

RAE

1. **TIPO DE DOCUMENTO:** Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero en Mecatrónica.
2. **TITULO:** Diseño e implementación de un controlador automático con protocolos DNP3 e IEC6087005104 en un seccionador de arco rotativo marca Yaskawa.
3. **AUTOR:** Miguel Iván Madonado Mahecha
4. **LUGAR:** Bogotá D.C.
5. **FECHA:** 30-10-2012
6. **PALABRAS CLAVE:** Electrónica de potencia, Redes de distribución eléctrica, Seccionador, Reconectador, DNP3, IEC6087005104, Yaskawa.
7. **DESCRIPCION DEL TRABAJO:** El objetivo principal de este proyecto es el diseño e implementación de un controlador automático capaz de detectar y aislar un punto en falla en una red de distribución eléctrica, por medio de un seccionador de arco rotativo marca Yaskawa, además debe ser telecomandado desde un sistema SCADA por interfaz de comunicación DNP3 y IEC6087005104.
8. **LINEA DE INVESTIGACION:** Línea de investigación de la USB: Tecnologías actuales y sociedad. Sub línea de facultad de ingeniería: Instrumentación y control de procesos. Campo temático: Automatización de procesos.
9. **FUENTES CONSULTADAS:** YASKAWA ELECTRIC CORPORATION, Yaskawa Especificaciones Técnicas SHTS-01001S para Seccionador de Arco Rotativo en SF6 para operación bajo carga, Revisión 3, Enero 31, 2003. Juan Antonio Yebra Moron, Sistemas Eléctricos de Distribución, Editorial Reverte, 2009. Juan Pérez Cruz, Introducción a las Instalaciones y Tecnología Eléctrica, Editorial Servicio de Publicación Valencia, 2009. Reglamento Técnico De Instalaciones Eléctricas Retie. Ken Curtis, A DNP3 Protocol Primer, DNP3 Users Group, 20 March 2005. International Electrotechnical Commission, International Standard IEC 60870-5-104, IEC, Second edition, June 2006. Servicios Condumex (2005) Manual técnico de cables de energía, México, ed.Lito-Grapo. Jesus Tashorras, Redes de distribución, Editorial Creaciones Copyrigh, Enero 2009. SF6 Switchgear, Hugh McLaren Ryan, Gordon Rees Jones. F. Graf, Rudolf. Diccionario de Electrónica. Editorial Pirámide S.A. 1984.
10. **CONTENIDOS:** El trabajo a realizar se basa en la preocupación que se tiene al incorporar el seccionador marca Yaskawa al área nacional e internacional, teniendo como objetivo poder competir contra el mercado de reconectores usados por otras empresas, teniendo en cuenta que el seccionador de arco rotativo tiene una ventaja bastante favorable gracias a su sistema en vacío con presencia de gas SF6 el cual no es tóxico ni inflamable con un gran beneficio el cual aumenta su vida útil en gran porcentaje, por lo tanto se tiene un equipo con un buen rendimiento en el cual se pueden implementar diversos tipos de operaciones dependiendo la aplicación en la cual se quiera maniobrar, así mismo con el desarrollo a implementar se pretende mejorar el sistema de

distribución eléctrica en el ámbito nacional con un sistema eficaz y controlable a bajo costo.

11. **METODOLOGIA:** Es de carácter empirico-analitico, con un enfoque metodológico con base al diseño y implementación de un controlador automatico con protocolos de comunicación DNP3 y IEC6087005104 para un seccionador de arco rotativo marca Yaskawa.
12. **CONCLUSIONES:** La implementación del sistema apertura/cierre a 16A cumple con el requerimiento establecido para el accionamiento del equipo desde una estación remota. Al momento de analizar el sistema de control se seleccionó el controlador Unitronics el cual cumple con la función de operatividad local por medio de interface HMI y su programación está con base en la lógica Voltaje/Tiempo para la localización de puntos en falla en una red de distribución eléctrica. El sistema de comunicación que se elaboró bajo el sistema RTU Tbox-Lite para el monitoreo y operación desde el sistema SCADA demostró alta velocidad en operatividad y sin pérdida de datos en la transmisión de información. La fabricación y ensamble del gabinete se elaboró bajo el reglamento técnico de instalaciones eléctricas (RETIE) para equipos a la intemperie y cumple con la norma NTC2050 para evitar ambientes condensados. El sistema de control es capaz de operar en ausencia de tensión hasta por 10 horas gracias a la implementación del sistema de alimentación/UPS.

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE CONTROLADOR AUTOMÁTICO CON
PROTOCOLOS DNP3 E IEC608700-5-104 EN UN SECCIONADOR DE ARCO
ROTATIVO MARCA YASKAWA.

MIGUEL IVÁN MALDONADO MAHECHA

UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE MECATRÓNICA
BOGOTÁ D.C.
2012

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE CONTROLADOR AUTOMÁTICO CON
PROTOCOLOS DNP3 E IEC608700-5-104 EN UN SECCIONADOR DE ARCO
ROTATIVO MARCA YASKAWA.

MIGUEL IVÁN MALDONADO MAHECHA.

MMALDONADO@ACADEMIA.USBBOG.EDU.CO

Proyecto de Grado como requisito para optar el título de Ingeniero en
Mecatrónica.

ING. ALFONSO DUQUE
Director

UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE MECATRÓNICA
BOGOTÁ D.C.
2012

Nota de aceptación

Firma del Presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Bogotá, 30 de Agosto de 2012

Este trabajo está dedicado a todas las personas que me apoyaron para la realización de esta propuesta, y en el transcurso de mi carrera profesional.

A mi madre Cilia Mahecha, mi hermano Jorge Maldonado quienes me apoyaron en todo momento, especialmente a mi madre quien a pesar de todos los obstáculos que hemos tenido, me apoyó de todas las formas posibles para ser la persona que ahora soy.

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi más sentido agradecimiento a Dios, por haberme dado esta gran oportunidad tanto profesional como personal.

Quiero agradecer de manera especial a la compañía Variadores S.A. – *Yaskawa* y a mi jefe el ingeniero Jorge Andrés Plata, quien me dio su apoyo para la presentación de esta propuesta como mi proyecto de grado para alcanzar la meta de graduarme como Ingeniero Mecatrónico, además de ofrecerme una oportunidad laboral para comenzar con pie derecho mi experiencia profesional.

Al ingeniero Alfonso Duque y al ingeniero Javier Fonseca por su apoyo y su gran motivación.

A todos los profesores de la Universidad de San Buenaventura que me guiaron por el transcurso de mi carrera, gracias por su dedicación, su orientación y su nivel de exigencia.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	16
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
1.1 ANTECEDENTES.....	17
1.1.1 SECCIONADOR	17
1.1.2 RECONECTADOR.....	17
1.1.2.1 SCHNEIDER	18
1.1.2.2 SIEMENS	18
1.1.2.3 ABB	19
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	20
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	21
1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	22
1.4.1 OBJETIVO GENERAL.....	22
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	22
1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES.....	23
2. MARCO DE REFERENCIA	24
2.1 MARCO TEÓRICO - CONCEPTUAL.....	24
2.1.1 SECCIONADOR YASKAWA	24
2.1.1.1 ESTRUCTURA.....	25

2.1.1.2	CARACTERÍSTICAS DE OPERACIÓN	27
2.1.1.3	CARACTERÍSTICAS GENERALES.....	28
2.1.1.4	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	30
2.1.1.5	DIAGRAMA DE CABLEADO.....	30
2.1.1.6	DIMENSIONES	32
2.1.2	RECONECTADOR.....	33
2.1.2.1	FUNCIONAMIENTO DEL RECONECTADOR	33
2.1.3	PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN	34
2.1.3.1	IEC 60870-5-104.....	34
2.1.3.2	DNP 3.....	35
2.1.4	CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC)	36
2.1.5	UNIDAD TERMINAL REMOTA (RTU)	36
2.1.6	RELÉ.....	36
2.2	MARCO NORMATIVO.....	37
3.	METODOLOGÍA.....	38
3.1	ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN.....	38
3.2	LÍNEA DE INVESTIGACIÓN.....	38
3.3	TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	38
4.	DESARROLLO INGENIERIL	39
4.1	EVALUACIÓN DEL MÉTODO DE GENERACIÓN DEL PRODUCTO..	39
4.1.1	REQUERIMIENTOS DEL CLIENTE	40

4.1.2 ANÁLISIS TÉCNICO DE CARACTERÍSTICAS	42
4.2 ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS	43
4.2.1 REQUERIMIENTOS SISTEMA BASADO EN RELÉS	44
4.2.2 REQUERIMIENTOS SISTEMA ALIMENTACIÓN/UPS.....	44
4.2.3 REQUERIMIENTOS DE CONTROL (PLC-RTU)	45
4.2.4 REQUERIMIENTOS SISTEMA APERTURA/CIERRE 16A	46
4.3 REQUERIMIENTOS DE FUNCIONAMIENTO.....	46
4.4 RELACIÓN COMO VS COMO.....	47
4.5 SISTEMA BASADO EN RELÉS.....	47
4.5.1 ALTERNATIVA 1.....	48
4.5.2 ALTERNATIVA 2.....	49
4.5.3 ALTERNATIVA 3.....	51
4.5.4 SELECCIÓN SISTEMA BASADO EN RELÉS	52
4.6 SISTEMA DE ALIMENTACIÓN/UPS	53
4.6.1 ALTERNATIVA 1.....	53
4.6.2 ALTERNATIVA 2.....	54
4.6.3 ALTERNATIVA 3.....	54
4.6.4 SELECCIÓN SISTEMA ALIMENTACIÓN/UPS.....	55
4.7 SISTEMA DE CONTROL (PLC-RTU)	55
4.7.1 SEÑALES DE ENTRADA	56
4.7.2 SEÑALES DE SALIDA.....	57

4.7.3	ALTERNATIVA 1.....	58
4.7.4	ALTERNATIVA 2.....	59
4.7.5	ALTERNATIVA 3.....	60
4.7.6	SELECCIÓN SISTEMA DE CONTROL (PLC-RTU)	61
4.7.7	PROGRAMACIÓN LADDER PLC.....	63
4.7.8	PROGRAMACIÓN LADDER RTU	64
4.8	SISTEMA APERTURA/CIERRE 16A.....	65
4.8.1	ALTERNATIVA 1.....	65
4.8.2	ALTERNATIVA 2.....	66
4.8.3	ALTERNATIVA 3.....	66
4.8.4	SELECCIÓN SISTEMA APERTURA/CIERRE 16A	67
4.9	PROTECCIONES	68
4.10	GABINETE DE CONTROL	71
4.11	PRUEBAS	75
4.11.1	PRUEBAS DE COMUNICACIÓN.....	77
4.12	COSTOS.....	79
5.	CONCLUSIONES.....	80
6.	BIBLIOGRAFÍA	81

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 - Vida Mecánica Seccionador Yaskawa	29
Tabla 2 - Operación Seccionador Yaskawa	29
Tabla 3 - Especificaciones Técnicas Seccionador Yaskawa	30
Tabla 4 - Grupo1: Sistema Basado en Relés.....	44
Tabla 5 - Grupo2: Sistema basado en Alimentación/UPS	45
Tabla 6 - Grupo3: sistema de control.....	45
Tabla 7 - Grupo4: Sistema Apertura/Cierre a 16A	46
Tabla 8 - Precio Alternativa 1 Sistema Basado en Relés.....	49
Tabla 9 - Precio Alternativa 2 Sistema Basado en Relés.....	50
Tabla 10 - Precio Alternativa 3 Sistema Basado en Relés.....	52
Tabla 11 - Precio Alternativa 1 Sistema Alimentación/UPS	54
Tabla 12 - Precio Alternativa 2 Sistema Alimentación/UPS	54
Tabla 13 - Precio Alternativa 3 Sistema Alimentación/UPS	54
Tabla 14 - Precio Alternativa 1 Sistema de Control	59
Tabla 15 - Precio Alternativa 2 Sistema de Control	60
Tabla 16 - Precio Alternativa 3 Sistema de Control	61
Tabla 17 - Configuración Puerto Modbus	64
Tabla 18 – Dirección DNP3 para su operación en SCADA.....	65

Tabla 19 - Precio Alternativa 1 Sistema Apertura/Cierre 16A	66
Tabla 20 - Precio Alternativa 2 Sistema Apertura/Cierre 16A	66
Tabla 21 - Precio Alternativa 3 Sistema Apertura/Cierre 16A	67
Tabla 22 - Consumo de Potencia Elementos a Instalar	68
Tabla 23 - Consumo de Potencia Total Gabinete de Control.....	69
Tabla 24 - Selección de tipo de cable	70
Tabla 25 - Precio de Sistema de Protección Para Gabinete de Control	70
Tabla 26 - Volumen de Componentes a Instalar en Gabinete de Control.....	72
Tabla 27- Volumen Total de Gabinete a Diseñar	73
Tabla 28 - Precio gabinete de Control	74
Tabla 29 - Pruebas a Baterías <i>Vision</i> en Operación Constante.....	77
Tabla 30 - Precio Total de Gabinete TDC.....	79

LISTA DE GRÁFICOS

	Pág.
Ilustración 1 - Reconectador Schneider	18
Ilustración 2 - Reconectador Siemens	18
Ilustración 3 - Reconectador ABB.....	19
Ilustración 4 - Corte frontal Seccionador Yaskawa	25
Ilustración 5 - Vista Lateral Seccionador Yaskawa	26
Ilustración 6 - Tiempos de Operación Apertura/Cierre.....	28
Ilustración 7 - Diagrama de conexión Seccionador Yaskawa	30
Ilustración 8 - Dimensiones Seccionador Yaskawa	32
Ilustración 9 - Funcionamiento de Reconectador.....	33
Ilustración 10 - Diagrama Relé.....	37
Ilustración 11 – Modelo Estándar Reconectador Automático	39
Ilustración 12 - Casa de calidad.....	40
Ilustración 13 - Grupos Gabinete de control	44
Ilustración 14 - Sistema Basado en Relés	48
Ilustración 15 - Alternativa 1 Sistema basado en Relés.....	49
Ilustración 16 - Alternativa 2 sistema basado en relés.....	50
Ilustración 17 - Alternativa 3 sistema basado en relés.....	51
Ilustración 18 - Diagrama Sistema Basado en Relés.....	53

Ilustración 19 - Diagrama de potencia	55
Ilustración 20 - Alternativa 1 sistema de control	58
Ilustración 21 – alternativa 2 sistema de control	60
Ilustración 22 - alternativa 3 sistema de control	61
Ilustración 23 - Diagrama de control	62
Ilustración 24 - Panel principal PLC	63
Ilustración 25 - Diagrama Ladder programación PLC	64
Ilustración 26 - diagrama de conexión sistema apertura/cierre 16A	67
Ilustración 27 - Diagrama de control con tarjeta de potencia	68
Ilustración 28 - diagrama de potencia con protecciones	71
Ilustración 29 - Dimensiones gabinete de control	73
Ilustración 30 - distribución de elementos a instalar en gabinete de control	75
Ilustración 31 – Gabinete Construido.....	76
Ilustración 32 – Pruebas de comunicación sistema SCADA DNP3.0	78
Ilustración 33 – Pruebas de Comunicación sistema SCADA IEC-60870-5-104	78

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1 - Planos

Anexo 2 – Lista de Verificación “Check List”

Anexo 3 – Programación Ladder Unitronics

Anexo 4 – Planos Eléctricos

Anexo 5 – Programación Ladder T-Box

Anexo 6 - Cotizaciones

Anexo 7 – Especificaciones Técnicas Componentes

Anexo 8 – Carta Certificación

Anexo 9 - Norma Seccionador

GLOSARIO

- **SF6:** El hexafluoruro de azufre (SF6) es un compuesto inorgánico que en condiciones normales de presión y temperatura es un gas incoloro, no tóxico y no inflamable, con la peculiaridad de ser cinco veces más pesado que el aire, característica que permite realizar operaciones similares a las trabajadas en vacío debido a su baja conductividad.
- **Línea:** es llamado al circuito principal de distribución de la energía eléctrica
- **Suplencia:** en un sistema de distribución eléctrica el término de suplencia es usualmente usado para identificar el circuito de respaldo ante un evento de falla del circuito de línea.
- **PT:** Es un transformador reductor con un primario de alto voltaje y un secundario de baja tensión. Tiene una potencia nominal muy baja y su único objetivo es suministrar una muestra de voltaje del sistema de potencia, para que se mida con instrumentos incorporados. El enrollado primario de un transformador de potencial se conecta en paralelo con el circuito de potencia y en el secundario se conectan los instrumentos de protección.
- **Arco Eléctrico:** se le denomina al fenómeno presentado en la descarga de flujo eléctrico que se forma entre dos electrodos sometidos a una diferencia de potencial en un ambiente conductor. Las consecuencias de este fenómeno son altos niveles de intensidad lumínica y altas temperaturas.
- **UPS:** Un UPS (Sistema de alimentación ininterrumpida) es una fuente de suministro eléctrico temporal que tiene como función asumir la carga de los equipos conectados a este durante un corte de energía presentado. La autonomía de este sistema está en función de la capacidad de descarga de las baterías.
- **Aguas Arriba:** usualmente es llamado a todo el conjunto de elementos conectados antes de un instrumento de corte o interrupción.
- **Aguas Abajo:** se conoce como todos los elementos conectados después del sistema de interrupción o de corte.

