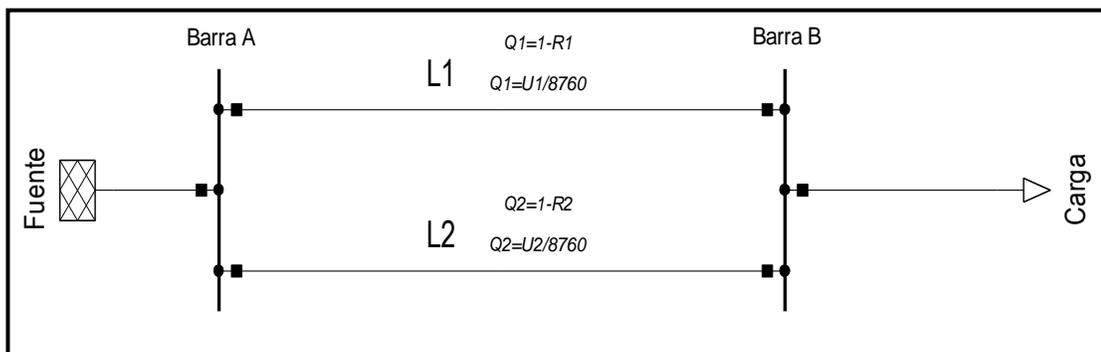


FIGURA N° 5 SISTEMA EJEMPLO TEXTO BILLINTON
FUENTE TEXTO BILLINTON

Tomando en consideración que el sistema de transmisión no funcionará si ambas líneas fallan, los estados del sistema se muestran en la TABLA N° 2.2.

TABLA N ° 2. 2 ESTADOS DEL SISTEMA

N°	L1	L2	ESTADO DEL SISTEMA	PROBABILIDAD
1	R1	R2	FUNCIONA	R1xR2
2	R1	Q2	FUNCIONA	R1xQ2
3	Q1	R2	FUNCIONA	Q1xR2
4	Q1	Q2	NO FUNCIONA	Q1xQ2

De la tabla la probabilidad se entiende que el sistema no funcionará en el estado número 4, dado por la siguiente ecuación:

$$Q_{sistema} = Q_1 \times Q_2 \quad (2.11)$$

Entonces, la Tasa de Falla y la Indisponibilidad equivalente será:

$$\lambda_{sistema} = \frac{(\lambda_1 \times r_1) \times (\lambda_2 \times r_2)}{8760} \times \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right) [fallas/año] \quad (2.12)$$

$$U_{sistema} = \frac{(\lambda_1 \times r_1) \times (\lambda_2 \times r_2)}{8760} [horas/año] \quad (2.13)$$

En la TABLA N° 2.3 se muestra los datos de cada componente de la TABLA N° 2.2, determinar la confiabilidad del sistema en paralelo:

TABLA N ° 2. 3 COMPONENTES DEL SISTEMA

N°	λ	U	R	Q	R
L1	14.6	43.8	3	0.005	0.095
L2	21.9	87.6	4	0.010	0.090

En base a la ecuación 2.12 la Tasa de Falla equivalente será:

$$\lambda_{sistema} = \frac{(14.6 \times 3) \times (21.9 \times 4)}{8760} \times \left(\frac{1}{3} + \frac{1}{4} \right)$$

$$= 0.2555 \quad [fallas/año]$$

En base a la ecuación 2.13 la Indisponibilidad equivalente será:

$$U_{sistema} = \frac{(14.6 \times 3) \times (21.9 \times 4)}{8760}$$

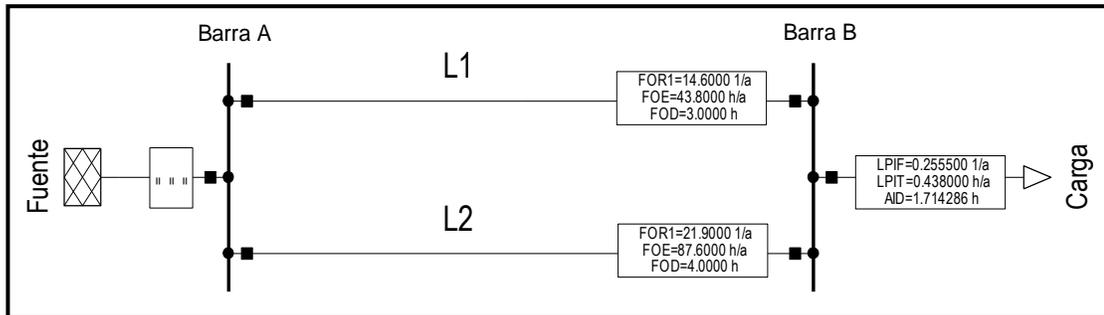
$$= 0.438 \quad [horas/año]$$

El Tiempo de Reparación equivalente será:

$$r_{equivalente} = \frac{0.438}{0.2555}$$

$$= 1.714286 \quad [horas/falla]$$

Simulación usando el software DigSILENT:



**FIGURA N° 6 RESULTADO SOFTWARE DIGSILENT SISTEMA EJEMPLO
FUENTE: ELABORACION PROPIA**

Como se puede apreciar en la FIGURA N° 6, la notación que utiliza el software para denotar la Tasa de Falla (λ) será: En los componentes el FOR1 (Forced Outage Rate) y en las cargas se denominara LPIF (Load Point Interruption Frequency), ambos expresan de una u otra forma la cantidad de fallas o interrupciones a las que se encuentran sometido una parte del sistema eléctrico.

Asimismo, para denotar la Indisponibilidad (U) el software emplea: En los componentes el FOE (Forced Outage Expectancy) y en las cargas el LPIT (Load Point Interruption Time), ambas denotan el tiempo de indisponibilidad o horas de interrupción a las que se encuentra sometido una parte del sistema eléctrico.

Y finalmente para denotar la duración promedio de reparación por falla el software emplea: En los componentes FOD (Forced Outage Duration) y en las cargas el AID (Average Interruption Duration), que

indican el tiempo que demora la reparación del componente por interrupción o falla.

2.6. Redes Neuronales

2.6.1. Definición

Una nueva forma de computación, inspirada en modelos biológicos. Un modelo matemático compuesto por un gran número de elementos procesales organizados en niveles. Un sistema de computación compuesto por un gran número de elementos simples, elementos de procesos muy interconectados, los cuales procesan información por medio de su estado dinámico como respuesta a entradas externas.

Redes neuronales artificiales son redes interconectadas masivamente en paralelo de elementos simples (usualmente adaptativos) y con organización jerárquica, las cuales intentan interactuar con los objetos del mundo real del mismo modo que lo hace el sistema nervioso biológico según Frawley (1992).

2.6.2. Ventajas que ofrecen la red neuronal.

“Por la forma que se constituyen y los elementos en los que se basan, las redes neuronales artificiales tienen una gran similitud con el cerebro humano. Para citar algunos casos, las redes neuronales pueden asimilar de hechos ya vividos, pueden tomar como base

hechos sucedidos con anterioridad para casos presentes, de aislar rasgos principales partiendo de datos de ingreso que nos brinda información importante. Lo cual hace que este avance tecnológico, nos proporcione muchas ventajas y se esté utilizando en muchas áreas del saber”. (Lourismar, 2012) Sus ventajas son:

“El Aprendizaje Adaptativo. Que viene a ser la capacidad de asimilar para realizar labores apoyadas en un experimento inicial. Autoorganización. (Lourismar, 2012) La red neuronal es capaz de tener una organización propia o un perfil de los datos que ingresan a través de un periodo de aprendizaje”. (Lourismar, 2012)

“Tolerancia a fallos. Si una red neuronal por cualquier motivo sufre la mutilación de la estructura, esta se degrada, pero puede mantener sus capacidades a pesar del daño producido, por más que este sea muy grande”. (Lourismar, 2012)

“Operación en tiempo real. Las simulaciones computacionales a las redes neuronales se pueden efectuar en paralelo; actualmente se pueden insertar en la tecnología presente. Se cuenta con software especializado para redes neuronales que mejoran su rendimiento en las labores que realiza”. (Lourismar, 2012)

“Aprendizaje adaptativo. La capacidad de aprendizaje adaptativo es una de las características más atractivas de redes neuronales. Esto es, aprenden a llevar a cabo ciertas tareas mediante un entrenamiento con ejemplos ilustrativos. Como las redes neuronales pueden aprender a diferenciar patrones mediante ejemplos y entrenamientos, no es necesario elaborar modelos a priori ni necesidad de especificar funciones de distribución de probabilidad. Las redes neuronales son sistemas dinámicos auto adaptativos. Son adaptables debido a la capacidad de autoajuste de los elementos procesales (neuronas) que componen el sistema. Son dinámicos, pues son capaces de estar constantemente cambiando para adaptarse a las nuevas condiciones. En el proceso de aprendizaje, los enlaces ponderados de las neuronas se ajustan de manera que se obtengan ciertos resultados específicos. Una red neuronal no necesita un algoritmo para resolver un problema, ya que ella puede generar su propia distribución de pesos en los enlaces mediante el aprendizaje”. (Lourismar, 2012)

“También existen redes que continúan aprendiendo a lo largo de su vida, después de completado su período de entrenamiento. La función del diseñador es únicamente la obtención de la arquitectura apropiada. No es problema del diseñador el cómo la red aprenderá

a discriminar. Sin embargo, sí es necesario que desarrolle un buen algoritmo de aprendizaje que le proporcione a la red la capacidad de discriminar, mediante un entrenamiento con patrones”.
(Lourismar, 2012)

Auto-organización.

“Las redes neuronales emplean su capacidad de aprendizaje adaptativo para autoorganizar la información que reciben durante el aprendizaje y/o la operación. Mientras que el aprendizaje es la modificación de cada elemento procesal, la autoorganización consiste en la modificación de la red neuronal completa para llevar a cabo un objetivo específico. Cuando las redes neuronales se usan para reconocer ciertas clases de patrones, ellas autoorganizan la información usada. Por ejemplo, la red llamada backpropagation, creará su propia representación característica, mediante la cual puede reconocer ciertos patrones. Esta autoorganización provoca la generalización: facultad de las redes neuronales de responder apropiadamente cuando se les presentan datos o situaciones a las que no había sido expuesta anteriormente. El sistema puede generalizar la entrada para obtener una respuesta. Esta característica es muy importante cuando se tiene que solucionar problemas en los cuales la información de entrada no es muy clara;

además permite que el sistema dé una solución, incluso cuando la información de entrada está especificada de forma incompleta”.
(Lourismar, 2012)

Tolerancia a fallos.

