



**Diseño de un sistema de control para el monitoreo y seguimiento de fallas
eléctricas en la subestación de la empresa FENOCO ubicada en Fundación –
Magdalena**

DEIVIS SAUL CAÑIZARES MAESTRE

21131428946

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Mecánica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Santa Marta, Colombia

2021

**Diseño de un sistema de control para el monitoreo y seguimiento de fallas
eléctricas en la subestación de la empresa FENOCO ubicada en Fundación –
Magdalena**

DEIVIS SAUL CAÑIZARES MAESTRE

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

Ingeniero Electromecánico.

Director (a):

Título (Ph.D) Maira Cecilia Gasca Mantilla

Línea de Investigación:

Automatización Industrial

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Mecánica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Santa Marta, Colombia

2021

NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado titulado “Diseño de un sistema de control para el monitoreo y seguimiento de fallas eléctricas en la subestación de la empresa FENOCO ubicada en Fundación – Magdalena”, cumple con los requisitos para optar Al título de Ingeniero Electromecánico.

Firma del Tutor

Firma Jurado

Firma Jurado

Santa Marta – Magdalena, 2021

Contenido

Pág.

Introducción	15
1. Presentación del Proyecto.....	17
1.1 Planteamiento del Problema	17
1.1.1 Formulación del Problema	19
1.1.2 Sistematización del Problema.....	19
1.2 Antecedentes	20
1.3 Objetivos de la Investigación	24
1.3.1 Objetivo General	24
1.3.2 Objetivos Específicos	24
1.4 Justificación de la Investigación.....	24
2. Marco Teórico.....	28
2.1 Marco Referencial.....	28
2.1.1 Sistema Eléctrico.	28
2.1.2 Sistema de Control.	30
2.1.3 Fallas Eléctricas.....	32
2.1.4 Sistema de Monitoreo.....	33
2.1.5 Subestaciones Eléctricas.	36
2.1.6 Transmisión y distribución.....	38
2.1.7 Control Automático de Subestaciones.....	45
2.1.8 Monitoreo de Subestaciones Eléctricas.	46
2.1.9 Monitoreo de Transformadores eléctricos de Potencia.	47
2.1.10 Monitoreo en Línea de Transformadores eléctricos de Potencia.	47
2.1.11 Mediciones de variables.	48
2.1.12 Arquitectura para Mediciones de variables.	49
3. Marco Metodológico.....	52
3.1 Tipo de Investigación	52
3.2 Diseño de la Investigación.....	52
3.3 Población y Muestra	54
3.4 Técnica e Instrumentos de Recolección de Datos	54
4. Análisis e Interpretación de los Resultados.....	56
4.1 Diagnóstico de la Situación Actual del Sistema Eléctrico	56
4.1.1 Funcionamiento del Sistema.....	58
4.2 Variables que Intervienen en el Sistema De Control	63
4.3 Diseño del Sistema de Lazo Cerrado para el Control de las Fallas Eléctricas ...	69
4.4 Sistema de Monitoreo de la Subestación	74
4.5 Análisis De Costo/Beneficio Del Sistema.....	91
5. Conclusiones y Recomendaciones.....	97
5.1 Conclusiones	97
5.2 Recomendaciones	99
Referencias Bibliográficas.....	100

Lista de figuras

	Pág.
Figura 2.1 Componentes de un sistema de monitoreo.....	35

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1-1 Sistematización del Problema.	19
Tabla 2. 1 Tipos de fallas eléctricas.....	33
Tabla 2. 2 Características de arquitectura centralizada y descentralizada.	50
Tabla 4. 1 Matriz DOFA del sistema	61
Tabla 4. 2 Costos directos e indirectos.....	91
Tabla 4. 3 Costos de inversión.....	92
Tabla 4. 4 Costo del proyecto propuesto.	94
Tabla 4. 5 Análisis de Costos.	95
Tabla 4. 6 Periodo de Utilidades	96

Lista de imágenes

	Pág.
Imagen 2. 1 Estructura de un Sistema Eléctrico.	29
Imagen 2. 2 La salida del sistema se debe a la interacción de la entrada con el proceso. .30	30
Imagen 2. 3 Sistema de control de lazo abierto.	31
Imagen 2. 4 Sistema de control de lazo cerrado.	32
Imagen 2. 5 Sistema de monitoreo eléctrico.	36
Imagen 2. 6 Subestaciones usadas en las etapas del sector eléctrico.	37
Imagen 2. 7 Diagrama de sistema eléctrico.	38
Imagen 2. 8 Uso de dispositivo de protección.....	40
Imagen 2. 9 Interruptor de desconexión.	41
Imagen 2. 10 Modelo interruptor trifásico.....	42
Imagen 2. 11 Diagrama relés contra sobrevoltajes.	43
Imagen 2. 12 Diagrama de bloque de relé contra sobre corrientes.	43
Imagen 2. 13 Esquema general de sistema de distribución.	44
Imagen 2. 14 Diagrama de tipología de sistema de monitoreo de transformadores.	48
Imagen 4. 1 Ubicación de la subestación de la Empresa FENOCO.....	58
Imagen 4. 2 Transferencia Automática por modulo VORKOM.	59
Imagen 4. 3 Contactores para cierre del circuito de energía.	60
Imagen 4. 4 Sistema de Transferencia automática y componentes.....	60
Imagen 4. 5 Modelamiento de la Batería.	64
Imagen 4. 6 Diagrama Interno de la Batería de SimPowerSystem.	66
Imagen 4. 7 Simulación de una Batería en SimPowerSystem.	67
Imagen 4. 8 Inicialización de Componentes.	67
Imagen 4. 9 Eje x = tiempo, eje Y = Corriente de carga en la batería simulación en Matlab.	68
Imagen 4. 10 Eje X tiempo, Eje Y Voltaje de la Batería.	69
Imagen 4. 11 Diagrama de bloques sistema retroalimentado.	70
Imagen 4. 12 Gráfica de corriente Vs tiempo.	71
Imagen 4. 13 Grafica de Tensión.	71
Imagen 4. 14 Diseño de lazo abierto Vs lazo cerrado.	72
Imagen 4. 15 Grafica de descarga de las baterías.	73
Imagen 4. 16 DAQ 6000 National Instruments.....	75
Imagen 4. 17 Conexión Física DAQ Labview.	76
Imagen 4. 18 Diagrama de las baterías y la tensión.	77
Imagen 4. 19 Diagrama de Flujo del Sistema de la Subestación.....	83
Imagen 4. 20 Interfaz del sistema eléctrico básico 84	84
Imagen 4. 21 Carga de la batería junto a los medidores de tensión de la planta.	84
Imagen 4. 22 Señal senoidal de la red 85	85
Imagen 4. 23 Diagrama de Programación del sistema de monitoreo.	86
Imagen 4. 24 Diagrama de Programación del sistema de monitoreo.	86
Imagen 4. 25 Bloque DAQ Asistant..... 87	87
Imagen 4. 26 Canales del ADC en simultaneo..... 87	87

Imagen 4. 27 Fragmento del código.	88
Imagen 4. 28 Simulación del Voltaje en la Red.....	88
Imagen 4. 29 Convertir de voltaje.	89
Imagen 4. 30 Banco de Batería de emergencia.....	89
Imagen 4. 31 Software Anydesk	90

Lista de Símbolos y abreviaturas

Símbolos y subíndices con letras latinas

lo	Símbo	Término	Unidad si	Definición
	A	Intensidad de corriente eléctrica	$1A=1\frac{C}{s}$	Amperio
	In	Pulgada	1 in = 2,54 cm	Longitud
h	KVAr	Kilovoltio – amperio por hora		Potencia
	Kwh	Kilovatio hora	kWh	Potencia
	Hz	Hertz	Ciclos por segundos	Frecuencia
	°C	Grado Celsius	$T(^{\circ}C) = T(^{\circ}K)-273,15$	Temperatur
	Bar	Bar	1 bar = 0,9869 atm	a Presión
	Psi	Presión básica	lb_f/in^2	Libra fuerza por pulgada cuadrada
	µm	Micras	1 µm = 0,001 mm	Longitud
	dB	Decibelio	$dB=10\log_{10}\frac{p_1}{p_2}$	Presión sonora
	Gln	Galón	1 gln= 3,785411784 litros	Volumen
	cm	Centímetro	1 cm =10 milímetro	Longitud
	A/h	Amperio Hora	$1A=1\frac{C}{s} \rightarrow 1 A*s =1C$	Carga eléctrica
	kV	Kilovatio	J	Julio/Segun
	V	Voltios	1 V = W/A	do Potencia

Abreviaturas

Abreviatura	Término
ITCS	Incremental train control System
DDC	Control digital directo
SET	Subestaciones De Transformación
ETD	Estaciones Transformadoras de Distribución
CT	Centros de Transformación
PT	Transformador de Voltaje
IED's	Dispositivos Electrónicos Inteligentes
PLC's	Controlador Lógico Programable

Esta tesis de grado va ofrecida principalmente a Dios, quien como guía está presente en el caminar de mi vida, bendiciéndome y ofreciéndome talante para continuar con los objetivos proyectados sin desfallecer. A mis padres, familia y docentes que, con su sostén absoluto, amor y confianza permitieron que lograra culminar mi carrera profesional.

Deivis Saúl Cañizares Maestro.

Agradecimientos

Antes que todo agradezco:

A Dios, autor de la vida y sabiduría, por encontrarse conmigo en cada movimiento que ejecuto, por fortificar mi corazón e irradiar mi mente, y por hacerme como persona y profesional de la ingeniería electromecánica.

A mi esposa, hijas y padres, acreedores de todo triunfo en mi camino, por su esfuerzo y sacrificio para posicionarme donde estoy, por sus valores inculcados en mí y ser mi apoyo en cada proyecto que he propuesto.

Agradezco al ente educativo de la facultad de Ingeniería Mecánica, Electromecánica y Biomédica de la Universidad Antonio Nariño, por haber intervenido con sus conocimientos a lo largo de mi desarrollo como profesional, quienes han guiado con su entereza, y su rectitud como docentes, y a la empresa FENOCO por darme la oportunidad de desarrollar esta investigación.

A mis compañeros de estudio, gracias por su colaboración, apoyo y acompañamiento en el cumplimiento de esta meta.

Posteriormente quiero emitir mi más grande y sincera gratitud a la Ingeniera Maira Gasca, vital colaboradora durante todo este proceso, quien con su orientación, discernimiento, instrucción y colaboración permitieron el impulso de este proyecto de investigación.

Resumen

Esta tesis está encaminado a diseñar un sistema de control para el monitoreo y seguimiento de las fallas eléctricas presentadas en la subestación de la empresa FENOCO, ubicada en Fundación – Magdalena, a partir de las estadísticas de las fallas recurrentes presentadas en el sistema eléctrico de la subestación, con el propósito de efectuar un diagnóstico de la situación actual del sistema. Seguidamente, se aplica una lista de chequeo, para identificar el funcionamiento correcto del sistema eléctrico y a su vez, observar el comportamiento del sistema eléctrico ante fallas que se puedan presentar. Luego con base a lo anterior, se definieron las variables del sistema de control, para desarrollar el sistema de monitoreo de la subestación, que se diseña con la herramienta Labview, para visualizar gráficamente el sistema. Por último, se realiza un análisis de costo/beneficio del sistema para la implementación de las mejoras propuestas al sistema.

Palabras Clave: Sistema de Control, Monitoreo, Seguimiento, Fallas Eléctricas, Subestación, FENOCO.

Abstract

This work is aimed at designing a control system for the monitoring and follow-up of the electrical faults presented in the substation of the FENOCO company, located in Fundacion - Magdalena, based on the statistics of the recurring faults presented in the electrical system of the substation, with the purpose of making a diagnosis of the current situation of the system. Next, a checklist is applied to identify the correct operation of the electrical system and, in turn, observe the behavior of the electrical system in the event of faults that may arise. Then based on the above, the control system variables were defined to develop the substation monitoring system, which is designed with the Labview tool, to graphically visualize the system. Finally, a cost / benefit analysis of the system is carried out for the implementation of the proposed improvements to the system.

Key Words: Control System, Monitoring, Tracking, Electrical Failures, Substation, FENOCO.

Introducción

En la búsqueda de opciones que permitan obtener un amplio enfoque sobre la importancia que revisten los sistemas que permitan supervisar, controlar y adquirir datos con el fin de mejorar u optimizar procesos y generar seguridad al momento de recopilar información importante para el adecuado funcionamiento de los diferentes sistemas implementados dentro de las empresas, se observan investigaciones que permiten tener una visión más amplia de la problemática que se pretende abarcar. Se propone el desarrollo de la presente investigación, pretendiendo incorporar la información necesaria, los recursos adecuados y la visión que se requiere para llevar a cabo el diseño de sistemas que propenden por modernizar el desarrollo de las actividades propias de la razón social de la Empresa Ferrocarriles del Norte de Colombia S.A. FENOCO. Así pues, el uso de controles remotos para sistemas eléctricos se implementa con la intención de generar una transformación en la manera tradicional de llevar a cabo las tareas relacionadas con el suministro de información de forma rápida, segura y oportuna (Andreula, L 2010).

Se hace referencia a través del desarrollo investigativo del trabajo la existencia en la actualidad de subestaciones instaladas en la empresa, que no cuentan con una integración total a tecnologías de dispositivos electrónicos que faciliten el control y monitoreo de variables, impidiendo de algún modo la revisión en estado real del funcionamiento de estas y obstaculizando el seguimiento que facilitaría la identificación de anomalías para ejecutar un adecuado manejo preventivo de las mismas. Por esta razón, al implementar un sistema de monitoreo y seguimiento se logran unas amplias ventajas, y a su vez, se obtienen un gran número de beneficios al contar con sistemas que faciliten el monitoreo de variables que permitan controlar el óptimo funcionamiento de las subestaciones.

La actualización en materia de control y seguimiento a variables y sucesos que puedan presentarse es una necesidad manifiesta en desarrollo de actividades dentro de la empresa y por medio del diseño de un sistema de control para el monitoreo de subestaciones se pretende una vez sean implementados garantizar el poder minimizar el riesgo en las operaciones y maximizar el uso de las redes eléctricas disminuyendo el impacto que se pueda generar por los daños que se presenten en las mismas.

En el proyecto en el capítulo I, se realizará un diagnóstico de la situación actual del sistema eléctrico de fallas encontradas en la subestación de la empresa FENOCO, ubicada en Fundación – Magdalena; donde se identificará el problema y se justificara él porque es necesario mejorar el sistema actual, para así lograr los objetivos planteados partiendo desde el alcance, sus limitaciones e impacto dentro el enfoque que se plantea dentro la investigación.

En el capítulo II, se indicarán, todos los conceptos teóricos que interactúen con nuestro proyecto de sistema de control para monitoreo y seguimiento de fallas eléctricas en la subestación de la empresa FENOCO tanto directa como indirectamente a esta.

En el Capítulo III, se encuentra el marco metodológico, donde se parte del tipo de investigación a utilizar en el proyecto, diseño de la investigación, a que población a la que va dirigida, que técnicas e instrumentos de recolección de datos a utilizar, y así obtener los diferentes resultados para su determinado diseño.

En el Capítulo IV, se desarrolla el diseño del sistema de lazo cerrado para el control de las fallas eléctricas, en el cual se evidenciarán por medio de simulación en la herramienta LabVIEW. Finalmente se realizan el análisis del costo beneficio del sistema.

1. Presentación del Proyecto

1.1 Planteamiento del Problema

En la actualidad la Empresa Ferrocarriles del Norte de Colombia S.A. FENOCO, cuenta con 17 estaciones equipadas con equipos de comunicación y control de tráfico férreo. Dicho sistema utilizado en el sistema ferroviario es conocido como ITCS (*Incremental train control System*).

Como en todos los sistemas electrónicos, se necesita la energía, que es un componente vital para el funcionamiento de estos, por lo tanto, en estas locaciones se cuenta con subestaciones eléctricas que se encargan de suministrar la energía comercial a los equipos, y en caso que exista una falla eléctrica, se posee un sistema de emergencia con planta eléctrica; dichas plantas eléctricas son controladas mediante la transferencia automática, que se encarga de hacer la conmutación de energía comercial a energía de emergencia. Además de hacer la conmutación eléctrica también se encarga de hacer el encendido y apagado de la planta eléctrica de emergencia.

Las estaciones antes mencionadas no cuentan con un sistema de control y monitoreo que permita hacer seguimiento al estado en el que se encuentra el sistema. Con el fin de realizar la revisión y hacer el seguimiento se encuentra un funcionario de la vigilancia en las estaciones que tiene asignado el reporte de anomalías en cuanto al suministro de energía comercial y de planta de emergencia. El personal asignado para desarrollar las funciones mencionadas no cuenta con los conocimientos adecuados para llevar a cabo este tipo de

actividades, al ser empleados con otro tipo de formación, lo cual podría generar reportes erróneos debido a su apreciación.

La problemática que se evidencia en la actualidad de acuerdo con el análisis realizado en FENOCO es la ausencia o falta de un reporte oportuno, cuando existe una falla de energía comercial o de respaldo de las plantas eléctricas en las estaciones del ferrocarril. En diversas oportunidades el reporte enviado por parte de la persona responsable no ha sido muy eficiente debido a que este funcionario debe cumplir adicional a las actividades relacionadas con el envío de los reportes, con funciones de vigilancia, lo que hace que en algunas circunstancias estos detalles pasen desapercibidos y las novedades que se presentan con relación a las alteraciones en el suministro de energía de las estaciones también.

Así entonces, las anteriores situaciones descritas dificultan en gran medida que se pueda brindar una respuesta óptima y en un tiempo adecuado al personal de mantenimiento, para que, de esta forma, se logren realizar los correctivos necesarios dentro de las instalaciones de las subestaciones presentes en Fundación – Magdalena.

De este modo, el sistema ITCS cuenta con un banco de baterías de respaldo, el cual sirve para sostener los equipos mientras se hace el cambio o conmutación de energía comercial a energía de emergencia y viceversa. El banco de baterías tiene una autonomía de respaldo de aproximadamente de 1 hora para los equipos del sistema ITCS.

En algunas oportunidades se han presentado fallas por dificultades en el suministro de energía, las cuales se podrían haber resuelto con un reporte oportuno y sistematizado; al presentarse el apagado total de los equipos ITCS, se afecta el tráfico férreo, ocasionando

retrasos en el ingreso de carbón a los puertos, lo cual le genera pérdidas económicas a la empresa, debido al incumplimiento de cronograma definido para la operación férrea.

1.1.1 Formulación del Problema

¿Qué estrategia debe implementar FENOCO para optimizar el control y monitoreo de la subestación de Fundación, Magdalena con el fin de prevenir las fallas que se presentan por inconvenientes en el suministro de energía?

1.1.2 Sistematización del Problema

Tabla 1-1 Sistematización del Problema.

OBJETIVO GENERAL: Diseñar un sistema de control para el monitoreo y seguimiento de fallas eléctricas en la subestación de la empresa FENOCO, ubicada en Fundación – Magdalena.			
OBJETIVOS ESPECIFICOS	VARIABLES	DIMENSION	INDICADORES
Realizar un diagnóstico de la situación actual del sistema eléctrico.	Sistema eléctrico	Diagnostico	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Fallas en el sistema eléctrico. ❖ Ubicación de la subestación.
Definir las variables del sistema de control.	Sistema de control	Definición	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Variables del sistema actual.
Realizar el diseño del sistema de lazo cerrado para el control de las fallas eléctricas.	Fallas eléctricas	Diseño	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Identificar el sistema actual. ❖ Definir estrategias para controlar las fallas eléctricas. ❖ Diseñar un sistema de control para el monitoreo y seguimiento de las fallas.
Desarrollar el sistema de monitoreo de la Subestación.	Sistema de monitoreo	Subestación	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Identificación de las falencias de la subestación.
Realizar el análisis de costo beneficio del sistema.	Costo beneficio	Sistema	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Beneficios de la aplicación del nuevo sistema de control y monitoreo.

Fuente. Autor Propio (2020)

1.2 Antecedentes

Al entrar a abordar el tema objeto de la investigación se hace necesario mencionar la manera en la que el uso del sistema de control para el monitoreo de subestaciones ha logrado evolucionar, brindando cada vez mayores garantías al desarrollo de actividades cruciales para la operación de las empresas que debido a la implementación de acciones propias de su razón social, dependen del óptimo funcionamiento de estas.

Al adentrarnos hablar de la historia de los sistemas de control y la evolución de la automatización lo primero que es necesario destacar es la existencia de tres mecánicos presentes en la antigua Grecia: Ktesibios, Heron y Philon. En donde, Ktesibios, diseña un reloj en el siglo III A.C. de agua, el cual fue conocido entonces como Clepsydra, el cual funcionaba a través de un mecanismo que permitía que el nivel de un depósito de agua subiera con velocidad constante, utilizando flotadores que regulan la entrada de agua por medio del depósito auxiliar buscando mantener un nivel constante y de esta forma el caudal de salida al depósito principal; lo anterior con el fin de generar un proceso automatizado que desarrollara la actividad para la cual fue diseñado el reloj. Así mismo Philon, construye un sistema de regulación de nivel de una lámpara de aceite, logrando que al quemarse el aceite de la lámpara bajara el nivel del depósito de aceite permitiendo que entre aire en otro depósito con el fin de que al entrar aire en otro depósito se suministre más aceite al depósito central. De este modo, y si desmeritar el trabajo realizado por Heron, este dejó un sin número de enciclopedias técnicas, en las cuales se presenta el funcionamiento de un procedimiento realimentado, automatizado y complejo sistemas que ejecutan programas fijos (Piedrafita, R 1999 -Pag 3).

Hasta el siglo XX se contaba solo con herramientas de control clásico como es el caso de las ecuaciones diferenciales ordinarias y el uso de algunos criterios algebraicos que permitieran determinar las raíces de la ecuación características asociadas, aplicando criterios como el de Routh y Hurwitz, los cuales buscaban determinar o no la estabilidad de los sistemas (Piedrafita, R 1999 -Pag 15).

Al abordar las técnicas desde el punto de vista de control automático se presentan resultados de gran impacto al lograr extender con rapidez el uso de las ideas de respuesta en frecuencia a los diferentes campos y de esta forma lograr generar una teoría unificada y coherente con relación a los sistemas realimentados con lazo único (Bernal y Jiménez 2012).

De este modo, se logran las primeras aplicaciones de las computadoras al control industrial y la automatización a finales de los años 50, iniciativa que no nace como se supondría de los creadores de los sistemas de control sino de los fabricantes de computadoras y sistemas electrónicos. La primera instalación la lleva a cabo la compañía de suministro eléctrico “Louisiana Power and Light”, la cual instala en septiembre de 1958 un ordenador con el fin de monitorear la planta de producción de energía. En 1961 la empresa se comienza a diseñar el control digital directo (DDC) y un sistema de control jerarquizado para ser utilizados en la industria, logrando a través del control digital directo controlar por medio de computadora el proceso tomando medidas y calculando acciones a aplicar (Piedrafita, R 1999 -Pag 30).

De esta forma, con el pasar de los años se lograron mejoras significativas en el uso de sistemas que permitieran no solo el control sino el monitoreo de variables que permitieran

tomar decisiones rápidas para prevenir la aparición de problemas, llegando al sistema de control a distancia.

Este sistema que se busca diseñar a través de la presente investigación data de los años 60 y 70's cuando se procura generar avances en el desarrollo de dispositivos electromecánicos buscando reemplazarlos por equipos de estado sólido. En la actualidad el proceso no integra en su totalidad la interacción con dispositivos electrónicos, en muchas ocasiones debido a la inoperatividad de algunos dispositivos que requieren demasiados protocolos para poder hacerlo. En el caso de las subestaciones se cuenta aún con mecanismos que no incorporan este tipo de sistemas, aun cuando en la actualidad son diversos los dispositivos y tecnologías que facilitan el uso de este tipo de técnicas los cuales integran los instrumentos electrónicos inteligentes, a las plataformas computacionales, a los sistemas operativos, a las redes de comunicación y a las interfaces graficas de usuario.

Así pues, el mercado ofrece un sin número de opciones a la hora de pensar en efectuar un sistema de control para el monitoreo de subestaciones, por lo que la intención de la presente investigación está orientada a determinar cuál es la mejor estrategia para implementar en FENOCO para optimizar el control y monitoreo de las subestaciones con el fin de prevenir las fallas que se presentan por inconvenientes en el suministro de energía.