INTRODUCCIÓN

El proyecto a desarrollar está basado en el diseño de un controlador automático e implementación de protocolos de comunicación DNP3 e IEC60870-5-104 para un seccionador de arco rotativo marca *Yaskawa*, teniendo en cuenta que los protocolos a utilizar son comunes en la industria de suministro de energía para monitorear y controlar el equipo remotamente. El sistema a intervenir debe llevar consigo un controlador capaz de detectar y aislar fallas en las líneas de media tensión, para así mismo realizar los ajustes pertinentes sin exponer al operario, con estas ventajas se pretende realizar un equipo con un funcionamiento similar al de un reconectador. Por lo tanto el desenlace de este proyecto está basado en el método de análisis que se uso para la elaboración del sistema a implementar, teniendo en cuenta los requerimientos establecidos para la operatividad del mismo.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 ANTECEDENTES

1.1.1 Seccionador. El seccionador es un mecanismo capaz de aislar una instalación eléctrica de su red de alimentación. Es un dispositivo que opera de forma lenta, puesto que depende de la manipulación de un operario (local por medio de perdiga). Este dispositivo, por sus características, debe ser utilizado siempre sin carga o en vacío.

El seccionador de arco rotativo marca Yaskawa tiene una particularidad bastante favorable, la cual es tener un sistema de activación remota por medio de un motor que permite la apertura de los contactos en media tensión. Este a su vez carga un resorte que al soltarse por la activación de un solenoide descarga la fuerza guardada permitiendo que el cierre de los contactos en media tensión sea lo más rápido posible para que arco se disipe en una cámara de arco rotativo que se encuentra en presencia de un gas SF₆ (características similares a trabajo en vacío).

1.1.2 Reconectador. El reconectador es un sistema capaz de realizar maniobras de apertura y cierre automático bajo carga, instalado en líneas de distribución eléctrica, además es utilizado como un sistema de protección capaz de detectar una sobrecorriente en la red, interrumpirla y posteriormente reconectar el sistema automáticamente. El sistema de control permite realizar varias reconexiones, pudiendo además, variar la secuencia de estas. De esta manera, si la falla es permanente el reconectador abre en forma definitiva aislando la sección en falla de la parte principal de la línea de distribución eléctrica.

En comparación con el funcionamiento del seccionador este puede operar con carga en condiciones atmosféricas. Además tiene un controlador automático encargado de la operatividad del reconectador que a su vez permite comunicarse con un sistema SCADA donde se recibe información del estado del equipo.

1.1.2.1 SCHNEIDER. “Reconectador Automático N-series – Controlador ACR”¹.



Ilustración 1 - Reconectador Schneider – Fuente Catalogo Reconectador N-Series Schneider

- **RECONECTADOR:**
Voltaje: 38KV.
Corriente: 800A.
Aislamiento: SF6.
Contactos: vacio.
- **CONTROLADOR:**
Comunicación: RS232, RS485, Ethernet TCP/IP, modem v23 SFK.
Control: Local/Remoto, retardo Abierto/Cerrado configurable, visualización de voltaje en fases, armónicos, alarma descarga de sf6.

1.1.2.2 SIEMENS. “Reconectador SDR Tres Fases – Controlador 7SR”².



Ilustración 2 - Reconectador Siemens – Fuente Catalogo Reconectador 7SR Siemens

¹ Reconectador Trifásico Automático – Fuente: Catalogo Merlin Gerin N-Series ACR. (Enero 2002)

² Disyuntor Automático SDR para distribución – Fuente: Catalogo Disyuntor Automático y controlador 7DR (2010).

- **Reconectador:**
 Voltaje: 38kv
 Corriente: 800A
 Aislamiento: Doble bobina, baja energía magnética del actuador
 Contactos: Vacío.
- **Controlador:**
 Comunicación: RS232, RS485, conexión USB, DNP 3.0
 Control: Local/Remoto, Visualización Voltaje/Corriente en fases, lectura de armónicos, retardo Abierto/Cerrado configurable.

1.1.2.3 ABB. “Reconectador OVR-3 – Control PCD”³.



Ilustración 3 - Reconectador ABB – Fuente: Catalogo Reconectador OVR3 ABB

- **Reconectador:**
 Voltaje: 38KV.
 Corriente: 800A.
 Aislamiento: Dieléctrico Sólido.
 Contactos: Vacío.
- **Controlador:**
 Comunicación: RS232, RS485, DNP3
 Control: Local/Remoto, visualización Voltaje/Corriente en fases, retardo Abierto/Cerrado configurable.

³ OVR Outdoor Vacuum Reclosers 15-38KV – Fuente: Reconectador serie OVR ABB.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Durante años la empresa japonesa *Yaskawa* ha distribuido el seccionador de arco rotativo con el fin de ser operado manualmente y dejado una gran brecha para la implementación de un controlador automático que tenga la opción de ser operado remotamente. En el sector colombiano la competencia con marcas de reconectores ha obligado a la compañía a realizar un desarrollo capaz de satisfacer las necesidades de empresas de distribución eléctrica las cuales contemplan un sistema capaz de operar remotamente y ser monitoreado bajo un sistema SCADA por protocolos de comunicación implementados en el área de distribución eléctrica, detectar y aislar un área de falla, operación en caso de ausencia de voltaje en la línea de distribución por medio de un sistema. Teniendo en cuenta estos principales requisitos surge el siguiente problema: ¿Cómo implementar un sistema de control automático e incorporar sistemas de comunicación para monitoreo de seccionador de arco rotativo marca *Yaskawa*?

1.3 JUSTIFICACIÓN

El trabajo a realizar se basa en la preocupación que se tiene al incorporar el seccionador marca *Yaskawa* al área nacional e internacional, teniendo como objetivo poder competir contra el mercado de reconectores usados por otras empresas, teniendo en cuenta que el seccionador de arco rotativo tiene una ventaja bastante favorable gracias a su sistema en vacío que permite realizar maniobras de apertura y cierre en una red de distribución eléctrica aislando el arco generado por esta operación, por lo tanto se tiene un equipo con un buen rendimiento en el cual se pueden implementar un controlador con el cual se puede realizar diferentes maniobras de operación remota, así mismo con este desarrollo se pretende mejorar el sistema de distribución eléctrica en el ámbito nacional con un sistema eficaz y controlable a bajo costo.

El seccionador de arco rotativo marca *Yaskawa* se pretende emplear en líneas de distribución eléctrica bajo un voltaje de media tensión, con la finalidad de abrir y cerrar la línea bajo carga teniendo en cuenta que tiene una vida útil de 1000 operaciones bajo carga a 600A, esta labor está en conjunto con un interruptor de carga que se ubica en el transformador de alta a media tensión el cual se cierra al haber una falla en la red de distribución.

Este proyecto significará un gran impulso en la carrera profesional del alumno de la Universidad de San Buenaventura que está en el desarrollo de dicho sistema para darse a conocer, gracias a un encuentro de empresas que se desarrollará en instalaciones de *Yaskawa* Chicago, donde uno de los eventos será la presentación de este proyecto por parte de este estudiante.

1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1 OBJETIVO GENERAL. Diseñar e implementar un controlador automático capaz de detectar y aislar el punto de falla en la línea de distribución eléctrica, con protocolos de comunicación DNP3.0 e IEC608700-5-104 en un seccionador de arco rotativo marca *Yaskawa*.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Diseñar e implementar la etapa eléctrica de lógica abierto/cerrado teniendo en cuenta voltajes y corrientes para la apertura/cierre del seccionador.
- Selección de controlador a implementar el cual tendrá una lógica capaz de detectar y aislar un área en falla en redes de distribución eléctrica en media tensión.
- Implementar sistema de comunicación DNP3.0 e IEC608700-5-104 para operación y monitoreo remoto del seccionador de arco rotativo marca *Yaskawa* desde un sistema SCADA.
- Diseñar e implementar un gabinete de control teniendo en cuenta la normatividad que expide el Reglamento Técnico De Instalaciones Eléctricas (RETIE) para equipos en la intemperie.

1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES

Como estudiante de ingeniería Mecatrónica se ha querido abordar un proyecto que no solo es una herramienta de desarrollo mecatrónico sino que a su vez, permitirá diseñar un equipo con características similares al funcionamiento de un reconector y poder ser implementado en el área nacional y se presente como un sistema fiable y de un precio razonable, generando una razón para que el mercado internacional observe el sistema implementado como una opción que cumple con lo requerido para el funcionamiento en redes de distribución teniendo en cuenta que la marca *Yaskawa* tiene un mercado bastante dinámico en la venta de seccionadores de arco rotativo en países como México, Japón y otros.

La finalidad de este proyecto es generar un sistema automático capaz de detectar y aislar un área en falla en líneas de distribución eléctrica, el cual a su vez pueda ser operado desde un centro SCADA permitiendo realizar el ajuste o mantenimiento a la línea afectada. Por lo tanto con este funcionamiento se quiere llegar a realizar un equipo que funcione de manera similar a un reconector automático.

Las limitantes principales se basan en el hecho de que la información acerca de la funcionalidad del reconector automático es confidencial. Además se quiere un resultado eficiente al menor costo posible sin exponer la calidad, ya que hay grandes empresas en competencia las cuales presentan excelentes propuestas de diferentes esquemas de reectores controlados, por lo tanto no se puede exceder el presupuesto a la hora de implementar los diferentes componentes para su funcionamiento integral, teniendo en cuenta no arriesgar el proceso con instrumentos de mala calidad y de vida útil baja.

2. MARCO DE REFERENCIA

2.1 MARCO TEÓRICO – CONCEPTUAL

Teniendo en cuenta que todo sistema de distribución eléctrica en media tensión debe ser manipulado sin carga o en vacío, ya sea para mantenimiento o reparación con sus debidas protecciones de trabajo en altura se dispone de un concepto, el seccionador.

Los seccionadores son máquinas electromecánicas que permiten el paso o no de corrientes eléctricas en media tensión. Estos dispositivos son ampliamente utilizados en la industria de interconexión eléctrica porque permiten aislar fallas en la red de distribución.

2.1.1 SECCIONADOR YASKAWA. El Seccionador *Yaskawa* ha sido diseñado y probado por *Yaskawa Electric Corporation* siguiendo las normas internacionales actuales. Cada Seccionador es fabricado en la planta de *Yaskawa Electric Corporation* localizada en Fukuoka, Japón. El Seccionador *Yaskawa*, sus componentes y accesorios son ensamblados y probados en la fábrica siguiendo los requerimientos indicados en el programa de calidad de *Yaskawa* establecido bajo certificación ISO 9001. El Seccionador completo tiene suficiente resistencia mecánica para soportar esfuerzos normales que se presentan durante la manipulación, transporte y montaje, capacidad de operación dentro de los valores nominales. El Seccionador *Yaskawa* y sus subcomponentes no cambiarán sus características técnicas debido a envejecimiento, variaciones de temperatura, humedad, o erosión siempre y cuando sea instalado y utilizado en forma apropiada. Si el Seccionador se instala y opera adecuadamente no se requerirán ajustes o calibraciones delicadas y frecuentes, tampoco se presentará desgaste o desajuste excesivos durante operación normal, ni requerirá periodos frecuentes de lubricación. Los contactos primarios están en el tanque que contiene el Gas SF₆. El Mecanismo incluye los elementos y resortes necesarios, con suficiente resistencia mecánica diseñados para almacenar la energía requerida para la operación de cierre y apertura con corriente nominal. La sección de control incluye el Motor que carga los resortes de operación, bobinas de cierre y disparo que permiten una apropiada operación del Seccionador.

2.1.1.1 Estructura:

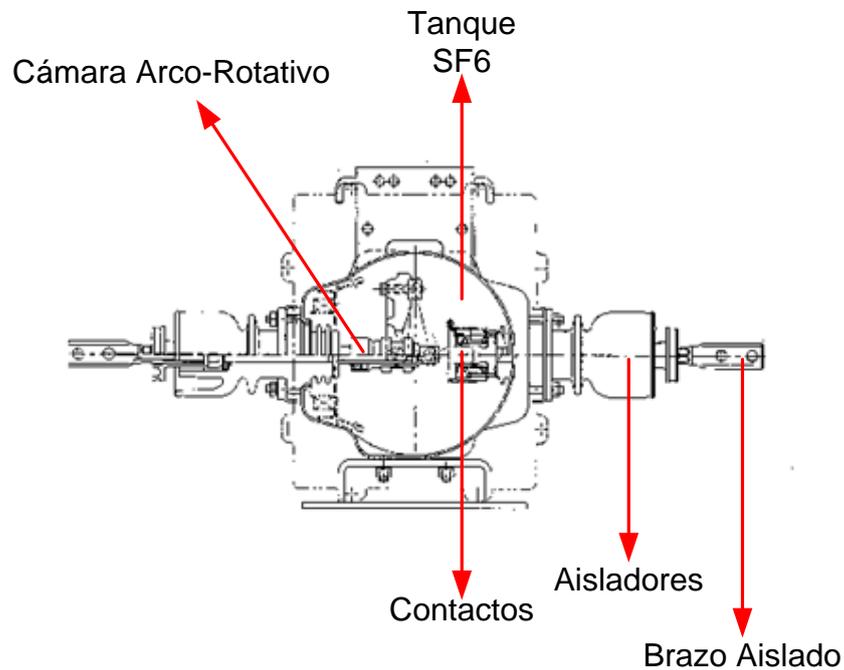


Ilustración 4 –Corte frontal Seccionador Yaskawa

- **Tanque SF6:** El tanque es fabricado en lámina de acero inoxidable, de espesor mayor de 2.5mm. El diseño de los empaques y las perforaciones en el tanque permiten asegurar que los empaques no se desplazarán por el aumento de presión que se genera con la operación del seccionador en condiciones operativas. El tanque incorpora un dispositivo de liberación de sobrepresión para proteger al personal en caso de alguna falla interna.
- **Medio de Interrupción y aislamiento:** El tanque se llena con gas SF6 (Hexa-fluoruro de Azufre) que además de ser el medio de aislamiento permite la rotación para la extinción del arco eléctrico.
- **Cámara de Arco Rotativo:** El seccionador contiene una cámara de arco rotativo que consiste de los contactos, el cilindro generador de la rotación del arco, una bobina impulsora del arco y una guía del arco. Estos componentes son diseñados y fabricados para soportar altos esfuerzos mecánicos y eléctricos. Los esfuerzos de estos componentes minimizan el desgaste de la cámara del arco rotativo por la energía que genera el arco eléctrico.

- **Contactos:** Los contactos fijo y móvil que están expuestos al efecto de la energía generada por el arco eléctrico están contruidos con materiales que pueden soportar ampliamente todos los rangos de arcos generados en operación. La capacidad de los contactos también minimiza el desgaste causado por la energía que genera el arco. Los contactos son del tipo multipuntos para mantener la presión requerida por un tiempo indefinido. La porción del contacto móvil que se desliza durante la operación, incorpora un camino para la corriente primaria y no está expuesto a los efectos del arco eléctrico.
- **Brazo Aislado:** Un brazo aislado de resina epóxica con una excelente capacidad dieléctrica y resistencia mecánica, actúa el contacto móvil.
- **Aisladores:** La estructura que soporta los contactos fijos y móviles son aisladores contruidos en porcelana de alta calidad que no absorben humedad y tienen alta resistencia para soportar variaciones bruscas de temperatura. Los aisladores tienen suficiente distancia para evitar fuga de corriente y una excelente resistencia contra las condiciones de contaminación en ambientes húmedos y salinos. Los aisladores no son afectados por el gas SF6. Esta estructura está diseñada y fabricada para soportar altas fuerzas mecánicas y eléctricas, capaz de soportar la operación a valores nominales, siempre y cuando se instale y utilice de manera consistente con estas guías.