“Las redes neuronales fueron los primeros métodos computacionales con la capacidad inherente de tolerancia a fallos. Comparados con los sistemas 10 computacionales tradicionales, los cuales pierden su funcionalidad cuando sufren un pequeño error de memoria, en las redes neuronales, si se produce un fallo en un número no muy grande de neuronas y aunque el comportamiento del sistema se ve influenciado, no sufre una caída repentina. Hay dos aspectos distintos respecto a la tolerancia a fallos” (Lourismar, 2012):

a) “Las redes pueden aprender a reconocer patrones con ruido, distorsionados o incompletos. Esta es una tolerancia a fallos respecto a los datos”. (Lourismar, 2012)

b) “Las redes pueden seguir realizando su función (con cierta degradación) aunque se destruya parte de la red. La razón por la que las redes neuronales son tolerantes a los fallos es que tienen su información distribuida en las conexiones entre neuronas,

existiendo cierto grado de redundancia en este tipo de almacenamiento. La mayoría de los ordenadores algorítmicos y sistemas de recuperación de datos almacenan cada pieza de información en un espacio único, localizado y direccionable. En cambio, las redes neuronales almacenan información no localizada. Por lo tanto, la mayoría de las interconexiones entre los nodos de la red tendrán sus valores en función de los estímulos recibidos, y se generará un patrón de salida que represente la información almacenada”. (Lourismar, 2012)

Operación en tiempo real.

“Una de las mayores prioridades, casi en la totalidad de las áreas de aplicación, es la necesidad de realizar procesos con datos de forma muy rápida. Las redes neuronales se adaptan bien a esto debido a su implementación paralela. Para que la mayoría de las redes puedan operar en un entorno de tiempo real, la necesidad de cambio en los pesos de las conexiones o entrenamiento es mínimo”. (Lourismar, 2012)

Fácil inserción dentro de la tecnología existente.

“Una red individual puede ser entrenada para desarrollar una única y bien definida tarea (tareas complejas, que hagan múltiples

selecciones de patrones, requerirán sistemas de redes interconectadas). Con las herramientas computacionales existentes (no del tipo PC), una red puede ser rápidamente entrenada, comprobada, verificada y trasladada a una implementación hardware de bajo coste. Por lo tanto, no se presentan dificultades para la inserción de redes neuronales en aplicaciones específicas, por ejemplo de control, dentro de los sistemas existentes. De esta manera, las redes neuronales se pueden utilizar para mejorar sistemas en forma incremental y cada paso puede ser evaluado antes de acometer un desarrollo más amplio". (Lourismar, 2012)

2.6.3. Redes Neuronales y Computadoras Digitales.

“Para entender el potencial de la computación neuronal, sería necesario hacer una breve distinción entre sistemas de computación neuronal y digital: los sistemas neurológicos no aplican principios de circuitos lógicos o digitales. Un sistema de computación digital debe ser síncrono o asíncrono. Si fuera asíncrono, la duración de los impulsos neuronales debería ser variable para mantener uno de los valores binarios por periodos de tiempo indefinido, lo cual no es el caso. Si el principio fuera síncrono, se necesitaría un reloj global o maestro con el cual los pulsos estén sincronizados. Éste tampoco es el caso. Las neuronas

no pueden ser circuitos de umbral lógico, porque hay miles de entradas variables en la mayoría de las neuronas y el umbral es variable con el tiempo, siendo afectado por la estimulación, atenuación, etc. La precisión y estabilidad de tales circuitos no es suficiente para definir ninguna función booleana. Los procesos colectivos que son importantes en computación neuronal no pueden implementarse por computación digital. Por todo ello, el cerebro debe ser un computador analógico. Ni las neuronas ni las sinapsis son elementos de memoria biestable. Todos los hechos fisiológicos hablan a favor de las acciones de las neuronas como integradores analógicos, y la eficiencia de la sinapsis cambia de forma gradual, lo cual no es característico de sistemas biestables. Los circuitos del cerebro no implementan computación recursiva y por lo tanto no son algorítmicos. Debido a los problemas de estabilidad, los circuitos neuronales no son suficientemente estables para definiciones recursivas de funciones como en computación digital. Un algoritmo, por definición, define una función recursiva según Leonides¹⁴, C. T. (1998)". (Lourismar, 2012)

¹⁴ C.T. Leonides, Algoritmos, computación digital

A continuación se puede ver, en la Figura N° 7, un esquema de una red neuronal:

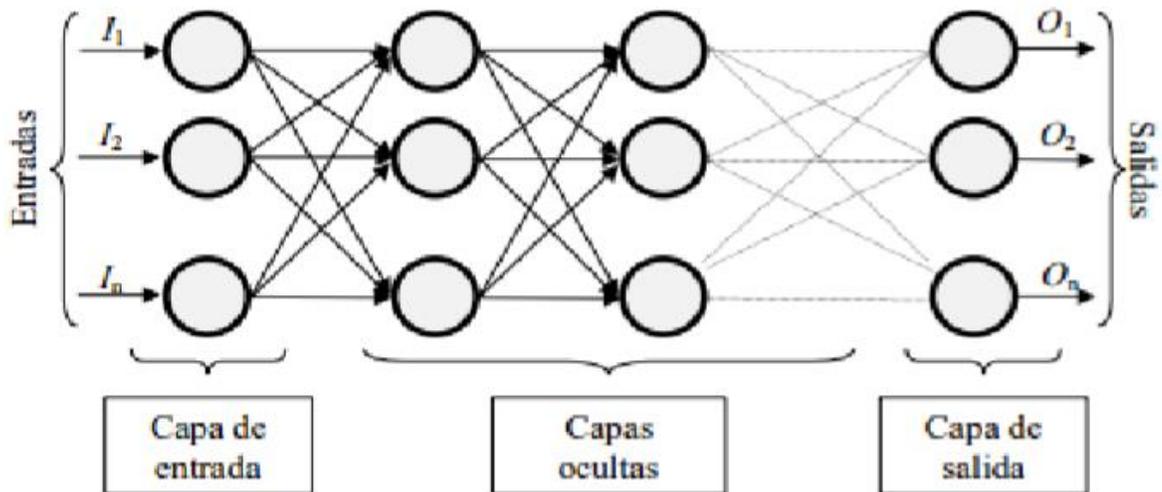


FIGURA N° 7 ESQUEMA DE UNA RED NEURONAL

FUENTE: LEONIDES

“La misma está constituida por neuronas interconectadas y arregladas en tres capas (esto último puede variar). Los datos ingresan por medio de la “capa de entrada”, pasan a través de la “capa oculta” y salen por la “capa de salida”. Cabe mencionar que la capa oculta puede estar constituida por varias capas. Antes de comenzar el estudio sobre las redes neuronales, se debe aprender algo sobre las neuronas y de cómo ellas son utilizadas por una red neuronal”. (Pacheco, 2012)

“Mientras una neurona es muy pequeña en sí misma, cuando se combinan cientos, miles o millones de ellas pueden resolver problemas muy complejos. Por ejemplo el cerebro humano se compone de billones de tales neuronas según Frawley (1992)”. (Pacheco, 2012)

Función de entrada (input function).

“La neurona trata a muchos valores de entrada como si fueran uno solo; esto recibe el nombre de entrada global. Por lo tanto, ahora nos enfrentamos al problema de cómo se pueden combinar estas simples entradas (ini_1, ini_2, \dots) dentro de la entrada Capa de entrada Capas ocultas Capa de salida I1 I2 In O1 O2 On Entradas Salidas Dendritas (entradas) Sinapsis (pesos) Axon (salidas) 13 global, gini. Esto se logra a través de la función de entrada, la cual se calcula a partir del vector entrada. La función de entrada puede describirse como sigue: $input = (ini_1 \cdot wi_1) * (ini_2 \cdot wi_2) * \dots (inin \cdot win)$ donde: * representa al operador apropiado (por ejemplo: máximo, sumatoria, productoria, etc.), n al número de entradas a la neurona N_i y w_i al peso. Los valores de entrada se multiplican por los pesos anteriormente ingresados a la neurona. Por consiguiente, los pesos que generalmente no están restringidos cambian la medida de influencia que tienen los valores de entrada. Es decir, que permiten

que un gran valor de entrada tenga solamente una pequeña influencia, si estos son lo suficientemente pequeños”. (Pacheco, 2012)

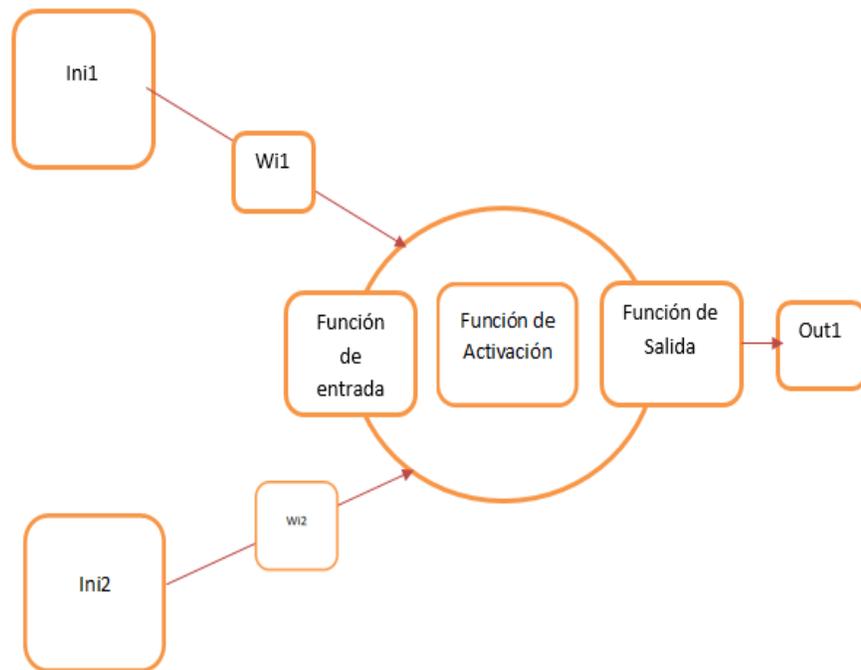


FIGURA N° 8 NEURONA N_i

FUENTE: PACHECO

“La nomenclatura utilizada en la Figura 8 es la siguiente: $ini1$ = entrada número 1 a la neurona N_i ; $wi1$ = peso correspondiente a $ini1$; $ini2$ = entrada número 2 a la neurona N_i ; $wi2$ = peso correspondiente a $ini2$; y $out1$ = salida de la neurona N_i . El conjunto

de todas las n entradas $ini = (ini_1, ini_2, \dots, ini_n)$ es comúnmente llamado “vector entrada”. Algunas de las funciones de entrada más comúnmente utilizadas y conocidas son:

- 1) Sumatoria de las entradas pesadas: es la suma de todos los valores de entrada a la neurona, multiplicados por sus correspondientes pesos. $\sum_{j=1}^n i_j w_j$, con $j = 1, 2, \dots, n$
- 2) Productoria de las entradas pesadas: es el producto de todos los valores de entrada a la neurona, multiplicados por sus correspondientes pesos. $\prod_{j=1}^n i_j w_j$, con $j = 1, 2, \dots, n$
- 3) Máximo de las entradas pesadas: solamente toma en consideración el valor de entrada más fuerte, previamente multiplicado por su peso correspondiente. $\max_{j=1, 2, \dots, n} i_j w_j$

14 4.3 Función de activación (activation function)”. (Pacheco, 2012)

Función de activación (activation function).