El desarrollo de esta investigación, pretende identificar las estrategias que podrían ser implementadas dentro de la Empresa Ferrocarriles del Norte de Colombia S.A. FENOCO, con el fin de prevenir las posibles fallas que puedan llegar a presentarse por inconvenientes en el suministro de energía dentro de la operación de los equipos, buscando así suministrar el progreso de las actividades propias de la compañía, permitiendo una

adecuada comunicación entre las subestaciones eléctricas y las personas responsables del adecuado funcionamiento del sistema general que controla las actividades operacionales.

De esta forma, el estudio brinda herramientas que permiten obtener el diseño de un sistema de control para el monitoreo de subestaciones que para la compañía representa una evolución en la forma de cómo se genera el flujo de información correspondiente a las actividades dentro de las subestaciones, incorporando procesos innovadores que se convierten en una alternativa confiable para el monitoreo, seguimiento y control de las variables necesarias, que garantizan el adecuado funcionamiento de las subestaciones, trazando el camino a la compañía para el uso de la automatización en procesos que requieren seguridad en la información que se genera.

De este modo, el diseño de un sistema de control para el monitoreo de la información, ofrece innumerables ventajas a la compañía frente a la manera tradicional en la que se desarrolla dicha actividad, al brindar la posibilidad de contar con información precisa, clara y oportuna (Pérez, E 2015); y de esta forma, atender los posibles inconvenientes que podrían enfrentar las subestaciones, permitiendo por medio del seguimiento, control y la adquisición de datos predecir el funcionamiento y el modo en la que se debe actuar para evitar daños que repercutan en la operación de la compañía.

Al ser necesario en los sistemas de distribución eléctrica actuales el uso de dispositivos inteligentes de campo y de sistemas de control con el fin de mantener la máxima eficiencia, confiabilidad y desempeño, al mismo tiempo que se logra mejorar la seguridad necesaria para los activos de distribución (Landázuri, C 2016). Lo anterior, se considera un paso fundamental dentro de la innovación en los procesos de la Empresa Ferrocarriles del

Norte de Colombia S.A. FENOCO, la generación de una alternativa que lleve a la compañía de realizar procesos vitales para la operación como la transmisión de información correspondiente al estado energético de las subestaciones de una forma artesanal, a un avance significativo que ofrece el diseño de un sistema que permita sistematizar, controlar y optimizar los recursos disponibles a través de las subestaciones y que se verán traducidos en mayor eficiencia de la operación.

1.3 Objetivos de la Investigación

1.3.1 Objetivo General

Diseñar un sistema de control para el monitoreo y seguimiento de fallas eléctricas en la subestación de la empresa FENOCO ubicada en Fundación – Magdalena.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Realizar un diagnóstico de la situación actual del sistema eléctrico.
- Definir las variables del sistema de control.
- Realizar el diseño del sistema de lazo cerrado para el control de las fallas eléctricas.
- Desarrollar el sistema de monitoreo de la Subestación.
- Realizar el análisis de costo beneficio del sistema.

1.4 Justificación de la Investigación

Este proceso investigativo es importante porque se centra en el diseño de un sistema de control para el monitoreo y seguimiento de fallas eléctricas en la subestación de la

empresa Fenoco ubicada en Fundación – Magdalena; el cual pretende identificar las estrategias que podrían ser implementadas dentro de la Empresa Ferrocarriles del Norte de Colombia S.A, con el fin de prevenir las fallas que puedan llegar a presentarse por inconvenientes en el suministro de energía dentro de la operación de los equipos, buscando así facilitar el desarrollo de las actividades propias de la compañía, permitiendo una adecuada comunicación entre la subestación eléctrica y las personas responsables del adecuado funcionamiento del sistema general que controla las actividades operacionales.

En este sentido, la hipótesis sobre el problema señalado se contempla significativo debido a que brinda herramientas que permiten obtener el diseño de un sistema de control para el monitoreo de la subestación de Fundación, Magdalena; que para la compañía representa una evolución en la forma como se genera el flujo de información correspondiente a las actividades dentro de la subestación, incorporando procesos innovadores que se convierten en una alternativa confiable para el monitoreo, seguimiento y control de las variables necesarias para garantizar el adecuado funcionamiento de dicha subestación, y de este modo, ir trazándole un camino a la compañía para el uso de la automatización en procesos que requieren seguridad en la información que se genera; y que a su vez, implementar este diseño en el resto de subestaciones que se encuentran operadas por la empresa FENOCO.

Por ello, desde un punto de vista teórico se tiene la certeza de la relevancia de esta investigación porque aporta información conceptual sobre las fallas eléctricas, los sistemas de control, monitoreo, seguimiento y control de las variables involucradas en el sistema de lazo cerrado; es por ello, que este estudio enumeración con valor heurístico el proceso,

debido a que amplía los conocimientos existentes en los impactos generados a partir del diseño de un sistema para controlar las fallas eléctricas que se presentan en la subestación.

En otro sentido, esta investigación contribuirá un valor práctico permitiendo a la empresa Ferrocarriles del Norte de Colombia S.A mejorar en gran medida las fallas presentadas en la subestación del municipio de Fundación – Magdalena; además de optimizar las funciones de control, monitoreo y seguimiento de las interrupciones presentadas en el sistema. Es decir, los resultados de este estudio permitirán fundar elementos científicos y prácticos sobre el diseño de un sistema de control para el monitoreo y seguimiento de las fallas eléctricas, para generar las innovaciones necesarias asociadas a las actividades principales de la empresa.

Por otro lado, el diseño de un sistema de control para el monitoreo de la información, ofrece innumerables ventajas a la compañía frente a la manera tradicional en la que se desarrolla dicha actividad, al brindar la posibilidad de contar con información precisa, clara y oportuna; y de esta forma, atender los posibles inconvenientes que podrían enfrentar las subestaciones, permitiendo por medio del seguimiento, control y la adquisición de datos predecir el funcionamiento y la manera en la que se debe actuar para evitar daños que repercutan en la operación de la compañía (Pérez, E 2015).

Mientras tanto, los sistemas de distribución eléctrica actuales son necesarios en el uso de dispositivos inteligentes de campo y de sistemas de control, esto con el fin de mantener la máxima eficiencia, confiabilidad y desempeño; al mismo tiempo que se logra mejorar la seguridad necesaria para los activos de distribución (Landázuri, C 2016).

De esta manera, se observará un aporte social al estudio, la cual es reconocida por los resultados obtenidos sobre las variables del sistema eléctrico como estrategia para realizar un diagnóstico de la situación actual del sistema, para que a partir de esto se logren definir las variables que intervienen en un sistema de control y lograr realizar el diseño del lazo cerrado del sistema para controlar las fallas eléctricas; y así mismo realizar un análisis del costo beneficio que aporta dicho sistema.

Finalmente, otra contribución de la tesis es a nivel metodológico, en el cual la investigación viene dada por ser esta uno de los escasos estudios realizadas con las variables en estudio sistemas de control, monitoreo, fallas eléctricas; por lo tanto, es base para otras investigaciones como estudios que evalúen, por ejemplo, la aplicación de las estrategias mejoras a fin de elevar la productividad y competitividad.

2. Marco Teórico

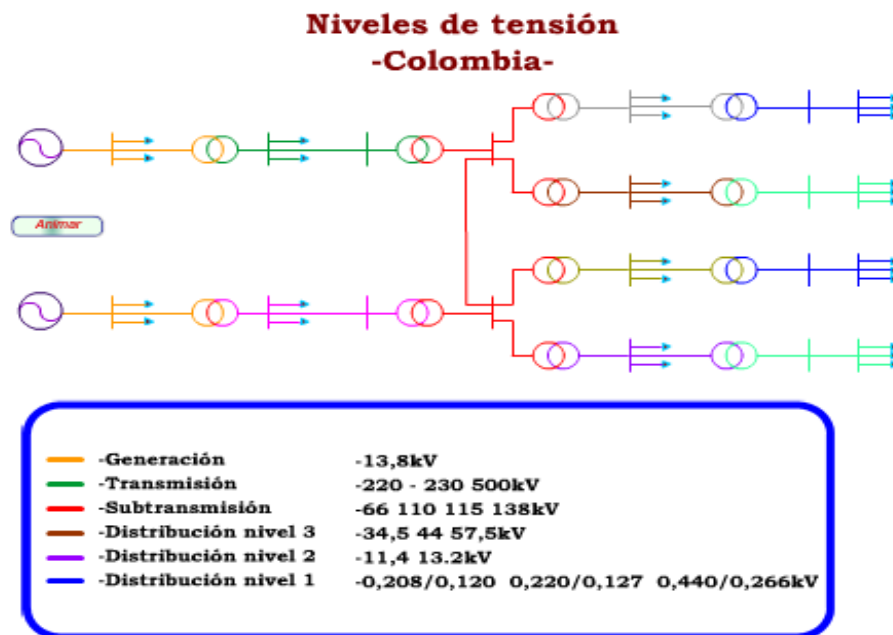
2.1 Marco Referencial

Esta investigación se encuentra enmarcada en teorías que dan respuestas a las variables: sistema eléctrico, sistema de control, fallas eléctricas, sistema de monitoreo, seguimiento, subestación y empresa FENOCO.

2.1.1 Sistema Eléctrico.

Un sistema eléctrico se define como un contiguo de instalaciones, conductores y equipos ineludibles para la generación, el envío y la distribución de la energía eléctrica. De este modo, el desarrollo de los sistemas eléctricos ha ido a la par del avance especializado de la sociedad en cuanto a la tecnología, esto se ha presentado aproximadamente a finales del siglo XIX hasta el siglo XX; así pues, hasta llegar al punto de profundizar sobre el consumo de energía eléctrica como uno de los itinerarios más claros del grado de desarrollo de un país (Tecnología Eléctrica, 2006).

Imagen 2. 1 Estructura de un Sistema Eléctrico.



Fuente. Tomado de la CREG 2016)

Los sistemas de Transmisión Regional y/o Distribución Local se clasifican por niveles, en función de la tensión nominal de operación, según la siguiente definición (Fuente: R. CREG - 097- 2008; Art 1).

- Sistemas con tensión nominal mayor o igual a 57,5 kV y menor a 220 kV.
- Sistemas con tensión nominal mayor o igual a 30 kV y menor de 57,5 kV.
- Sistemas con tensión nominal mayor o igual a 1 kV y menor de 30 kV.
- Sistemas con tensión nominal menor a 1 Kv.
- ❖ *Producción.*
- ❖ *Estación elevadora*
- ❖ *Red de transporte.*
- ❖ *Subestaciones de transformación (S.E.T.).*

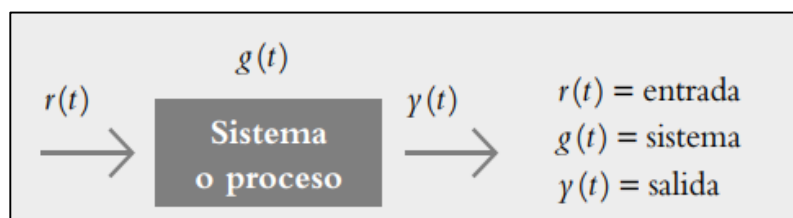
- ❖ *Redes de reparto.*
- ❖ *Estaciones transformadoras de distribución (E.T.D)*
- ❖ *Red de distribución en media tensión.*
- ❖ *Centros de transformación (C.T.).*
- ❖ *Red de distribución de baja tensión.*

Una red eléctrica es considerada como un sistema de distribución o de transmisión, donde se observa e interpreta como un sistema reparable, esto quiere decir, que cuando un elemento falla, este puede ser reemplazado o en su defecto ser reparado; de esta manera, se reconstruye el estado de operación normal del sistema, convirtiéndose de este modo en un sistema continuo en el tiempo (Arriagada, A 1994).

2.1.2 Sistema de Control.

Hernández, R (2010) define que un sistema de control automático es una interconexión de compendios que forman una proporción denominada sistema, de modo que la resultante es capaz de intervenir por sí sola. Se debe agregar, que un dispositivo del sistema es capaz de ser intervenido, donde se le pueda mandar una indicación $r(t)$ en forma de ingreso para traducirse en una salida $y(t)$, se simboliza mediante el esquema que se visualiza en la (Imagen 2.2).

Imagen 2. 2 La salida del sistema se debe a la interacción de la entrada con el proceso.



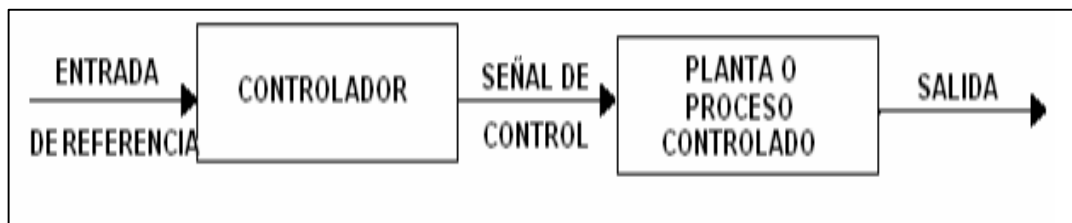
Fuente. Hernández, R (2010)

En cuanto a la codificación de los sistemas de control estos pueden ser de lazo abierto (o no automáticos) o de lazo cerrado (retroalimentados o automáticos). Para lograr entender lo anteriormente mencionado se debe tener en cuenta lo siguiente:

❖ **Acción de control.** Esta resulta ser el conjunto determinado de energía que afecta al sistema para provocar la salida o la respuesta deseada.

a) *Sistema de control de lazo abierto.* En este régimen, la acción del control es autónomo de la salida; en estos sistemas se utiliza por lo general un ordenador con el propósito de conseguir la demostración anhelada. En otras palabras, los sistemas de lazo abierto están regularizados en base a el tiempo.

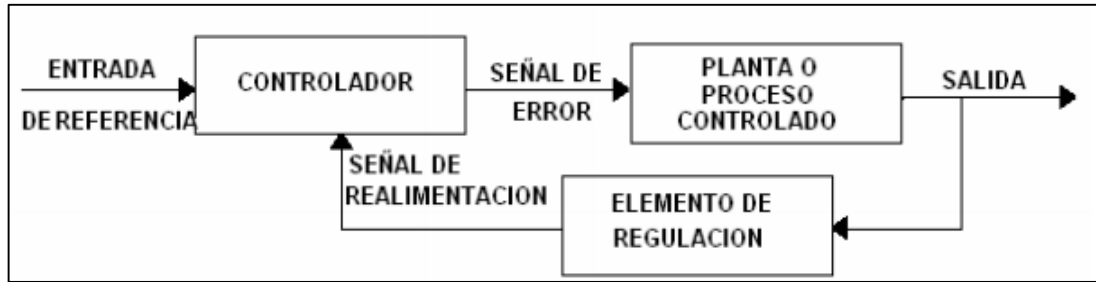
Imagen 2. 3 Sistema de control de lazo abierto.



Fuente. Pérez, M; Pérez, A y Pérez, E (2007)

b) *Sistema de control de lazo cerrado.* En este sistema el ejercicio de la salida; es decir, se implementa un sensor donde se revela la respuesta real y se compara con una reseña a modo de entrada; es por esto, que este sistema es considerado un sistema retroalimentado (Hernández, R 2010. Pag 5).

Imagen 2. 4 Sistema de control de lazo cerrado.



Fuente. Pérez, M; Pérez, A y Pérez, E (2007)

2.1.3 Fallas Eléctricas.

En este orden de ideas, procedemos con el término “*falla*” el cual Galván (2016) lo maneja como una combinación con la conexión a tierra; por esto, realiza una clasificación general de fallas, como lo son:

- a) *Falla de fase a fase*
- b) *Falla de fase a tierra.*

En donde, la *falla de fase a fase* puede producirse por una unión entre dos fases desiguales de un sistema; mientras que, las *fallas de fase a tierra* acontecen cuando una fase se conecta a tierra (Galván, A 2016).

Así pues, Acuña, D (2017) expone que las fallas que se pueden exhibir en los sistemas eléctricos directos pueden ser de tipo *asimétricas* o *simétricas* y *serie* o *paralelo*; en donde, las *fallas en serie* se exhiben cuando las líneas soportan una desavenencia sin implicar a tierra; así pues, las *fallas en paralelo* se presentan cuando existe un cortocircuito entre fases o a tierra. Ahora bien, las *fallas simétricas* son causadas por condiciones

atmosféricas donde se provocan fallas en el sistema trifásicos, los cuales representan el mayor número de recurrencias en los sistemas.

A continuación (*tabla 2.1*), se muestran los tipos de fallas que se presentan con mayor frecuencia.

Tabla 2. 1 Tipos de fallas eléctricas

N° FALLA	TIPO DE FALLA	DESCRIPCION
Falla 1	MONOFASICA A TIERRA	Falla en la fase A
Falla 2		Falla en la fase B
Falla 3		Falla en la fase C
Falla 4	BIFASICA	Falla entre las fases AB
Falla 5		Falla entre las fases BC
Falla 6		Falla entre las fases CA
Falla 7	BIFASICA A TIERRA	Falla entre las fases AB a tierra
Falla 8		Falla entre las fases BC a tierra
Falla 9		Falla entre las fases CA a tierra
Falla 10	TRIFASICA	Falla entre las fases ABC
Falla 11	TRIFASICA A TIERRA	Falla entre las fases ABC a tierra

Fuente. Tomado de Acuña, D (2017)

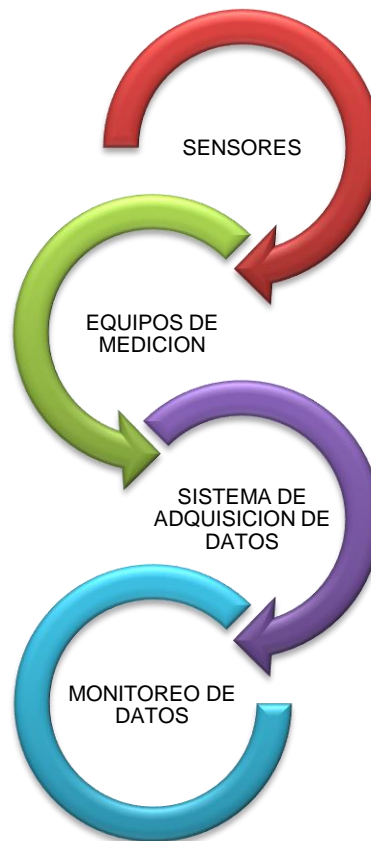
2.1.4 Sistema de Monitoreo.

Valle, O (2010) explica que el rastreo o monitoreo es un adiestramiento destinado a emparejar de modo sistemático la calidad del desempeño de un sistema, subsistema o asunto a efecto de encajar los ajustes o cambios oportunos y acertados para el logro de sus efectos y resultados en el medio. Así pues, el monitoreo se caracteriza por admitir estudios en el adelanto de las acciones para lograr los objetivos planteados; al igual que determinar los casos exitosos o fortuitos que se presenten al instante y de esta forma, lograr realizar los ajustes o implementar las soluciones oportunas. Cabe señalar, que actualmente se presentan dos tendencias en los sistemas de monitoreo, en donde, 1) se presenta un enfoque racional

del proceso de planificación y 2) con este enfoque lo que se busca con el monitoreo es comprobar la validez de una suposición planteada, retroalimentarla y alcanzar las disposiciones establecidas.

La necesidad de conocer el comportamiento en un sistema ya sea eléctrico, térmico, etc., llevó al desarrollo de diferentes tipos de instrumentos de medición. Las variables que se pueden monitorear son de diferentes tipos, como, por ejemplo, temperatura, humedad, presión, nivel de aceite en un contenedor, voltaje, corriente, potencia, entre otras. Un sistema de monitoreo permite la visualización y análisis de las variables, para verificar en todo momento, el comportamiento, en distintos estados de operación de un sistema. La *Figura 2.1* demuestra un diagrama jerárquico de los componentes del sistema.

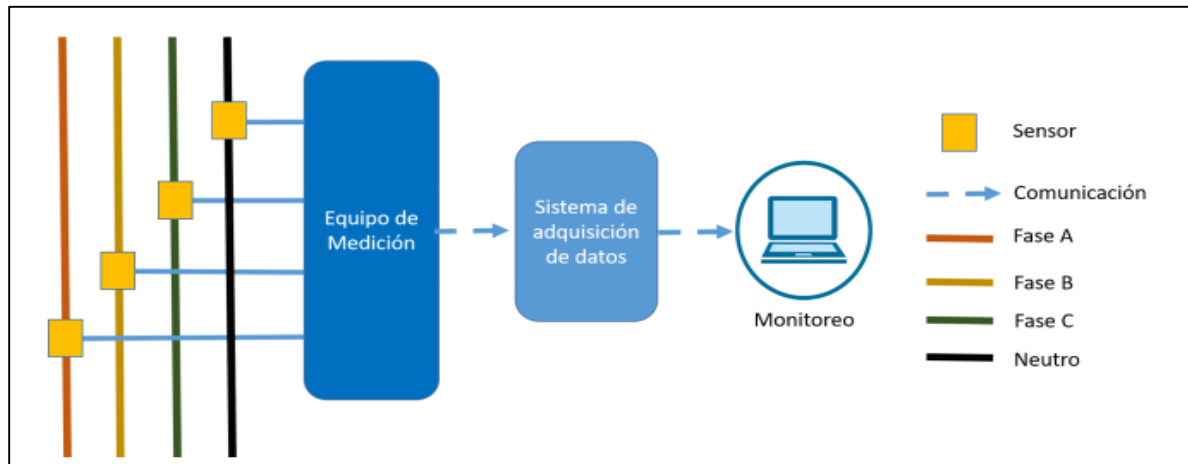
Figura 1.1 Componentes de un sistema de monitoreo.



Fuente. Covarrubias, M (2018)

Los sistemas de monitoreo pueden ser implementados en diferentes tipos de redes eléctricas incluyendo microrredes para poder determinar el comportamiento eléctrico de la misma. Tener registro de cómo se comporta una microrred permitiría saber cuándo es la mayor generación, el consumo en sus cargas y generar modelos de comportamiento de sus cargas para poder tener un control ante disturbios. Pueden ser utilizados tanto en la parte de generación de energía como también la parte de las cargas. En la *imagen 2.5* se muestra el esquema de un sistema de monitoreo eléctrico.

Imagen 2. 5 Sistema de monitoreo eléctrico.

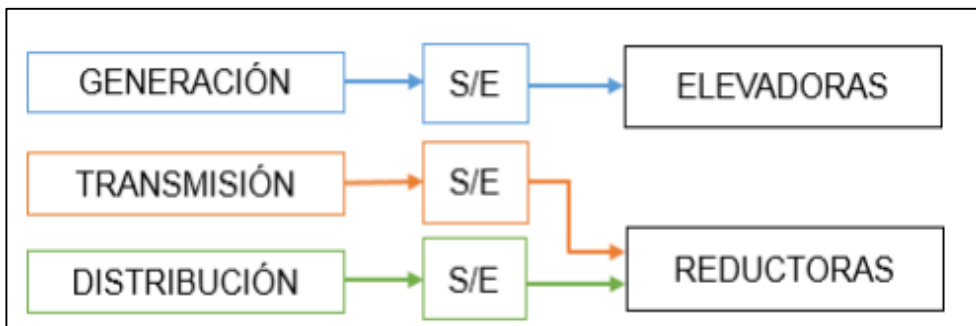


Fuente. Covarrubias, M (2018)

2.1.5 Subestaciones Eléctricas.

Así pues, Correa, W (2016), enuncia que las subestaciones consiguen ser catalogadas en elevadoras o reductoras, las cuales manipulan en cada una de las fases del sector. De este modo, las *Subestaciones Elevadoras*, son el tipo de subestación que varían los principales parámetros implementados en el asunto de generación de energía eléctrica, el cual se da por medio de los transformadores de potencia, en donde, se presenta una elevación del voltaje y a su vez, hay una reducción de corriente para que la fuerza pueda ser extasiada a grandes distancias con el mínimo de pérdidas. Mientras tanto, las *Subestaciones Reductoras*, a discrepancia de las subestaciones elevadoras estas lo que hacen es reducir por completo su voltaje y a su vez realizar un aumento en la corriente, para que así la potencia pueda ser repartida a distancias por medio de las líneas utilizadas para la transmisión y circuitos de distribución, (*Imagen 2.6*).

Imagen 2. 6 Subestaciones usadas en las etapas del sector eléctrico.



Fuente. Correa, W (2016)

Ayala y Cáceres (2015), describen que las subestaciones se logran clasificar bajo unos razonamientos que envuelvan los tipos efectivos dentro de nuestro medio:

Clasificación de las Subestaciones por su función dentro del sistema de potencia.

- *Subestación de generación.*
- *Subestación de transmisión.*
- *Subestación de subtransmisión.*
- *Subestación de distribución.*

Clasificación por su tipo de operación.