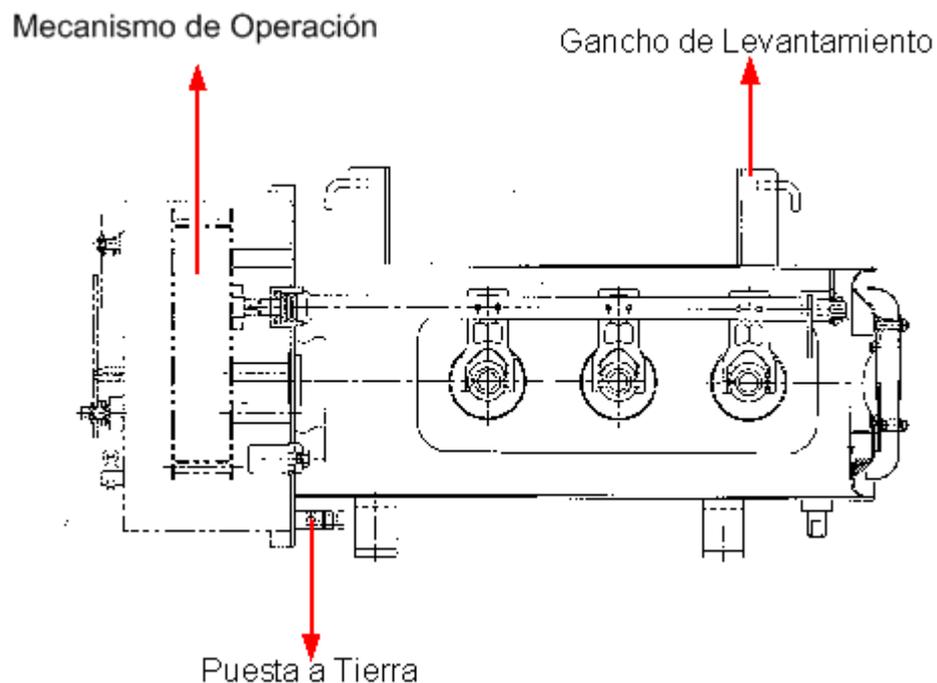


Ilustración 5 – Vista Lateral Seccionador Yaskawa

- **Mecanismo de operación:** El Seccionador *Yaskawa* deberá tener suficiente capacidad de energía almacenada en los resortes para garantizar una operación de cierre y apertura a valores de corriente nominal. El resorte de cierre es comprimido y cargado por un motor, sin embargo el seccionador podrá ser operado manualmente para cargar el resorte y cerrar el seccionador. La energía almacenada en el resorte de cierre es utilizada durante la operación y liberada o cerrada por los mecanismos del seccionador hasta que se cargan los resortes de apertura.
- **Absorbente de humedad:** En el tanque del seccionador se encuentra un absorbente que se encarga de la humedad y los subproductos resultantes de la descomposición de los gases SF6 causados por el arco eléctrico.
- **Contador Mecánico:** Un contador mecánico del número de operaciones del seccionador se suministra con el equipo, este podrá ser observado a través de una ventana en el mecanismo de operación.
- **Terminal de puesta a tierra:** Un terminal de puesta a tierra se suministra, para permitir la puesta a tierra conectando un cable de sección entre 10-70 mm².
- **Gancho de levantamiento:** El seccionador tiene 4 ganchos de izaje para su respectivo transporte o instalación.

2.1.1.2 Características de operación del sistema de control. El Seccionador bajo carga deberá operar de una condición de abierto a cerrado a través de una señal de cierre externa. Los resortes de apertura y cierre, deberán ser cargados secuencialmente. Tan pronto como el resorte de cierre se carga, libera su energía almacenada para cerrar el seccionador. El seccionador deberá abrir mediante un comando de apertura externo. La bobina de disparo al ser energizada permite liberar la energía almacenada en el resorte de apertura y abre el seccionador.

Los interruptores límite previenen la energización del motor de carga cuando el seccionador está cerrado. Además cuando el Seccionador está cerrado el interruptor límite no permitirá que el motor de carga sea energizado por medio de un comando eléctrico.

La operación manual permite la operación de cierre y apertura manualmente por medio de una pértiga.

La operación de apertura puede fallar debido a que el comando de cierre no ha concluido su tiempo de operación.

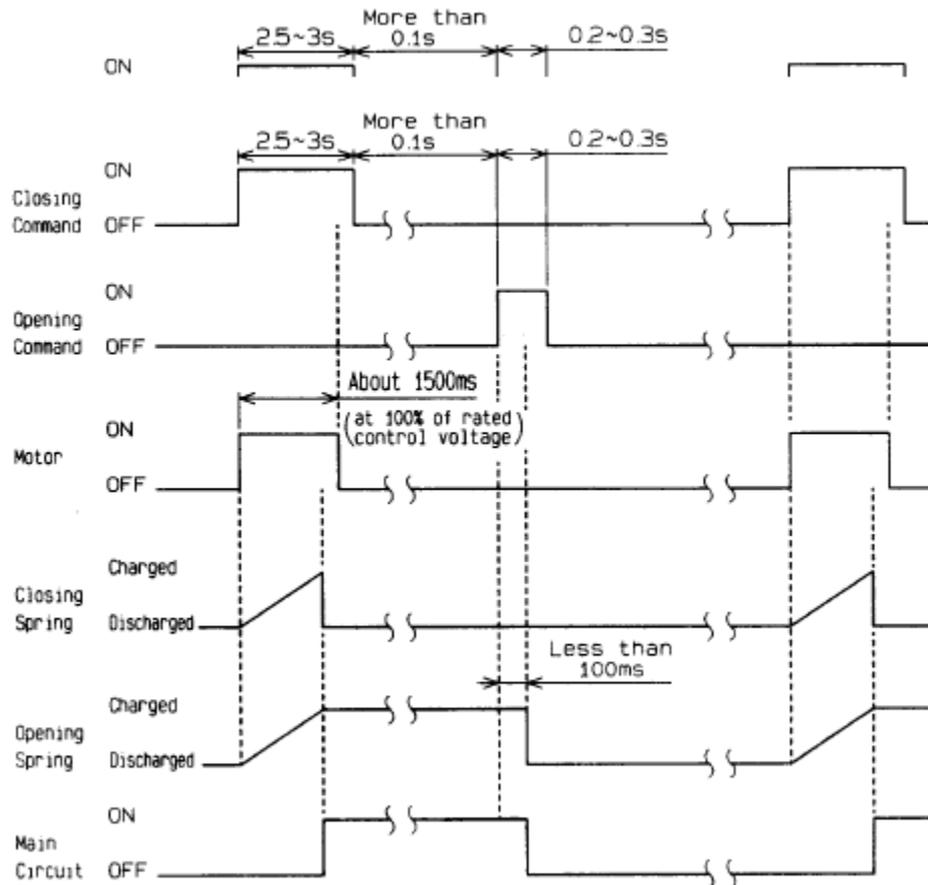


Ilustración 6 - Tiempos de Operación Apertura/Cierre

2.1.1.3 Características generales de funcionamiento. El seccionador se ha diseñado y fabricado bajo estrictos controles de calidad que cumplen o exceden los requerimientos de normas y estándares internacionales. Las características y especificaciones generales de funcionamiento del seccionador Yaskawa son las siguientes:

- **Voltaje nominal máximo:**
 - Nivel de Aislamiento a frecuencia industrial: El seccionador debe soportar los valores aplicados a cada terminal durante un minuto sin presentar daño o fuga de corriente. El circuito de control debe soportar 2kV aplicado durante tres veces a cada terminal sin ningún daño o fuga de corriente.

- Nivel de Aislamiento a tensión de impulso: El seccionador debe soportar los valores de tensión de impulso, positiva y negativa sin sufrir ningún daño.
- **Resistencia de aislamiento:** El seccionador tiene una resistencia de aislamiento mayor a 1000 mega ohmios medida con Megger con 1000 V aplicados a cada terminal sin daños. El circuito de control deberá tener una resistencia de aislamiento mayor a 5 mega ohmios con 500 V aplicados entre cada terminal sin sufrir daños.
- **Vida Mecánica:** El seccionador está diseñado para efectuar como mínimo 20.000 operaciones en condiciones de vacío, de acuerdo con las condiciones de operación descritas a continuación:

Operación Automática	100% del voltaje de control	14000 operaciones
	115% del voltaje de control	1500 operaciones
	85% del voltaje de control	1500 operaciones
Operación Manual		3000 operaciones

Tabla 1 - Vida Mecánica Seccionador Yaskawa – Fuente catalogo Seccionador Yaskawa.

- **Operación del seccionador:** el seccionador opera bajo las siguientes condiciones

Operación Manual	Fuerza para operación manual	Para cierre	Menos de 250 N
		Para Abrir	Menos de 150N
Operación Automática	Voltaje de cierre	de 85% a 115% del voltaje de control	
	corriente de cierre	5A (pico 20A) a 100% del voltaje de control	
	tiempo de cierre	Menos de 1500ms a 100% del voltaje de control	
	voltaje de apertura	de 85% a 115% del voltaje de control	
	corriente de apertura	10A (pico 16A) a 100% del voltaje de control	
	tiempo de apertura	menos de 100ms a 100%	

Tabla 2 - Operación Seccionador Yaskawa – Fuente: Catalogo Seccionador Yaskawa

2.1.1.4 Especificaciones Técnicas.

Especificación Mínima \ Modelo	LFG-15ERA141(-E)	Notas
Voltaje nominal máximo	15KV	
Frecuencia nominal	60Hz	
Corriente nominal	630A	
Corriente nominal de interrupción	630A	> 1000 veces pf >= 0.7
Corriente de interrupción en transformador en vacio	21A	> 20 veces
Corriente de interrupción en circuito energizado	2A	> 20 veces
Numero de polos	3	
Corriente de corta duración (rms)	12.5KVA	
Corriente de corta duración (pico)	31.5A	
Vida eléctrica (# de operaciones)	1000	630 A
Vida mecánica (# de operaciones)	20000	
Tipo de operación	Motorizada con energía almacenada en resorte	24V
Tiempo de cierre	menos de 1.5s	
Tiempo de apertura	menos de 100 ms	

Tabla 3 - Especificaciones Técnicas Seccionador Yaskawa – Fuente Catalogo Seccionador Yaskawa

2.1.1.5 Diagrama de cableado.

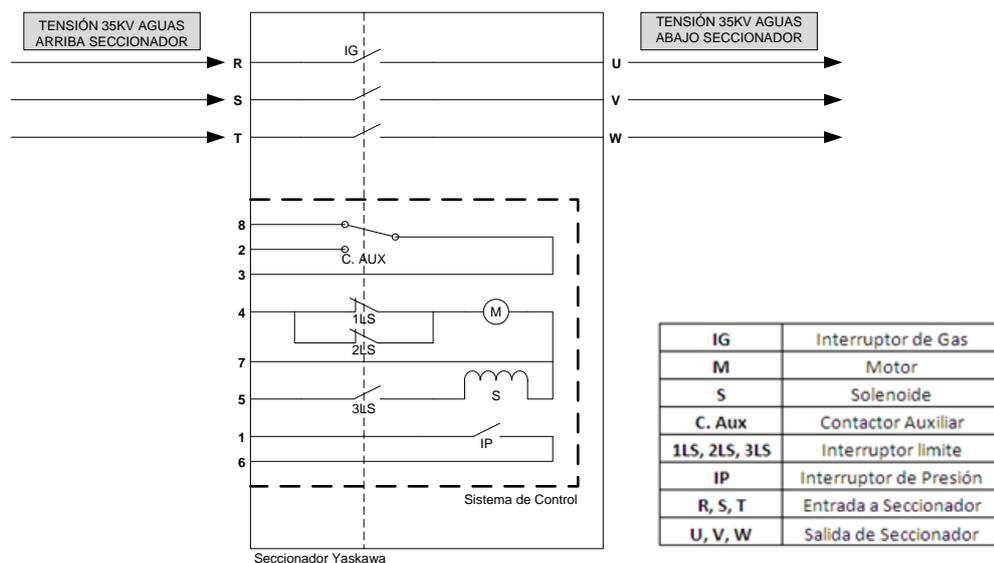


Ilustración 7 - Diagrama de conexión Seccionador Yaskawa - Fuente: Autor

En la ilustración 7 se puede observar el diagrama de conexión correspondiente al sistema de control para la operación remota del seccionador. En donde se encuentran los siguientes elementos:

- **Interruptor de Gas:** cámara de arco rotativo en donde se realiza la operación de Apertura/Cierre de la línea de transmisión eléctrica.
- **Motor:** elemento capaz de realizar la operación de cierre del seccionador permitiendo el paso de tensión en la línea aguas abajo del sistema, este a su vez carga un resorte que permite la apertura del seccionador por medio la activación del solenoide.
- **Solenoide:** tiene como función liberar el resorte para la apertura del seccionador interrumpiendo la línea de distribución eléctrica
- **Contacto Auxiliar:** es el encargado de informar mediante una señal digital el estado actual del seccionador (Abierto/cerrado).
- **Interruptor Límite:** impide la activación del motor en caso de que el seccionador se encuentre en posición cerrado, de igual manera en caso de que el seccionador se encuentre abierto no permita energizar de nuevo el solenoide.
- **Interruptor de Presión:** señal digital encargada de activarse en caso de que el nivel presión del gas SF6 se encuentre por debajo de los límites establecidos.

2.1.1.6 Dimensiones.

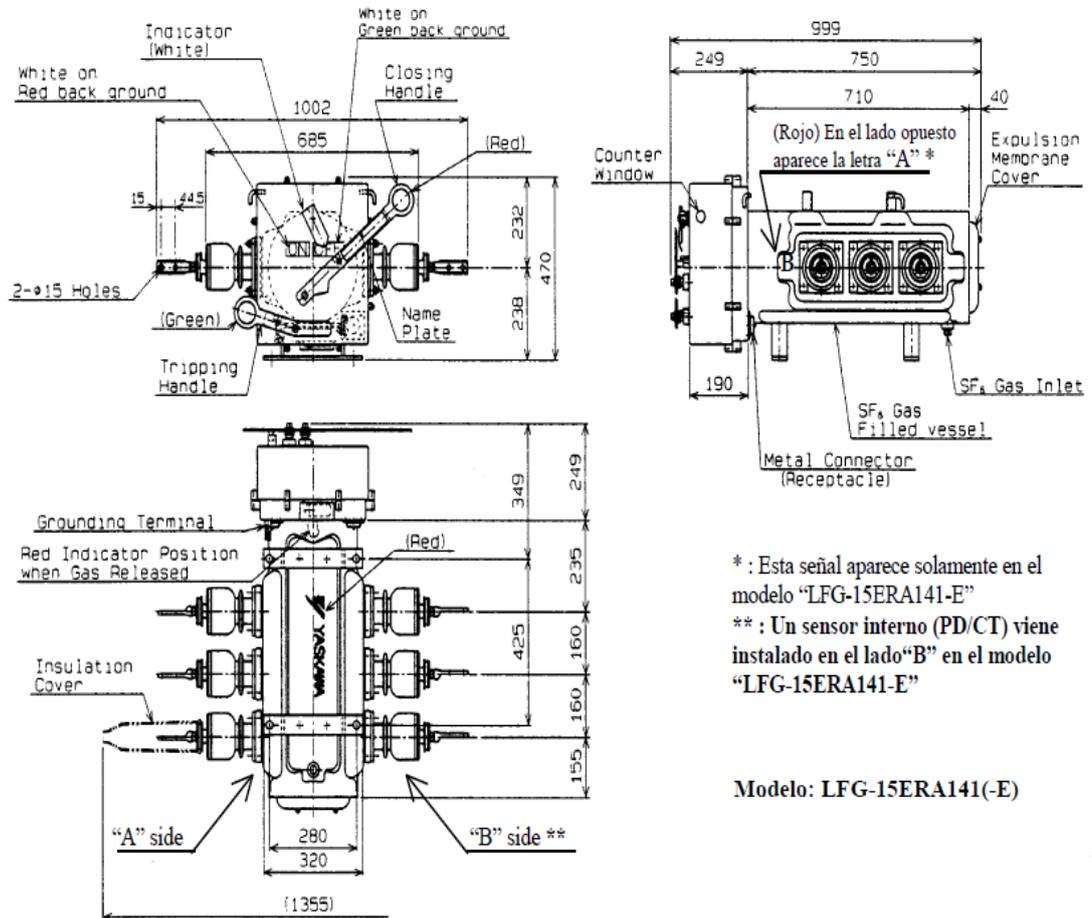


Ilustración 8 - Dimensiones Seccionador Yaskawa – Fuente: Catalogo Seccionador Yaskawa

2.1.2 RECONECTADOR

El reconectador es un dispositivo de protección capaz de realizar maniobras de reconexión automática en líneas de distribución eléctrica. Su sistema de control permite su operación remota además de localizar y aislar un área en falla.