“Una neurona biológica puede estar activa (excitada) o inactiva (no excitada); es decir, que tiene un “estado de activación”. Las neuronas artificiales también tienen diferentes estados de activación; algunas de ellas solamente dos, al igual que las biológicas, pero otras pueden tomar cualquier valor dentro de un conjunto determinado. La función activación calcula el estado de

actividad de una neurona; transformando la entrada global (menos el umbral, Θ_i) en un valor (estado) de activación, cuyo rango normalmente va de (0 a 1) o de (-1 a 1). Esto es así, porque una neurona puede estar totalmente inactiva (0 o -1) o activa (1). La función activación, es una función de la entrada global (g_i) menos el umbral (Θ_i). Las funciones de activación más comúnmente utilizadas se detallan a continuación”: (Pacheco, 2012)

1. Función Lineal

$$f(x) = \begin{cases} -1 & x \leq -1/a \\ a * x & -1/a < x < 1/a \\ 1 & x \geq 1/a \end{cases}$$

Con $x = g_i - \Theta_i$ y $a > 0$

1 Función sigmoidea

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-gx}}$$

Con $x = g_i - \Theta_i$

2 Función tangente hiperbólica

$$f(x) = \frac{e^{gx} - e^{-gx}}{e^{gx} + e^{-gx}}$$

Con $x = g_{ini} - \epsilon_i$

“Un modo de entender a las funciones de activación se da análogamente a la aceleración de un automóvil. Cuando un auto inicia su movimiento necesita una potencia elevada para comenzar a acelerar. Pero al ir tomando velocidad, este demanda un menor incremento de dicha potencia para mantener la aceleración. Al llegar a altas velocidades, nuevamente un amplio incremento en la potencia es necesario para obtener una pequeña ganancia de velocidad. En resumen, en ambos extremos del rango de aceleración de un automóvil se demanda una mayor potencia para la aceleración que en la mitad de dicho rango”. (Pacheco, 2012)

2.7. Definición de Términos (OSINERGMIN, 2004)

“**SAIFI**: System Average Interruption Frequency Index, o Frecuencia Media de Interrupción por usuario en un periodo determinado” (OSINERGMIN, 2004).

“**SAIDI**: System Average Interruption Duration Index, o Tiempo Total Promedio de Interrupción por usuario en un periodo determinado”. (OSINERGMIN, 2004)

$$SAIDI = \frac{\sum_{j=1}^n t_i x u_i}{N}$$

$$SAIFI = \frac{\sum_{j=1}^n u_i}{N}$$

Donde:

t_i : duración de cada interrupción

u_i : número de usuarios afecto a cada interrupción

n : número de interrupciones del periodo

N : número de usuarios del sistema eléctrico o concesionaria al final del periodo según corresponda

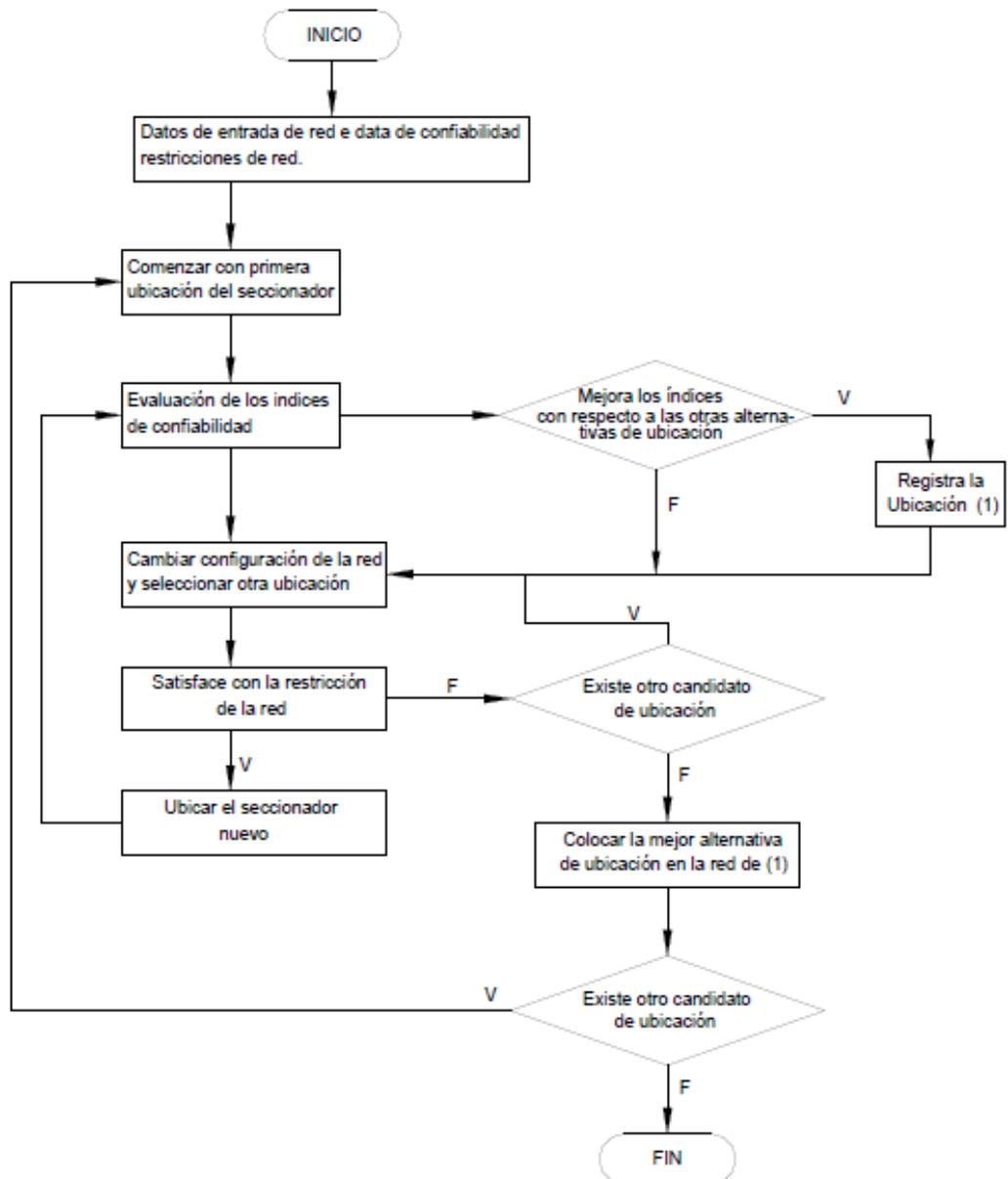


FIGURA N° 9 DIAGRAMA DE FLUJO EN RED NEURONAL
FUENTE: ELABORACION PROPIA

CAPITULO III

VARIABLES E HIPOTESIS

3.1. Definición de Variables

3.1.1 Variable Independiente

Mejora de la calidad de servicio eléctrico de las redes de Electrocentro S.A. utilizando las redes neuronales.

3.1.2 Variable dependiente

Indicadores de Confiabilidad de las redes de Electrocentro S.A.

3.2 Operacionalización de las variables

Variables	Dimensiones	Indicadores
Variable independiente: Mejora de la calidad de servicio eléctrico de las redes de Electrocentro S.A. utilizando las redes neuronales.	Mediciones Indirectas Evaluar los índices de confiabilidad de las redes de Electrocentro S.A.	Frecuencia de mantenimiento
		Costo de mantenimiento
		Probabilidad de ocurrencia de falla
	Mediciones directas Evaluar la cantidad de interrupciones y la duración de los mismos de la data de las redes de Electrocentro S.A.	Número y lugar de interrupciones
		Duración de las interrupciones
		Energía no suministrada al sistema
Variable dependiente: Confiabilidad de las redes de Electrocentro S.A. utilizando los indicadores de confiabilidad.	Mejorar los índices de confiabilidad de las redes de Electrocentro S.A.	SAIFI
		SAIDI
	Mantenimiento por interrupción de servicio de las redes de Electrocentro S.A.	Coste de mantenimiento
		Perdidas económicas en el sistema.

3.3 Hipótesis General e Hipótesis Específica

3.3.1. Hipótesis General:

La reducción de los índices de confiabilidad evaluados mediante las redes neuronales mejora la calidad de servicio de las redes de Electrocentro S.A.

3.3.2. Hipótesis específica:

- Un modelo matemático basado en las redes neuronales permite una mejor evaluación de los índices de confiabilidad en las redes de Electrocentro S.A.
- El diagnóstico de los índices de confiabilidad SAIDI y SAIFI analizados con el método de las redes neuronales permite la mejora de la calidad de servicio en las redes de Electrocentro S.A.

CAPITULO IV

METODOLOGÍA

4.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación ha sido tecnológica porque responde a problemas técnicos del sector eléctrico, estuvo orientada a demostrar la validez de ciertas técnicas bajo las cuales se aplican los principios científicos que demuestren su eficacia en la modificación del fenómeno en estudio.

La investigación tecnológica¹⁵ “respondió a problemas técnicos, estuvo orientada a demostrar la validez de ciertas técnicas bajo las cuales se aplican principios científicos que demuestran su eficacia en la modificación o transformación de un hecho o fenómeno”. (Escobar Vicuña, 2015, pág. 58)

4.2. Diseño de la investigación

Se identificaron los factores que afectan a los índices de confiabilidad de las redes de Electrocentro S.A. alimentadores A4701 y A4702 de la S.E. NINATAMBO.

¹⁵ Pablo Escobar Vicuña, Metodología de la Investigación Científica

Se evaluó la confiabilidad de las redes de Electrocentro S.A. mediante índices y con la ayuda de las redes neuronales, en los alimentadores A4701 y A4702 de la S.E. NINATAMBO

Se realizó la mejora de la confiabilidad de las redes de Electrocentro S.A. por medio de sus índices en los alimentadores A4701 y A4702 de la S.E. NINATAMBO.

En esta etapa se hizo uso de los conceptos expuestos en el método para construir, entrenar y probar una red neuronal para predecir valores futuros de la serie de tiempo, basada únicamente en sus valores pasados. Se hizo la implementación de la metodología de Kaastra-Boyd.

Selección de las Variables

- **Variables a Predecir:** Indicadores de Confiabilidad SAIDI y SAIFI para los alimentadores A4701 y A4702.
- **Tipo de Variable:** Cuantitativa
- **Unidad:** fallas/año y horas/año respectivamente.

Recolección de Datos para la RNA

Los datos utilizados para el presente trabajo fueron obtenidos por parte de la Empresa Concesionaria Electrocentro S.A. Unidad de

Negocios Tarma y consisten en información mensual de interrupciones en los alimentadores de la Sub Estación Ninatambo los datos corresponden al periodo comprendido entre enero del 2016 a mayo del 2017 detallados mensualmente.

Para introducir la serie de tiempo a la red neuronal es necesario que los datos sean de fácil manipulación para el software, para ello la base de datos se convierte en una matriz 4X90, con el fin de manipulación de los mismos en forma vectorial, dicho distribución se realizó en una hoja de cálculo Excel.