- I. *Subestación de transformación.*
 - *Subestación elevadora.*
 - *Subestación reductora.*
 - *Subestación de maniobra.*

Clasificación de las Subestaciones por la forma constructiva.

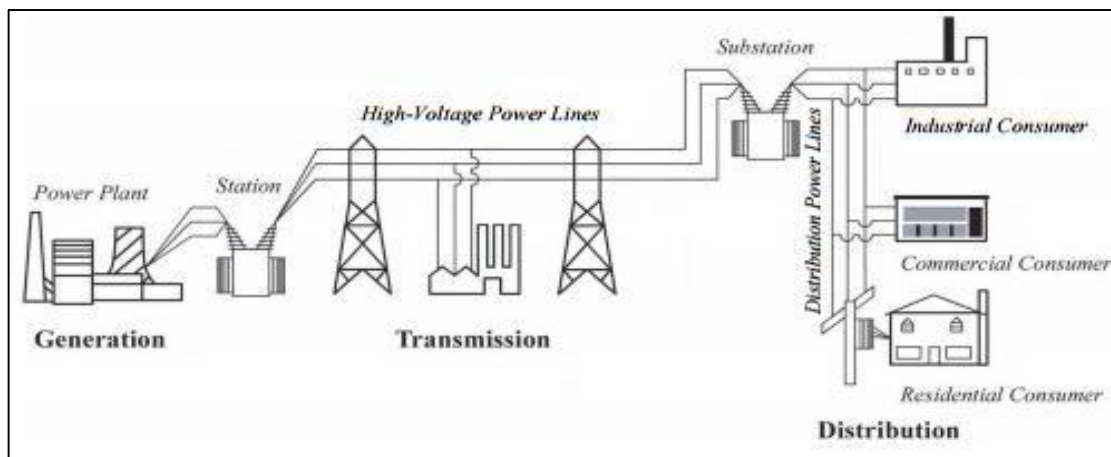
- *Por su montaje*

- a) *Subestaciones interiores.*
 - b) *Subestaciones exteriores o a la intemperie.*
- **Por su tipo de equipo**
 - a) *Subestación convencional.*
 - b) *Subestación encapsulada.*
 - c) *Subestación móvil.*

2.1.6 Transmisión y distribución.

De acuerdo, con lo expuesto en aparte anterior, según Espinosa (2015) al generarse la energía eléctrica se lleva a cabo el proceso de transporte por medio de preceptores tales como líneas de transferencia elevadas y cables subterráneos. La *imagen 2.7* presenta una ilustración de lo que corresponde a un diagrama de un sistema eléctrico completo.

Imagen 2. 7 Diagrama de sistema eléctrico.



Fuente: Diseño de sistema de control de subestación de alta tensión (Espinosa, 2015)

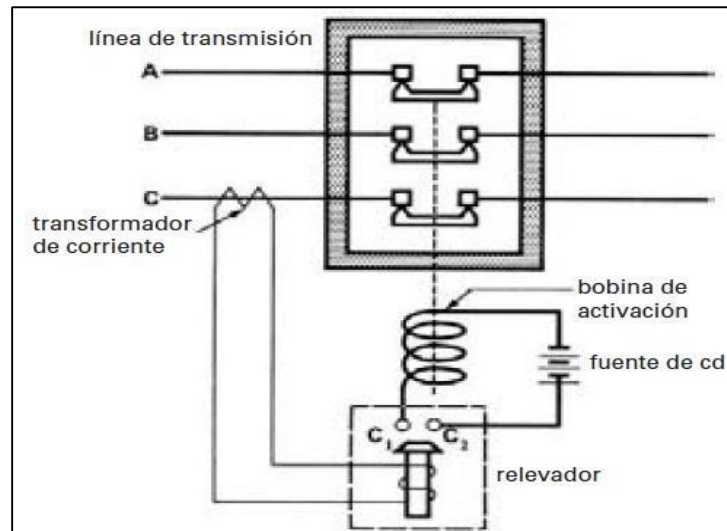
Se puede observar que la energía es trasladada a las subestaciones de transferencia las cuales tienen la intención de realizar cambios en los voltajes por medio de convertidores elevadores. Es a partir de este punto, que puede brindarse el suministro a la producción de mayor peso como es el caso de la metalúrgica entre otros. Sin embargo, es trasladada a las subestaciones de distribución y así se realiza un proceso de transformación de mediano a bajo voltaje a través de transformadores reductores, cuya cabida para la regulación del bajo voltaje que fluctúa entre 120/240 V monofásico hasta 600 V trifásico.

Transmisión, el ecuánime planteado acá es realizar un cambio en las líneas de voltaje mediante transformadores elevadores, una vez realizada esta operación, se procede a que la energía pase a través de la subestación los voltajes oscilen entre 115 kV y 800 kV (Narváez, 2013).

Distribución, la labor de estos regímenes consiste en repartir la electricidad a los usuarios finales; los alimentadores acá redimen la energía al nivel de voltaje solicitado por el cliente (Narváez, 2013). El proceso que permite la transmisión y distribución de la energía eléctrica generada pretende del uso de una gran construcción y recursos humanos que faciliten que este se lleve a cabo de forma exitosa (Contreras, 2013).

Cortacircuitos, este tipo de elementos se encuentran diseñados para permitir la interrupción de estándares normales o corrientes de cortocircuito. Su funcionamiento corresponde al de grandes interruptores que pueden ser abiertos y cerrados a través del uso de interruptores locales o mediante señales de telecomunicación apartados pronunciadas por el sistema de protección (Espinosa, 2015).

Imagen 2. 8 Uso de dispositivo de protección.



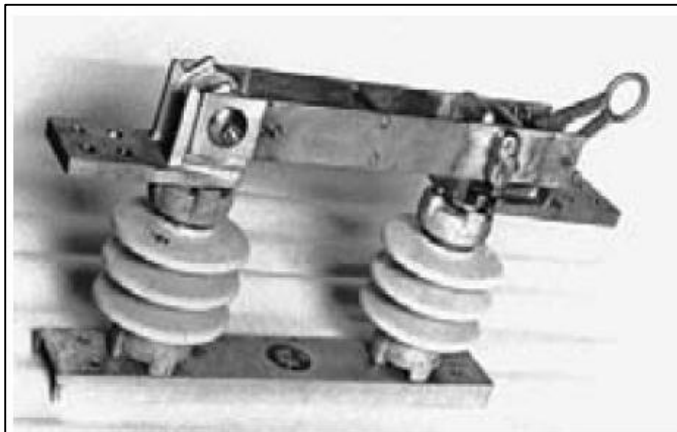
Fuente: Diseño de sistema de control de subestación de alta tensión (Espinosa, 2015)

A través de la *imagen 2.8* Espinosa (2015) expone que se puede observar que el transformador relevador se encuentra acoplado al secundario de un alterador de corriente. Así mismo, el principal lleva a cabo la conducción de la corriente de línea del período que tiene que ser resguardada; motivo por el cual, si esta corriente sobre pasa los límites establecidos, las corrientes secundarias harán que los contactos se cierren o colapsen.

Cabe resaltar, que los tipos de cortacircuitos más relevantes son: los cortacircuitos de aceite, el cortacircuitos de aire comprimido, el cortacircuitos SF6 y el cortacircuitos de vacío.

- **Interruptores de desconexión**, estos interruptores son aquellos que no pueden formar una dificultad en la corriente y esencialmente facilitan el aislamiento de convertidores y líneas de cesión de una red cargada (Landy, 2015).

Imagen 2. 9 Interruptor de desconexión.

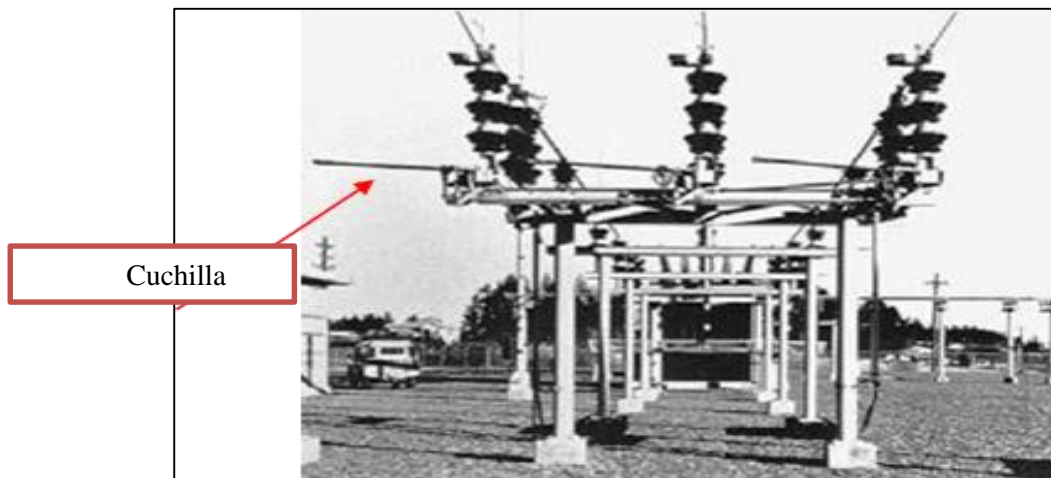


Fuente: Diseño de sistema de control de subestación de alta tensión (Espinosa, 2015)

De acuerdo con lo manifestado por Espinosa (2015), en la *imagen 2.9* se logra exponer un mando de desconexión de 2000 A y 15 kV. Este se encuentra tripulado con un seguro que permite impedir que el interruptor se cale por las penetrantes fuerzas electromagnéticas que conducen a los cortocircuitos.

- ***Interruptores de conexión a tierra.*** Son mandos de seguridad que se encargan de garantizar que una ranura de transmisión se encuentre acoplada a la forma efectiva a tierra, esto, mientras se lleva a cabo el proceso de reparación. Es a través de la *imagen 2.10* donde se puede observar el uso de un interruptor trifásico con las hojas en posición abierta (horizontal) (Landy, 2015).

Imagen 2. 10 Modelo interruptor trifásico.

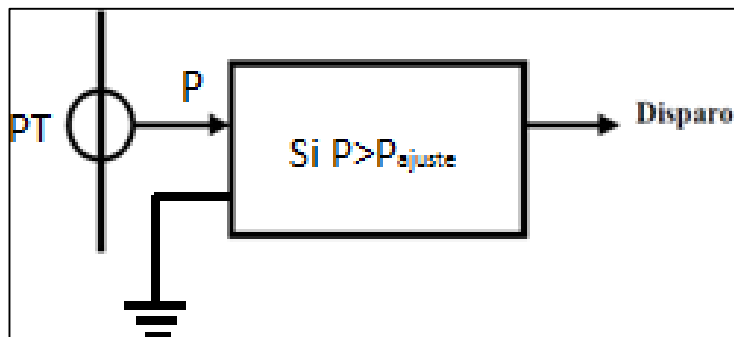


Fuente: Desarrollo de modelo de sistema de control y monitoreo de para metros operacionales de trasformador de potencia (Landy, 2015).

- **Relevadores.** Este elemento corresponde a un aparato eléctrico que marcha como un interruptor pero que es maniobrado eléctricamente. El “relé” como es conocido, consiente en abrir o cerrar empalmes mediante un electroimán. De este modo, se presentan algunos relevadores antiguos donde su principio de operación es completamente electromecánico y que escasamente siguen operando en algunas subestaciones.

Relevadores de protección contra sobrevoltajes: El objetivo de este tipo de relevadores es proteger frente a eventualidades de sobrevoltajes y establecer límites de los voltajes que se obtienen mediante transformadores y algunos equipos eléctricos producto de descargas eléctricas atmosféricas (Espinosa, 2015).

Imagen 2. 11 Diagrama relés contra sobrevoltajes.

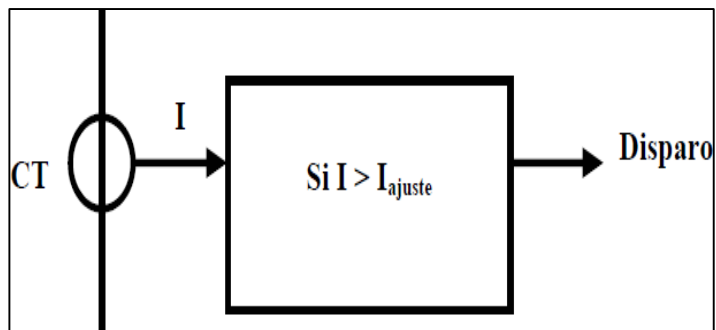


Fuente: Diseño de sistema de control de subestación de alta tensión (Espinosa, 2015).

Es posible observar a través del diagrama presentado en la *imagen 2.11* como el relé quedará empadronando al voltaje entre el transformador de voltaje y la tierra, para que dispare un interruptor al momento de cumplir con la condición $P > P_{ajuste}$.

Relevadores de protección contra sobre corrientes: De acuerdo con lo expuesto por Espinosa (2015) la labor de un relé de sobre corriente no es nada compleja; ya que, su trabajo pende de dos variables básicas: 1) El nivel de corriente mínima de operación y 2) las propiedades en relación con el tiempo de operación.

Imagen 2. 12 Diagrama de bloque de relé contra sobre corrientes.



Fuente: Diseño de sistema de control de subestación de alta tensión (Espinosa, 2015).

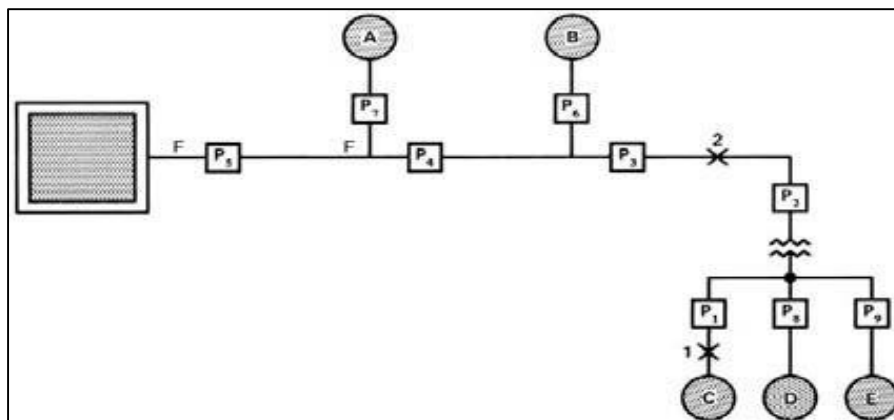
En este sentido la *imagen 2.12* permite observar a través del diagrama la operación realizada, en donde el regulador está acoplado en serie al transformador de corriente y de esta forma, manifestar cualquier elevación en la intensidad de la corriente.

- **Sistemas de protección.** Este tipo de sistemas tiene por objetivo inhabilitar el servicio de energía con una notable velocidad; a su vez, también limita los daños que se puedan efectuar en los equipos (Landy, 2015).

Coordinación de un sistema de protección: En el momento en el que se presentan fallas eléctricas, la corriente incremento de forma abrupta, con el objetivo de evitar la generación de corriente por sobrecarga (De la Torre, Cepeda y Herrera, 2013).

De acuerdo con lo expuesto por Andreula (2010), un sistema coordinado de la manera correcta solo permite que los elementos adyacentes al cortocircuito se abran; mientras tanto el resto queda inmovilizado; para lograr dicha acción, la corriente y el tiempo se conjugan de tal forma que el dispositivo busca proteger las líneas y los equipos que se encuentren en ejecución.

Imagen 2. 13 Esquema general de sistema de distribución.



Fuente: Desarrollo de modelo de sistema de control y monitoreo de para metros operacionales de trasformador de potencia. (Landy, 2015).

La *imagen 2.13*, expone un sistema de distribución simple que se encuentra compuesto por elementos como: alimentador primordial F-F que se deriva de una subestación y se encarga de abastecer a un grupo de subalimentadores; así mismo, estos se encargan de suministrar vigor a las cargas A, B, C, D y E. De este modo, un conector protector está situado en la entrada de cada subalimentador, por lo cual, si se presenta una eventualidad, solo el subalimentador se desconectará del sistema.

Sistema de protección a través de relevadores: en este punto se requiere visualizar la manera en la que opera un método de protección establecido por relevadores, estos, tienen como ocupación causar suspensión rápida del servicio de energía (Espinosa, 2015). Por otro lado, De la Torre, Cepeda y Herrera, (2013), exponen que un equipo de protección por medio de relevadores brinda una importante ayuda, debido, a que los interruptores son capaces de desconectar un elemento que presenta un defecto cuando el relé así lo indica. Así mismo es necesario precisar que aun cuando la función principal de la protección por relevadores corresponde a la reducción de cada uno de los efectos generados por la presencia de cortocircuitos, nacen otras condiciones poco convencionales de ejercicio que también precisan de esta defensa.

2.1.7 Control Automático de Subestaciones.

Para lograr generar la sistematización en una subestación eléctrica, es ineludible considerar el modo de diferentes conectores que facilitan el acceso a los componentes dispuestos para la operación regular por medio del uso de distintas tecnologías disponibles. Los sistemas de automatización para una subestación se encargan de incorporar Dispositivos Electrónicos Inteligentes o IED quienes se encargan de emitir signos tanto de entrada como

de salida en todo el sistema, y que, a su vez, se va ejecutando el control de este (Espinosa, 2015).

2.1.8 Monitoreo de Subestaciones Eléctricas.

Al entrar a hablar de subestaciones es necesario precisar que estas son un elemento fundamental para lograr generar la cesión y repartimiento de energía eléctrica hacia los consumidores finales, debido a esto, es que se ve la incapacidad de realizar un seguimiento inquebrantable y obtener indagación acerca de la marcha de los distintos dispositivos que disponen las subestaciones eléctricas, posterior a esto, con la información obtenida durante el monitoreo para facilitar el proceso de toma de disposiciones para efectuar las presentaciones de acción y optimización de la confiabilidad de las subestaciones, sometiendo así la posibilidad de desabastecimiento de energía eléctrica (De la Torre, Cepeda y Herrera, 2013).

Según Landy (2015), los métodos en las subestaciones pueden ser de representación o carácter electromecánico, sin embargo, con el transcurrir del tiempo va aumentando su grado obsolescencia permitiendo la entrada de nuevas tecnologías. En la novedad de la tecnología en la industria eléctrica se ha evidenciado una mejoría de gran magnitud, logrando desarrollar conectores electrónicos de control, defensa, lucro de datos, entre otros, de esta forma las nuevas tecnologías permiten ejecutar acciones de control y monitoreo de forma remota, en donde los procesadores con esta aplicación inteligente velan con estrados computacionales, los sistemas operativos, redes de comunicación e interfaces gráficas de usuario.

2.1.9 Monitoreo de Transformadores eléctricos de Potencia.

A lo largo del tiempo en el que se encuentran operando, los convertidores eléctricos de potencia son susceptibles a la implementación de esfuerzos mecánicos y eléctricos que disminuyen la capacidad del procedimiento de retraining; las primordiales causas de esto son: una temperatura descomunal, la presencia de oxígeno y humedad que combinadas con los esfuerzos eléctricos activan el asunto de degradación (Landy, 2015).

El asunto de descubrimiento de algunos tipos de fallas puede realizarse a través del monitoreo en línea de las medidas que son claves, para determinar el estado del aislamiento del alterador de potencia (Liñán y Pascasio, 2010).

2.1.10 Monitoreo en Línea de Transformadores eléctricos de Potencia.

El uso de métodos de monitoreo en línea, es decir, en tiempo real para convertidores eléctricos de potencia, consiste básicamente en el uso de sensores, conectores de adquisición de datos, software para la administración de información y técnicas para la estimación del cambio de operación de los transformadores (Liñán y Pascasio, 2010).

De acuerdo con lo anteriormente expuesto se puede afirmar que los sistemas de monitoreo en línea de convertidores de potencia adoptan un razonamiento característico que se logra ilustrar en la *imagen 2.14*, en la cual se pueden observar las vitales partes constitutivas del mismo.

Imagen 2. 14 Diagrama de tipología de sistema de monitoreo de transformadores.



Fuente: On-Line Monitoring System for Power Transformers. (Alves, 2004)

Es necesario tener en cuenta, que las medidas más significativos dentro del ejercicio de un alterador de potencia, es donde se monitorean los siguientes factores:

- ◆ La gabela y las inconstantes de la operación.
- ◆ La generación de gases disueltos en el aceite aislante.

2.1.11 Mediciones de variables.

El proceso de comprobación de las distintas versátiles que se reflexionan importantes para el discernimiento de las etapas del alterador de potencia se lleva a cabo por medio de sensores y/o transductores que se encuentran ubicados por lo general cerca del transformador de potencia. De este modo, Alves (2004) expone que el cotejo de variables en el régimen de monitoreo debe tener en comedimiento aspectos como:

- ◆ Variables a ser medidas.
- ◆ Arquitectura adoptada para la medición de las variables.

2.1.12 Arquitectura para Mediciones de variables.

Así pues, según lo expuesto por Landy (2015), la comprobación de las variables durante el tiempo de operación de un transformador se lleva a cabo a través del uso de sensores o algún tipo de transductor de señal, los cuales se obtienen al encontrarse acoplados por medio de dos diseños principales como lo son:

- ◆ Una arquitectura fundada en un aparato centralizador limitado en la entidad del alterador, totalmente estos elementos suelen ser PLC's (Programmable Logic Controllers, Controlador Lógico Programable)".
- ◆ Por otro lado, una arquitectura dispersa basada en IED's localizados en el cuerpo del transformador (Alves, 2004).

Para lograr una adecuada elección de la arquitectura que será utilizada para llevar a cabo la comprobación de inconstantes que se deben tener en cuenta las particularidades congénitas a cada una de las elecciones presentadas en la *Tabla 2-2*. Por lo tanto, los beneficios que se consiguen con el uso de la arquitectura descentralizada la tornan recomendables, y, por lo tanto, para el detalle de mayor seguridad y mínimos costos de sustento ante los sistemas de monitoreo (Alves, 2004).

Tabla 2. 2 Características de arquitectura centralizada y descentralizada.

Arquitectura Centralizada	Arquitectura Descentralizada
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Concentra la información de todos los sensores y las remite al siguiente bloque del método de monitoreo. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aquí los sensores son IED expiden las pesquisas claramente al próximo bloque del sistema de monitoreo.
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sistema centralizado, expansiones y sustentos más difíciles. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sistema naturalmente modular, proporcionando expansiones y sostenimiento.
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Los sensores tienen que ser diligentes a enlace al PLC, produciendo fortuitas clonaciones de sensores y costos añadidos en el sistema de monitoreo. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ IED ya efectivos en sistemas de control y amparo logran ser completados al sistema de monitoreo y provecho de datos, sorteando costos de sensores adicionales.
<ul style="list-style-type: none"> ▪ El dispositivo centralizador (PLC) personifica costos adicionales de instalación, clasificación y manutención para el sistema. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ No existe el dispositivo centralizador anulados costos adicionales.
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Grieta en el PLC puede conducir el desgaste de todas las ocupaciones del sistema. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Falla en un IED conduce detrimento sólo de fracción de las funciones demás IED persisten en servicio.
<ul style="list-style-type: none"> ▪ El aparato centralizador (PLC) es un puesto de falla añadida para el sistema. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ No concurre el dispositivo centralizador, descartando así un potencial punto de falla.
<ul style="list-style-type: none"> ▪ La temperatura de ejercicio máximo del PLC típica 55°C. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Temperatura de operación -40 a +85°C.
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Disposición en la sala de control, la gran cuantía de cables de interconexión con el patio. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Establecimiento típico junto al equipo principal, en el patio sólo comunicación serial.
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Nivel de aislación típico 500V no adecuado para el ambiente de subestaciones de alta tensión. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Nivel de aislación típico 2,5kV proyectado para el ambiente de subestaciones de alta tensión.
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Puertas de comunicación serial no soportan los picos, impulsos e inducciones existentes en la subestación. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Puertas de comunicación serial proyectadas para el ambiente de subestación, permitiendo el uso de par-trenzado para comunicación.
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Operan con protocolos de comunicación industriales. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Protocolos de comunicación específicos para utilización en sistemas de potencia.

Fuente: Desarrollo de modelo de sistema de control y monitoreo de para metros operacionales de trasformador de potencia. (Landy, 2015).

Teniendo en cuenta esto, se cuenta con la posibilidad de obtener un máximo beneficio de IED junto al convertidor, con el fin de realizar las ocupaciones de inspección y vigilancia como origen de las identificaciones (sensores) para el sistema de monitoreo.