2.1.2.1 Funcionamientos del Reconectador. El método de operación automático de un reconectador en líneas de distribución eléctrica emplea una lógica capaz de detectar y aislar un área en falla. Este a su vez se comunica con un sistema Scada para informar la operación en la que se encuentra el equipo por medio de protocolos empleados en transmisión de energía.

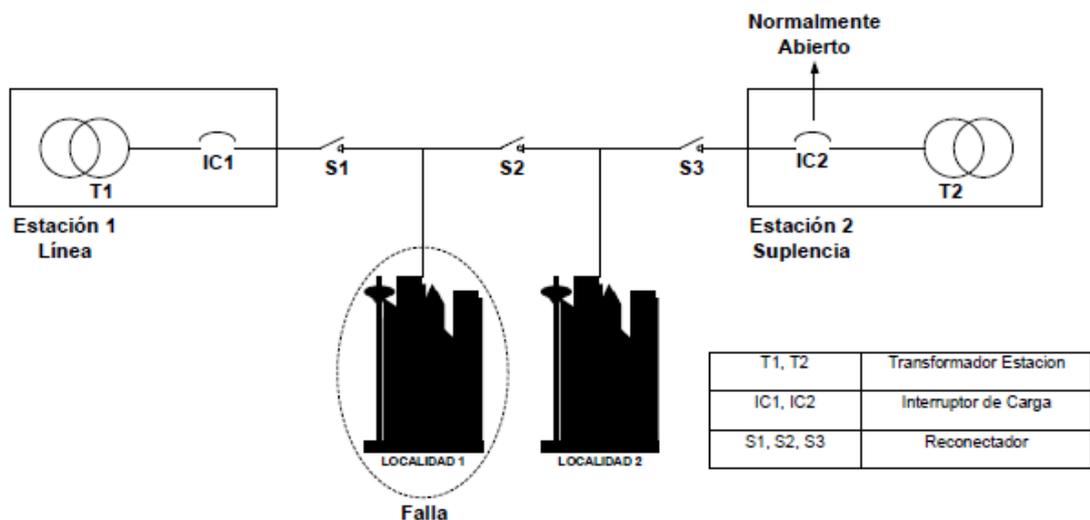


Ilustración 9 - Funcionamiento de Reconectador en Sistema de Distribución Eléctrica – Fuente: Autor

La ilustración 9 muestra una red de distribución eléctrica en la que se instalan 3 reconectores (S1, S2 y S3) para alimentar dos localidades (Localidad1 y Localidad2) por medio de dos estaciones (Estación1/Línea - Estación2/Suplencia) con sus respectivos Interruptores de carga (IC1 e IC2) que se disparan en caso de una sobrecarga en el sistema.

En caso de que se genere una falla en la localidad 1, el interruptor de carga 1 se abre instantáneamente, al igual que todos los reconectores (S1, S2 y S3) de la red de distribución eléctrica. Posteriormente el interruptor de carga 1 se cierra, el reconectador 1 al detectar tensión aguas arriba permite el cierre del reconectador S1. Al cerrar el reconectador S1 y debido a la ubicación de la falla el interruptor reabre tan pronto S1 se cierra. El controlador correspondiente al reconectador S1 reconoce la ubicación de la falla y bloquea el reconectador localizando el área en falla.

Por medio de comunicaciones entre las estaciones el interruptor de carga 2 permite el paso de tensión hacia el reconectador S3 el cual se cierra teniendo otro punto de abastecimiento desde el otro extremo. Este a su vez permite la alimentación de la localidad 2 y el recierre del reconectador S2 que se dispara y bloquea debido a que la falla en la localidad 1 persiste.

Por ende al realizar el nuevo cierre del interruptor de carga 2 y el reconectador S3 de suplencia permiten la alimentación de la localidad 2.

2.1.3 PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN

2.1.3.1 IEC 60870-5-104. Es una norma internacional preparada por TC57 para la monitorización de los sistemas de energía, sistemas de control y sus comunicaciones asociadas con cambios en los servicios de la capa de transporte, de la capa de red, de la capa de enlace y de la capa física para satisfacer la totalidad de accesos a la red. El estándar utiliza la interfaz de red TCP/IP para disponer conectividad de red LAN con diferentes rutas de instalación. Existen dos capas de enlace definidas en la norma, que son adecuadas para la transferencia de datos a través de Ethernet o una línea serie.

- **Modos de transmisión:**

- Transmisión no balanceada: Una estación primaria inicia todas las transmisiones de mensajes y se interroga periódicamente a las estaciones remotas transmitiendo únicamente cuando son interrogadas.
- Transmisión balanceada: Cualquier estación es primaria y secundaria a la vez y puede iniciar una transmisión de mensajes la cual permite que las estaciones remotas generen respuestas espontáneas.

- **Procedimientos de transmisión balanceados:**

- SEND/NO REPLY: Se envían mensajes sin esperar confirmación a nivel de enlace.
- SEND/CONFIRM: Los mensajes deben ser validados por el receptor con una trama de CONFIRM. El emisor no puede enviar otro mensaje hasta que reciba el CONFIRM del mensaje anterior.

- **REQUEST/RESPOND:** El emisor solicita el estado del nivel de enlace y el receptor envía un RESPOND con este estado.

2.1.3.2 DNP 3. Es un protocolo industrial diseñado por *Harris Controls* basado en una versión más actual del IEC 60870-5. Es usualmente usado para el control y monitoreo de equipos instalados en un sistema SCADA el cual presenta importantes funcionalidades que lo hacen más robusto, eficiente y compatible.

Entre sus características principales existe la posibilidad de que los equipos esclavos tienen la posibilidad de informar a la estación maestra acerca de la presencia de eventos de clase 1, clase 2 o clase 3, de la necesidad de ser sincronizada o de la presencia de anomalías en la configuración o en la base de datos.

El sistema de comunicación comprende dos niveles los cuales se explican a continuación:

- **Niveles de escritura:**

- **Nivel de enlace:** los segmentos recibidos son puestos en tramas, añadiendo a estos una cabecera de enlace.
- **Nivel de aplicación:** Los datos se guardan en fragmentos a nivel de aplicación.
- **Nivel de transporte:** es el encargado de adaptar los Fragmentos para luego ser guardados en tramas, seccionando el mensaje del nivel de aplicación si es necesario, y les agrega la cabecera de transporte, formando de este modo los segmentos.

- **Niveles de lectura:**

- **Nivel de enlace:** se encarga de extraer los segmentos de las tramas recibidas que luego son pasados al nivel de transporte.
- **Nivel de transporte:** lee los segmentos recibidos del nivel de enlace, y con la información obtenida extrae y compone los fragmentos que serán pasados al nivel de aplicación.

- **Nivel de aplicación:** los fragmentos son analizados y los datos son procesados según el modelo de objetos definido por las especificaciones del estándar.

2.1.4 Controlador Lógico Programable (PLC). El controlador lógico programable (PLC) es un equipo electrónico que se ha diseñado para controlar procesos secuenciales en tiempo real. Por sus características de diseño, tiene un campo de aplicación muy extenso en el cual se conectan tipos de señales tanto binarias como analógicas para luego ser procesadas y tomar una acción frente el proceso en el que se ha implementado el controlador. Usualmente es utilizado para realizar labores donde es necesario mantener un constante monitoreo, control y señalización del proceso.

Cuenta con dos tipos de memoria para funcionar y almacenar la información de operación:

- Memoria RAM: memoria volátil de lectura/escritura en la cual se almacenan los datos de operación y cálculos necesarios en la operación.
- Memoria ROM: memoria no volátil de solo lectura en la cual se programa todo su sistema operativo, donde el usuario no puede realizar cambio alguno.

2.1.5 Unidad Terminal Remota (RTU). La unidad terminal remota (RTU) es un sistema basado en microprocesadores capaz de recolectar datos, realizar cálculos matemáticos y generar bases de datos a grandes velocidades. La información será enviada a otros sistemas tales como PLC's, sistemas de control y sistemas remotos donde se procese la información. También cuenta con un gran número de protocolos de comunicación para su implementación en el área eléctrica.

2.1.6 Relé. El relé es un interruptor automático controlado por un pulso magnético permitiendo abrir o cerrar circuitos eléctricos. Consta de un electroimán y un interruptor de contactos (Ilustración 10). El electroimán está rodeado por una bobina de cobre que al pasar corriente eléctrica en el núcleo se magnetiza convirtiéndolo en un imán que a su vez atrae al inducido permitiendo que el interruptor se junte y permita el paso de corriente a través de ellos.

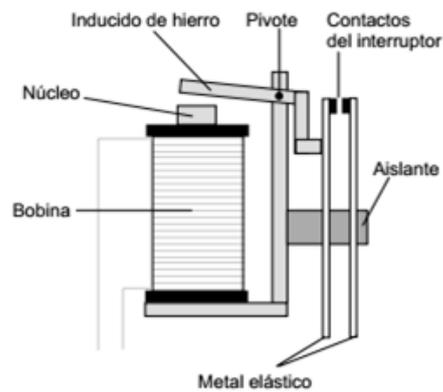


Ilustración 10 - Diagrama Relé – Fuente: F. Graf, Rudolf. Diccionario de Electrónica. Editorial Pirámide S.A. 1984.

La corriente que pasa por los contactos es mucho mayor que la corriente que carga la bobina, por lo tanto es posible usarlo para aislar equipos de corrientes muy altas.

2.2 MARCO NORMATIVO

Para el proceso de diseño y construcción del proyecto que además será implementado en la industria colombiana es necesario tener en cuenta las siguientes normatividades.

- Reglamento técnico de instalaciones eléctricas (RETIE).
- Código eléctrico colombiano (NTC 2050).

Estas normas abarcan todos los temas de construcción para gabinetes de control en la intemperie al igual que la señalización requerida para su operatividad. Por lo tanto, cada aspecto de diseño y construcción estarán regidos bajo estas normas y así poder implementar un sistema con los estándares de seguridad necesarios.

3. METODOLOGÍA

3.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

Para cumplir los objetivos propuestos, la orientación que se toma es de carácter Empírico – Analítica; debido a que los procedimientos y recursos que se poseen propios de los conocimientos en ingeniería son la estructura en la cual se soporta la investigación de este proyecto; esta perspectiva es la clave en la búsqueda de la verificación entre los modelos teóricos y los resultados experimentales para identificar la solución mas adecuada.

3.2 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

- **Línea de Investigación:** Tecnologías actuales y sociedad.
- **Sub-línea de facultad:** Instrumentación y control de procesos.
- **Campo temático del programa:** Automatización de procesos.

3.3 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

La información requerida durante el desarrollo del proyecto se recolectara mediante la consulta bibliográfica, la obtención de información en la red y las simulaciones necesarias para el establecimiento de las exigencias del proyecto. También se realizarán unas series de pruebas mediante simuladores y mediciones de las variables que intervienen en el proceso.

4. DESARROLLO INGENIERIL

En esta etapa del desarrollo se analizó el proceso a implementar teniendo en cuenta las necesidades tanto del cliente como de la compañía, creando un sistema conformado por grupos que integran y cumplen todos los elementos establecidos para dar como resultado el controlador automático con protocolos DNP3 e IEC608700-5-104 en un seccionador de arco rotativo marca Yaskawa. Posteriormente se analizó cada grupo creando diversas alternativas de solución y así seleccionar la mejor opción contemplando un enfoque individual de cada componente con base en la ingeniería a implementar.

Se continuó con la selección del sistema de protecciones teniendo en cuenta la carga que circula por el sistema y así proteger el equipo a diseñar de descargas atmosféricas, corto circuitos en la línea, entre otros.

Teniendo en cuenta todos los componentes a instalar se diseñó el gabinete a implementar, teniendo en cuenta la norma NTC 2050 para gabinetes instalados en la intemperie. Posteriormente se realizan pruebas de la lógica implementada y así poder comprobar que el equipo cumple con los requerimientos establecidos de operación.

4.1 EVALUACIÓN DEL MÉTODO DE GENERACIÓN DEL PRODUCTO

A continuación se presenta un modelo del funcionamiento estándar de un reconectador automático (Ilustración 11) en el cual se puede observar de manera general las funciones del controlador automático con protocolos DNP3.0 y IEC608700-5-104 en un seccionador de arco rotativo marca Yaskawa que se implementara en el desarrollo de este proyecto.

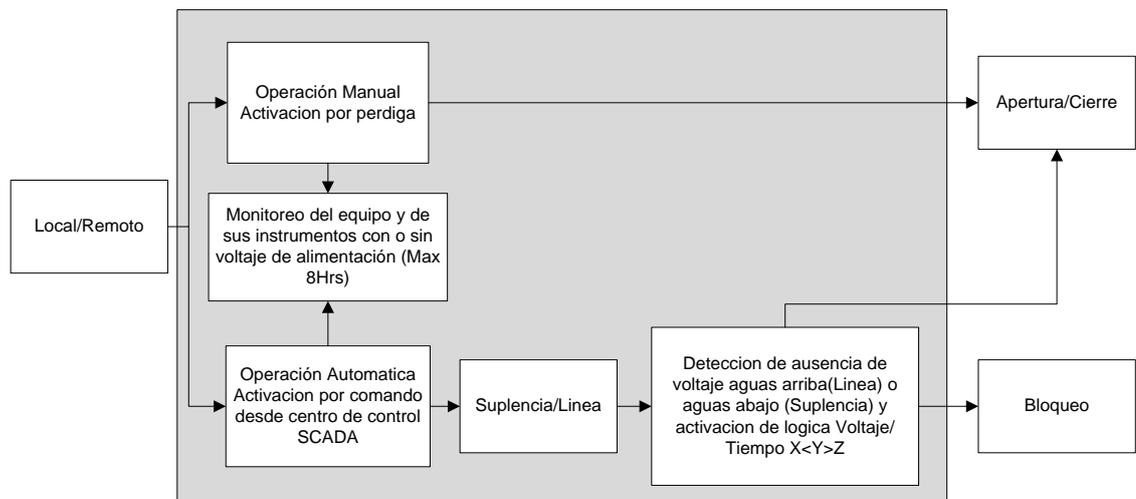


Ilustración 11 – Modelo Estándar Reconectador Automático

A partir de la ilustración 11, se buscó agrupar los conceptos de los sistemas que componen la máquina; se tiene entonces en mayor detalle la identificación y estructura de las funciones.

Debido a que existe una licitación en curso donde un cliente de la compañía exige métodos de operación exclusivos, se realiza una casa de calidad (Ilustración 12) “la cual permite la documentación formal del proceso lógico a través de la superposición de matrices donde se traducen las necesidades de los clientes en características específicas de productos o servicios. Esta herramienta permite entre otras cosas entender mejor las prioridades de los clientes y buscar cómo responder de forma innovadora a dichas necesidades”⁴.