Conjunto de Entrenamiento:

Es el conjunto de datos que utiliza la red neuronal para aprender los patrones presentes en los datos. Por lo general los datos utilizados para el entrenamiento de la red neuronal corresponden al 80 % de los datos de la serie, en este caso son 72 datos (bloques), dichos datos se seleccionan en forma consecutiva y ordenada.

Conjunto de Validación:

Conjunto de datos utilizados para verificar el aprendizaje de la red donde los datos empleados son los más recientes consecuentemente al último valor de la muestra.

Durante el proceso de entrenamiento de la red puede ocurrir un problema llamado *overfitting* (se da cuando la red tan solo aprende puntos individuales en vez de generales), para evitarlo; es necesario incluir un conjunto de validación durante el proceso de aprendizaje de la red.

En este caso este conjunto se obviará, debido a que se está utilizando un componente de retardo y por lo tanto el conjunto de entrenamiento se va generando en el tiempo, impidiendo de esta manera que exista un conjunto de validación priori.

Conjunto de Prueba:

Es el conjunto de datos encargados de evaluar la capacidad de predicción y precisión de la red, corresponden al 20% de datos de la serie, en nuestro caso son 18 (bloques) datos, estos son los datos restantes una vez seleccionados los patrones de entrenamiento.

Selección topología de la red neuronal

Número de Neuronas de Entrada:

Corresponde a las condiciones iniciales de interrupciones y tasas de reparación para el periodo considerado de un año.

Por tanto la cantidad de neuronas de entrada son 2.

Número de Capas Ocultas:

Son las encargadas de brindarle a la red la capacidad de generalizar por lo general se usan una o dos capas, el incremento en número de capas incrementa el tiempo de procesamiento y la dificultad sobre el ajuste lo que conduce a un pobre desempeño en la predicción fuera de la muestra.

En nuestro caso se opta por una sola capa oculta la cual es suficiente para asegurar la capacidad de generalización de nuestra red dada la cantidad de datos con los que contamos.

Número de Neuronas Ocultas:

El número de neuronas de nuestra capa oculta será de un 75% del total de entradas, es decir, dado que el número de entradas de nuestra red es igual al número de tasas de falla y reparación correspondientes a un periodo anual (12 meses), el número de neuronas de nuestra capa oculta sería de 9 neuronas.

Número de Neuronas de Salida:

Las redes neuronales con múltiples salidas, especialmente si éstas salidas están ampliamente espaciadas, producirán resultados inferiores en comparación con una red con una única salida. Lo recomendable es tener una red especializada para cada una de las salidas deseadas en cada pronóstico.

El número de neuronas de la capa de salida de nuestra red es una, porque tan solo se hace la indicación del valor de la variable seleccionada para un periodo y no para un conjunto de periodos lo cual disminuiría la precisión de la red.

Función de Transferencia:

El propósito de esta función es prevenir a las salidas de alcanzar valores muy elevados que puedan paralizar la red y detener el entrenamiento de la misma. Como función de transferencia se utiliza la función:

METODOLOGÍA KAASTRA-BOYD PARA PRONÓSTICO UTILIZANDO

$$SAIFI = \frac{\sum_{i \in L} \lambda_i * N_i}{N_t}$$

REDES NEURONALES ARTIFICIALES

- a) Selección de la variable.
- b) Recolección de datos.
- c) Procesamiento de datos.
- d) Definir conjunto de entrenamiento, validación y prueba.
- e) Selección topología de la red neuronal
 - e.1. Número de neuronas de entrada.
 - e.2. Número de capas ocultas.
 - e.3. Número de neuronas ocultas.
 - e.4. Número de neuronas de salida.

- e.5. Función de transferencia.
- f) Criterios de evaluación.
- g) Entrenamiento de la red.

TABLA N° 4. 1 Diseño de la RNA

	1ª Capa oculta	2ª capa oculta	Capa de salida
N° de Entradas	2 entradas		
N° de neuronas	4	3	2
Parámetro (g)	1	1	1
Parámetro (a)	2.0	2.0	2.0
Parámetro (c)	-1.0	-1.0	-1.0
Patrones de entrenamiento	10000 para dos condiciones de operación		
Nro de iteraciones	1200 iteraciones		

Fuente: Elaboración Propia

4.3. Etapas de la Investigación

Primera Etapa: Revisión Bibliográfica – Marco Teórico, se procedió a la recopilación total de la información necesaria y suficiente, para establecer una base teórica sólida relacionada con la tesis.

Segunda Etapa: Recopilación de Datos, en esta parte se tomaron los reportes estadísticos de las interrupciones y duración de las mismas de las redes de Electrocentro S.A.

Tercera Etapa: Procesamiento de la Información, se analizarán todas las salidas obtenidas del procesamiento de la información de las redes

de Electrocentro S.A. para los alimentadores A4701 y A4702 de la S.E. NINATAMBO.

Cuarta Etapa: Redacción de la Tesis: se integró toda la información teórica y experimental del Proyecto de Tesis en todas sus partes

4.4. Población y Muestra

4.4.1. Población

Para la presente investigación se tomó como población muestra a los reportes de interrupción de servicio y duración de los mismos en las redes de Electrocentro S.A.

4.4.2. Muestra

La muestra a considerar, fueron los alimentadores de la Sub Estación NinaTambo A4701 y A4702.

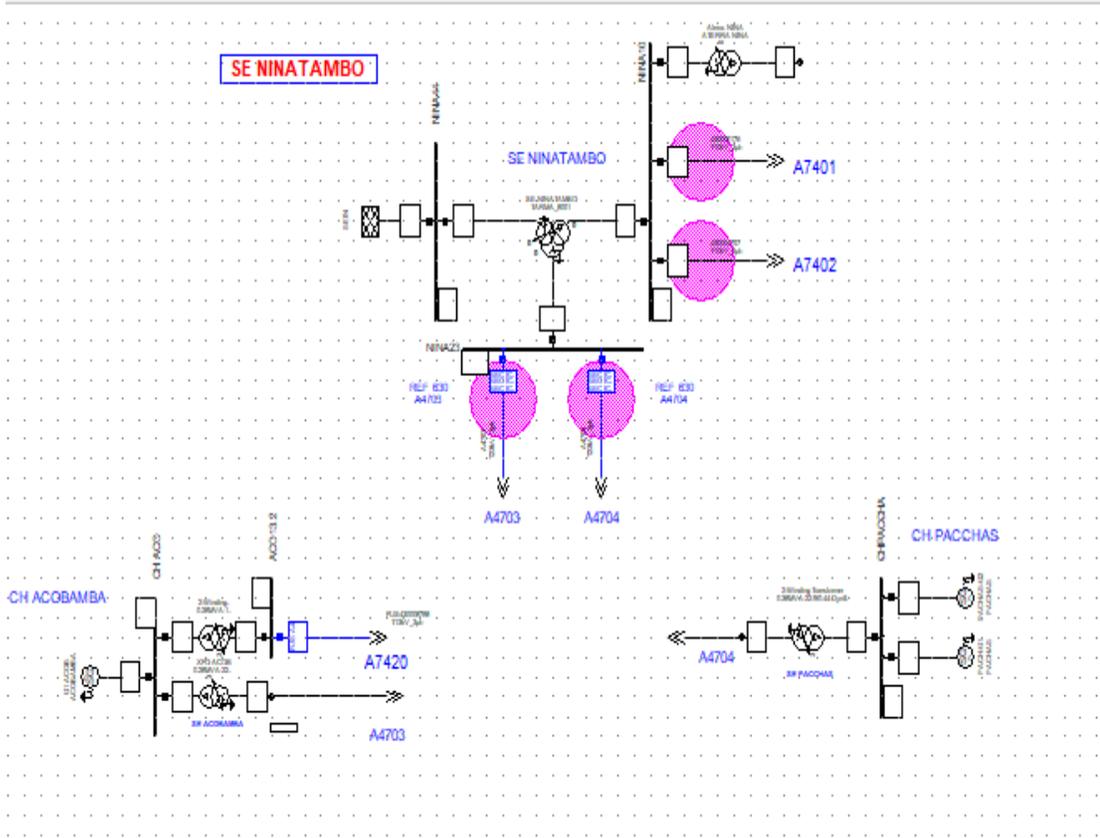


FIGURA N° 10 S.E. NINATAMBO

FUENTE: ELECTROCENTRO S.A.



*FIGURA N° 11 ALIMENTADOR A4701 S.E. NINATAMBO
FUENTE: ELECTROCENTRO S.A.*

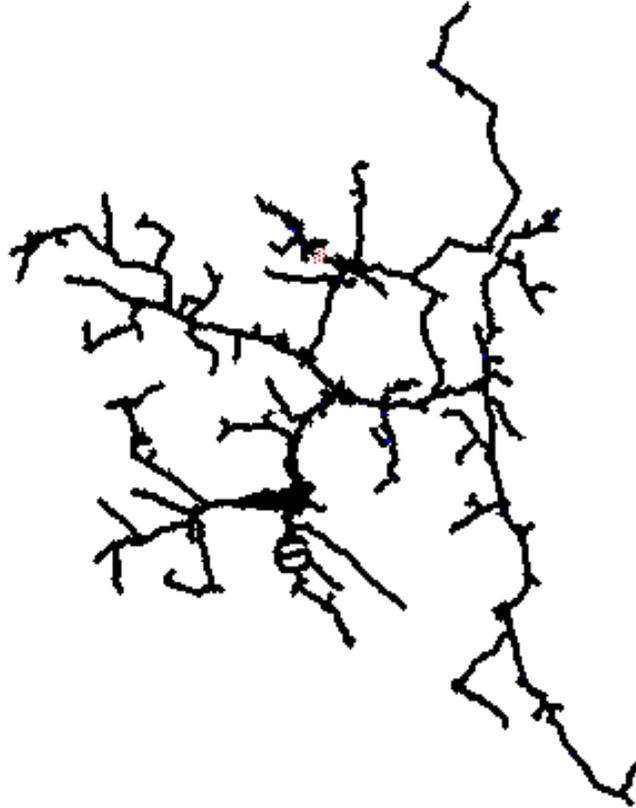


FIGURA N° 12 ALIMENTADOR A4702 S.E. NINATAMBO

FUENTE: ELECTROCENTRO S.A.