3. Marco Metodológico

3.1 Tipo de Investigación

En este diseño del sistema cerrado, se implementa un estudio de tipo *descriptivo, cuantitativa y de campo*. Por lo cual se refiere a cuantitativa porque se recolectan datos numéricos; a su vez, es de tipo descriptiva porque se está describiendo un proceso a lo largo de toda la investigación para obtener unos objetivos claros; y por último, es de campo porque todos los datos son recolectados directamente del sitio en donde se ejecuta la acción (Tamayo, 2013).

3.2 Diseño de la Investigación

Para el caso de la presente indagación se llevó a cabo el desarrollo de un diseño *no experimental*, al buscar por medio de la delineación de un sistema de control automatizado para el monitoreo y seguimiento de fallas en subestaciones de la compañía FENOCO estableciendo la viabilidad de su uso como alternativa para generar los ajustes necesarios a la actividad desarrollada en la búsqueda de optimización de los resultados, esto se realizó procurando siempre no realizar manipulación alguna a los instrumentos, las variables o los resultados por las personas encargadas de la investigación en la búsqueda de acuerdo con lo aventurado por Hernández et al (2010), el cual afirma que los estudios con diseño no experimental se ejecutan sin llevar a cabo la administración deliberada de inconstantes y solo se procede a la observación de los fenómenos establecidos con el fin de realizar el análisis de los mismos.

A través de los estudios no experimentales no se genera ningún tipo de situación, solo se observan y examinan contextos efectivos, las cuales no han sido inducidas intencionalmente a través del proceso investigativo. De este modo, esto no se lleva a cabo la manipulación de las variables independientes, ya que estas simplemente ocurren, no se tienen ningún tipo de control directo, ni se puede influir sobre ellas, dado que estas ocurrieron de la misma forma que los efectos generados (Hernández et al, 2010).

Para llevar a cabo los objetivos específicos y así cumplir a plenitud el objetivo general se siguieron los siguientes pasos:

- Se realizó el acopio, la sistematización y el procesamiento de indagación bibliográfica y documental.
- Luego, se efectuó un proceso de exploración, acogida y estudio de la información por objetivo planteado, así como se denota a continuación:
 - Se realizó un diagnóstico de la situación actual del sistema eléctrico, para ello se ejecutó la identificación de los equipos, se efectuaron visitas a campo, de donde se evaluó el estado actual de este por medio de la aplicación de la matriz DOFA como un medio para evaluar las debilidades, las fortalezas, las oportunidades y las amenazas del sistema actual de la empresa; además de ello, se efectuó un registro fotográfico del equipo y con todo esto se realiza un análisis cualitativo del sistemas
 - Luego se procedió a definir las variables del sistema de control, para esto fue necesario realizar un análisis del sistema y a partir de ello, se identificaron cada una de las variables que intervienen en este sistema.

- Mas adelante se desarrolló el sistema de monitoreo de la Subestación, aquí se buscaron fuentes de información para alimentar la investigación con teorías y noticias relacionada con nuestro tema en el proyecto; para luego proceder a diseñar con el software *Labview*, una aplicación visual - gráfico del sistema de monitoreo en donde se manipulen las variables de control determinadas en el apartado anterior.
- Y, por último, se realiza el análisis de costo beneficio del sistema, aquí se elaboró un análisis costo/beneficio de la implementación de las mejoras propuestas al sistema, teniendo en cuenta recursos físicos, personal y el hardware para poner en funcionamiento sistema de control; aquí se tuvieron en cuenta diversos costos para lograr calcular el valor actual neto de la empresa y la tasa interna de retorno.

3.3 Población y Muestra

Población: Empresa Ferrocarriles del Norte de Colombia S.A FENOCO, específicamente la subestación eléctrica ubicada en Fundación – Magdalena.

3.4 Técnica e Instrumentos de Recolección de Datos

En este estudio se implementará una investigación mixta, por lo cual Obez, Óvalos y Steier (2018), expresan que las técnicas e instrumentos de recolección de datos que acá se efectúan son: *la observación directa e investigación de campo*. Dentro del desarrollo de esta investigación, se espera con estas técnicas el diseño constructivo y operativo parte de la descripción real del proceso de monitoreo y seguimiento que se le viene dando a las

subestaciones eléctricas de la empresa FENOCO, esto con la finalidad de lograr un análisis sistemático del problema, partiendo de hechos y situaciones presentes en la empresa, y de este modo, diseñar un sistema de control más efectivo, eficiente y eficaz.

4. Análisis e Interpretación de los Resultados

Al realizar el estudio sobre el diseño de un sistema de control automatizado para el monitoreo y seguimiento de fallas en subestaciones de la empresa FENOCO, se pudo observar que el desarrollo de cada una de las actividades concernientes a dicho proceso, requiere una serie de elementos que facilitan y garantizan la adecuada ejecución de acciones necesaria ante la presencia de eventos o incidentes que requieren una acción rápida en pro del funcionamiento de los equipos y el adecuado desarrollo del proceso.

Con estos datos recopilados, y efectuando los procesos de observación en campo se logran desarrollar las distintas actividades que se involucran dentro del proceso de monitoreo y seguimiento de las fallas presentadas en la subestación de estudio, esto con el objetivo de determinar a ciencia cierta cuál es la mejor opción para suplir la necesidad planteada al interior de la empresa Ferrocarriles del Norte de Colombia S.A. FENOCO.

4.1 Diagnóstico de la Situación Actual del Sistema Eléctrico

En la actualidad el sistema de control de transferencia eléctrica con el que cuenta la Empresa Ferrocarriles del Norte de Colombia S.A. FENOCO para llevar a cabo la transición de energía comercial a energía de emergencia o viceversa, en el momento en que la situación conlleva a dicho cambio, no corresponde a un sistema con la actualización necesaria para el funcionamiento óptimo según las características de una empresa con los requerimientos técnicos que esta posee. Disponibilidad del 100 % de energía para todos los equipos vitales del sistema ITCS. En base a esto los sistemas están alimentados con bancos de baterías que soportan las transiciones de energía comercial a energía de emergencia (Energía suministrada por una planta eléctrica) o viceversa de una conmutación de energía. En el caso

de una ausencia de energía comercial lo ideal es que el sistema de respaldo entre en funcionamiento, pero si este sistema de respaldo falla va a ser invisible porque los equipos seguirán trabajando con el sistema de suministro para las transiciones (Bancos de baterías) y solo al descargarse las baterías es que se va a evidenciar las fallas al apagarse los equipos de control y comunicación. Particularmente no se tiene forma de conocer a la distancia en el centro de control principal cual suministro de energía se encuentra en uso y cual energía se encuentra ausente.

Actualmente no existe la manera de monitorear de forma remota el uso que se está dando a la energía, por lo que es imposible determinar de esta forma a través de cual energía se están realizando las actividades o así mismo establecer remotamente los niveles de voltaje alterno.

De acuerdo con la situación tecnológica actual de la empresa, con referencia al monitoreo o verificación de los estados de los suministros de energías anteriormente mencionados, se hace necesaria la intervención humana recurriendo a funcionarios de la compañía responsable de otras funciones ajenas a esta, con el objetivo de realizar la inspección a los equipos ubicados en la habitación de la subestación, esto, sin considerar el tipo de formación con la que cuenta el funcionario encargado de realizar tal actividad; por ende el reporte puede ser equivoco debido a los conocimientos técnicos en electricidad.

4.1.1 Funcionamiento del Sistema

Las estaciones Férreas de la Empresa Ferrocarriles del Norte de Colombia S.A. FENOCO cuentan con una subestación que realiza la función de reductor al ser el responsable de disminuir el voltaje de 13,2 kV a 220 V (*Ver Imagen 4.1*).

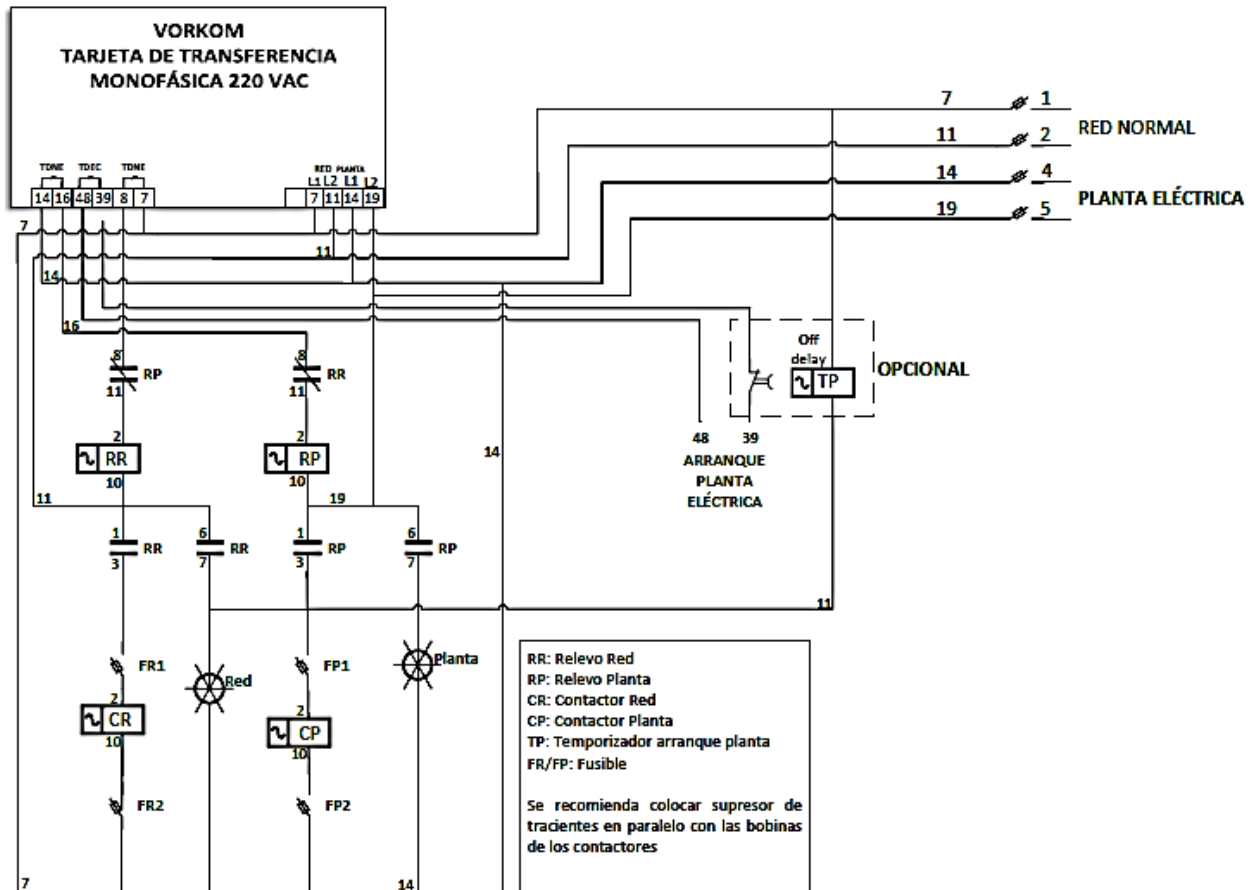
Imagen 4. 1 Ubicación de la subestación de la Empresa FENOCO.



Fuente: Imágenes tomadas en la empresa FENOCO

Dentro de estas subestaciones se cuenta con un sistema de transferencia automática marca Vorkom (*Ver Imágenes 4.2*), la cual es responsable de realizar el proceso de medición del voltaje de la energía comercial y energía de respaldo de la planta eléctrica que se encuentra en uso, esto con el objetivo de determinar si se cumple con los parámetros mínimos y máximos para su óptimo funcionamiento y de este modo identificar la necesidad de llevar a cabo la activación del contactor de red comercial o de la planta eléctrica (*Ver Imagen 4.3*), el cual cuenta con la función de llevar a cabo el cierre del circuito de energía comercial o de emergencia y posterior a esto proceder con la energización de los aparatos ineludibles para la maniobra de la estación.

Imagen 4. 2 Transferencia Automática por modulo VORKOM.



Fuente: Imágenes suministradas por la empresa FENOCO

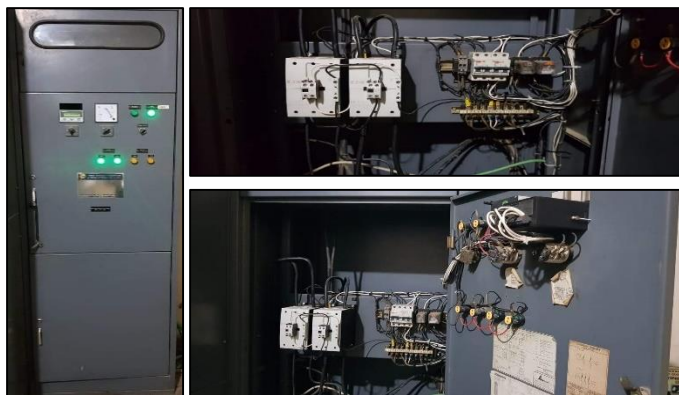
Imagen 4. 3 Contactores para cierre del circuito de energía.



Fuente: Imágenes tomadas en la empresa FENOCO

En el escenario en el que se presente una falla en la energía comercial el régimen del módulo Vorkom se encarga de realizar el cierre automático de un contacto que es el responsable de activar el sistema de encendido de la planta eléctrica, la cual, al encontrarse encendida, el mismo módulo Vorkom procede a llevar a cabo la verificación de los parámetros mínimos y máximos del voltaje que llega desde el generador de la planta eléctrica y de este modo realizar la activación del contactor de emergencia para energizar los equipos de la estación.

Imagen 4. 4 Sistema de Transferencia automática y componentes.





Fuente: Imágenes tomadas en la empresa FENOCO

Es necesario precisar que el proceso antes mencionado también puede llevarse a cabo de forma inversa una vez retorne la energía comercial a la estación Férrea. A través de este proceso inverso se genera la desactivación del contactor de emergencia y posteriormente se activa el contactor de energía comercial y luego, se lleva a cabo la apertura del contacto de activación de la planta eléctrica para apagarla.

Es precisamente en este punto en el que se genera la necesidad de contar con un sistema que facilite el proceso de monitoreo de la energía que se encuentra en uso, esto debido a que a través del proceso antes mencionado no existe la posibilidad de identificar el tipo de energía que está siendo utilizada en los procesos y que está siendo esta suministrada a los equipos, así mismo, es imposible que por medio de dicho proceso se pueda determinar el valor de los voltajes que se encuentran presentes en cuanto a la calidad de energía otorgada.

A continuación, se efectúa un análisis del contexto actual del sistema eléctrico de manera cualitativa utilizando como recurso una matriz DOFA que permite encontrar los puntos débiles y fuertes de la compañía para el esbozo de un sistema de control, en donde se monitoree y se les brinde seguimiento a las fallas eléctricas en la subestación de la empresa FENOCO. La matriz identificar las debilidades, oportunidades, fortalezas y amenazas que tiene el sistema actual de la empresa.

Tabla 4. 1 Matriz DOFA del sistema

OPORTUNIDADES	AMENAZAS
 Se cuenta con un sistema de monitoreo local en la red de transferencia de manera presencial.	 Tiempo de respuesta inadecuado para solución de un daño.

<ul style="list-style-type: none"> ✚ El sistema cuenta con un monitoreo local para el sistema de emergencia. ✚ El tiempo de respuesta de anomalías o fallas en la transferencia depende del reporte oportuno de la vigilancia al centro de control. 	<ul style="list-style-type: none"> ✚ Perdida para la empresa por paradas inesperadas en los trenes debido al cese del encendido de los equipos. ✚ Antigüedad en equipos e instalaciones eléctrica.
FORTALEZAS	DEBILIDADES
<ul style="list-style-type: none"> ✚ Personal capacitado e idóneo para la ejecución de las tareas. ✚ Se puede realizar un monitoreo local del voltaje. ✚ Control directo de apagado y encendido de la planta. ✚ Permite el cambio de parámetros para el control de los tiempos de entrada y salida del voltaje de los contactores. 	<ul style="list-style-type: none"> ✚ No se cuenta con un sistema de monitoreo para el diagnóstico de la transferencia. ✚ No existe un plan de evaluación de desempeño que permita identificar aspectos de mejora. ✚ No se puede realizar un control a distancia. ✚ No se puede monitorear de forma remota el sistema.

Fuente. Autor Propio (2021)

En la matriz DOFA expuesta en la Tabla 4.1 se denota la recopilación de información suministrada y analizada con anterioridad, esto indica un panorama completo de los factores internos y externos de la situación actual del sistema o del equipo, esto con el fin de mejorar y trabajar para fortalecer el sistema que se maneja en la empresa y el cual puede ser suministrado a otras que devenguen el mismo proceso productivo.

Con esta herramienta se le permite a la empresa FENOCO identificar las debilidades, las fortalezas, las oportunidades y las amenazas encontradas en la subestación, y de esta manera poder tomar las fortalezas y las oportunidades como apoyo al proyecto, mientras que las debilidades y las amenazas se buscan eliminar del proceso; determinando las estrategias más adecuadas para mejorar o desarrollar un sistema de monitoreo que permita visualizar los niveles de tensión, el funcionamiento de la planta si está activo y de esta forma evitar que el sistema ITCS se apague y se vea afectado la operación férrea en el tramo del

sector Fundación, generando paradas a las empresas carboneras tales como: Drummond, CNR, Prodeco y transporte de carga nacional San Felipe; que conllevan en pérdidas relacionadas en costos del producto por paradas no programadas, horas de recurso humano, mayor consumo de combustible en arranque y paradas y todo esto afecta directamente a la comunidad ya que estos cierran los paso niveles que se encuentran en el sector y la comunidad quedan incomunicadas.

4.2 Variables que Intervienen en el Sistema De Control

Un sistema de control y protección lo precisa la RAPE (2020), como un conjunto formado por dispositivos de medida, que indican, registran, señalizan, regulan, controlan de forma manual y automática los aparatos y los relés de protección que se encuentren en el sistema; estos a su vez, buscan verificar, proteger y ayudar a administrar un sistema de potencia. De este modo, en un sistema de control, su objetivo primordial es la de inspeccionar, vigilar y preservar la cesión y colocación de la energía eléctrica. De esta forma, un sistema de control tiene los siguientes requerimientos:

- ✚ *Facilidad de expansión.*
- ✚ *Automatización de funciones.*
- ✚ *Seguridad.*
- ✚ *Disponibilidad.*
- ✚ *Flexibilidad.*
- ✚ *Simplicidad.*

Por otro lado, Rodríguez, C (2015) expone que, al analizar un sistema de control se debe observar cada uno de los componentes (transductores, amplificadores, etc.) que forman

el sistema individual, que se encuentra distinguido por poseer variables de tiempo en relación con la entrada y salida.

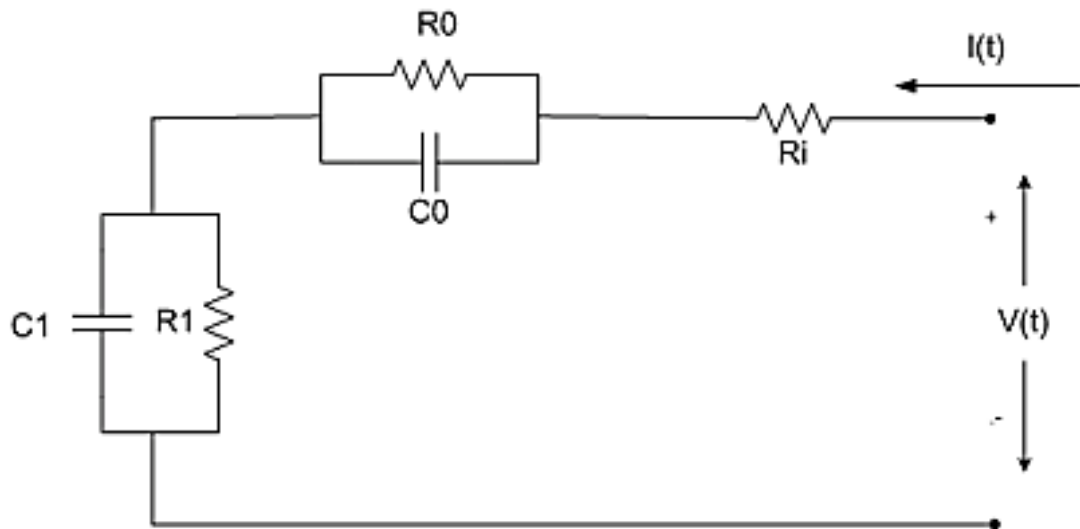
De este modo, las variables que intervienen en el diseño propuesto para el sistema de control para el monitoreo y seguimiento de las fallas eléctricas de la subestación de la empresa Fenoco en Fundación – Magdalena, son:

- ✚ Tensión de la planta.
- ✚ Tensión de las líneas.
- ✚ Tensión de las baterías.

Teniendo en cuenta estas variables, la que se tendrá en cuenta para controlar es la carga de la batería. De este modo, el monitoreo de los niveles y el estado de la tensión son críticos en la estación eléctrica, ya que no se puede monitorear el sistema todo el tiempo; por lo tanto, el monitoreo de los trenes del tramo concesionado por la empresa Fenoco son controlados a través de ITCS, que es un sistema de control de tráfico centralizado con señalización virtual y control positivo de la velocidad del tren, esos equipos son sensibles a las fluctuaciones eléctricas haciendo indispensable el suministro de energía ininterrumpida.

Ahora bien, esta variable se manipula a través de un banco de baterías, el cual es explicado por medio del modelo de Randles que se muestra en el circuito de la Imagen 4.5

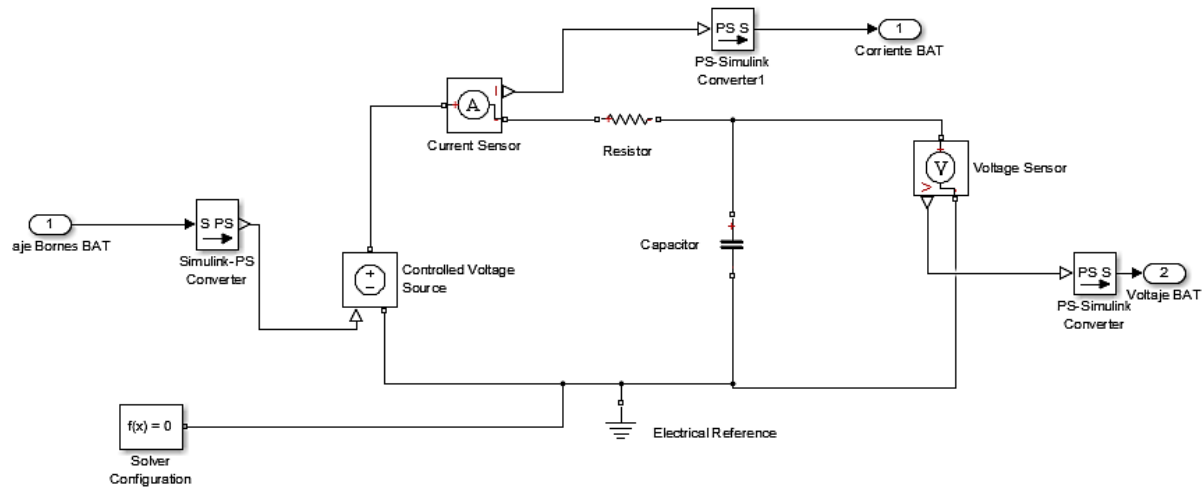
Imagen 4. 5 Modelamiento de la Batería.



Fuente. Autor Propio (2021)

Aquí, la batería se aproxima a un circuito RC de segundo orden como se evidencia en la imagen; por lo tanto, el modelamiento es un análisis de circuitos básico en el cual se halla la corriente en función a la tensión. En este proceso se utiliza la herramienta Simscape cual permite la simulación de la batería de una manera sencilla; cabe la pena recalcar, que aquí se utilizara el modelo de Randles debido a que sus parámetros se obtienen directamente de la hoja de datos correspondiente a la batería.

Imagen 4. 6 Diagrama Interno de la Batería de SimPowerSystem.