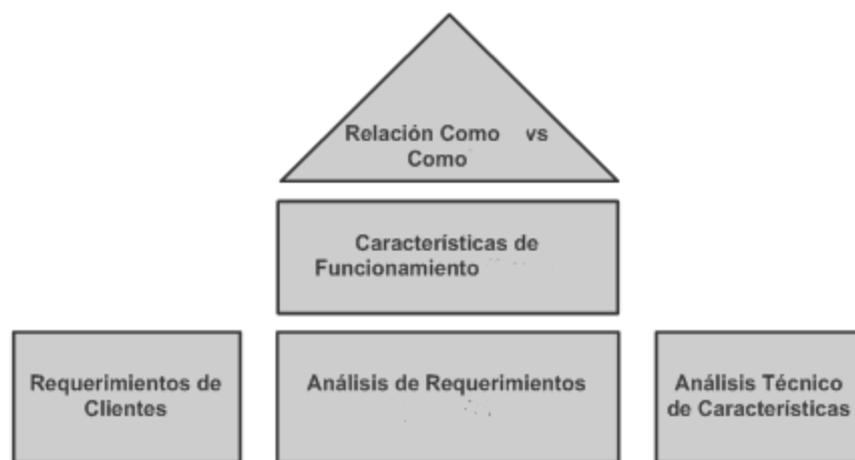


Ilustración 12 - Casa de calidad – Fuente: The QFD Handbook, Jack Be Reve, Editorial Willey, 1998.

Siguiendo el esquema basado en la casa de calidad se realizó una lista de las necesidades del cliente y un análisis técnico de características para luego realizar un análisis de requerimientos en donde se busco la forma más viable de dar solución al proyecto.

4.1.1 Requerimientos del Cliente. Esta sección incluye la especificación detallada para el diseño, fabricación, pruebas en fábrica y suministro de mandos eléctricos de operación para seccionadores de 33KV, incluidos todos sus elementos para su funcionamiento según el comprador.

Las características de los seccionadores y controladores que se cotizarán, son:

- El tiempo de operación en el cierre o apertura está entre 3 y 5 segundos.

⁴ Preguntas frecuentes sobre QFD. Fuente: Instituto de QFD, la fuente oficial para QFD, Sitio: http://www.qfdi.org/what_is_qfd/faqs_about_qfd.htm#what%20is%20the%20house%20of%20Quality%20it%20isnt%20a%20QFD

- La rotación del eje de salida visto desde la parte superior en un ciclo de apertura es en el sentido de las manecillas del reloj.
- Todos los equipos y dispositivos alimentados con corriente directa deberán operar con niveles de tensión entre +10% y -30% de la fluctuación de la tensión nominal DC, sin ningún deterioro de falla.
- El control del mecanismo de operación debe ser adecuado para la operación local desde el patio de la subestación o remota desde la sala de control, y el modo de operación se debe realizar mediante un selector de tres posiciones: LOCAL – DESCONECTADO - REMOTO. La operación local se realizará mediante dos pulsadores: CIERRE Y APERTURA.
- Debe suministrarse el 10% de borneras terminales de reserva, de cada uno de los tipos usados.
- Los circuitos que se preparen para proveer enclavamientos eléctricos, deberán interrumpir el suministro de energía de operación al equipo enclavado y los enclavamientos que impidan el movimiento del equipo motor deberán impedir también el movimiento manual de emergencia.
- El mando eléctrico deberá ser bloqueado automáticamente si el sistema de mando manual es puesto en uso.
- El mando manual sólo se podrá realizar con “autorización” previa de un mecanismo electromecánico que verifique automáticamente los enclavamientos.
- Con mando eléctrico remoto: Los comandos de cierre y apertura remotos se hacen directamente desde el tablero de control y deben ser independientes de la ruta de los comandos locales.
- Con mando eléctrico local: Los comandos de cierre y apertura local deben ser independientes de la ruta de comando remoto.
- Con mando manual local. El enclavamiento físico debe incluir el positivo de enclavamiento del mando eléctrico local.
- El mecanismo de operación manual debe tener claramente identificadas las leyendas permanentes que indiquen posiciones de cerrado (I) y abierto (O).

- El controlador se conectará por medio de protocolos de comunicación DNP 3.0 e IEC608700-5-104 a un sistema SCADA para supervisar y operar el equipo remotamente.
- El sistema de control tendrá un soporte de alimentación en caso de pérdida de tensión a la entrada con una durabilidad mínima de 7 horas.
- Los mandos eléctricos de operación de los seccionadores deben cumplir con la norma IEC-60265 “*Common Clauses for-High-voltage Switchgear and controlgear Standards*”.
- El tipo de encerramiento del gabinete debe ser nema tipo 4 el cual corresponde a instalación en la intemperie en condiciones de lluvia y polvo.
- El espacio a utilizar en el gabinete para la instalación de los instrumentos o equipos necesarios para el funcionamiento del mismo debe corresponder al 40% del volumen total del gabinete.
- Se debe entregar planos eléctricos, planos mecánicos al igual que un mapa de las direcciones a monitorear desde el centro SCADA al momento de entregar la oferta.

4.1.2 Análisis Técnico de Características

Para realizar un análisis de las características necesarias para el funcionamiento básico del equipo a diseñar, es necesario tener en cuenta la operación de un reconectador automático, al igual que las necesidades para la implementación de un controlador automático en un seccionador de arco rotativo marca Yaskawa en su maniobra remota. Por lo tanto con estas especificaciones se tienen las siguientes necesidades para la implementación del proyecto:

- Sistema de control capaz de realizar comandos de arranque y paro con picos de 16A debido a características del seccionador.
- Alimentar el gabinete desde dos transformadores de potencia aguas arriba y aguas abajo del seccionador de arco rotativo marca *Yaskawa* sin llegar a que exista corto al momento de recibir tensión desde los dos puntos.
- Selección de modo de operación Suplencia/Línea según la labor a la cual se desempeñará.
- El método de fabricación del Gabinete y de instalación de equipos de control debe cumplir con la norma NTC 2050.

- El equipo debe tener un sistema de visualización que indique el estado operacional del seccionador.
- Entorno de operación agradable, de fácil manejo y seguro para operadores y técnicos que van a manejar el equipo.
- Método fácil y práctico para realizar mantenimiento en alturas con puerto DB9 externo para realizar actualizaciones.
- Programación capaz de detectar y aislar únicamente el área en falla ocasionada por un corto en la línea en el que el equipo esté operando.
- Selección de tipo de cableado y color según el amperaje que circula por cada línea y punto al que va ser conectado según normatividad para instalación y cableado para gabinetes.

4.2 ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS

Se realiza un análisis tanto de los requerimientos del cliente como los de diseño, en donde se necesita dividir todos estos en grupos (Ilustración 13), que al juntarse llevarán a la totalidad del proyecto, capaz de realizar maniobras similares a las de un reconector automático. Es necesario aclarar que los requerimientos del cliente con base en la funcionalidad interna del Seccionador de arco rotativo se cumplen y son mencionadas en las especificaciones técnicas de este

Anexo 9 - Norma Seccionador

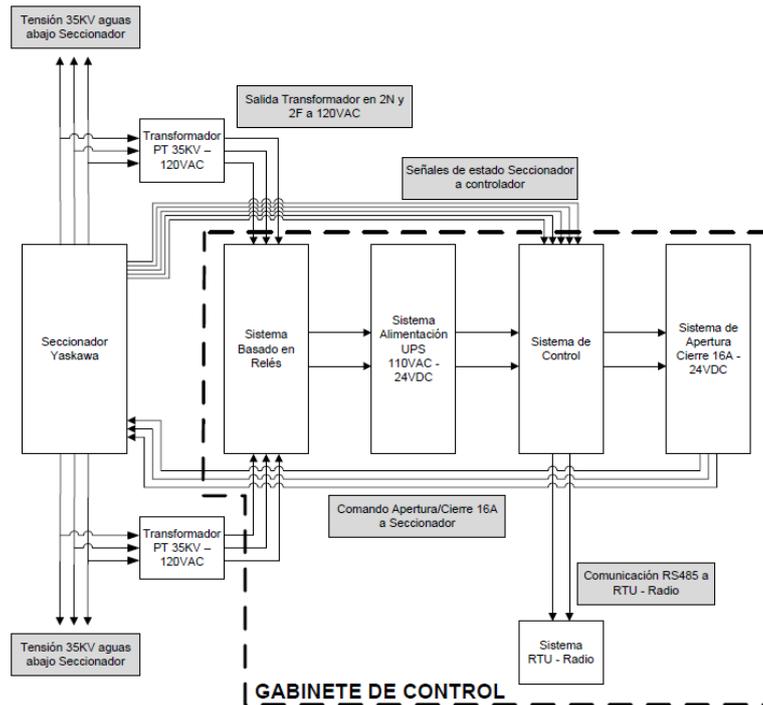


Ilustración 13 - Grupos Gabinete de control – Fuente: Autor

En la Ilustración 13 se puede observar cada uno de los grupos que comprende el gabinete de control a diseñar. Esto se realizó debido a que si se divide el problema en varios grupos es factible llegar a una solución más preparada en donde se pueden analizar aspectos más pequeños pero significantes a la hora de realizar todo un sistema.

4.2.1 Requerimientos Sistema basado en relés. Este sistema abarca todo el tema de entrada de potencia entregada por los transformadores de potencial (PT's) tanto aguas arriba como aguas abajo del seccionador de arco rotativo marca *Yaskawa*, hasta el sistema de Alimentación/UPS. La idea es solucionar los requerimientos que se observan a continuación:

Sistema Basado en relés	Alimentar el gabinete desde dos transformadores de potencia aguas arriba y aguas abajo del seccionador de arco rotativo marca <i>Yaskawa</i> sin llegar a que exista corto al momento de recibir tensión desde los dos puntos.
	Selección de modo de operación Suplencia/Línea según la labor a la cual se desempeñara.

Tabla 4 - Grupo1: Sistema Basado en Relés

4.2.2 Requerimientos Sistema Basado en Alimentación/UPS. En esta etapa se analiza el método de alimentación para el sistema de control teniendo en cuenta la corriente máxima necesaria para la activación Apertura/Cierre de

16A y la capacidad de mantener energizado el circuito de control durante un tiempo mínimo de 8Hrs sin tensión de entrada. A continuación se pueden ver los requerimientos más importantes en esta etapa:

Sistema de alimentación/UPS	Todos los equipos y dispositivos alimentados con corriente directa deberán operar con niveles de tensión entre +10% y -30% de la fluctuación de la tensión nominal DC, sin ningún deterioro de falla.
	El sistema de control tendrá un soporte de alimentación en caso de pérdida de tensión a la entrada con una durabilidad mínima de 7 horas.

Tabla 5 - Grupo2: Sistema basado en Alimentación/UPS

4.2.3 Requerimientos Sistema de control (PLC – RTU – Radio). Este sistema es el centro de control o cerebro del equipo, encargado de realizar las operaciones del seccionador, enviar y recibir información de un sistema SCADA, determinar el punto en la red de abastecimiento que se encuentra en falla. Tiene como finalidad dar solución a cada uno de los requerimientos descritos a continuación:

Sistema de control	El control del mecanismo de operación debe ser adecuado para la operación local desde el patio de la subestación o remota desde la sala de control, y el modo de operación se debe realizar mediante un selector de tres posiciones: LOCAL – DESCONECTADO - REMOTO. La operación local se realizará mediante dos pulsadores: CIERRE Y APERTURA.
	Los circuitos que se preparen para proveer enclavamientos eléctricos, deberán interrumpir el suministro de energía de operación al equipo enclavado y los enclavamientos que impidan el movimiento del equipo motor deberán impedir también el movimiento manual de emergencia.
	El mando eléctrico deberá ser bloqueado automáticamente si el sistema de mando manual es puesto en uso.
	El mando manual sólo se podrá realizar con “autorización” previa de un mecanismo electromecánico que verifique automáticamente los enclavamientos.
	Con mando eléctrico remoto: Los comandos de cierre y apertura remotos se hacen directamente desde el tablero de control y deben ser independientes de la ruta de los comandos locales
	Con mando eléctrico local: Los comandos de cierre y apertura local deben ser independientes de la ruta de comando remoto.
	Con mando manual local. El enclavamiento físico debe incluir el positivo de enclavamiento del mando eléctrico local.
	El controlador transmitirá información por medio de protocolos de comunicación DNP 3.0 e IEC608700-5-104 a un sistema SCADA para supervisar y operar el equipo remotamente.

	Selección de modo de operación Suplencia/Línea según la labor a la cual se desempeñara.
	El equipo debe poseer un sistema de visualización que indique el estado operacional del seccionador.
	Entorno de operación agradable, de fácil manejo y seguro para operadores y técnicos que van a manejar el equipo.
	Programación capaz de detectar y aislar únicamente el área en falla ocasionada por un corto en la línea en el que el equipo esté operando.

Tabla 6 - Grupo3: sistema de control

4.2.4 Requerimientos Sistema Apertura/Cierre a 16A. Debido a que la corriente pico del seccionador al recibir la orden de Apertura es de 16A es necesario aislar la etapa de control para que no sufra daños. Por lo tanto es necesario abarcar en esta etapa los siguientes requerimientos:

Sistema Apertura/Cierre 16A	Sistema de control capaz de realizar comandos de arranque y paro con picos de 16A debido a características del seccionador.
------------------------------------	---

Tabla 7 - Grupo4: Sistema Apertura/Cierre a 16A

4.3 CARACTERÍSTICAS DE FUNCIONAMIENTO

El funcionamiento que se buscó implementar en el seccionador es similar a los aspectos de control enfocados a la operatividad y supervisión de un reconectador automático en líneas de transmisión eléctricas. Por lo tanto, el seccionador Yaskawa necesitó de un sistema de control para su operatividad remota que informe a la estación Scada de la condición del mismo y a su vez detectar y aislar un área en falla.

Debido a esto, se emplea el sistema de control interno del seccionador Yaskawa para ser operado y monitoreado desde un gabinete de control que tiene como objetivo operar de manera similar a la de un reconectador automático, para esto es necesario identificar los aspectos más relevantes de operación en un reconectador automático.

- Alimentación del gabinete de control desde transformadores de potencia (PT`s) por medio de circuito que a su vez detecte ausencia de tensión tanto aguas arriba como aguas abajo.
- Sistema de control con lógica de localización del área en falla

- Sistemas de comunicación con protocolos específicos para redes de distribución eléctrica.

4.4 RELACIÓN COMO VS COMO

Con el análisis de requerimientos en el que se indica cada uno de los sistemas necesarios para la elaboración del gabinete de control para un seccionador Yaskawa y las características de funcionamiento en donde su enfoque es principalmente crear un sistema similar a un reconectador automático. Se busca la implementación de un sistema que reúna los dos aspectos para la elaboración de un controlador automático para un seccionador marca Yaskawa.

Por lo tanto se realizó un análisis de cada grupo en base a la funcionalidad estándar de un reconectador automático, en donde se planteó una serie de opciones viables y así escoger la más adecuada con criterios establecidos como más relevantes para la implementación del sistema automático y así mismo realizar un equipo eficiente que cumpla con todo lo establecido. A continuación se realiza un análisis de lo que comprende cada grupo y a su vez una explicación de su función.

4.5 SISTEMA BASADO EN RELÉS.

Para alimentar el gabinete de control y monitorear la red de distribución se instalan por parte del cliente transformadores de potencial bifásicos (PT`s) tanto aguas arriba como aguas debajo del sistema con el fin de reducir el voltaje de 34,5 KV a 110VAC.

Por lo tanto se busca un sistema capaz de identificar ausencia de tensión aguas arriba y/o aguas abajo del seccionador y a su vez entregar un voltaje de 110VAC al sistema de alimentación/UPS como se indica en la ilustración 12, sin llegar a generar corto en caso de presencia de tensión en ambos extremos del seccionador. De igual manera se busca la forma de controlar el equipo dependiendo el método de operación a la que va a ser instalado el seccionador (Suplencia/Línea).