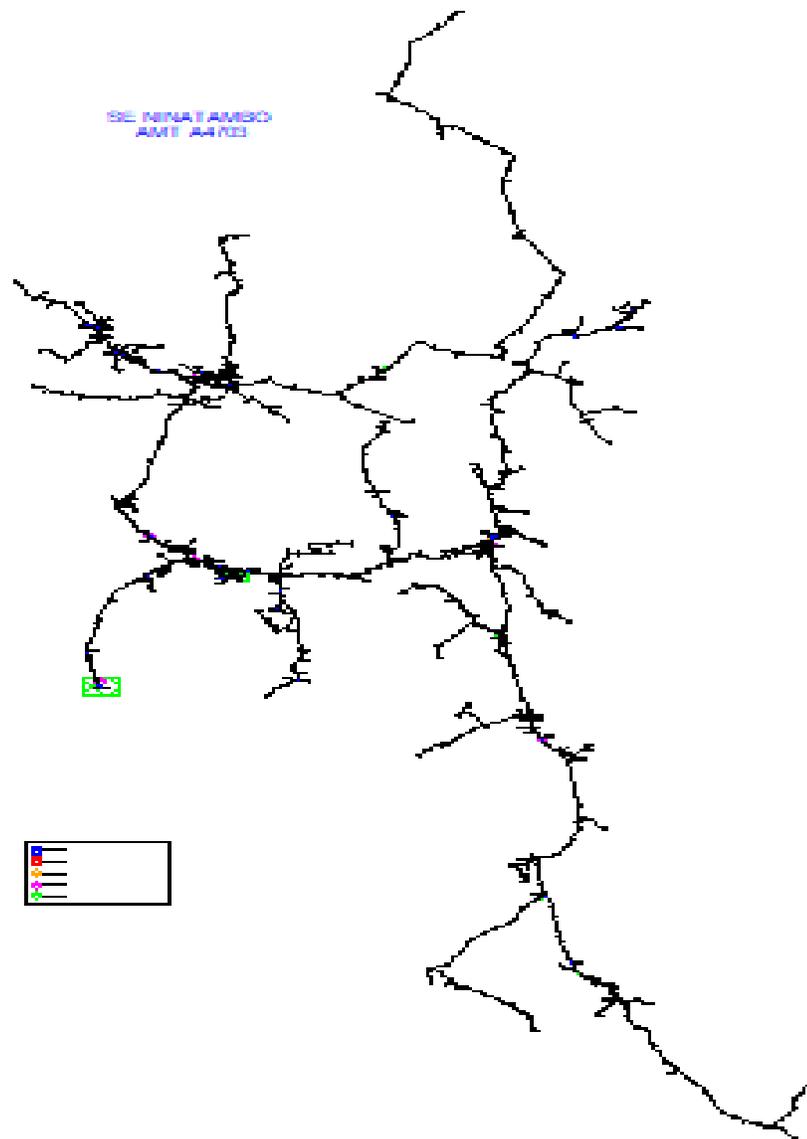


FIGURA N° 13 ALIMENTADOR A4703 S.E NINATAMBO
FUENTE: ELECTROCENTRO S.A.

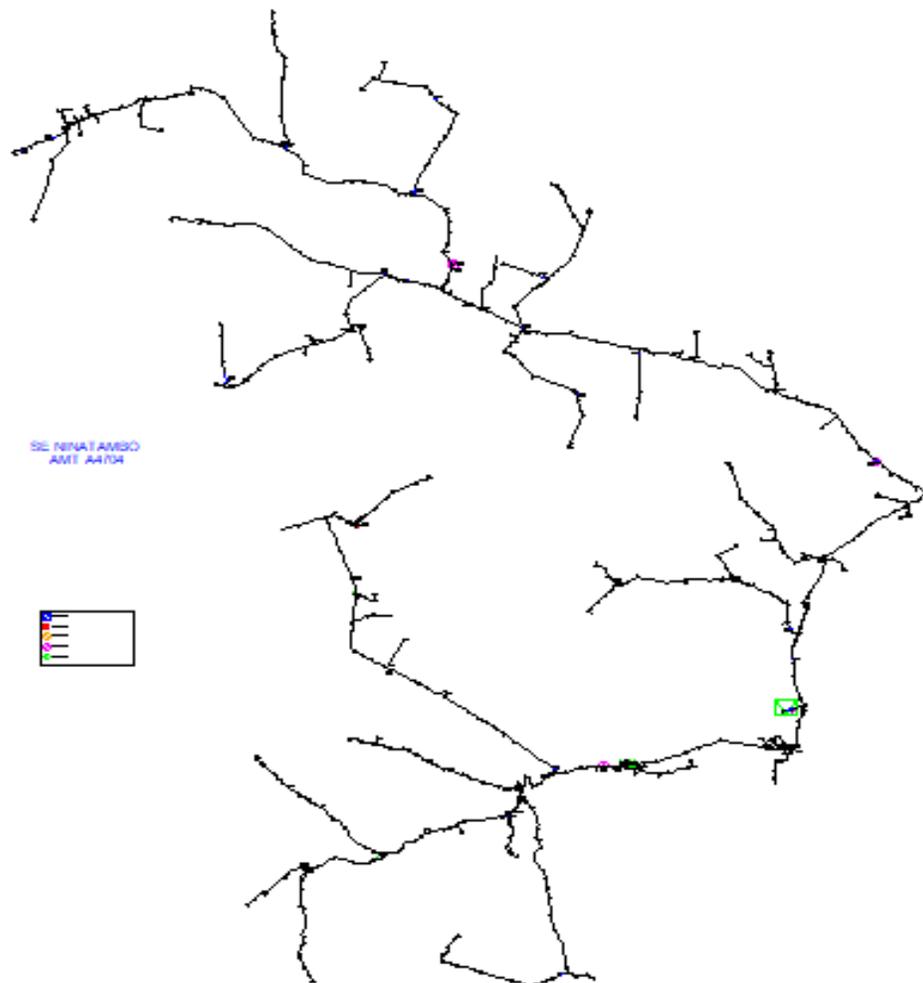


FIGURA N° 14 ALIMENTADOR A4704 S.E. NINATAMBO

FUENTE: ELECTROCENTRO S.A.

FIGURA N° 4. 1

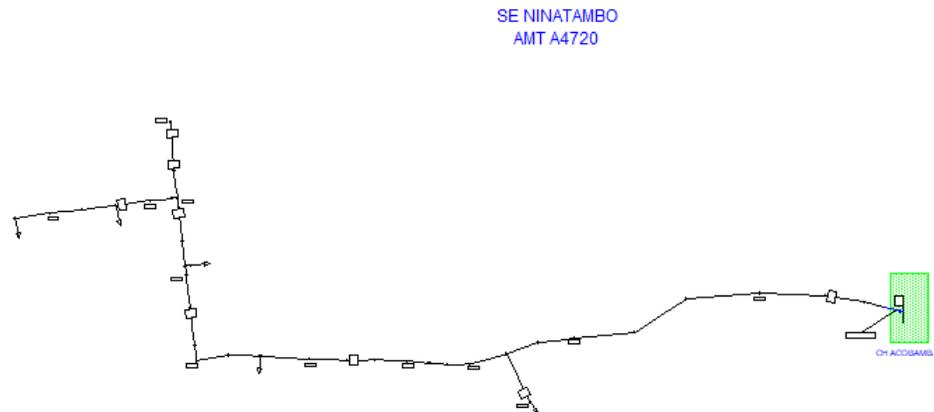


FIGURA N° 15 ALIMENTADOR A4720 S.E. NINATAMBO

FUENTE: ELECTROCENTRO S.A.

4.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La recopilación de los datos o información fuente se realizó utilizando las siguientes técnicas y sus respectivos instrumentos:

La técnica de observación directa, Esta técnica se utilizó de manera constante, para percibir la situación de los alimentadores. Así mismo, ésta técnica se utilizó para percibir el nivel de uso de las Tecnologías de la Información relacionadas a los equipos de protección y las líneas, el instrumento utilizado ha sido apuntes.

Entrevista, Esta técnica se utilizó para obtener información complementaria por parte del responsable del Centro de Control de Electrocentro S.A. Así mismo, esta técnica se utilizó para identificar como se encuentran los alimentadores y en qué condiciones están, también los requerimientos de los usuarios y responsables. El instrumento utilizado en ésta técnica ha sido la ficha de entrevista.

Fichaje es la técnica se utilizó para recopilar información y construir un estado situacional de los alimentadores de la Subestación Ninatambo. El instrumento utilizado en ésta técnica ha sido las fichas.

Instrumentos

Software, Notas, Fichas, Cuestionarios y fichas situacionales

4.6. Procedimientos de recolección de datos

Los datos se recopilaron de la siguiente manera:

- Conteo de los elementos de protección en cada alimentador de la Subestación Ninatambo.
- Selección de los alimentadores con mayores índices de confiabilidad.
- Clasificación de los alimentadores por grupo experimental.
- Revisión de los componentes de protección.
- Análisis de los alimentadores.

4.7. Análisis estadístico de datos

Como se indicó en la metodología, después de realizar la adecuación de los datos en la herramienta computacional DIGSILENT Power Factory, se procedió a ejecutar las simulaciones en el *Módulo: Análisis de Confiabilidad (Reliability Analysis)*, con el *Método: Análisis de conectividad (Connectivity Analysis)* y *Red: transmisión (transmission)*.

Para mejor observación de los resultados se presenta el modelo geográfico o georreferenciado con los siguientes casos analizados:

Escenario Favorable: Empleando el algoritmo de las redes neuronales, para tener los índices de confiabilidad SAIDI Y SAIFI dentro de los parámetros especificados en la Resolución Osinergmin N° 178-2012-OS/CD.

Escenario conservador: se presenta la solución más viable de ejecutar de acuerdo a la inversión.

Una vez obtenida la información, se procedió a procesarla mediante el uso de programas, como el macros de Excel para el procesamiento de la información de las interrupciones y sus causas, Digsilent Power Factory para las simulaciones en diferentes estados de los alimentadores A4701 y A4702, para poder interpretar los datos.

CAPITULO V

RESULTADOS

5.1. Análisis de Flujo de carga

Para realizar los análisis de cortocircuito y confiabilidad en la barra en 22.9 kV, se modeló la red en base al diagrama georreferenciado de los alimentadores A4701 y A4702 de la S.E. Ninatambo con los cuales se procedió a realizar las simulaciones de los flujos de potencia del sistema haciendo uso de software DigSilent Power Factory.

Criterios.

Niveles de Tensión: En primer término, se empleó la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos Rurales (NTCSER), que establece que, para este tipo de sistemas, una variación máxima del $\pm 6\%$ de las tensiones nominales.

Carga de Líneas y Transformadores: La evaluación de los límites de carga de líneas y transformadores en los distintos escenarios tiene en cuenta el siguiente criterio:

Líneas de transmisión: 100% de su potencia nominal.

Transformadores: 100% de su potencia nominal.

Tensión de Referencia: La tensión en las barras de salida de los alimentadores para el presente estudio es la tensión de operación de 22,9 kV.

5.2. Análisis de Cortocircuito

Para la elaboración del Estudio de corto circuito de los Alimentadores A4701 y A4702 de la S.E. Ninatambo, se utilizó el mismo modelo descrito para el flujo de potencia, añadiéndose los datos de potencias de cortocircuito en las barras de salida y la inclusión de los nuevos equipos de protección, calculando los niveles de corriente de cortocircuito dentro del área de influencia del presente estudio.

El objetivo de este cálculo es de tener toda la información actualizada, de los resultados de corriente de cortocircuito en los alimentadores, que nos sirvan de referencia para la verificación de los equipos de maniobra, mallas de puesta a tierra de las subestaciones y para determinar los ajustes de los equipos de protección que se están proponiendo para la S:E. NINATAMBO en 22.9 kV. Ver Anexo 5.