Fuente. Autor Propio (2021)

Ahora bien, normalmente encontrar un modelo matemático de una batería es difícil, debido a que los químicos no actúan de manera lineal; por lo tanto, se presentan equivalentes en forma de circuitos, en donde los valores de las resistencias y de los capacitores son obtenidos por medio de experimentación o directamente del datasheet. Así pues, se escoge el equivalente de Randles para la carga de la batería y se hallan los valores que se definen en la ecuación de carga que está establecida por:

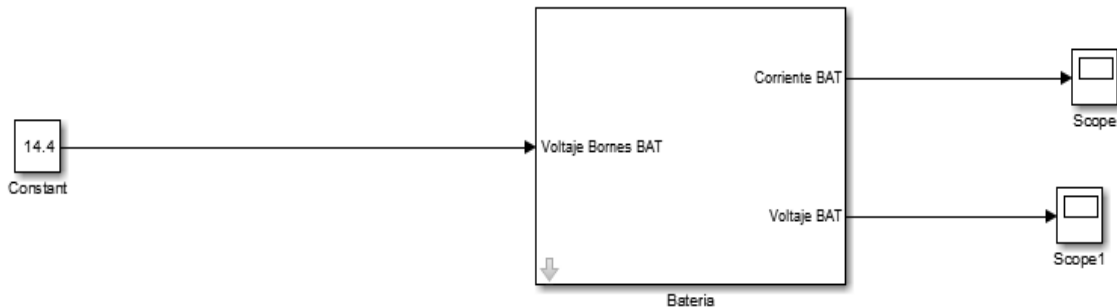
$$Q = C * V$$

Donde Q es la carga, C es la capacitancia y V es la tensión de alimentación. En la batería la Q es la carga en amperios/hora, C es la capacidad de almacenamiento y V es el voltaje que hay desde su mínimo voltaje de carga hasta su tensión de carga; es decir:

$$\Delta V = V \text{ final} - V \text{ inicial}$$

Para la manipulación de la variable se escoge la herramienta de SimPowerSystem de Matlab/Simulink debido a la sencillez de la simulación y que es compatible con los demás modelamientos hechos en este trabajo.

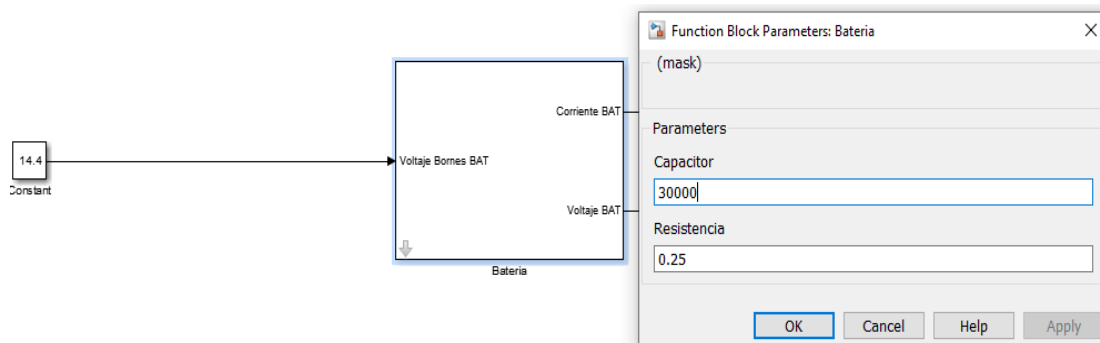
Imagen 4. 7 Simulación de una Batería en SimPowerSystem.



Fuente. Autor Propio (2021)

Así pues, la herramienta Simscape permite que los elementos de su librería le sean inicializados con valores iniciales como es el caso del capacitor C_1 que debe ser inicializado según el modelo de Randles en la tensión que determine su carga.

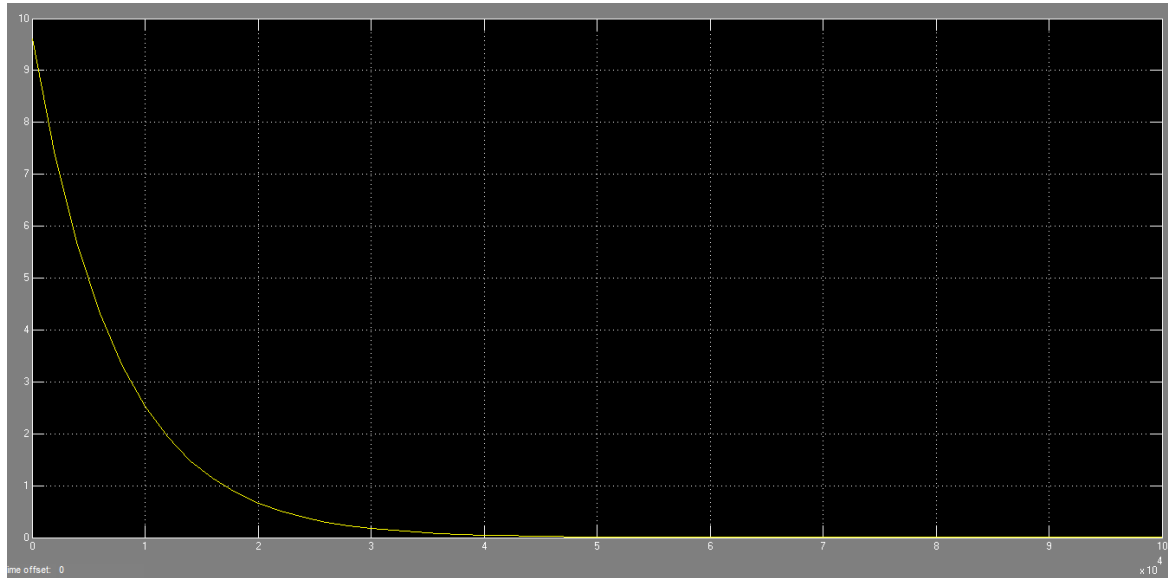
Imagen 4. 8 Inicialización de Componentes.



Fuente. Autor Propio (2021)

De este modo, al momento de simular el sistema con los valores calculados, se observa que el comportamiento del voltaje y la corriente se acerca a el de voltaje y corriente expuesto en la hoja de datos de la batería Victron Energy.

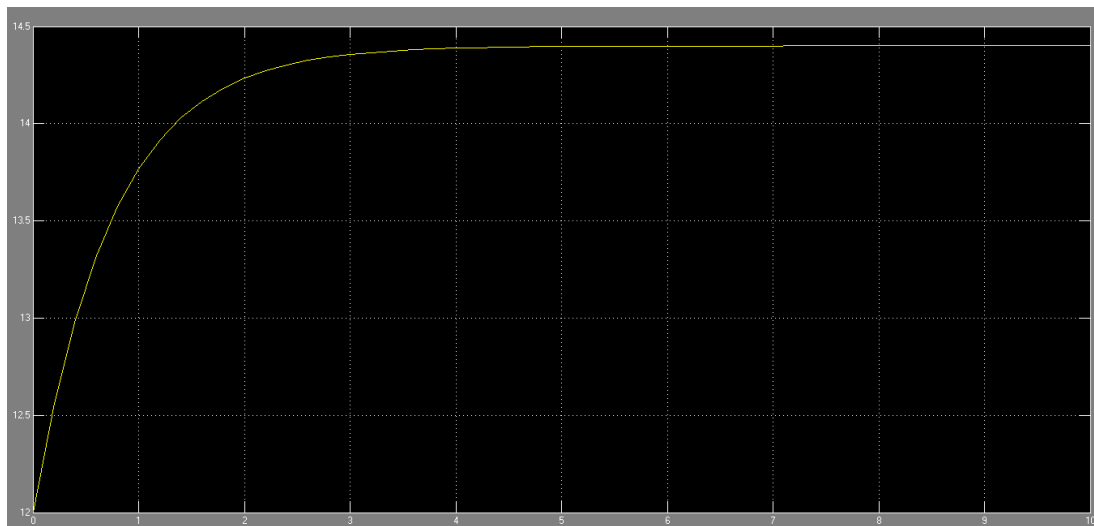
Imagen 4. 9 Eje x = tiempo, eje Y = Corriente de carga en la batería simulación en Matlab.



Fuente. Autor Propio (2021)

Como se puede observar en la imagen anterior a mayor carga menor es la corriente que ingresa a la batería, y esto se debe a la diferencia de potencial entre el cargador y la batería.

Imagen 4. 10 Eje X tiempo, Eje Y Voltaje de la Batería.



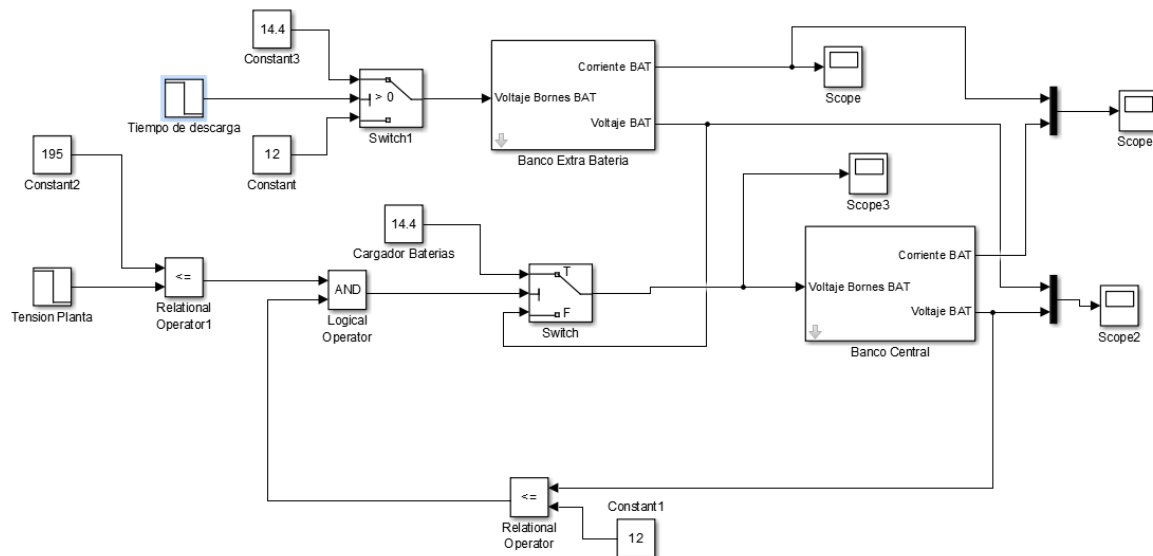
Fuente. Autor Propio (2021)

Por otro lado, se tiene la Imagen 4.10 en esta se puede observar la carga de la batería que se ejecuta de manera exponencial como lo muestra la gráfica de victron energy, por tal motivo se simulo la batería con éxito para estudiar su comportamiento.

4.3 Diseño del Sistema de Lazo Cerrado para el Control de las Fallas Eléctricas

Para la simulación del sistema, se hizo uso de la herramienta de programación Matlab en donde se desarrolló el diseño del sistema de lazo cerrado, para que este se pueda llevar a cabo, se necesitan ciertos criterios, dentro de los que se destacan: el control on-off con el cual se acoplara el banco de baterías auxiliar al banco de baterías principal; así pues, también se tiene en cuenta las condiciones del pase del banco de baterías, es decir si el voltaje de la batería y el voltaje de la planta diésel es menor de 190 entonces se debe acoplar el sistema. Ahora bien, en la Imagen 4.11 se denota el diagrama de bloques para el sistema de retroalimentación de la planta.

Imagen 4. 11 Diagrama de bloques sistema retroalimentado.

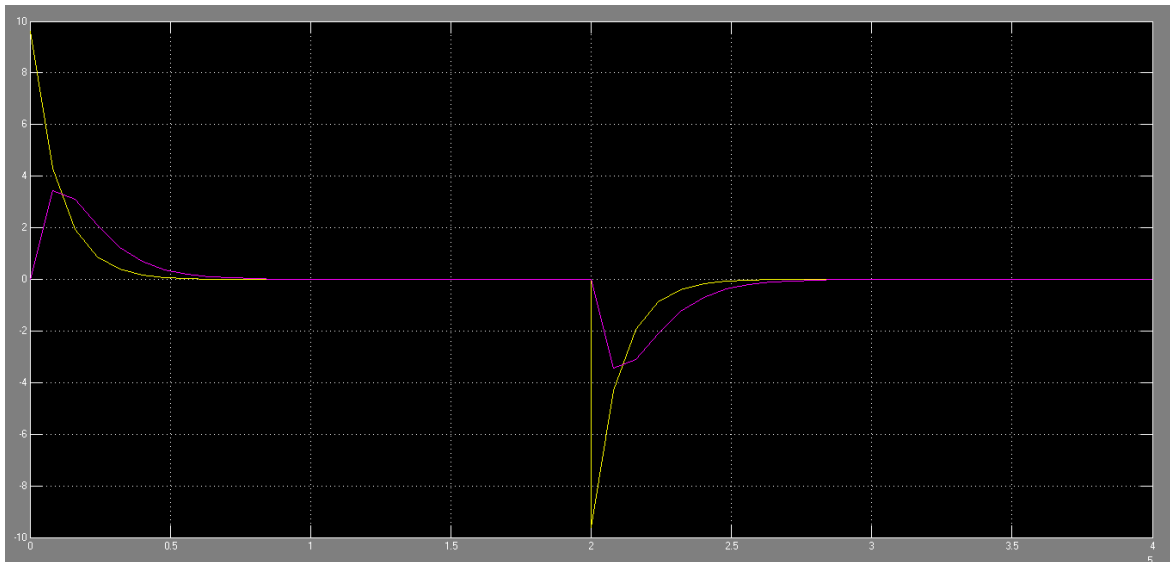


Fuente. Autor Propio (2021)

En el diagrama de bloques anterior, se muestra la salida del banco de baterías central la cual es monitoreada y pasada por un comparador si es menor de 12V y el voltaje de la planta diésel si es menor de 190V, entonces aquí es donde se acopla el segundo banco de baterías. Ahora bien, se realiza un corte de energía a las 2 horas y como se observa se mantiene la tensión y la corriente de las baterías durante un tiempo y comienza a bajar exponencialmente mientras se descargan las baterías.

En la imagen 4.12 se observa una gráfica de corriente Vs tiempo, en donde la línea amarilla es la carga de la batería de respaldo, mientras que la morada es de la batería principal; es por ello, que al momento en que la planta se apaga esta comienza a brindar energía al sistema auxiliar, y al instante en que el banco de baterías comienza a disminuir también el banco de baterías lo hará, pero de una forma más lenta.

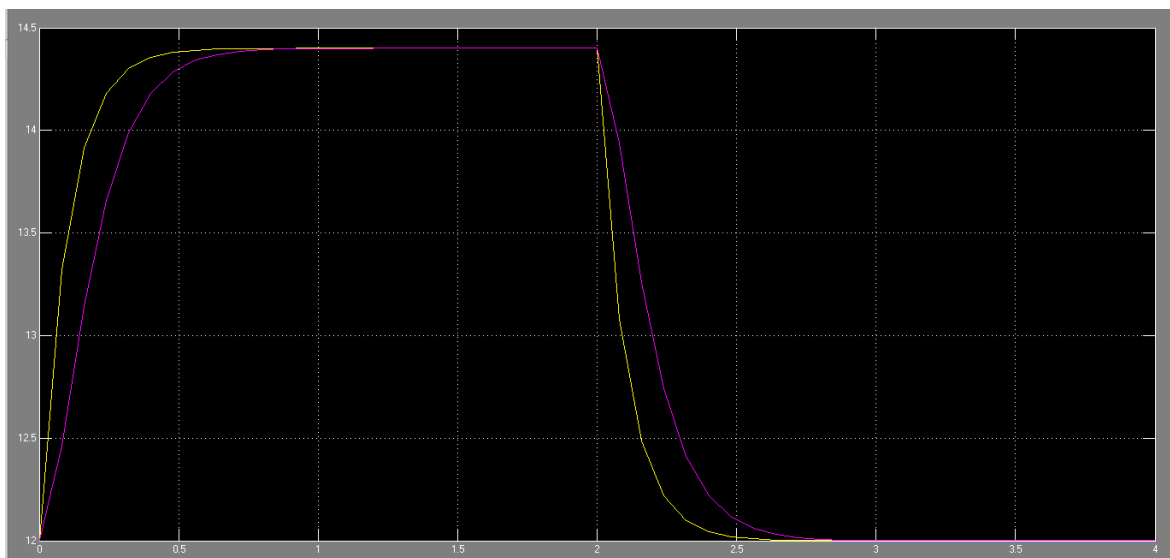
Imagen 4. 12 Gráfica de corriente Vs tiempo.



Fuente. Autor Propio (2021)

Ahora bien, en la Imagen 4.13 se observa una gráfica de tensión, en ella el voltaje en la batería secundaria cae más lento, además que después del corte a las 2 horas continúa trabajando el banco de baterías normalmente.

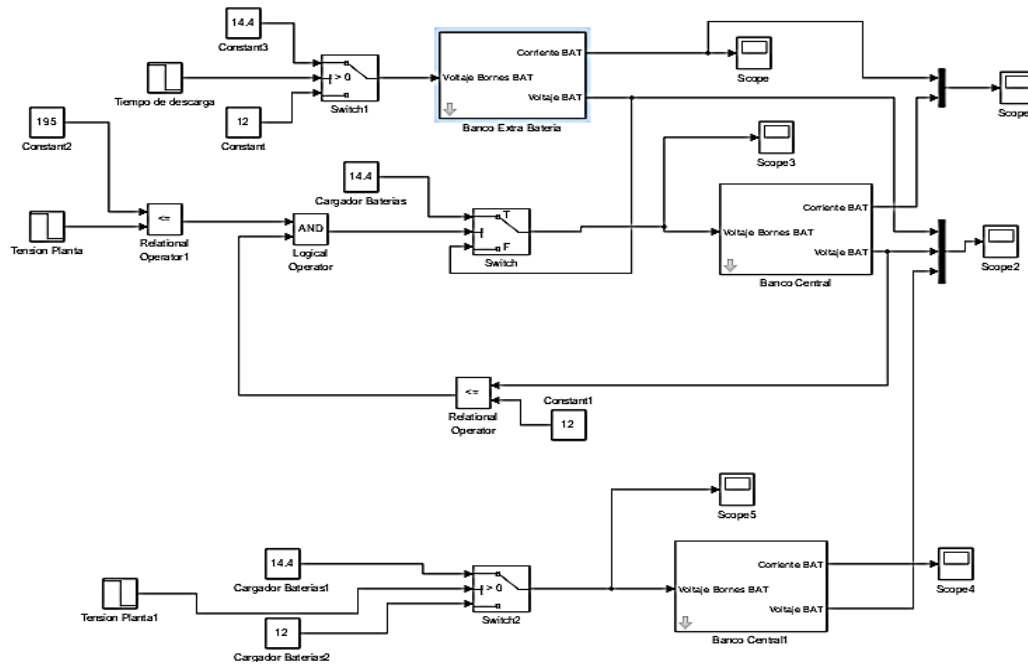
Imagen 4. 13 Grafica de Tensión.



Fuente. Autor Propio (2021)

Ahora se efectúa la simulación con el mismo banco de baterías en circuito abierto y en retroalimentación de la siguiente manera:

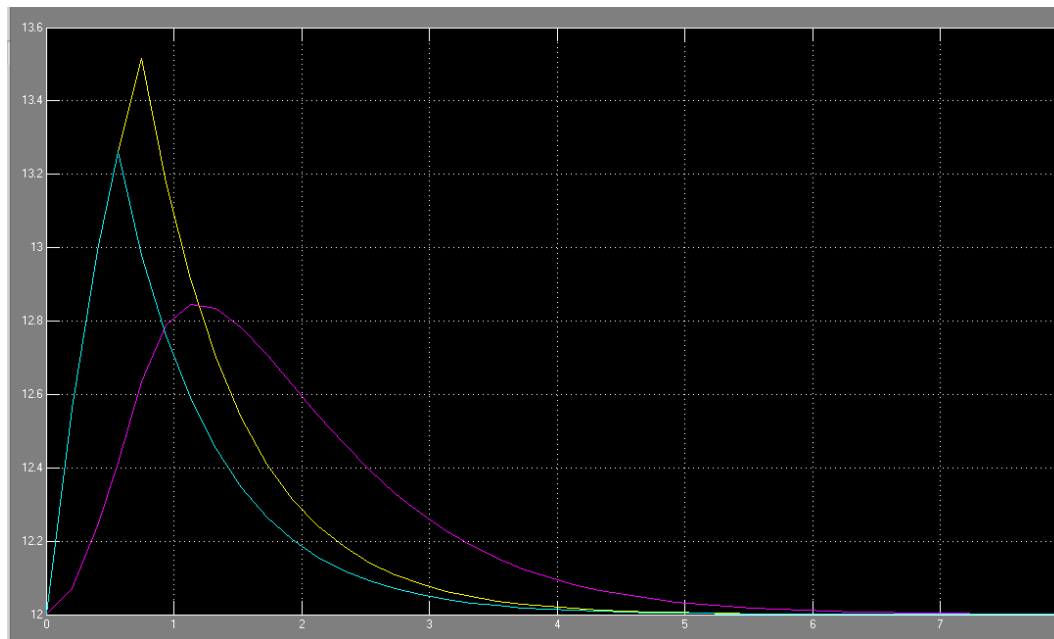
Imagen 4. 14 Diseño de lazo abierto Vs lazo cerrado.



Fuente. Diseño Autor Propio (2021)

Como se puede observar se realiza la simulación y se comparan las tensiones de carga y descarga obteniéndose (Ver Imagen 4. 15)

Imagen 4. 15 Grafica de descarga de las baterías.



Fuente. Diseño Autor Propio (2021)

Como se puede observar en la gráfica, la línea amarilla representa el banco de baterías auxiliar cargándose, cuando ocurre el corte a los 5600 segundos los tres bancos de baterías dejan de cargarse, pero el banco de baterías auxiliar se mantiene incrementándose y no se descarga; mientras que, el principal del lazo abierto, el cual está representado por la línea de color azul celeste y el banco principal del lazo cerrado estos si comienzan a descargarse, de este modo, en el momento en que la energía del banco de baterías central baja de los 12.5 voltios entra el banco de baterías auxiliar descargándose y sumando la carga auxiliar a la primaria demorando la descarga del banco principal (Línea de color morado). Esto nos indica que en la teoría el añadir más carga al banco de condensadores, hace que el sistema funcione adecuadamente, por tal motivo se pasa al diseño en LabVIEW.

4.4 Sistema de Monitoreo de la Subestación

Para desarrollar el sistema de monitoreo de la subestación, se hizo necesario utilizar el software Labview, ya que este resulta ser una aplicación visual – grafica del sistema de monitoreo en donde se detallan las variables de control a manipular. De este modo, se tienen en cuenta un conjunto de criterios para la adquisición de los datos del sistema, los cuales se obtienen de una manera fiable y rápida, y esto fue posible gracias al software de Labview, ya que este ofrece un entorno de programación rápido e intuitivo, en conjunto con un hardware fácil de usar de la misma empresa que son las tarjetas DAQ, que es análogo digital que se utiliza para la adquisición de los datos para su posterior procesamiento, en este caso la vigilancia de las variables a intervenir.

Se escoge el DAQ 6000 (Imagen 4.14) debido a que es un dispositivo robusto aislado y de múltiples canales de adquisición de datos (8 canales de entrada y 4 de salida), además que es USB y en caso de daño puede ser fácilmente sustituido sin necesidad de requerir un computador extra; este no tiene limitaciones de hardware USB, por tal motivo es perfecto para la implementación en el sistema, también se debe tener en cuenta que la virtual instruments (VI) de la National con el visor “LabVIEW VI viewer” se exige una maquina muy básica para correr cualquier software hecho en Labview.

Imagen 4. 16 DAQ 6000 National Instruments



Fuente.

Los requerimiento de hardware para correr las VI (Virtual Instruments) no son muy alto, por tal motivo cualquier computador gama baja sirve para el trabajo de adquisicion de datos; por lo tanto, los requerimientos necesarios son:

- ✓ Pentium 4M (o equivalente o posterior (32 bits), Pentium 4 G1 (o equivalente) o posterior (64 bits).
- ✓ Windows 10 (version 1909)/ 8.1 Actualizacion 1/7 SP1, Windows Server 2016 (version 1607)/ 2012 R2 / 2008 R2 SP1.
- ✓ 1 GB de RAM y 5 GB de espacio en disco.
- ✓ Resolucion de pantalla 1,024 x 768 pixeles (NI recomienda 1,366 x 768 y mayor)

Para adquirir la señal AC se reduce la tensión de 220V a un voltaje de 8V con un transformador de relación 1:20, que es lo mismo que un transformador de 220V a 8V, que al pasarlo de RMS a Vpico daría 12.5V. En la Imagen 4.15 se presentan las conexiones de

la tarjeta con respecto a la red; en el caso de las baterías se conectan directo, debido a que en DC el voltaje que soporta el ADC de la National es 15V, y se le colocan una resistencia en modo DDT (Divisor de tensión) para bajar el voltaje DC de 1V, así pues, la resistencia R1 tiene que ser 4 veces menor a la R2 por tal motivo $R1=12K\Omega$ y $R2=3K\Omega$. Esta relación se debe a la tensión de 48V en el banco de baterías, la cual se debe reducir en una relación 1:4 la tensión de entrada por tal motivo se usa esa relación para bajar la tensión del analógico digital (Ver Imagen 4.16).