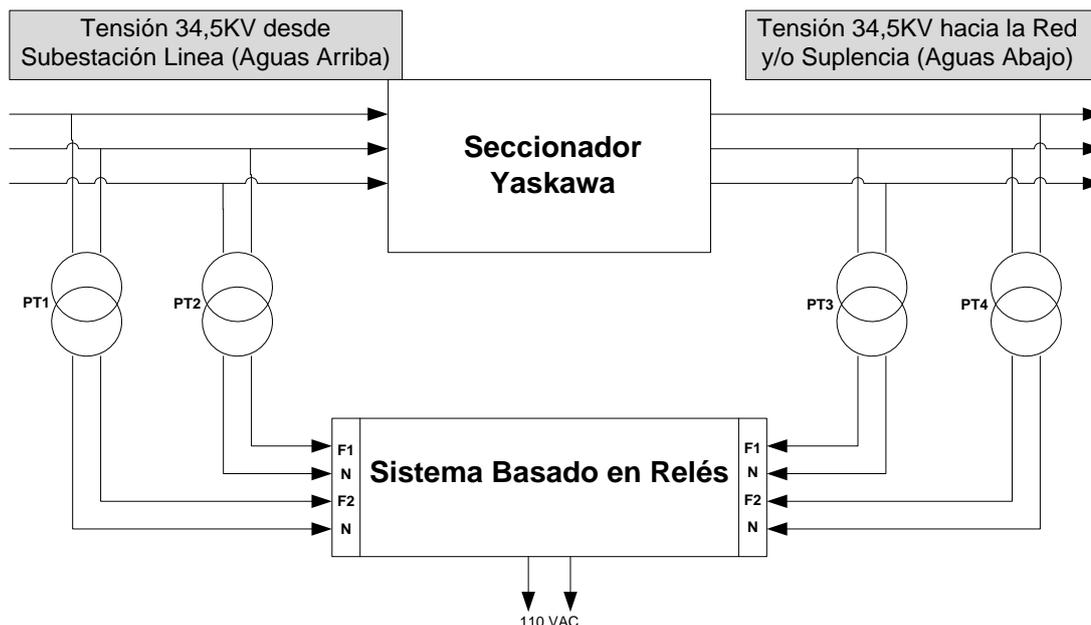


Ilustración 14 - Sistema Basado en Relés. Fuente: Autor

En la ilustración 14 se indica el conexionado respectivo proveniente de los transformadores de potencial (PT's) hacia el gabinete de control, por lo tanto se busca un sistema capaz de soportar un número considerable de operaciones al igual que un fácil acceso para mantenimientos en caso de daños. Por lo tanto se enfoca el sistema a la implementación de relés los cuales son capaces de realizar un alto número de operaciones bajo carga (10000 Operaciones) y su remplazo en caso de daños es relativamente fácil.

A continuación se describen las alternativas de diseño en donde se exponen sus respectivas especificaciones para así posteriormente seleccionar la mejor opción. En estas alternativas se tiene en cuenta como mayor punto de selección que cumpla con especificaciones de control necesarias para monitorear el estado de las líneas en las que está actuando el seccionador.

4.5.1 Alternativa 1. La Ilustración 15 muestra la conmutación de varios relevos para permitir el paso de tensión tanto en el sistema aguas abajo (F2) como aguas arriba (F1), los cuales a su vez activan un relé (Y5) que indica si el sistema está energizado por fuente 1 (F1) o por fuente 2 (F2), enviando esta señal binaria al controlador. De igual manera se tiene en cuenta la implementación de un selectores On/Off por cada fase a la entrada del gabinete que permitan el paso de tensión por F1 y F2 según su uso de operatividad Suplencia/línea.

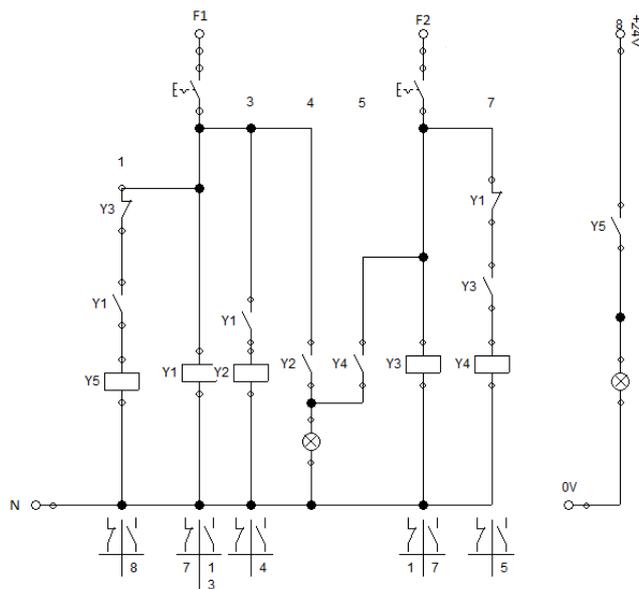


Ilustración 15 - Alternativa 1 Sistema basado en Relés – Fuente: Autor

Se realiza una cotización de los componentes necesarios para realizar esta opción:

Ítem	Descripción	Extras	Cantidad	Precios
1	Relé Omron	Bobina 120VAC - CNA a 120VDC con base DIN	4	45.000
2	Relé Omron	Bobina 120VAC - CNA a 24VDC con base DIN	1	28.908
3	Selector	Selector On/Off tension 120VAC - 10A	2	2.600
			Sub-Total	214.108
			IVA (16%)	34.257,28
			Total	248.365,28

Tabla 8 - Precio Alternativa 1 Sistema Basado en Relés

El costo de la alternativa contando únicamente con los componentes necesarios para su funcionamiento es de 248.365,3 pesos. Pero hay que tener en cuenta que para utilizar este sistema el costo del cable a instalar, y el espacio utilizado incrementa costos significativos para la realización del gabinete. De igual forma cumple con lo establecido en las especificaciones generales para este grupo.

4.5.2 Alternativa 2. Las expectativas para esta alternativa se enfocan en enviar dos señales que indican si el sistema se alimenta tanto aguas arriba (F1) como aguas abajo (F2), para esto se asigna un relé con bobinado a 110VAC en cada fase de entrada con contactos a 24VDC. Esta alternativa considera un sistema predominante por la alimentación aguas arriba (F1) del equipo en caso de que este alimentado de los dos extremos. Sin embargo este sistema puede llegar a generar inconvenientes al momento de conmutar los relevos de

asignación de fuente permitiendo que ocurra un corto a la entrada del circuito a energizar esto se presenta al momento de utilizar el equipo en estado suplencia. Se tiene en cuenta instalar un selector por fase a la entrada para la asignación del sistema al que va a ser instalado Suplencia/Línea.

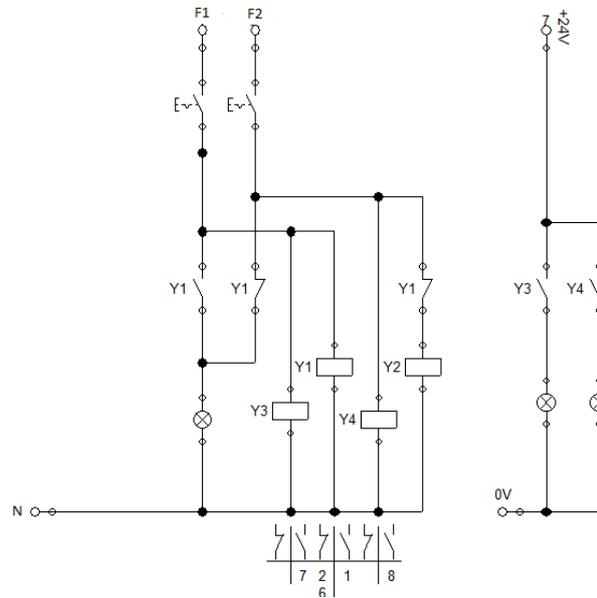


Ilustración 16 - Alternativa 2 sistema basado en relés – Fuente: Autor

Observando esta opción se realiza cotización de los elementos necesarios para que funcionen los cuales son descritos a continuación:

ítem	Descripción	Extras	Cantidad	Precios
1	Relé Omron	Bobina 120VAC - CNA a 120VDC con base DIN	2	45.000
2	Relé Omron	Bobina 120VAC - CNA a 24VDC con base DIN	2	28.908
3	Relé Finder	Bobina 120VAC - 2 CNA y CNC a 120VAC	1	105.000
3	Selector	Selector On/Off tensión 120VAC - 10A	2	2.600
			Sub-Total	258.016
			IVA (16%)	41.282,56
			Total	299.298,56

Tabla 9 - Precio Alternativa 2 Sistema Basado en Relés

El precio de esta opción corresponde a un valor de 293.266,56 pesos. Se puede lograr cumplir los requerimientos establecidos para el sistema basado en relés con esta alternativa ya que es muy completo, pero sobra aclarar que pueden existir problemas más adelante en la adecuación del sistema modo suplencia.

4.5.3 Alternativa 3. Con el propósito de involucrar menos elementos al sistema basado en relés. Se busca la manera de incorporar un relé con opciones específicas (1 contacto normalmente cerrado “CNC” y 1 contacto normalmente abierto “CNA”). Reduciendo significativamente el cableado y los puntos de falla.

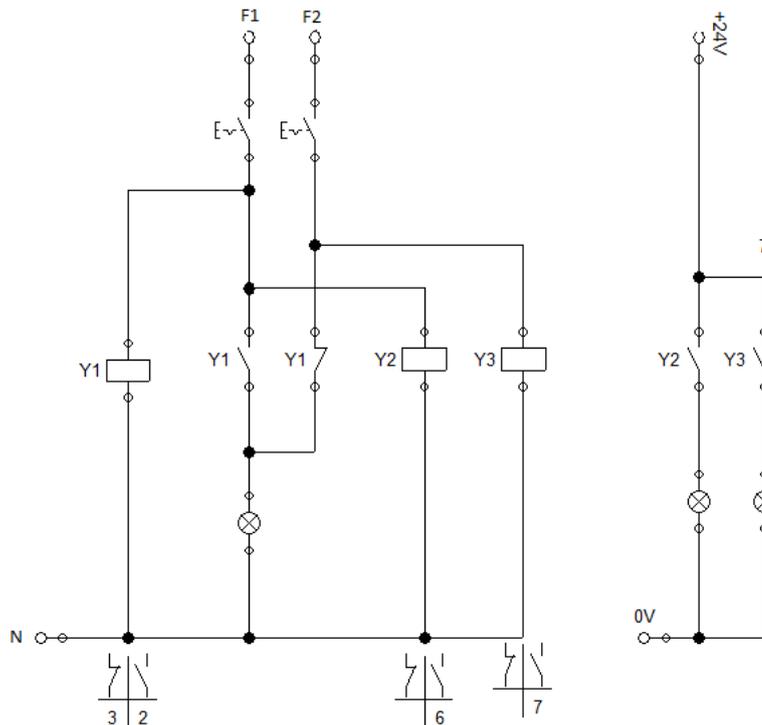


Ilustración 17 - Alternativa 3 sistema basado en relés – Fuente: Autor

En la ilustración 17, se comprende que para la selección del sistema a ser usado suplenca/línea se instalarán dos selectores *On/Off* tipo codillo. Además Para identificar ausencia de tensión aguas arriba o aguas abajo del sistema se instalarán 2 relés en cada línea con activación a 120VAC y 1 contacto normalmente abierto a 24 VDC. Este sistema reduce la cantidad de espacio al momento de ser instalado creando una lógica sencilla y fácil de realizar mantenimiento.

Se cotizan los elementos necesarios para realizar esta opción los cuales se ven a continuación en la tabla 10.

Ítem	Descripción	Extras	Cantidad	Precios
1	Relé Omron G2R1SNAC120S	Bobina 120VAC - CNA a 24VDC	2	28.908
2	Relé Finder 222380120	Bobina 120VAC - 2 CNA y CNC a 120VAC	1	105.000
3	Selector	Selector On/Off tension 120VAC - 10A	2	2.600
Sub-Total				168.016
IVA (16%)				26.882,56
Total				194.898,56

Tabla 10 - Precio Alternativa 3 Sistema Basado en Relés

Se encuentra que el sistema es económico ya que el valor de sus componentes es de 189.698,56 pesos (Se adjunta cotización en Anexo 6), aparte su método de instalación es fácil y práctico generando bajo costos en cableado y espacio necesario pequeño para la realización total del gabinete.

4.5.4 Selección Sistema Basado en Relés. Se analizan las tres opciones posibles para realizar el sistema basado en relés y se encuentra que la Alternativa 3 tiene ventajas con respecto al espacio a utilizar y fácil mantenimiento además que cumple con las características descritas en los requerimientos sistema basado en relé. Por lo tanto se selecciona la Alternativa 3 con un precio de 189.698,56 pesos.

Para la implementación de la Alternativa 3 es necesario idear una forma para prevenir cortos en caso de descargas atmosféricas. Por lo tanto para el método de protección se instalarán varistores de 35KV en cada línea de entrada para que así en caso de suceder se aterricen las líneas y el daño no se vea reflejado en el gabinete.

Se elabora plano de sistema de potencia (Ilustración 18) en el cual se ve comprendida la Alternativa 3 junto con la opción de protección de descargas atmosféricas.

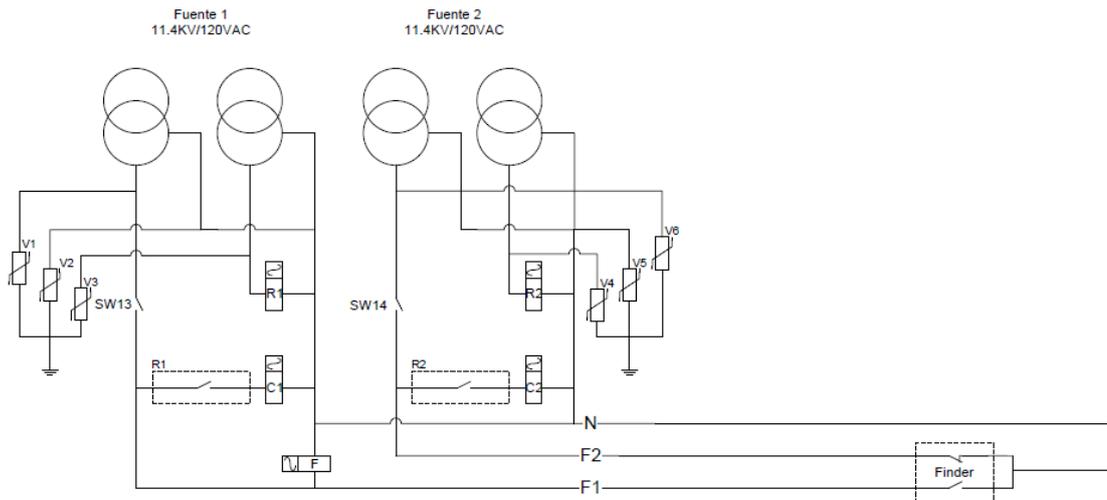


Ilustración 18 - Diagrama Sistema Basado en Relés – Fuente: Autor

4.6 SISTEMA ALIMENTACIÓN 110V/24V

Para la implementación de un sistema que regule el voltaje de 110V AC a 24V DC (Voltaje de alimentación del sistema de control) es necesario saber el consumo de los sistemas pendientes y así evitar daños más adelante, por lo tanto se hace una estimación del promedio máximo de corriente en plena operación (19 Amperios) teniendo en cuenta el pico de corriente al momento de energizar el motor de apertura del seccionador, se concluye que la mejor solución es seleccionar una fuente de 110V a 24V con capacidad de 20A, capaz de soportar picos de hasta 30A durante 1 segundo y con salidas optoacopladas para evitar daños internos. Además teniendo en cuenta que se necesita un sistema capaz identificar ausencia de voltaje tanto aguas arriba como aguas abajo, se requiere implementar un sistema de UPS capaz de soportar cargas de 20A por las razones anteriormente mencionadas, indicador de bajo voltaje en baterías y alta velocidad de reacción, con la finalidad de que el sistema note la ausencia de voltaje a la entrada, realice una maniobra de lógica de tiempo y su posible operatividad sin tensión de entrada. Por lo tanto se procede a realizar un sistema en paralelo con baterías que brinden una capacidad de 20A durante 8H a plena carga o 24H bajo operaciones no tan frecuentes, con la capacidad de recargarse mientras hay tensión a la entrada del sistema, de lo cual se realizan las siguientes alternativas para así seleccionar la mejor opción:

4.6.1 Alternativa 1. Se realiza una cotización de conjunto Fuente/UPS marca *MeanWell* y baterías *Vision* las cuales cumplen con las características previamente mencionadas. se muestra la cotización de estas en la siguiente tabla:

Ítem	Descripción	Extras	Cantidad	Precio
1	Fuente	Fuente <i>MeanWell</i> 20A	1	657.000
2	UPS	UPS <i>MeanWell</i> 40A	1	180.000
3	Baterías	Baterías <i>Vision</i> 12V a 12A/H	2	66.000
Sub-Total				969.000
IVA (16%)				155.040
Total				1'124.040

Tabla 11 - Precio Alternativa 1 Sistema Alimentación/UPS

4.6.2 Alternativa 2. Se cotiza en la compañía Colsein el conjunto Fuente/UPS con baterías *Vision* características descritas anteriormente. Está ofrece equipos marca *Phoenix Contact* de gran eficiencia y con larga vida útil de operatividad con entradas y salidas optoacopladas por seguridad. La siguiente tabla indica los precios de la cotización:

Ítem	Descripción	Extras	Cantidad	Precio	Subtotal
1	Fuente	Fuente <i>Phoenix</i> 24VDC 20A	1	626640	626.640
2	UPS	UPS <i>Phoenix</i> 24VDC 40A	1	828000	1'454.640
3	Baterías	Baterías <i>Vision</i> 12V a 12A/H	2	66000	1586640
Sub-Total					1'586.640
IVA (16%)					253.862
Total					1'840.502

Tabla 12 - Precio Alternativa 2 Sistema Alimentación/UPS

4.6.3 Alternativa 3. Al continuar con la búsqueda de componentes que cumpla con las características necesarias para ser implementados en el sistema encontramos un conjunto Fuente/UPS y baterías que cumplieran con las necesidades establecidas marca Siemens. Los precios encontrados son los siguientes:

Ítem	Descripción	Extras	Cantidad	Precio
1	Fuente	Fuente Siemens 24VDC 20A	1	784.800
2	UPS	UPS Siemens 24VDC 40A	1	828.000
3	Baterías	Baterías <i>Vision</i> 12V a 12A/H	2	66.000
Sub-Total				1'744.800
IVA (16%)				279.168
Total				2'023.968

Tabla 13 - Precio Alternativa 3 Sistema Alimentación/UPS

4.6.4 Selección Sistema Alimentación/UPS. Viendo las tres opciones y analizando cual es mejor para concluir esta parte, es evidente que en precio, funcionalidad (Especificaciones técnicas Anexo 7) y que cumple con los requerimientos del sistema Alimentación/UPS la Alternativa 1 es la más viable con un valor de 1'124.040.