Función a Evaluar

El índice SAIFI “considera el promedio de las interrupciones por cliente y se calcula como el cociente entre la suma total de interrupciones percibidas por cada cliente sobre el número total de clientes atendidos”. Este indicador es de gran utilidad para las empresas distribuidoras de energía eléctrica porque representa la calidad media del sistema. En forma general, el índice SAIFI puede calcularse como se muestra a continuación:

$$SAIFI = \frac{\sum_{i \in L} \lambda_i * N_i}{N_t}$$

La presente investigación se realiza una propuesta para adecuar la reubicación e inclusión de los recloser mediante un algoritmo computacional utilizando las redes neuronales, considerando los ya instalados recloser en los alimentadores A4701 y A4702, objetos del presente estudio.

A la salida de los alimentadores A4701 y A4702 se tiene instalados, reclosers del tipo convencional, es decir que su actuación básicamente se da por efectos transitorios aguas debajo de la red y en el recorrido se tienen seccionadores Cut out.

Las simulaciones efectuadas con el apoyo de la herramienta computacional Digsilen Power Factory, fueron hechas considerando dos escenarios uno favorable es decir empleando el algoritmo con redes neuronales, que nos dan por resultado valores dentro de los límites permisibles que contempla la Resolución Osinergmin N° 178-2012-OS/CD, la cual podemos ver en la Tabla N° 5.1, vigente a la fecha y para el caso del trabajo de investigación estamos ubicados en el sector típico 4, ver Anexos 3 y 4, dado que las redes correspondientes a los alimentadores A4701 y A4702 tienen mayor ámbito en la zona rural y muy poco en la zona urbana.

TABLA N° 5. 1 “DESEMPEÑO ESPERADO (ANEXO 13 RES 590-2007-OS/CD)”

SECTORES TÍPICOS	AÑO 2008		AÑO 2009		AÑO 2010		AÑO 2011	
	SAIFI	SAIDI	SAIFI	SAIDI	SAIFI	SAIDI	SAIFI	SAIDI
STD 1	3	7.5	3	7.5	3	7	3	6.5
STD 2	11	20	9	16	7	13	5	9
STD 3	13	24	11	20	9	16	7	12
STD 4	16	32	15	29	13	27	12	24
STD 5	20	50	19	49	17	43	16	40
ESPECIAL	12	27	12	27	12	27	12	27

Fuente: Resolución Osinergmin N° 178-2012-OS/CD

En primer lugar se verifica los valores de tensiones en las colas de modo que estén dentro del margen permitido para evitar de esta manera que la calidad de suministro sea el adecuado y evitar interrupciones por niveles bajos de tensión. Ver Gráfico N° 5.1, no se puede hablar de una solución óptima en este caso porque el resultado de la evaluación de los índices de confiabilidad tendrían que realizarse “on line”, por el incremento del número de usuarios en estas líneas y no resulta nada práctico el estar reubicando los equipos de protección en periodos de tiempo muy reducidos, lo que a su vez significaría tener que realizar estudios de

TABLA N° 5. 2 DATOS INICIALES ALIMENTADOR A4701

Estructuras	Código	LAMBDA	Reposicion(r)	Linea
4TP04152 - E414042	12	1,91	7,3	troncal
4TP00588 - 4TP31546	13	0,75	5,5	ramal 1
4TP25105 - 4TP34563	14	0,66	4,93	ramal 2
4TP25131- 4TP25202	15	0,236	2,63	ramal 3
430035362 - 4TP25166	16	0,133	2,45	ramal 4
4TP34380 - 4TP34405	17	0,79	2,51	ramal 5
430035454 - 4TP27896	18	0,845	3,16	ramal 6
4TP04189 - E414039	19	0,549	3,3	ramal 7
4TP04220 - 4TP31650	20	0,653	3,67	ramal 8
4TP41902 - 4TP03682	21	0,857	3,87	ramal 9

TABLA N° 5. 3 DATOS INICIALES ALIMENTADOR A4702

Estructuras	Código	LAMBDA	Reposicion(r)	Linea
4TP34785 - 430026417	1	3,89	7,4	troncal
4TP26023 - 4TP25227	2	1,31	6,4	ramal 1
430026416 - 4TP34590	3	0,976	5,8	ramal 2
4TP25185 - 4TP26012	4	1,042	6,12	ramal 3
430026411 - 4TP24864	5	1,643	2,95	ramal 4
430035471 - 4TP34717	6	1,839	2,91	ramal 5
4TP34709 - 4TP34696	7	1,646	3,15	ramal 6
430035464 - 4TP42691	8	1,452	3,3	ramal 7
4TP34609 - 4TP34620	9	1,551	3,5	ramal 8
430035459 - 4TP23917	10	1,655	3,81	ramal 9
430035460 - 4TP40706	11	1,353	3,77	ramal 10

TABLA N° 5. 4 SALIDA DIGSILENT ESCENARIO FAVORABLE

ALIMENTADOR	INDICE DE CONFIABILIDAD	
	SAIFI	SAIDI
A4701	0.838545	4.273
A4702	0.364919	3.008

TABLA N° 5. 5 SALIDA DIGSILENT CORTO CIRCUITO

Subestación/Barra	Sk	Ik	ip	ib
NINA23 22.9 kV	77.53 MVA	1.95 kA	4.75 kA	1.93 kA
A4701	1.61 MVA	0.04 kA	0.10 kA	
A4702	1.58 MVA	0.04 kA	0.10 kA	

En segundo lugar tenemos el escenario conservador, que para las necesidades de la empresa concesionaria Electrocentro S.A. sería el que más se adecua a su capacidad de inversión, esto teniendo en consideración que

en muchos lugares los índices de morosidad son bastante elevados y no justifican realizar grandes inversiones que no resultan rentables para el concesionario. Ver Anexos 6 y 7.

TABLA N° 5. 6 SALIDA DIGSILENT ESCENARIO CONSERVADOR

ALIMENTADOR	INDICE DE CONFIABILIDAD	
	SAIFI	SAIDI
A4701	13.277056	71.838
A4702	12.050736	67.195

5.3. Proceso de la prueba de hipótesis

5.3.1. Verificación de la hipótesis

Para el presente trabajo de investigación se tomará la hipótesis sobre preposiciones:

a) Planteamiento de Hipótesis

H0: $\mu =$ Es posible mejorar los índices de confiabilidad que influyen en la calidad de servicio de las redes de Electrocentro S.A.

H1: $\mu \neq$ Es posible NO mejorar los índices de confiabilidad que influyen en la calidad de servicio de las redes de Electrocentro S.A.

b) Conclusión

Como el SAIFI es 0.838545 es menor que 1,96 por lo tanto se acepta la hipótesis nula H_0 .

Por lo tanto se aceptara la hipótesis nula H_0 .

CAPITULO VI

DISCUSION DE RESULTADOS

6.1. Discusión de resultados del flujo de carga.

Del análisis de flujo de carga se puede apreciar que en el escenario favorable y conservador no se presentan sobretensiones ni subtensiones fuera de los límites establecidos en la NTCSE, las mayores caídas de tensión, vienen a ser comportamientos típicos cuando se presenta un incremento en la demanda.

6.2. Discusión de resultados de cortocircuito.

De los resultados mostrados en la Tabla N° 5.2 se concluye que el corto monofásico presenta una magnitud máxima de 0.10 kA y se mantienen en forma sostenida; el corto trifásico presenta un valor máximo de 1.93 kA y se mantiene en forma sostenida.

Los cortos monofásicos con una impedancia de contacto de 400Ohm tienen una tendencia sostenida a lo largo del alimentador y su valor varía entre 0.10 y 0.04 kA.

6.3. *Discusión de resultados de la evaluación*

De los resultados mostrados en la Tabla N° 5.2 para el escenario favorable se tiene comparativamente con la Tabla N° 5.1 que los valores de los indicadores de calidad se encuentran en los parámetros permitidos, en cambio los resultados que se muestran en la Tabla 5.4 para un escenario conservador, nos dan valores que están por encima de los valores permitidos, pero como ya se mencionó en el capítulo anterior este escenario resulta ser el más práctico para las inversiones de Electrocentro S.A.

En la Tabla N° 6.1 se puede apreciar cual sería el monto a desembolsar, para una solución eficaz con respecto a las interrupciones.

TABLA N° 6. 1 COSTO DE INVERSION PARA EL ESCENARIO FAVORABLE ALIMENTADOR A4701

BARRA/NODO	EQUIPO DE PROTECCION	COSTO EN US DOLAR
4TP34709	RECLOSER	12,000.00
4TP34717	RECLOSER	12,000.00
4300359	RECLOSER	12,000.00

TOTAL	36,000.00
-------	-----------

TABLA N° 6. 2 COSTO DE INVERSION PARA EL ESCENARIO FAVORABLE ALIMENTADOR A4702

BARRA/NODO	EQUIPO DE PROTECCION	COSTO EN US DOLAR
4TP34620	RECLOSER	12,000.00
4TP42691	RECLOSER	12,000.00
4TP40706	RECLOSER	12,000.00
TOTAL		36,000.00

En estos costos no se incluye la instalación de los equipos.



FIGURA N° 17 RECLOSER DE MEDIA TENSION PARA EL ESCENARIO FAVORABLE

FUENTE: OSINERGMIN

Para el escenario conservador se considera lo siguiente:

TABLA N° 6. 3 COSTO DE INVERSION PARA EL ESCENARIO CONSERVADOR ALIMENTADOR A4701

BARRA/NODO	EQUIPO DE PROTECCION	COSTO EN US DOLAR
4TP34709	RECLOSER	12,000.00
4TP34717	SECCIONADOR 3T	3,000.00
4300359	SECCIONADOR E (x 3)	900.00
TOTAL		15,900.00

TABLA N° 6. 4 COSTO DE INVERSION PARA EL ESCENARIO
 CONSERVADOR ALIMENTADOR A4702

BARRA/NODO	EQUIPO DE PROTECCION	COSTO EN US DOLAR
4TP34620	RECLOSER	12,000.00
4TP42691	SECCIONADOR 3T	3,000.00
4TP40706	SECCIONADOR E	900.00
TOTAL		15,000.00



*FIGURA N° 18 SECCIONADORES FUSIBLE CON SENSOR ELECTRONICO
 FUENTE: OSINERGMIN*

FIGURA N° 6. 1



*FIGURA N° 19 SECCIONADOR FUSIBLE DE TRES TIEMPOS
FUENTE: OSINERGMIN*

Considerando que las multas por interrupciones de servicio en la S.E. Ninatambo en su totalidad alcanzan los Dieciocho Mil Soles mensuales en promedio, la opción más viable sería la del escenario conservador.