Imagen 4. 17 Conexión Física DAQ Labview.

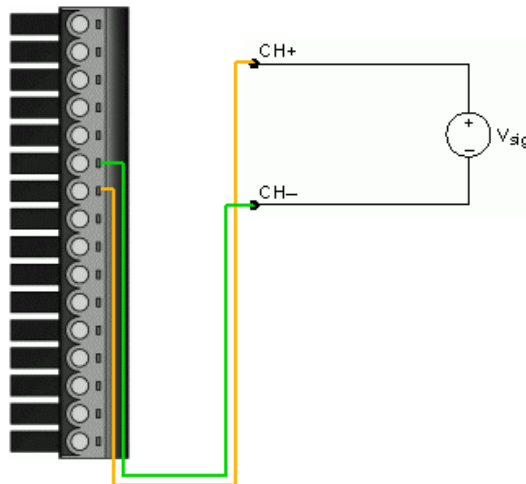
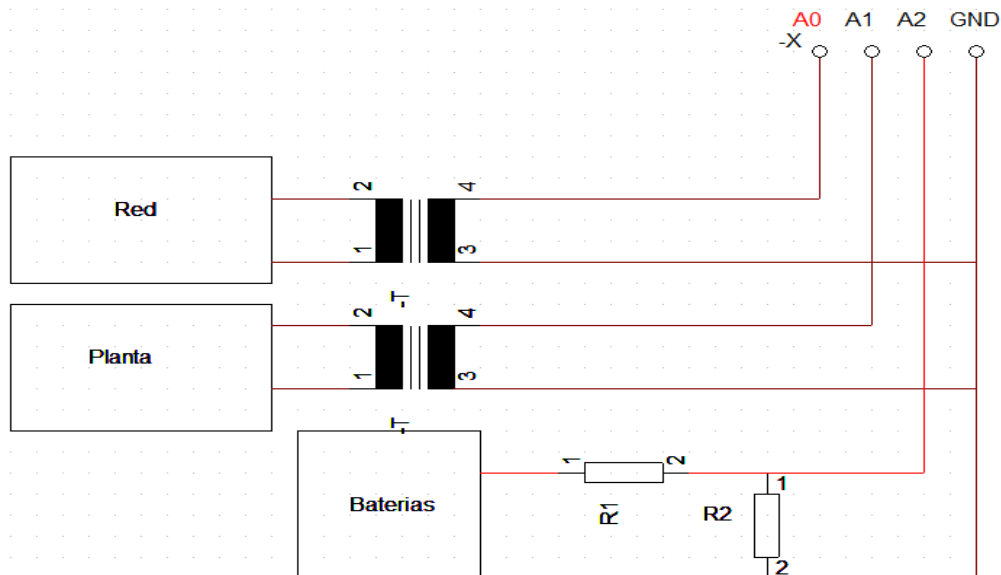


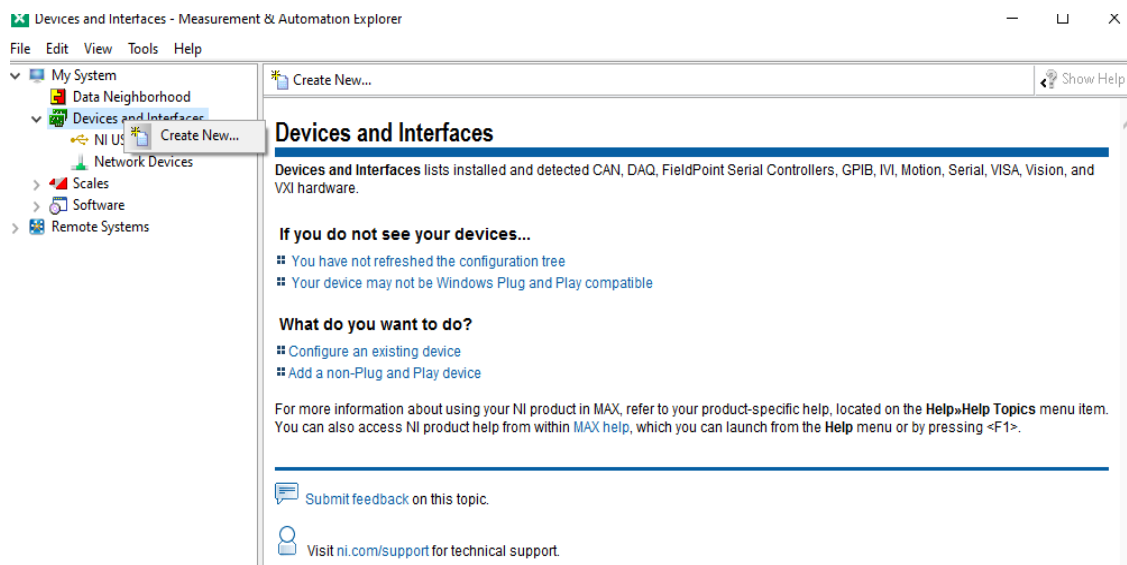
Imagen 4. 18 Diagrama de las baterías y la tensión.



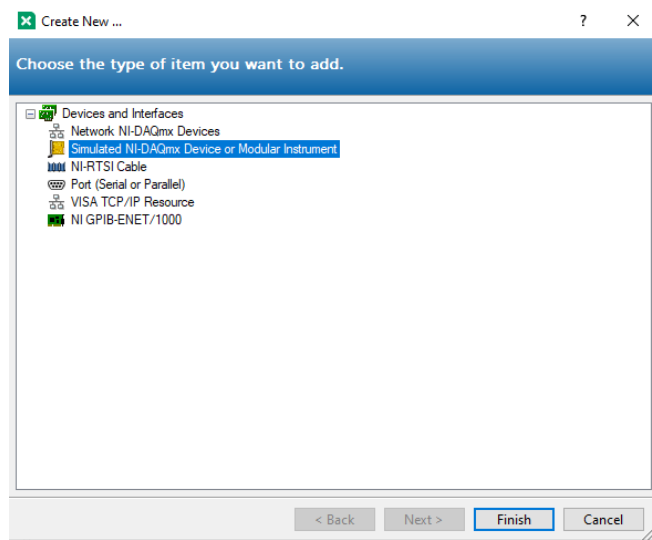
Fuente. Diseño Autor Propio (2021)

Así pues, con los elementos que no se van a adquirir en este proyecto, se opta por la simulación de la tarjeta, es entonces cuando Labview ofrece un simulador del DAQ; a continuación se presenta la manera de como simular las señales del DAQ.

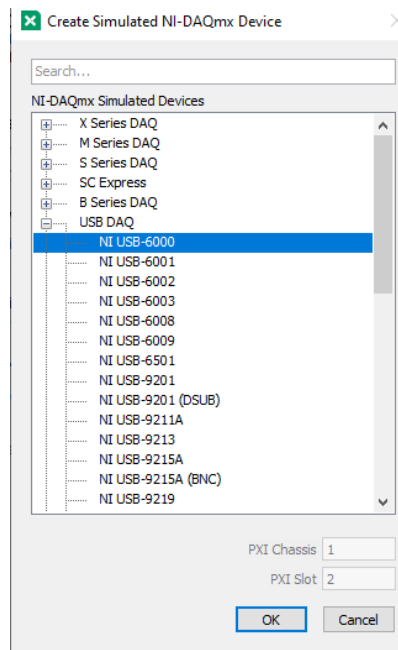
I. Se abre Labview MAX y se crea el dispositivo virtual.



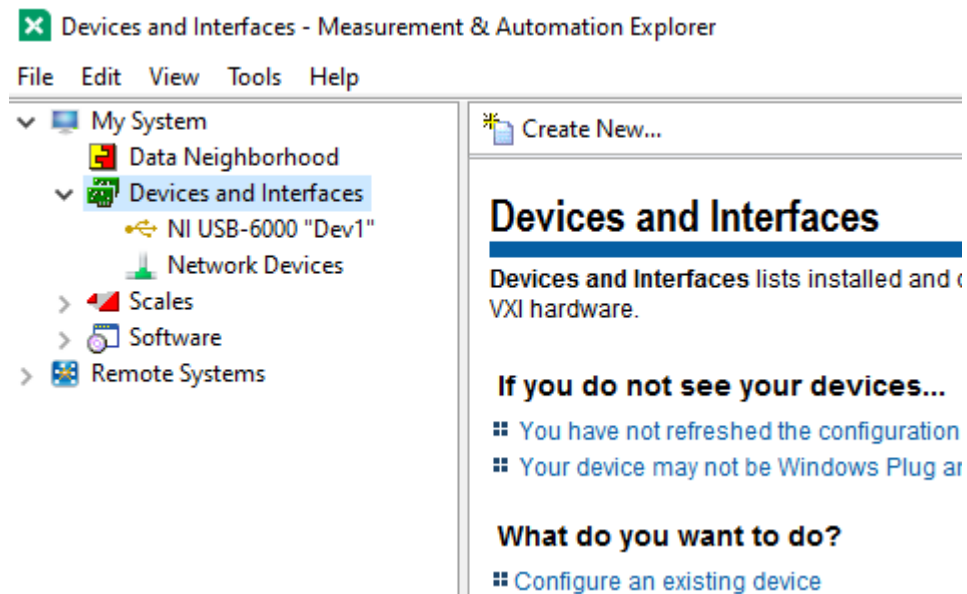
II. Se crea el dispositivo virtual.



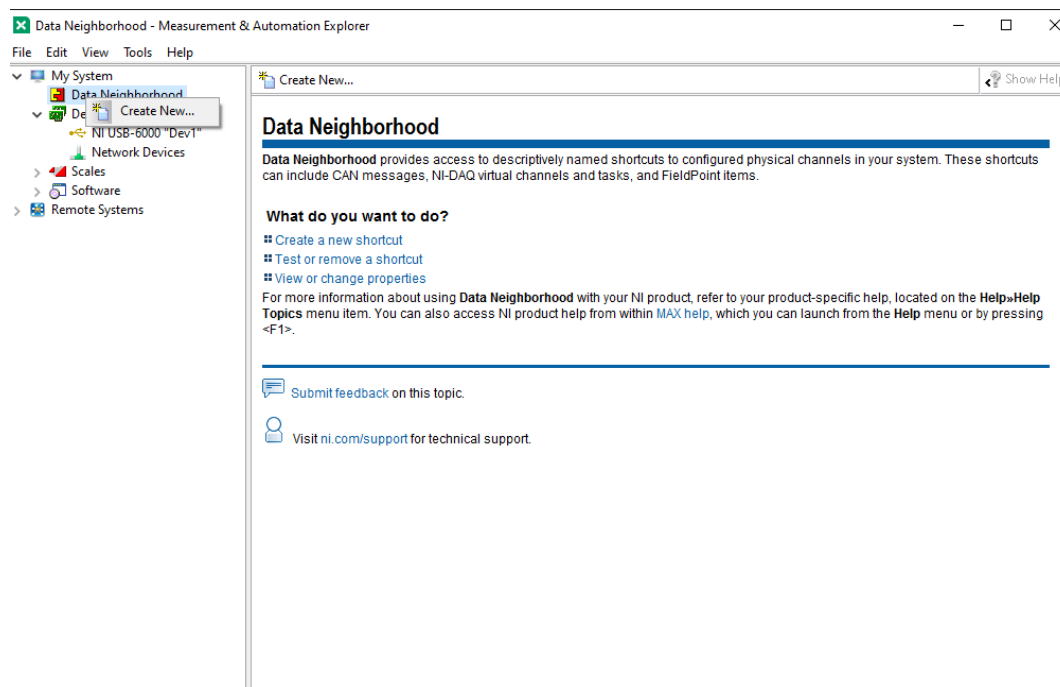
III. Se escoge el dispositivo.



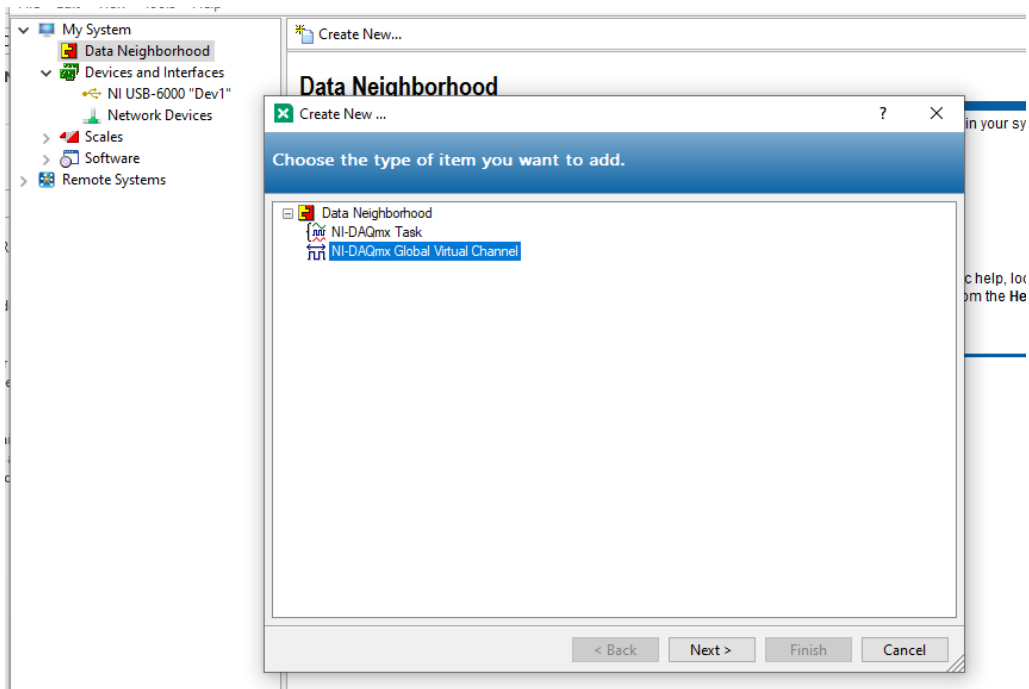
IV. Y ya se encuentra listo para el uso.



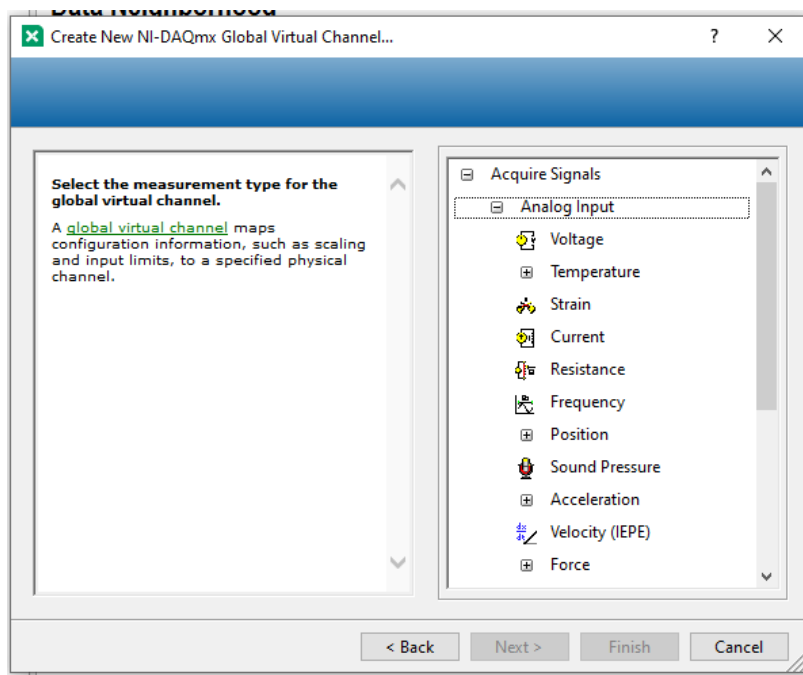
- V. Después se tienen que crear las señales, para esto se crea un *new task* de la siguiente manera.



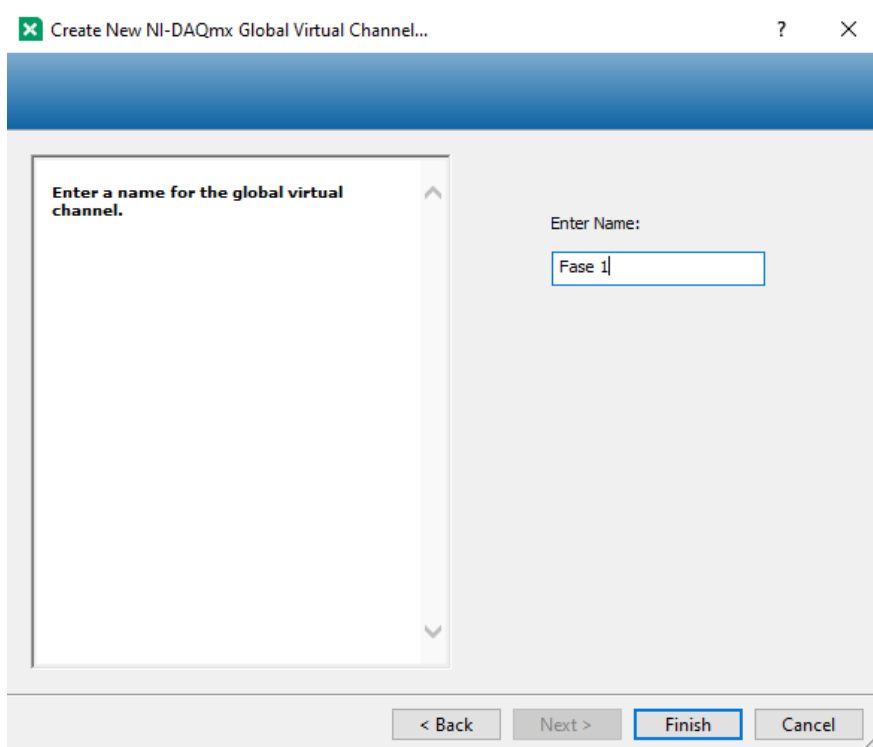
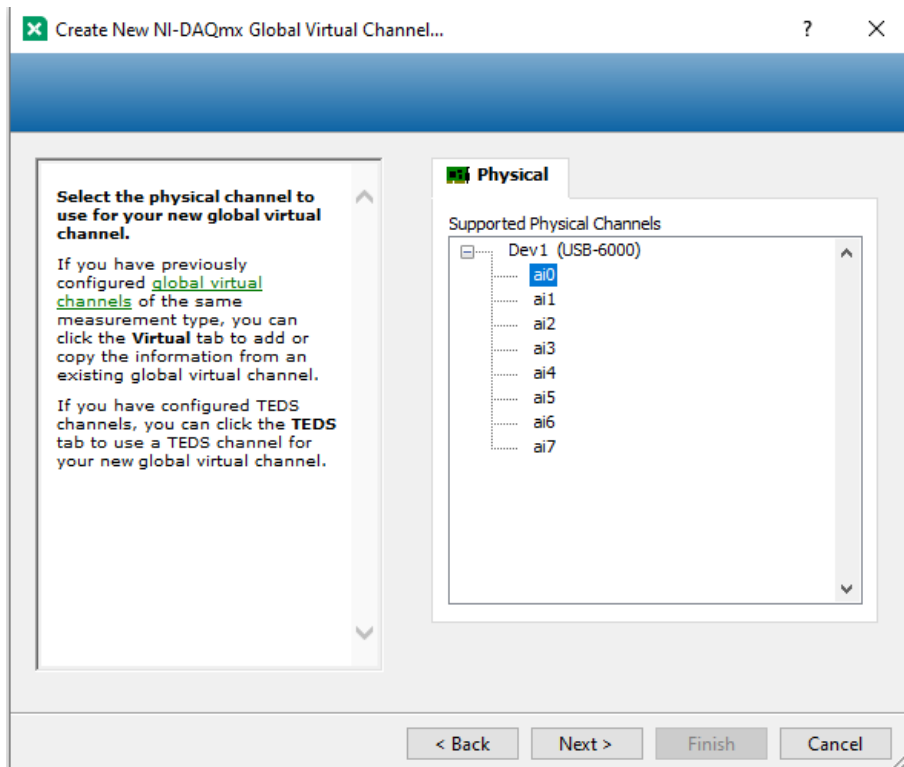
- VI. Con un clic derecho se selecciona crear nueva señal task



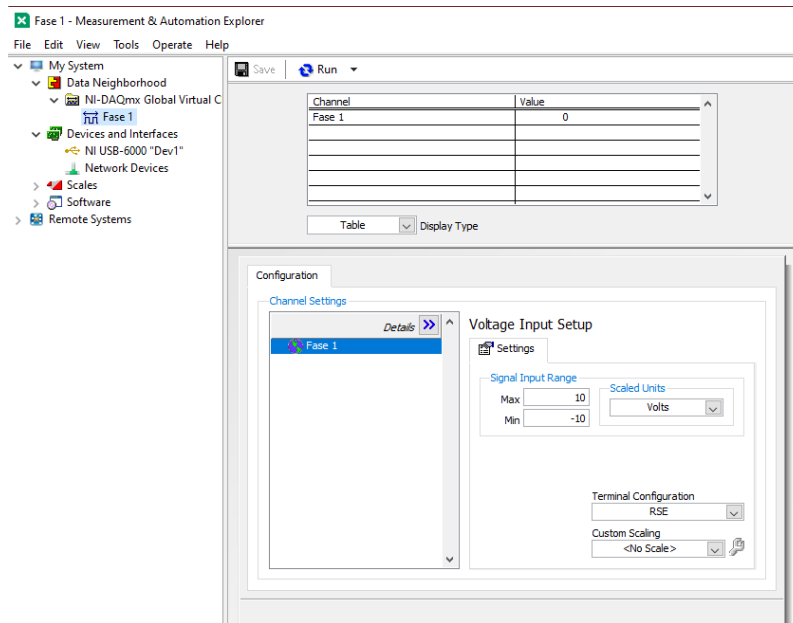
VII. Se escoge la señal de voltaje.



VIII. Luego, se escoge el canal, en él se coloca un nombre y listo ya se encuentra el canal simulado, ahora se escoge el nivel de tensión.



- IX. En el nivel de tensión se escoge la señal -10V a 10V, el Labview simulara una señal sinusoidal con un ruido mínimo como si fuera en la realidad.

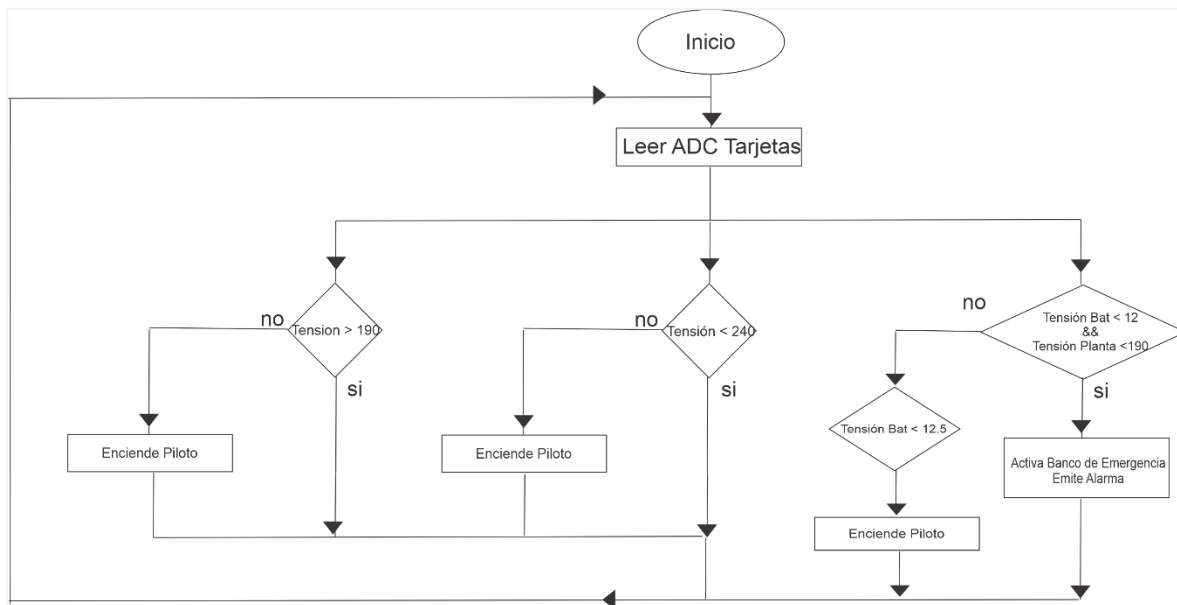


- X. Ahora se crean las otras 2 señales de la misma manera, en donde después de tener simuladas las señales ahora se debe escribir la lógica del programa.