Se realiza un diagrama de conexión entre Fuente, UPS y baterías junto con el sistema basado en relés para así determinar un conjunto definitivo de Alimentación (Ilustración 19).

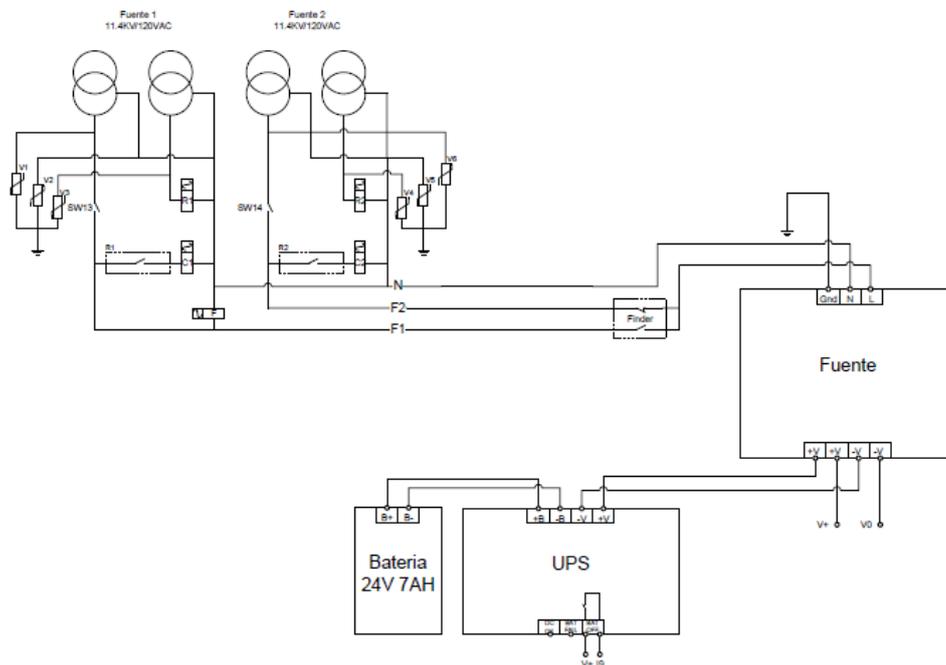


Ilustración 19 - Diagrama de potencia – Fuente: Autor

4.7 SISTEMA DE CONTROL (PLC-RTU)

Terminada la etapa de potencia se procede a realizar una etapa de control en la que se deben tener en cuenta las señales a trabajar (Entradas y Salidas Digitales), los protocolos de comunicación que se requieren en la industria de distribución eléctrica (DNP3 e IEC608700-5-104) y la lógica de voltaje/tiempo capaz de detectar y aislar el área de falla de la línea de distribución de energía que se encuentre averiada, logrando esto en coordinación con un equipo de respaldo en la subestación (Interruptor de carga) tal y como opera un reconector automático.

Para lograr un método de operación automático similar al de un reconector se realizó el sistema Voltaje/Tiempo el cual comprende tres tiempos para que

la lógica funcione (X, Y y Z) y detecte el área de la red de distribución eléctrica en falla.

- **Tiempo X:** El control cerrará el seccionador “Un tiempo X” luego de detectar voltaje en las líneas de Media Tensión.
- **Tiempo Y:** Luego de que el tiempo “X” cierra el seccionador, el tiempo “Y” empieza a contar, si el control detecta pérdida de voltaje mientras transcurre el tiempo Y, el seccionador abre y enclava abierto hasta ser reseteado manualmente en el sitio.
- **Tiempo Z:** El control abrirá el seccionador un tiempo “Z” después de detectar pérdida de voltaje en las líneas de media tensión.

Por lo tanto identificando cada uno de los factores de operación en un reconector automático se realiza un despliegue de cada una de señales de entrada y salida necesarias para que el seccionador opere de igual manera, con esto se sabe el número de disponibilidad necesaria para programar y elegir la mejor alternativa en cuanto a precio y manejo.

4.7.1 Señales de entrada

Para la selección de las entradas digitales al controlador se tiene en cuenta cada uno de los estados del seccionador, las señales enviadas desde el sistema de potencia y del sistema alimentación UPS. Además se busca un sistema con operación local, por lo tanto se necesita de pulsadores capaces de realizar maniobras de apertura/cierre y reset del controlador en caso de bloqueo del seccionador (operación que solo se podrá efectuar localmente).

- **Fuente 1:** El selector de fuente 1 suministra o no energía aguas arriba del sistema al gabinete de control.
- **Fuente 2:** El selector de fuente 2 suministra o no energía aguas abajo del sistema, al gabinete de control.
- **Selector Suplencia/Línea:** El selector de Suplencia/Línea determina el modo de control al que se ha instalado seccionalizador, bidireccional o de alimentación a un circuito en falta de ausencia de tensión.
- **Selector Local/Remoto:** El selector Local/Remoto designa al equipo del modo de control al que será operado, teniendo en cuenta que local es una operación desde el tablero del seccionador y el modo remoto es una operación desde un puesto de control.

- **Selector Automático/Manual:** EL selector Automático/Manual tiene como finalidad realizar operación con lógica programada (Automático) u operación desde pulsadores instalados en el gabinete de control del seccionador (Manual).
- **Pulsador Cerrar:** El pulsador de Cerrar da la orden de cierre al seccionador. Esta acción se ejecuta siempre y cuando los selectores estén en estado manual y local.
- **Pulsador Abrir:** El pulsador de Abrir da la orden de apertura al seccionador. Esta acción se ejecuta siempre y cuando los selectores estén en estado manual y local.
- **Pulsador Reset:** El pulsador de *reset* da un pulso para restablecer el control normal del controlador en caso de bloqueo por lógica de voltaje/tiempo.
- **Baja Presión Gas SF6:** Contacto accionado en caso de pérdida o ausencia de presión del gas SF6, señal enviada desde el seccionador.
- **Indicador Cerrado/Abierto:** Señal enviada desde el seccionador que indica el estado en el que se encuentra (Cerrado/Abierto).
- **Puerta Abierta:** Sensor ubicado en puerta que indica cuando la puerta es abierta, indispensable para monitorear cuando el TDC está siendo intervenido localmente.
- **Bajo Voltaje Batería:** Indicador de bajo voltaje en baterías, esta señal proviene de la UPS.
- **Varistor 1 y 2:** En caso de ausencia o daño en los varistores se activa una señal indicando falla que indicará al controlador que el equipo se encuentra con daños.

4.7.2 Señales de Salida

Teniendo en cuenta que la idea del controlador automático es controlar remotamente el seccionador, se necesitan unas señales de salida para la operación del mismo, por lo tanto se tienen en cuenta los siguientes comandos de operación para la selección del controlador:

- **Cerrar:** comando enviado al seccionador para que este cierre el interruptor y permita el flujo de tensión a la línea aguas abajo.
- **Abrir:** comando enviado al seccionador para que este abra el interruptor e interrumpa el flujo de tensión.

- **Bloquear:** bloquea la lógica voltaje/tiempo de manera que el seccionador queda abierto para evitar accidentes mientras intervienen la línea con daños.
- **Bloqueado:** indicador de lógica bloqueada en caso de que el seccionador no se pueda operar.

Además de sólo satisfacer las necesidades establecidas, se busca un sistema de control económico muy confiable y estable. Para cumplir con estos puntos de supervisión y control, a continuación se procede a evaluar las posibilidades con respecto a la funcionalidad y costo; se tiene en cuenta que el sistema debe ser lo más sencillo posible, presentando entonces tres alternativas para posibles opciones en el tablero de operación.

4.7.3 Alternativa 1. Es un control por mandos manuales e indicadores luminosos siendo este el primer grupo de posibles soluciones, el sistema tendría un significativo número de mandos e indicadores luminosos, ya que se instalaría uno por cada requerimiento y cada indicación del sistema.

El sistema tendría la siguiente distribución en el panel operador:

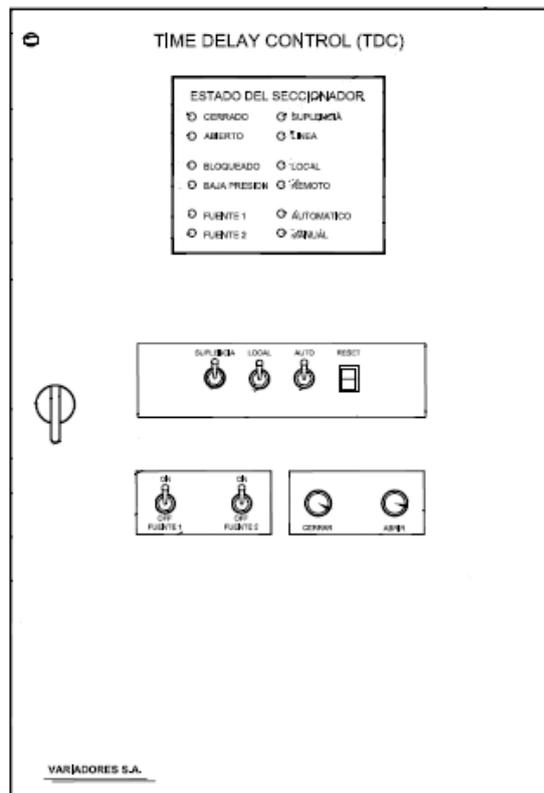


Ilustración 20 - Alternativa 1 sistema de control – Fuente: Autor

Para la operatividad y control de este equipo se requiere un controlador con las características en comunicación y disponibilidad de entradas y salidas necesarias con lo cual que se cotizó todo el conjunto de la siguiente manera:

Ítem	Descripción	Extras	Cantidad	Precios
1	Pulsador Apertura/Cierre	CNA 24VDC/NC24VDC	2	62.000
2	Pulsador <i>Reset</i>	CNA 24VDC	1	2.500
3	Led Indicador	24VDC	12	2.000
4	Controlador Siemens	CPU 312 - Alimentación 24VDC y 10DI 24VDC/6DO 24 VDC	1	2'480.000
5	Modulo de entradas digitales	EM321 16DI 24VDC	1	958.500
6	T-Box	Enrutador con protocolos DNP3 e IEC 608700-5-104	1	2'487.600
Sub-Total				6'076.600
IVA (16%)				972.256
Total				7'048.856

Tabla 14 - Precio Alternativa 1 Sistema de Control

Debido a que este sistema cumple con las necesidades de operación necesitadas para el funcionamiento del equipo, es una opción muy viable para su implementación pero a su vez el presupuesto necesario para su adaptación es muy elevado con un valor de 7'048.856.

4.7.4 Alternativa 2. Se realiza análisis para resolver las solicitudes descritas al sistema de control por medio del un controlador Unitronics el cual presenta gran operatividad, cumple con todo lo necesario para funcionar de acuerdo a lo que se necesita para dar control del gabinete además cuenta con precios bajos y las características de visualización pueden servir para su operatividad y monitoreo local, se hace un esquema (Ilustración 21) de cómo puede ser el entorno local del equipo, el cual cuenta con poco espacio gran ventaja para que la elaboración del gabinete sea más bajo.

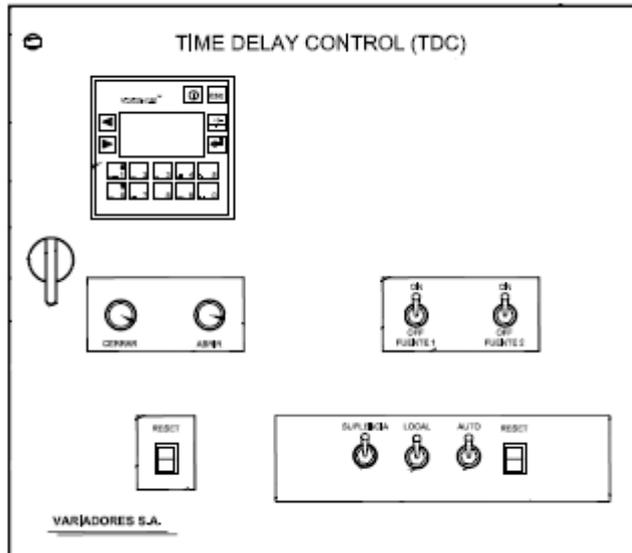


Ilustración 21 – alternativa 2 sistema de control – Fuente: Autor

Se prosigue a realizar la cotización de los componentes necesarios para poder realizar esta opción, la cual cumple con todos los requerimientos del sistema de control, a su vez el entorno local cuenta con una interfaz de operación estándar para gabinetes de control descrito anteriormente.