CONCLUSIONES

1. La inclusión y reubicación de los equipos de protección, sean reclosers o seccionadores CUT OUT inteligentes, mejoran los índices de confiabilidad de los alimentadores A4701 y A4702, habiéndose reducido en 96.88% y 98.9% el índice de confiabilidad SAIFI respectivamente, esto en el escenario favorable y para el escenario conservador 45.5% y 59.9% para los alimentadores A4701 y A4702 respectivamente.
2. Con la inclusión de equipos de protección con sensores electrónicos de falla, en el escenario conservador, se consigue una mejora sustancial de los índices de confiabilidad SAIDI y SAIFI, lo que a su vez se refleja en la mejora de la calidad de servicio.
3. Un modelamiento de las redes, en forma muy particular, nos permitiría una reducción de los índices de confiabilidad a valores próximos a los recomendados en la Resolución Osinergmin N° 178-2012-OS/CD y que permitan su viabilidad de implementación.

RECOMENDACIONES

1. Se debe realizar periódicamente una verificación de los indicadores de confiabilidad SAIDI y SAIFI, considerando las variaciones de carga por incremento de usuarios en las redes.
2. El uso de equipos de protección con sensores electrónicos, a pesar de tener una menor sensibilidad, para la zona rural cumplen con el propósito de reducir los índices de confiabilidad y mejorar la calidad de servicio eléctrico.
3. Evaluar otras alternativas de solución paralelas a la inclusión de equipos de protección para reducir los índices de confiabilidad y consecuentemente la calidad de suministro.

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

- Bernal Agustin, J. L. (1998). *Aplicacion de algoritmos geneticos al diseño optimo de sistemas de distribucion de energia electrica*. Zaragoza: Tesis doctoral sin publicacion.
- Billinton, R. (1996). *Reliability Evaluation of Power Systems*. New York: Plenum Press.
- Collantes Veliz, R. S. (2010). *ANÁLISIS DE MEJORA DE LA CONFIABILIDAD DE LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA DE ALTA DENSIDAD DE CARGA*. Lima: Tesis de maestria sin publicacion.
- Comportamiento Humano*. (2014, junio 8). Retrieved noviembre 12, 2018, from Comportamiento Humano: <http://comportahumano.blogspot.com/>
- Escobar Vicuña, P. (2015). *Metodologia de la Investigacion Cientifica*. Huancayo: Grafica Tolentino E.I.R.L.
- Estramiana, J. L. (2003). *Fundamentos Sociales del comportamiento humano*. Barcelona: UOC.
- Garces, A. (2008). MEJORAMIENTO DE LA CONFIABILIDAD EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN MEDIANTE RECONFIGURACIÓN DE ALIMENTADORES PRIMARIOS. *Scientia et technica*, 38-42.
- IEEE. (2003). •Guide for Electric Power Distribution Reliability Indices. *IEEE Standard 1366*, todas.
- Lourismar, K. (2012, noviembre 07). *Redes Neuronales*. Retrieved from Redes Neuronales: <https://rneuronales.wordpress.com/2012/11/07/ventajas-de-las-redes-neuronales/>
- MEM. (1992, 11 19). <http://www2.osinerg.gob.pe/>. Retrieved from <http://www2.osinerg.gob.pe/MarcoLegal/docrev/D-LEY%2025844-CONCORDADO.pdf>: <http://www2.osinerg.gob.pe/MarcoLegal/docrev/D-LEY%2025844-CONCORDADO.pdf>
- MEM. (1997, octubre 09). <http://www2.osinerg.gob.pe/>. Retrieved from <http://www2.osinerg.gob.pe/MarcoLegal/docrev/DS-020-97-EM.pdf>: <http://www2.osinerg.gob.pe/MarcoLegal/docrev/DS-020-97-EM.pdf>

- MEM. (2008, mayo 24). *NORMA TÉCNICA DE CALIDAD DE LOS SERVICIOS ELÉCTRICOS RURALES*. Retrieved from NORMA TÉCNICA DE CALIDAD DE LOS SERVICIOS ELÉCTRICOS RURALES : <http://www2.osinerg.gob.pe/MarcoLegal/docrev/RD-016-2008-EM-DGE.pdf>
- Muñoz Gomez, R. (2015). *Analisis del suministro electrico mejoras de los indices y niveles de calidad en la distribucion de energia electrica*. Alicante: Tesis Doctoral sin publicacion.
- OSINERGMIN. (2004, abril 13). *Resolucion N° 074-2004OS/CD*. Retrieved from Resolucion N° 074-2004OS/CD: <http://www.osinerg.gob.pe/newweb/uploads/Publico/OSINERG-074-2004-OS-CD.pdf>
- Pablo Escobar vicuña, S. A. (Marzo del 2015). *Metodologia de la Investigacion Cientifica* (Primera Edicion ed.). (P. E. Vicuña, Ed.) Huancayo - Peru, Peru: Grafica Tolentino E.I.R.L.
- Pacheco, C. (2012, noviembre 07). *Redes neuronales*. Retrieved from Redes neuronales: <http://carlospachecoredesneuronales.blogspot.com/>
- Piumetto, M. (2015). *Estudio de las influencias y aportes de la generacion distribuida para controlar y optimizar el funcionamiento de las redes electricas de distribucion características de la republica Argentina*. Cordoba: Tesis Doctoral no publicada.
- Psicologia actual*. (2011, noviembre 17). Retrieved from Psicologia actual: <http://psicologiaywebcoaching.blogspot.com/2011/07/el-comportamiento-humano-sus-bases.html>
- Reliabilityweb.com. (2004, junio 03). *Ingenieria de confiabilidad*. Retrieved from El calculo de confiabilidad: <https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/el-calculo-de-la-confiabilidad/>
- Targarona, J. C. (2010, Mayo 05). *Conferencia de Generacion Distribuida*. Retrieved from Conferencia de Generacion Distribuida: <https://docplayer.es/6266173-Conferencia-generacion-distribuida-ventajas-y-desventajas-del-funcionamiento-en-isla-dr-ing-juan-carlos-gomez-targarona.html>
- Taringa;. (2012, agosto 29). *La filosofia analitica*. Retrieved from Ciencia y Educacion: https://www.taringa.net/+ciencia_educacion/la-filosofia-analitica_137z2a
- Tavares, L. A. (2010). *Administracion moderna de mantenimiento*. Rio de Janeiro: Novo Polo Publicaciones.

ANEXOS

ANEXO 01
MATRIZ DE CONSISTENCIA

“EVALUACIÓN DE INDICES DE CONFIABILIDAD EN REDES DE ELECTROCENTRO S.A. PARA MEJORAR LA CALIDAD DE SERVICIO UTILIZANDO REDES NEURONALES”

PROBLEMA DE INVESTIGACION	OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION	HIPOTESIS DE LA INVESTIGACION	VARIABLES DE LA INVESTIGACION	DIMENSIONES	INDICADORES	METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION
<p>Planeamiento del Problema</p> <p>Problema General</p> <p>¿Cómo mejorar los índices de confiabilidad que influyen en la calidad de servicio en las redes de Electrocentro S.A.?</p>	<p>Objetivo General</p> <p>Mejorar los índices de confiabilidad que influyen en la calidad de servicio de las redes de Electrocentro S.A.</p>	<p>Hipótesis General</p> <p>La reducción de los índices de confiabilidad evaluados mediante las redes neuronales mejora la calidad de servicio de las redes de Electrocentro S.A.</p>	<p><i>Variable independiente:</i></p> <p>Mejora de la calidad de servicio eléctrico de las redes de Electrocentro S.A. utilizando las redes neuronales.</p>	<p>Mediciones Indirectas Evaluar los índices de confiabilidad de las redes de Electrocentro S.A.</p> <p>Mediciones directas Evaluar la cantidad de interrupciones y la duración de los mismos de la data de las redes de Electrocentro S.A.</p>	<p><i>Frecuencia de mantenimiento</i> <i>Costo de mantenimiento</i> <i>Probabilidad de ocurrencia de falla</i></p> <p><i>Número y lugar de las interrupciones.</i> <i>Duración de las interrupciones.</i> <i>Energía no suministrada al sistema.</i></p>	<p>TIPO DE INVESTIGACIÓN:</p> <p>La investigación planteada en este trabajo será: El tipo de investigación es tecnológica porque responde a problemas técnicos del sector eléctrico, está orientada a demostrar la validez de ciertas técnicas bajo las cuales se aplican los principios científicos que demuestren su eficacia en la modificación del fenómeno en estudio.</p> <p>DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN</p> <p>Se van a identificar los factores que afectan a los índices de confiabilidad de las redes de Electrocentro S.A. Se van a evaluar los índices de confiabilidad de las redes de Electrocentro S.A. mediante las redes neuronales. Se realizará la mejora de los índices de confiabilidad de las redes de Electrocentro S.A.</p> <p>ETAPAS DE LA INVESTIGACION</p> <p>Primera Etapa: Revisión Bibliográfica – Marco Teórico, en esta etapa se procederá a recopilar toda la información necesaria para establecer una base teórica sólida relacionada con la tesis.</p> <p>Segunda Etapa: Recopilación de Datos, en esta parte se tomarán los reportes estadísticos de las interrupciones y</p>

<p>Problemas Específicos</p> <p>a) ¿Cómo aprovechar la topología de las redes de Electrocentro para la evaluación de los índices de confiabilidad, mediante un modelo matemático?</p> <p>b) ¿Es factible implementar un método de diagnóstico de los índices de confiabilidad basados en el SAIDI y SAIFI y realizar la mejora de la calidad de servicio en las redes de Electrocentro S.A., utilizando el método de las redes neuronales?</p>	<p>Objetivos Específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> ❖ Desarrollar un modelo matemático para la evaluación de los índices de confiabilidad de las redes de Electrocentro S.A. ❖ Implementar un método de diagnóstico de los índices de confiabilidad basados en el SAIDI y SAIFI y realizar la mejora de la calidad de servicio en las redes de Electrocentro S.A., utilizando el método de las redes neuronales. 	<p>Hipótesis Específicas</p> <p>a. Un modelo matemático basado en las redes neuronales permite una mejor evaluación de los índices de confiabilidad en las redes de Electrocentro S.A.</p> <p>b. El diagnóstico de los índices de confiabilidad SAIDI y SAIFI analizados con el método de las redes neuronales permite la mejora de la calidad de servicio en las redes de Electrocentro S.A..</p>	<p>Variable dependiente:</p> <p>Confiabilidad de las redes de Electrocentro S.A. utilizando los indicadores de confiabilidad .</p>	<p>Mejora de los índices de confiabilidad de las redes de Electrocentro S.A.</p> <p>Mantenimiento por interrupción de servicio de las redes de Electrocentro S.A</p>	<p>SAIDI. SAIFI.</p> <p>a) <i>Coste de mantenimiento.</i></p> <p>b) <i>Pérdidas económicas en el sistema.</i></p>	<p>duración de las mismas de las redes de Electrocentro S.A.</p> <p>Tercera Etapa: Procesamiento de la Información, se analizarán todos los resultados obtenidos del procesamiento de la información de las redes de Electrocentro S.A.</p> <p>Cuarta Etapa: Redacción de la Tesis: se integrará toda la información teórica y experimental del Proyecto de Tesis en todas sus partes</p>
---	---	---	---	--	--	---

ANEXO 02

CONSENTIMIENTO

INFORMADO

Consentimiento informado

Por tratarse de una investigación que considera la parte experimental simulado con el software Digsilent y utilizando las redes neuronales es preciso considerar este consentimiento informado en el presente Trabajo de Tesis, dado que ninguna persona puede ser sometida contra su voluntad a experimentos o estar expuesto a procesos físicos contra su voluntad.