- ✚ Si el nivel de tensión de la red es bajo, enciende el piloto., si el nivel de tensión en la red es alto, enciende el piloto.
- ✚ Si el nivel de tensión de la planta es bajo, enciende el piloto., si el nivel de tensión en la red es alto, enciende el piloto.
- ✚ Si el nivel de tensión de la batería baja y el nivel de la planta es bajo entonces enciende el contacto de emergencia.

A continuación, se presenta el diagrama de flujo del Sistema de Monitoreo de la Subestación:

Imagen 4. 19 Diagrama de Flujo del Sistema de la Subestación.

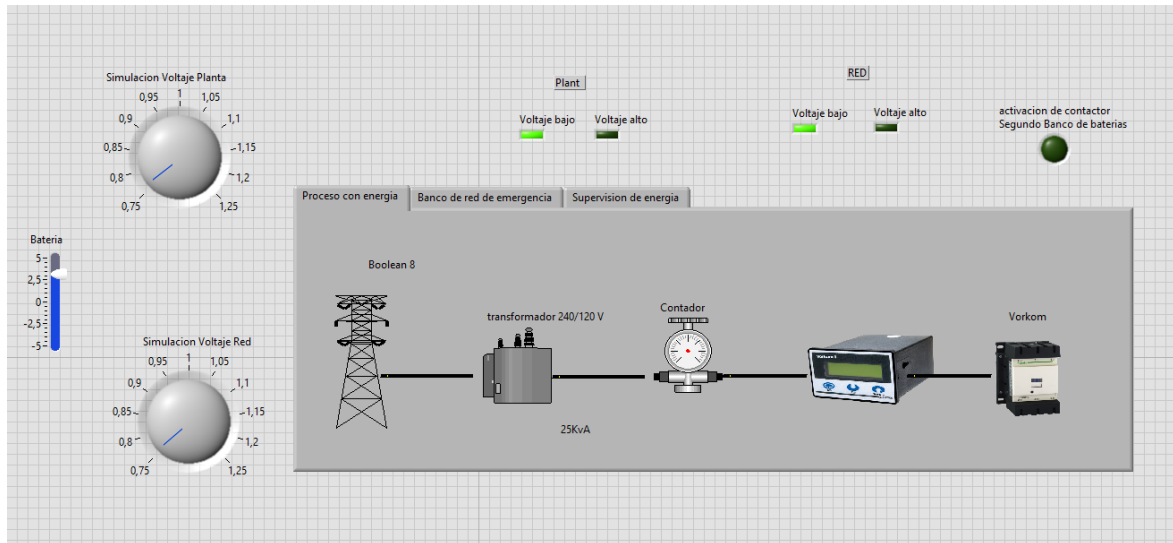


Fuente. Diseño Autor Propio (2021)

Como se puede observar, si se cumple una condición se ejecuta un comando, si se ejecuta la otra condición se ejecuta el encendido del piloto; estas dos líneas son iguales tanto para la planta como para la línea.

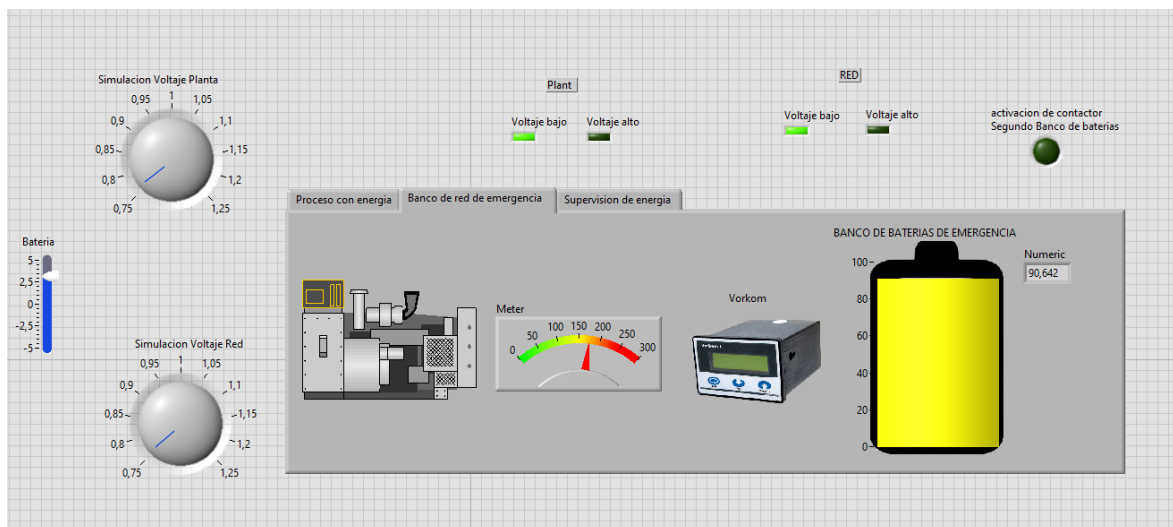
Ahora, se procede a utilizar el Labview y a colocar los elementos para la medición.

Imagen 4. 20 Interfaz del sistema eléctrico básico



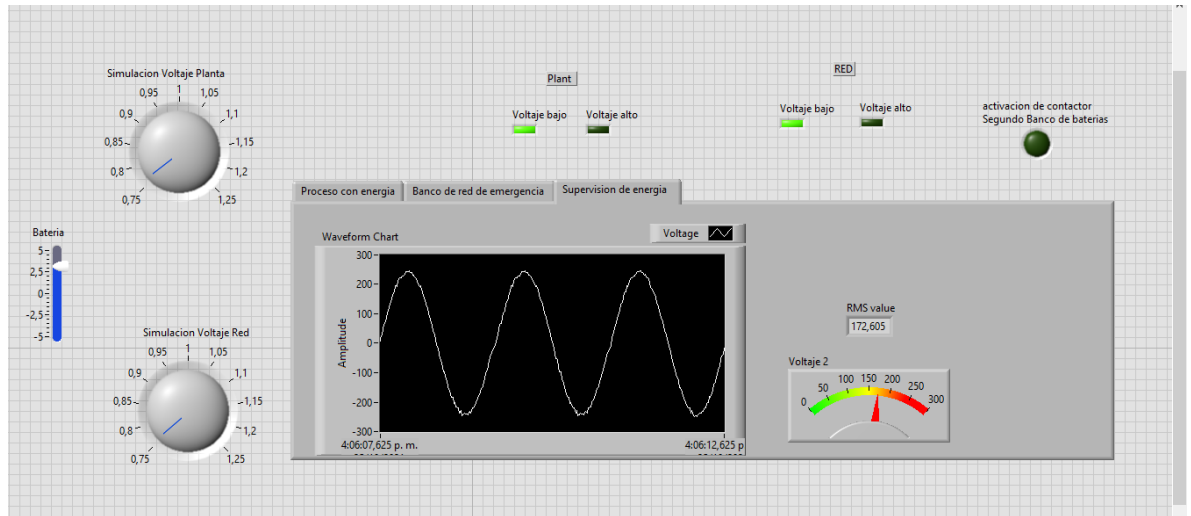
Se inicia creando una interfaz, en ella se explica el sistema eléctrico básico en el primer tab, los pilotos y el piloto de activación del banco de baterías extra.

Imagen 4. 21 Carga de la batería junto a los medidores de tensión de la planta.



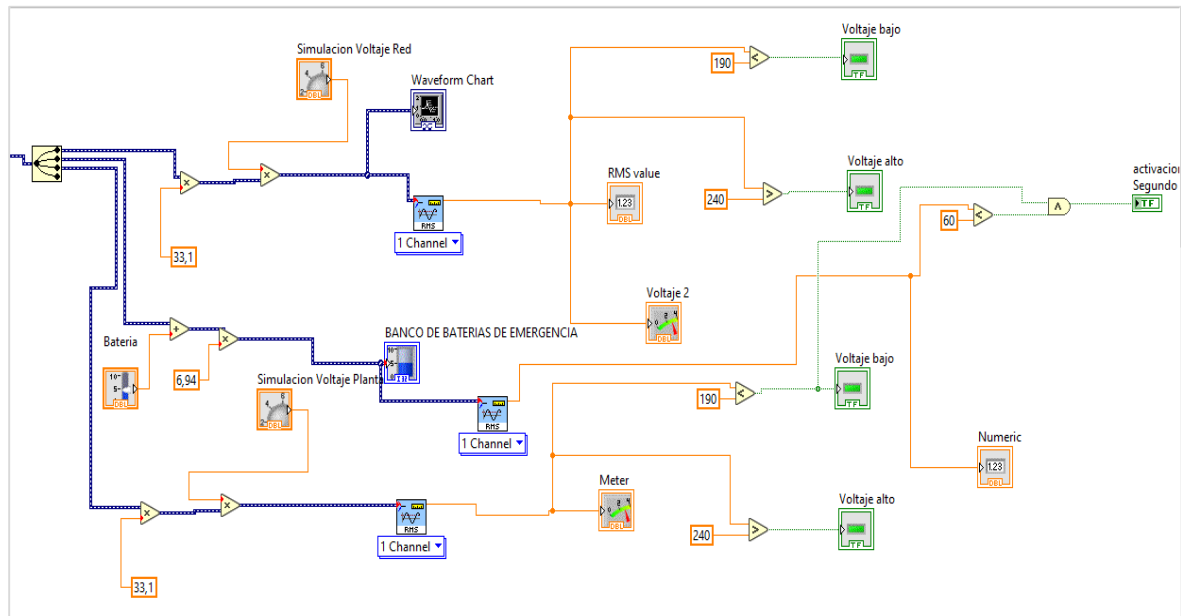
En el segundo tab se muestra la carga de la batería junto a unos medidores de tensión de la planta.

Imagen 4. 22 Señal senoidal de la red



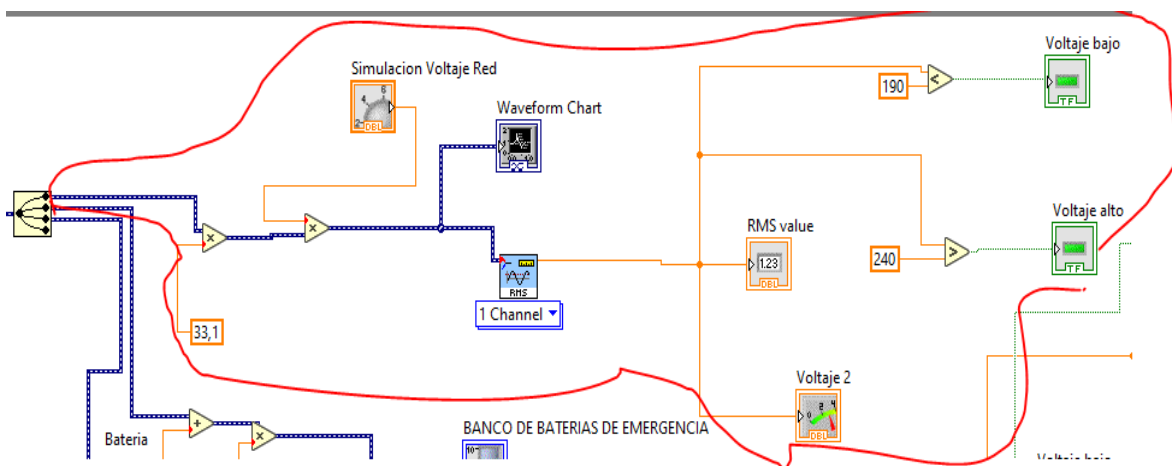
En el tercer tab se muestra la señal senoidal de la red en caso de que contenga demasiados armónicos, esto debido a que se encuentra en el Barrio Juan 23 de Fundación – Magdalena, un barrio no normalizado que se encuentra sobre cargado de acometidas ilegales, lo que genera armónicos cuando encienden los dispositivos eléctricos. Internamente se en el panel de programación se colocan los componentes y las condicionales.

Imagen 4. 23 Diagrama de Programación del sistema de monitoreo.



Como se puede observar en el diagrama de programación ya se encuentran las condiciones que se muestran a continuación.

Imagen 4. 24 Diagrama de Programación del sistema de monitoreo.



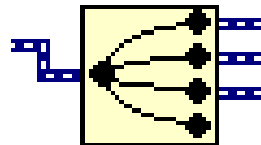
Primero adquiere la señal del análogo digital, en este caso sale del bloque DAQ Asistant (Ver Imagen 4.25). Este bloque se encarga de leer los canales del ADC en

simultaneo, después se divide la señal con un splitter de canal con el bloque separador de canal (Ver Imagen 4.26). Este bloque se encarga de separar las señales, en este caso separa los tres canales, el primero es la tensión de la línea, el segundo es la tensión de la planta y el tercero es la tensión en la batería, la línea roja explica la lógica del diagrama.

Imagen 4. 25 Bloque DAQ Assistant

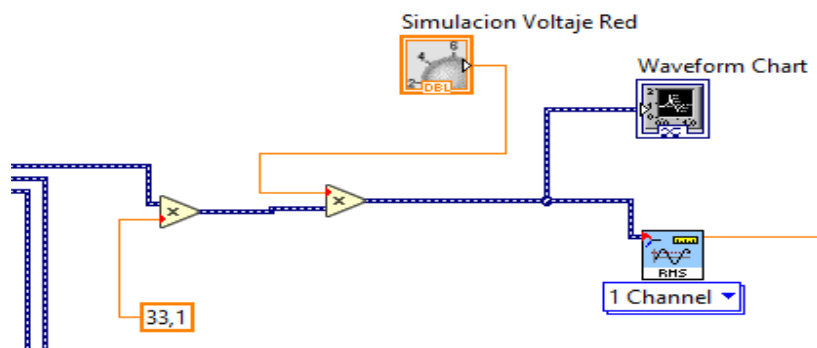


Imagen 4. 26 Canales del ADC en simultaneo



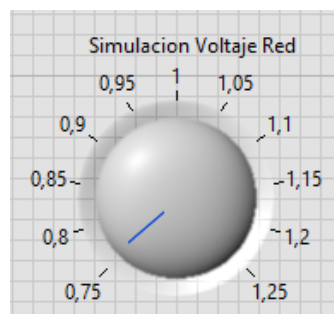
En este fragmento de código se observa la multiplicación de la señal para pasarla a voltaje pico y se le agrega un multiplicador para subir o bajar la tensión en la simulación y la prueba.

Imagen 4. 27 Fragmento del código.



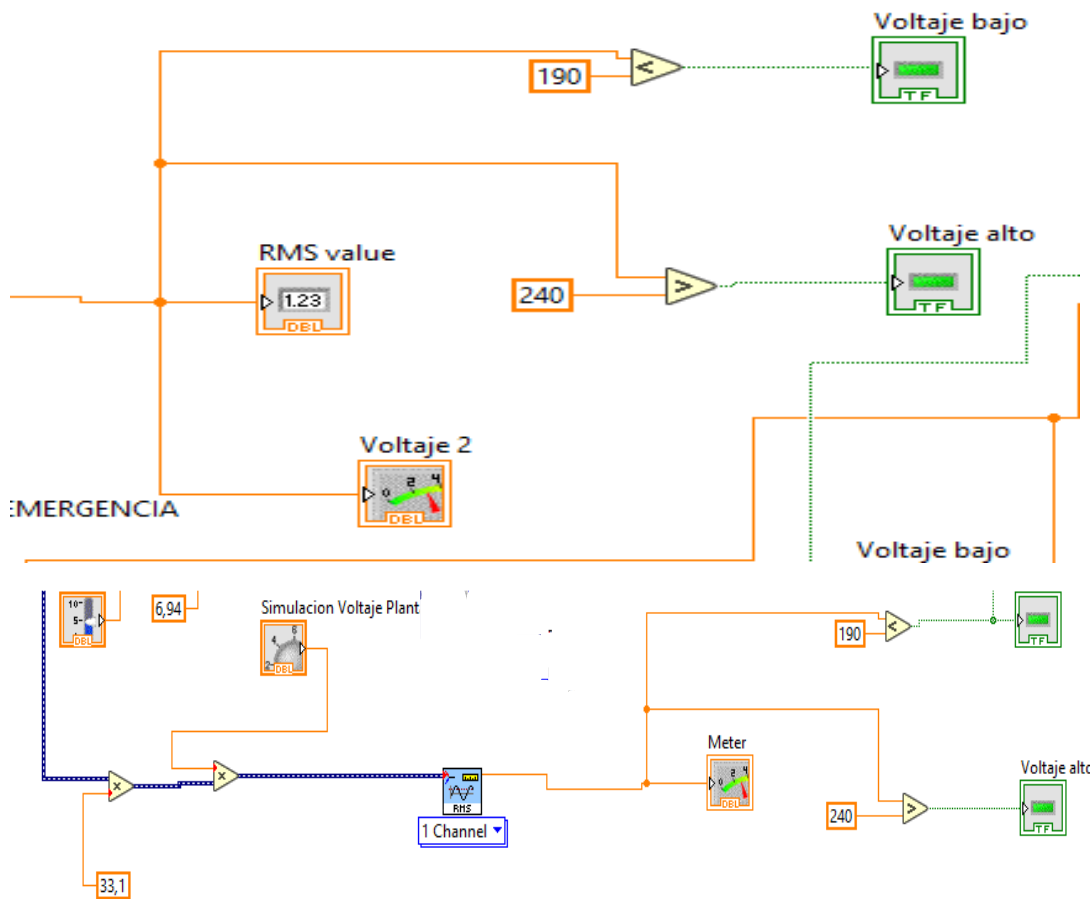
Cabe aclarar que la simulación del voltaje en la red equivale a el perillero en el virtual instrumento que simula una bajada o una subida de tensión multiplicando la señal de manera positiva o negativa.

Imagen 4. 28 Simulación del Voltaje en la Red.



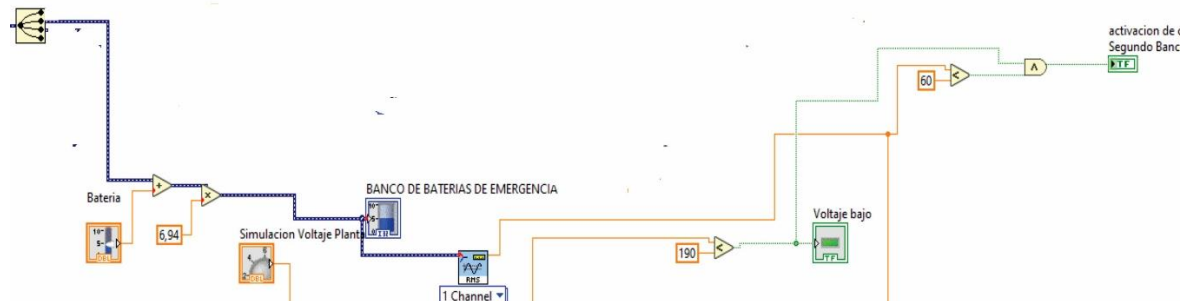
Su valor estándar debe ser 1 en este caso se simula una baja de tensión debido a que escala la señal por 0.75. Después pasa a convertir el voltaje pico a voltaje RMS con el respectivo bloque; y luego, procede a tomar la decisión si su valor es más bajo que 195 entonces enciende el piloto de baja tensión, si no, si es mayor que 235 entonces enciende el piloto de alta tensión. Esto se repite con la tensión en la planta.

Imagen 4. 29 Convertir de voltaje.



En la parte de las baterías se le suma una slider que suma o resta la tensión y al final toma la decisión si la planta está en bajo y el nivel de la batería están en bajo entonces enciende el piloto de encendido de las baterías auxiliares y del contactor.

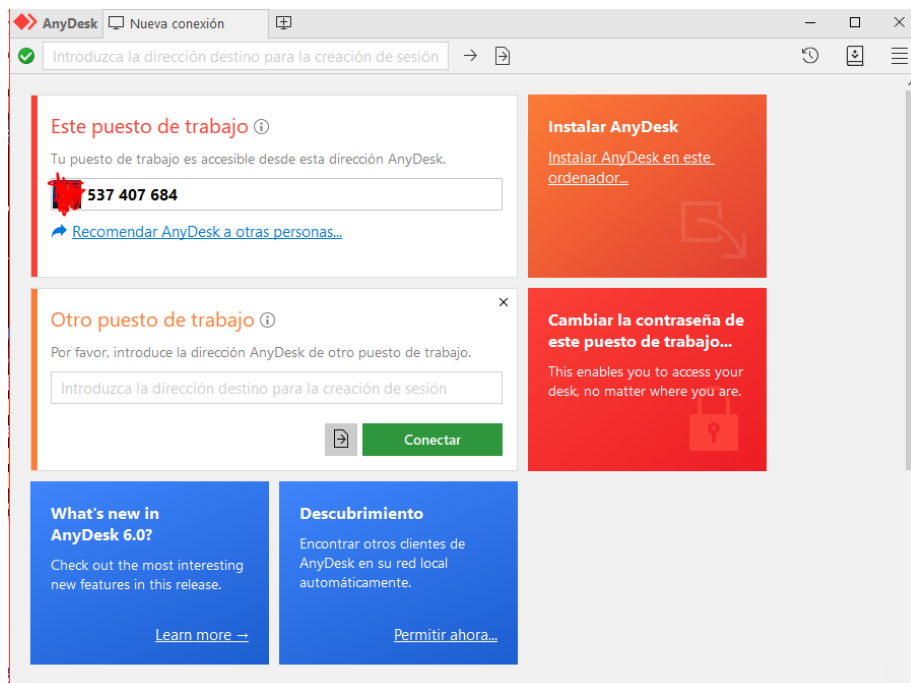
Imagen 4. 30 Banco de Batería de emergencia.



Como se observa se extrae el valor de la batería, se escala se le suma el valor de la tensión, se muestra en la batería en el panel, pasa por el comparador si la batería esta baja y la tensión en la planta es baja activa el banco auxiliar de baterías.

Ahora bien, todo esto se podrá supervisar de forma remota, al instalar en el computador principal el software anydesk, este software es un software de escritorio remoto, este software permite la vigilancia y manipulación del computador que contenga la VI, además que con el código de la maquina se puede acceder desde cualquier celular o desde un PC solamente con una clave predeterminada con anydesk.

Imagen 4. 31 Software Anydesk



Este software es gratuito y no tiene límite de tiempo, pero si tiene una licencia para su uso de manera simultánea en un PC. Por tal motivo para el proyecto no se tendrá en cuenta el valor del software para el costo beneficio.

4.5 Análisis De Costo/Beneficio Del Sistema

El Costo-Beneficio, tiene como fin importante conceder una medida de los precios en que se incurren en la ejecución de la iniciativa de utilización de un área de monitoreo y seguimiento para las fallas eléctricas en la subestación, paralelamente equiparar estos precios previstos con las ventajas esperados de la ejecución del plan, explicando la factibilidad de las alternativas a continuar para realizar la iniciativa.

Una funcionalidad bastante fundamental de los precios es servir de guía para establecer cuál podría ser la mezcla de productos más rentable y los costos en que se puede incurrir sin perjudicar las ventajas. De tal forma encontramos algunos aspectos que se tienen en cuenta para realizar el análisis:

- Es fundamental detallar los costos, debido a que se estima que entre mayor sea el precio del programa de monitoreo o especie de una auditoría asistida por PC que se seleccione, mayor deberán ser las ventajas que conlleve; en otras palabras, además la expectativa crece o es mayor. Posteriormente, se detallan los precios relativos a la evaluación a las necesidades de la iniciativa de utilización.

Costos indirectos; según las propiedades propias del programa, las herramientas aquí utilizadas y el personal delegado, se concluyó que para la implementación del programa de monitoreo sería primordial obtener sus licencias completas, en este caso se hace referencia a Labview, una vez proporcionados dichos datos por los distribuidores, se prosigue con el estudio de la siguiente manera.

Tabla 4. 2 Costos directos e indirectos.

Programa por utilizar	Labview
-----------------------	---------

Equipo de cómputo	3 laptop, MacBook Air 13 pulgadas - Año 2020, CHIP APPLE M1 / 8 Ram - 256gb SSD - Touch id. / Nuevo - Caja sellada - Garantía 1 año con Apple y Factura.
Costo unitario	\$4.399.000
Total	\$13.197.000
Hardware	Intel Core i5 de 6 núcleos a 3,0 GHz, 8GB DDR4 RAM SSD de 256 GB, Pantalla Retina 4K de 21,5 "4096 x 2304 IPSAMD Radeon Pro, 560X (4GB GDDR5)
Costo unitario	\$6.420.000
Total	\$12.840.000
Total	\$26.037.000

Fuente: Elaboración propia.

A partir de esto, se determinan diversos costos, entre los que se definirán a continuación en las distintas tablas:

Tabla 4. 3 Costos de inversión.

	Descripción/ Labview	Valor
Licencia	Contrato entre el licenciante (autor/titular de los derechos de explotación/distribución) y el licenciatario (usuario consumidor, profesional o empresa) del programa informático, para utilizarlo cumpliendo una serie de términos y condiciones establecidas dentro de sus cláusulas, es decir, es un conjunto de permisos que un desarrollador le puede otorgar a un usuario en los que tiene la posibilidad de distribuir, usar o modificar el producto bajo una licencia determinada.	\$24.436.212
Implementación	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Crear y mantener paquetes de software actualizados y listos para instalar ➤ Configurar los equipos de destino antes de instalar o desinstalar el paquete ➤ Instalar o desinstalar el software en los equipos de destino ➤ Configurar los equipos de destino después de la instalación o desinstalación 	\$ 6.240.000
Hora/especialista	<ul style="list-style-type: none"> • Asesorar y diseñar dispositivos electrónicos o componentes, circuitos, semiconductores y sistemas • Asesorar y diseñar dispositivos electrónicos o componentes, circuitos, semiconductores y sistemas 	\$ 197.558

	<ul style="list-style-type: none"> Asesorar y diseñar dispositivos electrónicos o componentes, circuitos, semiconductores y sistemas. 	
Capacitación	Enseñanza y orientación en el manejo de las normas o métodos de instalación, los materiales y la calidad, así como manejar los controles o el trabajo de instalación de productos electrónicos y los sistemas establecidos en la empresa.	\$ 3.160.928
Mantenimiento	Revisar el manejo dispositivo electrónicos o componentes, circuitos, semiconductores y sistemas.	\$ 908.526
Soporte	Procedimientos de control para asegurar el funcionamiento eficiente y la seguridad de los sistemas electrónicos, motores y equipos	\$1.751.410
TOTAL		\$ 36.497.076

Fuente: Elaboración propia.

El programa más opcionado por la recomendación de diversos ingenieros, por su eficiencia, su eficacia, por sus componentes relevantes y su fácil acceso resulta ser Labview. No obstante, ahora que se conoce el costo habrá de desarrollarse un estudio de la utilidad que esta herramienta traen consigo, cuales son más disponibles de llevar a cabo según su funcionalidad y que su ambiente sea amigable para el equipo que lo va a utilizar para que esta iniciativa no contemple la contratación de personal nuevamente, sino por el contrario se ejecuten capacitaciones para la presente; más adelante se evidencian situaciones de análisis de los resultados obtenidos a partir de la aplicación del monitoreo que asistió a las demostraciones de los proveedores de todas las técnicas de monitoreo y seguimiento asistido por PC.

De este modo, la implementación del monitoreo en el área no involucra precisamente la aplicación de una auditoria constante como tal, así pues como la aplicación busca asumir una previsión de futuros costos por fallas eléctricas y no precisamente ocurre

sí y solo sí se implanta la zona, en otros términos, no son importantes una sin la otra; no obstante, el modelo óptimo de desarrollo de ese seguimiento según este proceso investigativo contempla la fijación del área de monitoreo en informática y además, se busca reforzar a toda la subestación en temas relacionados con los controles efectivos que se pueden prevenir ante efectos adversos a futuro con la implementación de la herramienta aquí escogida.

Tabla 4. 4 Costo del proyecto propuesto.

COSTO DEL PROYECTO PROPUESTO		
Equipo de cómputo portátiles	\$4.399.000	\$13.197.000
Equipo de cómputo integrados	\$6.420.000	\$12.840.000
Licencia	\$24.436.212	\$24.436.212
Implementación	\$ 6.240.000	\$ 6.240.000
Capacitación	\$ 3.160.928	\$ 3.160.928
Mantenimiento	\$ 908.526	\$ 908.526
Soporte	\$1.751.410	\$1.751.410
Operador 1	\$ 908.526	\$10.902.312
Operador 2	\$ 908.526	\$10.902.312
TOTAL		\$84.338.700

Fuente: Elaboración propia.

Costos de Oportunidad: aquí pues, los precios de oportunidad son los que se derivan de realizar una actividad en vez de otra; por lo tanto, la herramienta escogida (Labview) no es la más económica, pero es la que se ajusta a las necesidades que se encuentran en la compañía, con un precio de licencia \$ 24.436.212. Por consiguiente, revisando otras opciones la que más se adecua a la compañía es la Labview, por sus diversas potencialidades.

Posteriormente, se muestra un estudio del equipo que se utilizaría en las ocupaciones propias del área de monitoreo, estimando que se harían estas tareas sin la utilización de un instrumento de control asistido por PC para compararla contra los equipamientos y el personal que se necesitará al implantar una de estas herramientas. Esto incluye un dispositivo robusto aislado denominado DAQ 6000 de múltiples canales de adquisición de

datos (8 canales de entrada 4 de salida) además que es USB y en caso de daño puede ser fácilmente sustituido sin necesidad de requerir un computador extra. No tiene limitaciones de hardware USB por tal motivo es perfecto para la implementación en el sistema, también se debe tener en cuenta que la VI de la National con el Visor “LabVIEW que exige una maquina muy básica para correr en cualquier software hecho en LabVIEW

Tabla 4. 5 Análisis de Costos.

	Periodos (2020-2025)					
	1	2	3	4	5	6
Ingreso	\$181.565.501.778	\$187.012.466.831	\$243.116.206.880	\$316.051.068.944	\$410.866.389.627	\$534.126.306.516
Costos	\$88.062.84.339	\$90.704.729.669	\$93.425.871.559	\$96.228.647.706	\$99.115.507.137	\$103.088.972.351
Flujo neto (utilidad)	\$93.502.657.439	\$96.307.737.162	\$149.690.335.321	\$219.822.421.238	\$311.750.882.490	\$431.037.334.165

Fuente: Ferrocarriles del norte de Colombia, proyección estado financieros.

Retorno de la inversión; al hacer el estudio de costos en el primer año se tiene una utilidad de \$181.565.501.778 y \$84.338.700 de la inversión inicial lo que el proyecto a implementarse tiene un retorno de la inversión de 2.151 % lo cual desea mencionar que la utilidad fue de 2.151 veces de la inversión inicial.

$$ROI = \frac{Ganancias - Inversion}{Inversion}$$

$$ROI = \frac{\$ 181.565.501.778 - \$ 84.338.700}{\$ 84.338.700}$$

$$ROI = 2,151.81362$$

Evaluación financiera; la TIR es la tasa de descuento de un proyecto de inversión que permite que el beneficio neto actualizado (BNA) sea igual a la inversión (esto es, VAN igual a cero). La TIR es la máxima tasa de descuento que un proyecto puede tener para ser

rentable, pues una mayor tasa ocasionaría que el BNA sea menor que la inversión (VAN menor que cero).

Tabla 4. 6 Periodo de Utilidades

	Periodos (2020-2025)					
	1	2	3	4	5	6
Flujo neto (utilidad)	\$93.502.657.43 ₉	\$96.307.737.16 ₂	\$149.690.335.32 ₁	\$219.822.421.23 ₈	\$311.750.882.49 ₀	\$431.037.334.16 ₅

Fuente. Elaboración Propia.

Para hallar la TIR empleamos la fórmula del VAN, pero en lugar de hallar el VAN (que reemplazamos por 0), hallaríamos la tasa de descuento:

$$\text{VAN} = \text{BNA} - \text{Inversion}$$

Así:

$$0 = \frac{93.502.657.439}{(1+i)^1} + \frac{96.307.737.162}{(1+i)^2} + \frac{149.690.335.321}{(1+i)^3} + \frac{219.822.421.238}{(1+i)^4} + \frac{311.750.882.490}{(1+i)^5} + \frac{431.037.334.165}{(1+i)^6} - 84.338.700$$

Ahora bien, se evalúa la Tasa Interna de Retorno (TIR) así;

$$TIR = \sum_{T=0}^n \frac{Fn}{(1+i)^n} = 0$$

En donde:

Fn es el flujo de caja en el periodo n.

n es el número de períodos.

I es el valor de la inversión inicial.

$$TIR = \sum_{T=0}^n \frac{93.502.657.439}{(1 + 84.338.700)^6}$$

$$\underline{\underline{TIR = 3,59883\%}}$$

En donde *i* es igual a 3,59883%

5. Conclusiones y Recomendaciones

5.1 Conclusiones

En conclusión, con este proceso investigativo se logra diseñar un sistema de control para el monitoreo y seguimiento de fallas eléctricas para la subestación de la empresa FENOCO, esto fue posible gracias a la implementación de una de las tecnologías más usadas para automatizar procesos de vigilancia y control, así como de la manipulación de

monitoreo y seguimiento de fallas eléctricas en tiempo real; las cuales permiten auxiliar a los operadores en la interpretación de los procesos y en la detección de fallas y la pronta solución de inconvenientes en el sistema, todo esto por medio de alarmas programadas.

No obstante, estas traen como resultado la necesidad y los requerimientos de personal calificado en estas tecnologías para su aplicación; sin embargo, más que nada para desarrollar los respectivos algoritmos de control y custodia, como de los eventos a desarrollarse; además, de la necesidad de realizar un proceso para el diseño de la analogía con la verdadera operatividad de los sistemas y los procesos a mantener en control.

De este modo, resulta de gran importancia el cálculo de los precios en el desarrollo del programa, ya que constituyen un instrumento elemental para asegurar el triunfo en la administración del producto informático aportándole calidad al servicio a partir de su organización hasta la entrega final.

Por medio de la utilización del sistema de monitoreo y alarmas, se obtendrá una mejor vigilancia a la tensión en la subestación y al banco de baterías; y a su vez, al banco de baterías auxiliares para acoplar los sistemas de emergencias, con la finalidad de brindar mayor autonomía por medio de la vigilancia de LabVIEW, con ello los equipos de comunicación, señalización, servidores sbs y repetidoras; para establecer que los resultados se encuentren en los límites admisibles por las reglas, y de esta forma, identificar anomalías y fallas que se estén presentando en el sistema que impidan el usual manejo y seguridad del mismo.

5.2 Recomendaciones

Las sugerencias que se presentan después son de suma trascendencia para una implementación en el desarrollo y la utilización de un sistema para el control, seguimiento y mantenimiento del equipamiento. Por ello, se propone a FENOCO que lleve a cabo un sistema de control de monitoreo y seguimiento de fallas eléctricas, ya que con estas podrá obtener grandes beneficios, dentro de los que se destacan:

- La aplicación de un sistema de control de monitoreo y seguimiento de fallas eléctricas tiene un efecto directo en la óptima implementación de la vida eficaz de los equipos, en la continuidad de los procesos, en conseguir los más elevados niveles de estabilidad y fiabilidad y por consiguiente en la reducción de los costos de operación.
- El éxito de la utilización sistema de control de monitoreo y seguimiento de fallas eléctricas va a estar en manos del personal operario, por consiguiente, se ofrece hacer las capacitaciones que se considere primordiales para disipar cualquier duda que se le logre exponer a lo largo de la utilización.
- La precisión de los datos, así como la actualización constante de los mismos por cada una de todas las zonas, tendrá que ser una obligación para lograr el éxito del sistema.
- Seguir con las actualizaciones del presente sistema de información una vez implementado, primordialmente para optimizar todavía más estos procesos.
- Asimismo, se le recomendara a FENOCO implementar el RETIE que es el reglamento técnico de instalaciones eléctricas para el mejoramiento de sus instalaciones en sus respectivas estaciones férreas.

Referencias Bibliográficas

- ✚ Acuña, D (2017). Localización De Fallas En Sistemas Eléctricos De Distribución Basados En La Matriz De Impedancia De Barra. Tomado de sitio web: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14294/6/UPS-KT01379.pdf>
- ✚ Andreula, L. (2010). Red de Monitoreo y Supervisión de Variables en Subestaciones. Recuperado el. 21. Sitio Web: <https://www.monografias.com/trabajos-pdf4/red-monitoreo-sub-estaciones/red-monitoreo-sub-estaciones.pdf>
- ✚ Anónimo. (2006). EL SISTEMA ELÉCTRICO. 2020, de x Sitio web: <https://www.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/844814807X.pdf>
- ✚ Anónimo. (2015). AUTOMATIZACION. 2020, de Real Academia Sitio web: <http://www.sc.ehu.es/sbweb/webcentro/automatica/WebCQMH1/PAGINA%20PRINCIPAL/Automatizacion/Automatizacion.htm>
- ✚ Arias, F. (2006). El proyecto de Investigación. 2020, de Editorial Episteme Sitio web: <https://ebevidencia.com/wp-content/uploads/2014/12/EL-PROYECTO-DE-INVESTIGACION-6ta-Ed.-FIDIAS-G.-ARIAS.pdf>
- ✚ Arriagada, A. (1994). Evaluación de Confiabilidad en Sistemas Electrónicos de Distribución. Tomado de sitio web: https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/38043123/Evaluacion_y_conf_iabilidad_SEDaarriagada.pdf
- ✚ Ayala, J & Cáceres, J. (2015). Modelo De Mantenimiento Basado En Condición – CBM (Condition Based Maintenance) Para Los Sistemas De Transmisión, Subtransmisión Y Subestaciones Eléctricas / TSM Colombia S.A.S. 2020, de

Universidad Industrial De Santander Sitio web:
<http://noesis.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/37739/1/156338.pdf>

✚ Bedoya, A (2012). Estrategia De Reducción Para La Aplicación Generalizada De Localizadores De Fallas En Sistemas De Distribución De Energía Eléctrica. Pág 22. Tomado de sitio web: <http://www.scielo.org.co/pdf/eia/n17/n17a03.pdf>

✚ Bernal, M. & Jiménez, D. (2012). Propuesta de riesgo para sistemas eléctricos. Ing. USB Med, Vol. 3, No. 2. ISSN- 2027-5846. Julio-diciembre. Tomado de sitio web: <http://web.usbmed.edu.co/usbmed/fing/v3n2/v3n2a2.pdf>

✚ Bonilla, E. & Rodríguez, P. (2015). Más allá del dilema de los métodos: la investigación en ciencias sociales. Bogotá. Norma.

✚ Cáceres, J. y Morales, R. (2009). Diseño y construcción de prototipo de sistema de monitoreo de subestaciones eléctricas. Escuela especializada en ingeniería ITCA – FEPADE dirección de investigación y proyección social. Santa Tecla. Recuperado de: <http://www.redicces.org.sv/jspui/bitstream/10972/964/1/Disepdf>

✚ **CAPÍTULO I RED DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.** (2015). Tomado sitio web: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/10963/fichero/Archivos%252F01+Red+de+Distribucion+de+Energia+Electrica.pdf>

✚ CODIGO ELECTRONICO COLOMBIANO. NTC 2050. (1998). Tomado de sitio web: <https://www.idrd.gov.co/sitio/idrd/sites/default/files/imagenes/ntc%2020500.pdf>

✚ Consultora CESE. (2018). El Código Eléctrico Nacional De La National Fire Protection Association Incorpora Medidas De Seguridad Sobre Las Instalaciones

- Eléctricas. Tomado de sitio web: <https://ceseconsultores.com/codigo-electrico-nacional/>
- ✚ Contreras, C. (2013). Automatización de la subestación 1 de CU. Universidad Nacional Autónoma de México. México D.F.
- ✚ Correa, W. (2016). Evaluación De Los Procedimientos En El Diagnóstico De Pérdidas De Energía Eléctrica Implementados Por EDEC S.A. 2020, de Universidad Pedagógica Y Tecnológica De Colombia. Sitio web: <https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/001/1714/1/TGT-398.pdf>
- ✚ Covarrubias, M (2018). Diseño de un Sistema de Monitoreo Aplicable a Microrredes. Pág 20. Tomado de sitio web: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/15924/Tesis.pdf?sequence=1>
- ✚ CREG. (2016). /niveles-de-tensión-eléctrica-en-Colombia. 10/12/2016, de www.alvistec.com Sitio web: <http://www.alvistec.com/2016/10/niveles-de-tension-electrica-en-colombia.html>
- ✚ De la Torre, A., Cepeda, J. y Herrera, J. (2013). Implementación de un sistema de Monitoreo de área extendida en el sistema nacional interconectado del ecuador. Rev. Ingenius. Ecuador. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=505554816005>
- ✚ Espinosa, M. (2015). Diseño de Sistema de Control y Monitoreo de Subestación de Alta tensión eléctrica. Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. México D.F

- ✚ Espert, A. (2018). SCADA. ¿Qué es y qué permite hacer? Rev. Industrial. Recuperado de: <https://www.sothis.tech/scada-que-es-y-que-permite-hacer/>
- ✚ Ferrocarriles del Norte de Colombia S.A. FENOCO (2020). Sitio Web: <https://www.fenoco.com.co/index.php/quienes-somos>
- ✚ García, A. (2005). El control automático en la industria, Univ. de Castilla La Mancha.
- ✚ Galván, A (2016). TIPOS DE FALLAS EN SISTEMAS ELÉCTRICOS. Tomado de sitio web: <https://docplayer.es/13101313-Tipos-de-fallas-en-sistemas-electricos.html>
- ✚ Gómez, V (2011). Identificación Y Localización De Fallas En Sistemas De Distribución, Utilizando Medidores De Calidad Del Servicio De Energía Eléctrica. Tomado de sitio web: https://www.researchgate.net/publication/262656379_Identificacion_y_Localizacion_de_Fallas_en_Sistemas_de_Distribucion_con_Medidores_de_Calidad_del_Servicio_de_Energia_Electrica
- ✚ Hernández, R. (2010). Introducción a los Sistemas de Control. Tomado de sitio web: <http://lcr.uns.edu.ar/fcr/images/Introduccion%20a%20Los%20Sistemas%20de%20Control.pdf>
- ✚ ICONTEC. (2008). Protección Contra Descargas Eléctricas atmosféricas (Rayos). Parte 3: Daños físicos A Estructuras Y Amenazas A La Vida. Tomado de sitio web: https://www.academia.edu/9746068/NORMA_T%3%89CNICA_NTC_COLOMBIANA_4552-3_PROTECCI%3%93N_CONTRA_DESCARGAS_EL%3%89CTRICAS_AT

MOSF% C3% 89RICAS_RAYOS_ _PARTE_3_DA% C3% 91OS_F% C3% 8DSICO
S_A_ESTRUCTURAS_Y_AMENAZAS_A_LA_VIDA

- ✚ INGENIEROS. (2018). ¿En qué consiste un sistema de energía de respaldo o de emergencia? 2020, de AC&CC Ingeniería eléctrica y mecánica Sitio web: <https://www.ac-cc.com/blog/en-que-consiste-un-sistema-de-energia-de-respaldo-o-de-emergencia>
- ✚ Landázuri, C. (2016). Diseño e implementación de un sistema piloto para la automatización de alimentadores de la red de distribución. Universidad de Cuenca. Ecuador. Sitio Web: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/23690/1/TESIS.pdf>
- ✚ Landy, W. (2015). Desarrollo de un modelo de sistema de control y monitoreo de parámetros operacionales de un transformador de potencia, para diagnóstico y detección temprana de fallas. Universidad Politécnica Salesiana. Cuenca.
- ✚ Liñán, R. y Pascasio, A. (2010). Monitoreo en línea para la detección de fallas en transformadores de potencia. Instituto de Investigaciones Eléctricas.
- ✚ Lorber, E (2017). Evolución en los sistemas de Automatización de subestaciones. Recuperado[<http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=3042&edi=152&xit=evolucion-de-los-sistemas-de-automatizacion-de-subestaciones>].
- ✚ Morales, E. (2016). Sistema de Monitoreo de Activos de Subestaciones Eléctricas en Tiempo Real “QTMS”. Qualitrol Corp. La nota energética. Recuperado de: <https://lanotaenergetica.com/category/edicion-no-8/>
- ✚ Navarro, S. y Reyes, W. (2007). Desarrollo e implementación de una aplicación en LABVIEW para el monitoreo de los parámetros eléctricos y mecánicos y control de

los equipos de corte de la subestación Bosconia del acueducto metropolitano de Bucaramanga amb S.A. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga.

- ✚ Obez, Ovalo, Steier. (2018). Técnicas mixtas de recolección de datos en la investigación cualitativa. Proceso de construcción de las prácticas evaluativas de los profesores expertos en la UNNE. 2020, de Facultad de Humanidades, Universidad Nacional del Nordeste de Argentina Sitio web: <file:///C:/Users/JOHANA%20PELAEZ/Downloads/1685-Texto%20Artigo-6557-1-10-20180625.pdf>
- ✚ Ogata, K. (2003). Ingeniería de control moderna, Pearson Educación.
- ✚ Pérez, E. (2015). Los sistemas SCADA en la automatización industrial. Tecnología en Marcha. Vol. 28, N° 4. Sitio Web: <file:///C:/Users/JOHANA%20PELAEZ/Downloads/Dialnet-LosSistemasSCADAEnLaAutomatizacionIndustrial-5280242.pdf>
- ✚ Pérez, M; Pérez, A y Pérez, E (2007). Introducción a los Sistemas de Control y Modelo Matemático para Sistemas Lineales Invariantes en el Tiempo. Pág 10. Tomado de sitio web: <http://dea.unsj.edu.ar/control1/apuntes/unidad1y2.pdf>
- ✚ Pérez, R., Torres, H. y Fernández, E. (2012). Sistema de Monitoreo en Tiempo Real para el Diagnóstico de Transformadores de Potencia en una Empresa de Energía Eléctrica. 10th Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology. Panamá. Recuperado de: <http://www.laccei.org/LACCEI2012-Panama/RefereedPapers/RP069.pdf>
- ✚ Piedrafita, R. (1999). Evolución histórica de la Ingeniería de Control. Recuperado <http://automata.cps.unizar.es/regulacionautomatica/historia.PDF>

- ✚ Salazar, Á & Lozano, J (2004). Configuración Del Sistema Eléctrico Colombiano Y Normas Que Rigen La Calidad De Potencia. Pág 16. Tomado de sitio web: <https://biblioteca.utb.edu.co/notas/tesis/0026228.pdf>
- ✚ Skalind, N. (1998). Método de investigación. México: Prentice-Hall
- ✚ Smith, C. & Corripio, A. (1991) Control automático de procesos: teoría y práctica, Limusa, 1991.
- ✚ Tamayo, M. (2019). TIPOS DE INVESTIGACIÓN. 2020, de Anónimo Sitio web: https://trabajodegradoucm.weebly.com/uploads/1/9/0/9/19098589/tipos_de_investigacion.pdf
- ✚ Tecnología Eléctrica. (2006). El Sistema Eléctrico. Tomado de sitio web: <https://www.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/844814807X.pdf>
- ✚ TWENERGY. (2019). ¿Qué son las subestaciones eléctricas y para qué sirven? 2020, de Twenergy Sitio web: <https://twenergy.com/energia/energia-electrica/que-son-las-subestaciones-electricas/>
- ✚ REGLAMENTO TÉCNICO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS (RETIÉ) (2013). Tomado de Sitio Web: <https://www.minenergia.gov.co/documents/10180/1179442/Anexo+General+del+RETIÉ+vigente+actualizado+a+2015-1.pdf/57874c58-e61e-4104-8b8c-b64dbabedb13>
- ✚ Valle, O (2010). Monitoreo e Indicadores. Tomado de sitio web: [file:///C:/Users/JOHANA%20PELAEZ/Downloads/mONITOREOEINDICADOR ES.pdf](file:///C:/Users/JOHANA%20PELAEZ/Downloads/mONITOREOEINDICADOR%20ES.pdf)

- ✚ Zúñiga, V. (2004). Implementación de sistema de Telemetría de parámetros eléctricos de la Subestación MULALO; Monitoreo y Mando Remoto del equipo de maniobra mediante LABVIEW. Escuela Politécnica Nacional. Quito. Recuperado de: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/11653/1/T2269-12289.pdf>
- ✚ CREG. (2016). /niveles-de-tensión-eléctrica-en-Colombia. 10/12/2016, de www.alvistec.com Sitio web: <http://www.alvistec.com/2016/10/niveles-de-tension-electrica-en-colombia.html>