En este Trabajo de Tesis se considera las mediciones indirectas solamente en simulación, por lo que el riesgo de sufrir cualquier accidente es prácticamente nulo.

ANEXO 03
SALIDA DIGSILENT
ESCENARIO FAVORABLE
ALIMENTADOR A4701

Calculation time period	2106		
Consider Maintenance	No		
Fault Clearance Breakers	Use all circuit breakers		
Switching procedures	Concurrently		
Time to open remote controlled switches	1,00 min.		
Automatic Contingency Definition			
Selection	User Defined	Grid	
Busbars / terminals	Yes	Common mode	No
Lines / cables	Yes	Independent second failures	No
Transformers	Yes	Double earth faults	Yes
		Protection/switching failures	No

Study Case: ECP 2015 | Annex: / 1 |

System Summary

System Average Interruption Frequency Index	: SAIFI =	0,838545	1/Ca
Customer Average Interruption Frequency Index	: CAIFI =	2,803902	1/Ca
System Average Interruption Duration Index	: SAIDI =	4,273	h/Ca
Customer Average Interruption Duration Index	: CAIDI =	5,096	h
Average Service Availability Index	: ASAI =	0,9995122238	
Average Service Unavailability Index	: ASUI =	0,0004877762	
Energy Not Supplied	: ENS =	25,650	MWh/a
Average Energy Not Supplied	: AENS =	0,001	MWh/Ca
Average Customer Curtailment Index	: ACCI =	0,001	MWh/Ca
Expected Interruption Cost	: EIC =	0,000	M\$/a
Interrupted Energy Assessment Rate	: IEAR =	0,000	\$/kWh
System energy shed	: SES =	0,000	MWh/a
Average System Interruption Frequency Index	: ASIFI =	1,033164	1/a
Average System Interruption Duration Index	: ASIDI =	5,264627	h/a
Momentary Average Interruption Frequency Index	: MAIFI =	0,000000	1/Ca

**ANEXO 04
SALIDA DIGSILENT
ESCENARIO
FAVORABLE
ALIMENTADOR A4702**

	DigSILENT	Project:
	PowerFactory	-----
	15.1.2	Date: 11/23/2018

Reliability Assessment			
Method	Connectivity analysis		
Network	Transmission		
Calculation time period	2106		
Consider Maintenance	No		
Fault Clearance Breakers	Use all circuit breakers		
Switching procedures	Concurrently		
Time to open remote controlled switches	1.00 min.		
Automatic Contingency Definition			
Selection	User Defined	Grid	
Busbars / terminals	Yes	Common mode	No
Lines / cables	Yes	Independent second failures	No
Transformers	Yes	Double earth faults	Yes
		Protection/switching failures	No

Study Case: ECP 2015	Annex:	/ 1
----------------------	--------	-----

System Summary	
System Average Interruption Frequency Index	: SAIFI = 0.364919 1/Ca
Customer Average Interruption Frequency Index	: CAIFI = 1.135960 1/Ca
System Average Interruption Duration Index	: SAIDI = 3.008 h/Ca
Customer Average Interruption Duration Index	: CAIDI = 8.242 h
Average Service Availability Index	: ASAI = 0.9996566658
Average Service Unavailability Index	: ASUI = 0.0003433342
Energy Not Supplied	: ENS = 16.915 MWh/a
Average Energy Not Supplied	: AENS = 0.001 MWh/Ca
Average Customer Curtailment Index	: ACCI = 0.002 MWh/Ca
Expected Interruption Cost	: EIC = 0.000 M\$/a
Interrupted Energy Assessment Rate	: IEAR = 0.000 \$/kWh
System energy shed	: SES = 0.000 MWh/a
Average System Interruption Frequency Index	: ASIFI = 0.421241 1/a
Average System Interruption Duration Index	: ASIDI = 3.471810 h/a
Momentary Average Interruption Frequency Index	: MAIFI = 0.000000 1/Ca

ANEXO 05
SALIDA DIGSILENT
ANALIS DE CORTO
CIRCUITO

	rtd.V. [kV]	Voltage [kV]	c- [deg]	c- Factor	Sk" [MVA/MVA]	Ik" [kA/kA]	[deg]	Ik' [kA]	[deg]	ip [kA/kA]	Ib [kA]	ib [kA]	Ith [kA]
NINA23	22,90	0,00	0,00	1,00	77,53 MVA	1,95 kA	-81,7	1,93	-81,8	4,75 kA	1,93	2,77	1,98
A4701	4TP00208				1,61 MVA	0,04 kA	102,3	0,03	102,2	0,10 kA			
A4702	4TP00208				1,58 MVA	0,04 kA	103,7	0,03	103,8	0,10 kA			
SE NINATAMBO	NINA44	NINA10			74,35 MVA	1,87 kA	98,1	1,87	98,1	4,56 kA			
CHPACCHA	0,44	0,00	0,00	1,00	7,15 MVA	9,38 kA	125,1	8,36	123,3	23,88 kA	8,44	15,00	9,55
2-winding Trans	N430029035				5,06 MVA	6,63 kA	-59,8	6,63	-59,8	16,89 kA			
PACH-G1					1,08 MVA	1,41 kA	136,6	0,89	134,9	3,60 kA			
PACHAS-G2					1,08 MVA	1,41 kA	136,6	0,89	134,9	3,60 kA			
CH ACO	0,44	0,00	0,00	1,00	7,16 MVA	9,40 kA	126,1	8,32	124,4	23,17 kA	8,41	12,77	9,53
XFO ACOB	430024031				4,95 MVA	6,49 kA	-58,2	6,49	-58,2	16,00 kA			
2-winding Trans	ACO13.2				0,00 MVA	0,00 kA	0,0	0,00	0,0	0,00 kA			
G1 ACOB					2,26 MVA	2,97 kA	135,5	1,86	133,8	7,32 kA			
NINA44	44,00	0,00	0,00	1,00	145,78 MVA	1,91 kA	-76,2	1,90	-76,2	4,15 kA	1,90	2,69	1,93
SE NINATAMBO	NINA23	NINA10			3,12 MVA	0,04 kA	101,0	0,03	101,0	0,09 kA			
SEIN					142,67 MVA	1,87 kA	-76,1	1,87	-76,1	4,06 kA			
NINA10	10,00	0,00	0,00	1,00	61,66 MVA	3,56 kA	126,7	3,52	126,7	8,91 kA	3,53	5,17	3,62
SE NINATAMBO	NINA44	NINA23			61,66 MVA	3,56 kA	-53,3	3,52	-53,3	8,91 kA			
430000176	4TP04152				0,00 MVA	0,00 kA	0,0	0,00	0,0	0,00 kA			
430004747	4TP04152				0,00 MVA	0,00 kA	0,0	0,00	0,0	0,00 kA			
Aterra. NINA	2.4				0,00 MVA	0,00 kA	0,0	0,00	0,0	0,00 kA			

ANEXO 06
SALIDA DIGSILENT
ESCENARIO CONSERVADOR
ALIMENTADOR A4701

Reliability Assessment			
Method	Connectivity analysis		
Network	Transmission		
Calculation time period	2106		
Consider Maintenance	No		
Fault Clearance Breakers	Use all circuit breakers		
Switching procedures	Concurrently		
Time to open remote controlled switches	1.00 min.		
Automatic Contingency Definition			
Selection	User Defined	Grid	
Busbars / terminals	Yes	Common mode	No
Lines / cables	Yes	Independent second failures	No
Transformers	Yes	Double earth faults	Yes
		Protection/switching failures	No

Study Case: ECP 2015	Annex:	/ 1
----------------------	--------	-----

System Summary	
System Average Interruption Frequency Index	: SAIFI = 13.277056 1/Ca
Customer Average Interruption Frequency Index	: CAIFI = 44.395418 1/Ca
System Average Interruption Duration Index	: SAIDI = 71.838 h/Ca
Customer Average Interruption Duration Index	: CAIDI = 5.411 h
Average Service Availability Index	: ASAI = 0.9917993467
Average Service Unavailability Index	: ASUI = 0.0082006533
Energy Not Supplied	: ENS = 431.241 MWh/a
Average Energy Not Supplied	: AENS = 0.020 MWh/Ca
Average Customer Curtailment Index	: ACCI = 0.002 MWh/Ca
Expected Interruption Cost	: EIC = 0.000 M\$/a
Interrupted Energy Assessment Rate	: IEAR = 0.000 \$/kWh
System energy shed	: SES = 0.000 MWh/a
Average System Interruption Frequency Index	: ASIFI = 16.358545 1/a
Average System Interruption Duration Index	: ASIDI = 88.510630 h/a
Momentary Average Interruption Frequency Index	: MAIFI = 0.000000 1/Ca

ANEXO 07

SALIDA DIGSILENT ESCENARIO
CONSERVADOR ALIMENTADOR
A4702

		DigSILENT	Project:
		PowerFactory	
		15.1.2	Date: 11/23/2018

Reliability Assessment			
Method	Connectivity analysis		
Network	Transmission		
Calculation time period	2106		
Consider Maintenance	No		
Fault Clearance Breakers	Use all circuit breakers		
Switching procedures	Concurrently		
Time to open remote controlled switches	1.00 min.		
Automatic Contingency Definition			
Selection	User Defined	Grid	
Busbars / terminals	Yes	Common mode	No
Lines / cables	Yes	Independent second failures	No
Transformers	Yes	Double earth faults	Yes
		Protection/switching failures	No

Study Case: ECP 2015	Annex:	/ 1
----------------------	--------	-----

System Summary	
System Average Interruption Frequency Index	: SAIFI = 12.050736 1/Ca
Customer Average Interruption Frequency Index	: CAIFI = 37.512860 1/Ca
System Average Interruption Duration Index	: SAIDI = 67.195 h/Ca
Customer Average Interruption Duration Index	: CAIDI = 5.576 h
Average Service Availability Index	: ASAI = 0.9923293581
Average Service Unavailability Index	: ASUI = 0.0076706419
Energy Not Supplied	: ENS = 377.916 Mwh/a
Average Energy Not Supplied	: AENS = 0.018 Mwh/Ca
Average Customer Curtailment Index	: ACCI = 0.002 Mwh/Ca
Expected Interruption Cost	: EIC = 0.000 M\$/a
Interrupted Energy Assessment Rate	: IEAR = 0.000 \$/kwh
System energy shed	: SES = 0.000 Mwh/a
Average System Interruption Frequency Index	: ASIFI = 13.910676 1/a
Average System Interruption Duration Index	: ASIDI = 77.565838 h/a
Momentary Average Interruption Frequency Index	: MAIFI = 0.000000 1/Ca