Ítem	Descripción	Extras	Cantidad	Precios
1	Pulsador Apertura/Cierre	CNA 24VDC/NC24VDC	2	62000
2	Pulsador Reset	CNA 24 V	1	2500
3	Controlador Unitronics	V130-33-R34 Alimentación 24VDC y 22DI 24VDC/12DO 24 VDC	1	751194
4	T-Box	Enrutador con protocolos DNP y/o IEC 608700-5-104	1	2487600
			Sub-Total	3365294
			IVA (16%)	538447
			Total	3903741

Tabla 15 - Precio Alternativa 2 Sistema de Control

4.7.5 Alternativa 3. Teniendo en cuenta que el controlador Unitronics es tan económico y eficiente capaz de realizar las funciones requeridas para operar el seccionador (entradas y salidas disponibles), se realiza una alternativa en la que se incluye el sistema de controlador una interfaz lumínica para que el operador pueda observar el estado del equipo como se muestra en la siguiente imagen:

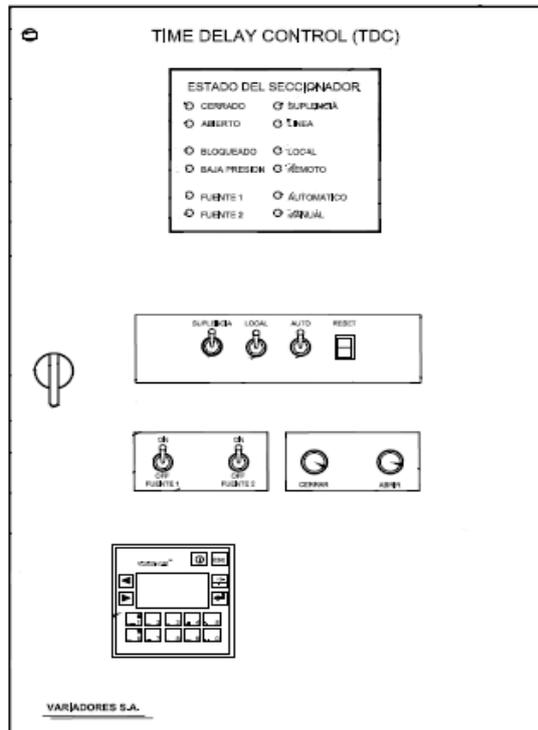


Ilustración 22 - alternativa 3 sistema de control – Fuente: Autor

Para la distribución de los componentes se realiza por comodidad y selección propia. Este sistema tiene un controlador muy eficiente con características que cumplen las necesidades requeridas (Especificaciones técnicas Anexo 8). Por lo tanto se procede a realizar la cotización para ver el costo total de esta alternativa:

Ítem	Descripción	Extras	Cantidad	Precios
1	Pulsador Apertura/Cierre	CNA 24VDC/NC24VDC	2	62000
2	Pulsador Reset	CNA 24 V	1	2500
3	Led Indicador	24 VDC	12	2000
4	Controlador Unitronics	V130-33-R34 Alimentación 24VDC y 22DI 24VDC/12DO 24 VDC	1	751194
5	T-Box	Enrutador con protocolos DNP y/o IEC 608700-5-104	1	2487600
			Sub-Total	3389294
			IVA (16%)	542287
			Total	3931581

Tabla 16 - Precio Alternativa 3 Sistema de Control

4.7.6 Selección Sistema de Control. Debido a que el control mediante una interface HMI es muy diferente en precios con respecto al control por indicadores luminosos con controlador Siemens se descarta la posibilidad de la

alternativa 1. Además el sistema por visualización del controlador garantiza un sistema ordenado y de buena presentación se decide analizar las funciones, limitantes y características de programación de la misma.

Por motivos de seguridad industrial los mandos principales siempre deben ser físicos, lo que establece mantener los controles de operación (Apertura, Cierre, Reset, Local, Remoto, etc)

Para llegar a seleccionar una opción viable la experiencia obtenida en el área de programación y con la interfaz de control de la alternativa 2 se corrobora que es la mejor opción para la aplicación, puesto que cuenta con las características necesarias y cumple con el perfil del sistema, además que se cuentan con las plataformas de programación, simulación y comunicación.

El diagrama de control queda de la siguiente manera utilizando el controlador Unitronics V130-33-R34:

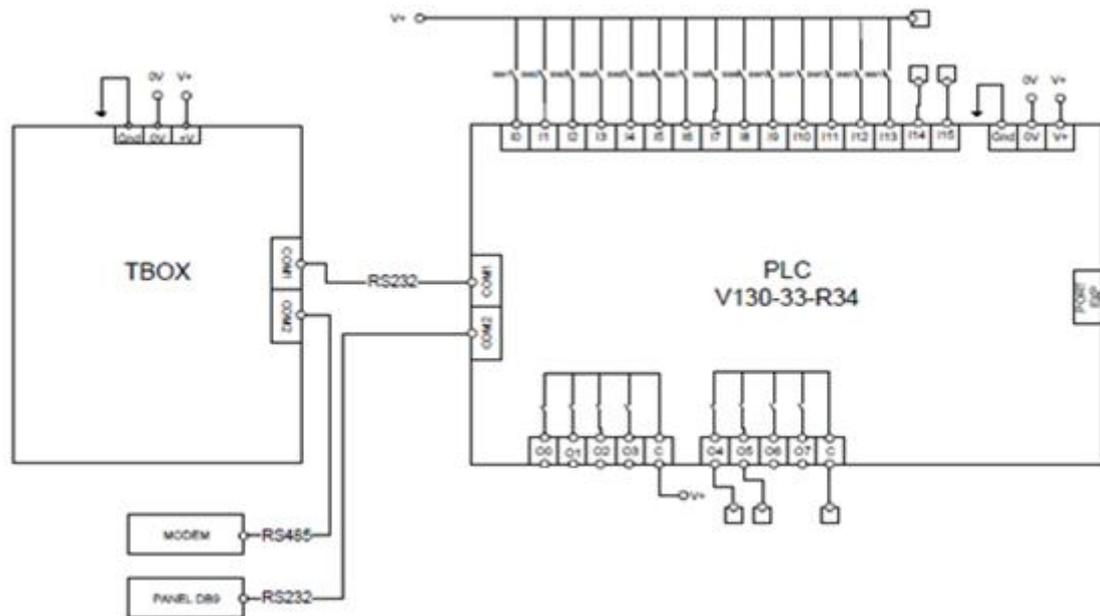


Ilustración 23 - Diagrama de control – Fuente: Autor

Se continúa con la programación del controlador por lo tanto a continuación se muestran las características más importantes de los sistemas de navegación que manejará el entorno HMI para la operatividad Local



Ilustración 24 - Panel principal PLC – Fuente: Software Visilogic programa TDC

El controlador cuenta con una pantalla de visualización LCD de 24`` lo cual le permite mostrar mensajes y variables programadas del sistema. Cuenta con 20 botones de funciones programables que pueden ser usadas como entradas digitales con comportamiento igual al de un pulsador.

Se implementan tres tipos de pantallas para esta operación, las cuales corresponden a:

- Monitor principal: en este entorno se puede observar el estado del funcionamiento del equipo, además de las alarmas presentadas durante la operación.
- Lógica bloqueada: se presenta esta pantalla en caso de que el controlador se encuentre bloqueado debido a una falla presentada continua a la red donde está instalado el seccionador, para desbloquear este es necesario realizar un reset local y comprobando que la falla no exista.
- Programación de tiempos: en este entorno se puede realizar la asignación de los tiempos X, Y y Z para el funcionamiento de la lógica Voltaje/Tiempo.

4.7.7 Programación Ladder Unitronics. Para dar solución a los requerimientos establecidos en el sistema de control, es necesario realizar un esquema de la lógica a implementar a grandes rasgos para así entender las operaciones de control que llevará el equipo. Por lo tanto se procede a realizar un diagrama de programación (Ilustración 25) en donde se involucren los aspectos claves a determinar dando solución a cada una de los puntos necesarios establecidos (Tabla 6).

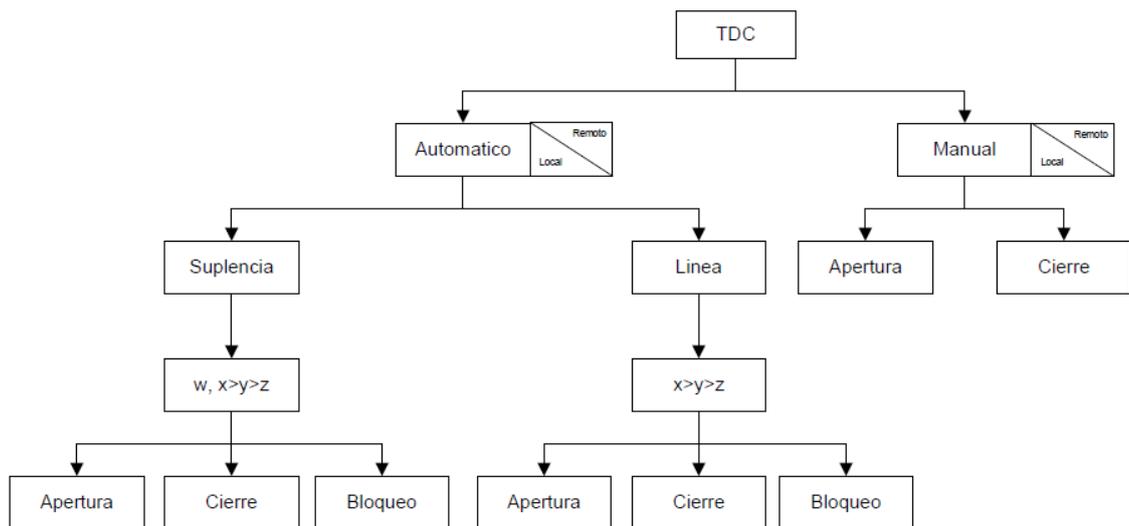


Ilustración 25 - Diagrama Ladder programación PLC – Fuente: Autor

Al momento de realizar la programación del controlador se tienen en cuenta los parámetros principales tanto en entradas como salidas del sistema y operación con lógica Local/Remota. A su vez se implementa la lógica voltaje tiempo necesaria para llevar a cabo la detección de fallas en las líneas de distribución.

Anexo 3 - Programación Ladder PLC

4.7.8 Programación Ladder T-Box. Para la programación del sistema RTU es necesario establecer comunicación vía Modbus RS485 con el controlador Unitronics. Para esto se configuran los puertos de comunicación con características similares (Tabla 17) y se establece un registro de comunicación como dirección Modbus en cada equipo para que no presente problema alguno al momento de realizar la conexión.

	Dirección Modbus	Velocidad de Transferencia	Bit de datos	Paridad	Fuera de tiempo
Esclavo	10	9600	8	Sin	0.5 Seg
Maestro	X	9600	8	Sin	0.5 Seg

Tabla 17 - Configuración Puerto Modbus

Una vez la comunicación Modbus este establecida, se realiza una programación de lectura en donde el sistema RTU va a tomar todos los datos de operación que se encuentren en el PLC Unitronics y escribirlos al sistema SCADA (Tabla 17) por medio de protocolo de comunicación IEC608700-5-104 o DNP3 determinado según la necesidad del cliente.

DIRECCIONES DNP3 SECCIONALIZADOR YASKAWA			
	R/W	DIRECCION	
BLOQUEADO	READ	DI000-1	Dig. input index 0, event class 1
CERADO-ABIERTO	READ	DI001-1	Dig. input index 1, event class 1
FUENTE 1	READ	DI002-1	Dig. input index 2, event class 1
FUENTE 2	READ	DI003-1	Dig. input index 3, event class 1
SUPLENCIA-LINEA	READ	DI004-1	Dig. input index 4, event class 1
LOCAL-REMOTO	READ	DI005-1	Dig. input index 5, event class 1
AUTO-MANUAL	READ	DI006-1	Dig. input index 6, event class 1
BAJO VOLTAJE	READ	DI007-1	Dig. input index 7, event class 1
SENSOR PUERTA	READ	DI008-1	Dig. input index 8, event class 1
BAJA PRESION	READ	DI009-1	Dig. input index 9, event class 1
FALLA VARISTOR	READ	DI010-1	Dig. input index 10, event class 1
CERRAR	WRITE	DO000	Dig. output index 0
ABRIR	WRITE	DO001	Dig. output index 1
AUTO-MANUAL	WRITE	DO002	Dig. output index 2
RESET	WRITE	DO003	Dig. output index 3

Tabla 18 – Dirección DNP3 para su operación en SCADA

Posteriormente se realiza programación de lectura de datos en el sistema RTU esta vez enviados por el sistema SCADA, datos que se escriben al PLC para tomar alguna acción y operar el equipo remotamente.

Anexo 5 - Programación Ladder RTU

4.8 SISTEMA APERTURA/CIERRE 16A

Debido a que la corriente pico al momento de realizar un cierre del equipo es de 16A y el equipo de control posee una salida optoacoplada con una carga máxima de 250mA se procede a realizar un sistema que independice y proteja el Controlador Unitronics en caso de presentarse dicho incremento de corriente, además que cumpla con las necesidades del cliente y de la empresa. Por lo tanto a continuación se describen tres alternativas que dan solución al problema de potencia.

4.8.1 Alternativa 1. Se seleccionó una solución por medio de dos relés, uno para cada operación Apertura y Cierre que tengan contactos secos normalmente abiertos a 16A y un número de 10000 operaciones con carga. Instalados en una tarjeta PCB capaz de soportar 16 amperios en la línea que corresponde a los necesarios para realizar un comando de apertura.

Se cotizan los siguientes instrumentos necesarios para realizar esta opción.

Ítem	Descripción	Extras	Cantidad	Precios
1	Relé Omron	G2R1EDC24 Relé Montaje PCB	2	7.552
2	Tarjeta Potencia	24VDC a 16 Amp	1	40.000
3	Bornera	tipo PIN removible	3	2000
Sub-Total				49.552
IVA (16%)				7.928,32
Total				57.480,32

Tabla 19 - Precio Alternativa 1 Sistema Apertura/Cierre 16A

4.8.2 Alternativa 2. Para proteger la salida del controlador de la mejor manera posible se seleccionó una opción con dos relés de estado sólido que separan el circuito por medio de activación de los contactos por una bobina optoacoplada. Esta alternativa tiene un gran número de operaciones bajo carga pero su costo realmente alto es un problema para ser implementado.

Ítem	Descripción	Extras	Cantidad	Precios
1	Relé Estado Solido	Crydom 200-2058	2	111510
2	Tarjeta Potencia	24VDC a 16 Amp	1	80000
3	Bornera	tipo PIN removible	3	2000
Sub-Total				309020
IVA (16%)				49443,2
Total				358463,2

Tabla 20 - Precio Alternativa 2 Sistema Apertura/Cierre 16A

4.8.3 Alternativa 3. Para realizar una alternativa parecida pero sin utilizar relés, se encontró una solución en la que se implementa un contactor con bobina a 24VDC y contactos a 24 VDC a una corriente máxima de 16A. Se encuentra un contactor con las características descritas anteriormente además con un contacto normalmente cerrado (CNC) y un contacto normalmente abierto (CNA) con lo que se puede utilizar solo una salida del controlador.

Ítem	Descripción	Extras	Cantidad	Precios
1	Contactador	ABB 455-6204	1	60030
2	Tarjeta Potencia	24VDC a 16 Amp	1	80000
3	Bornera	tipo PIN removible	3	2000
Sub-Total				146030
IVA (16%)				23364,8
Total				169394,8

Tabla 21 - Precio Alternativa 3 Sistema Apertura/Cierre 16A

4.8.4 Selección sistema Apertura/Cierre 16A. Debido al precio tan bajo, además de entrega inmediata de los componentes necesarios y que cumple con las necesidades requeridas por el cliente y de diseño, se selecciona la alternativa 1 con lo cual se realiza un diagrama de conexión (Ilustración 26) definitivo para su implementación.

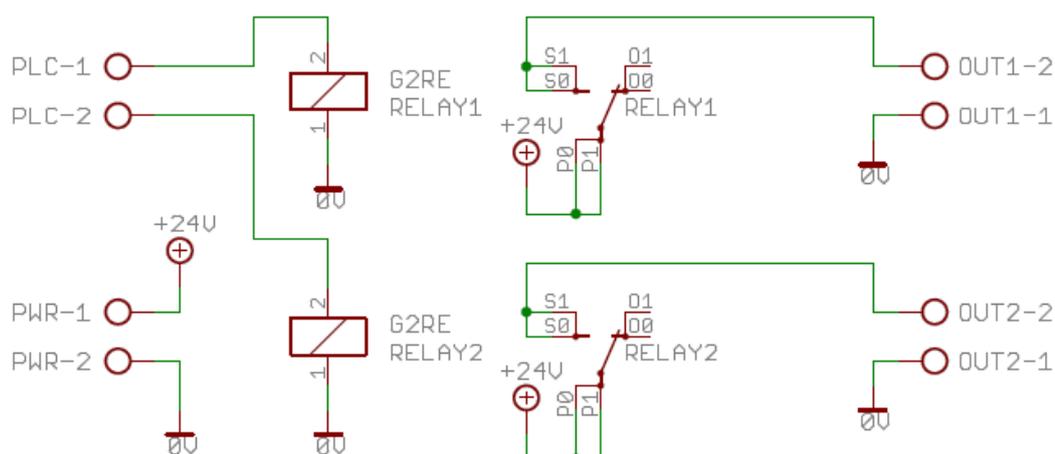


Ilustración 26 - diagrama de conexión sistema apertura/cierre 16A – Fuente: Autor

En el diagrama que se muestra en la ilustración 27 se puede observar que están todos los elementos necesarios para dar solución a los requerimientos que se establecieron para el sistema Apertura/Cierre 16A (Tarjeta de Potencia). En el cual a la salida (Out1-2 y Out2-2) se conecta el motor y el solenoide correspondiente a la apertura y cierre del seccionador capaz de interrumpir el paso de tensión en la línea en la que se conecta el equipo.

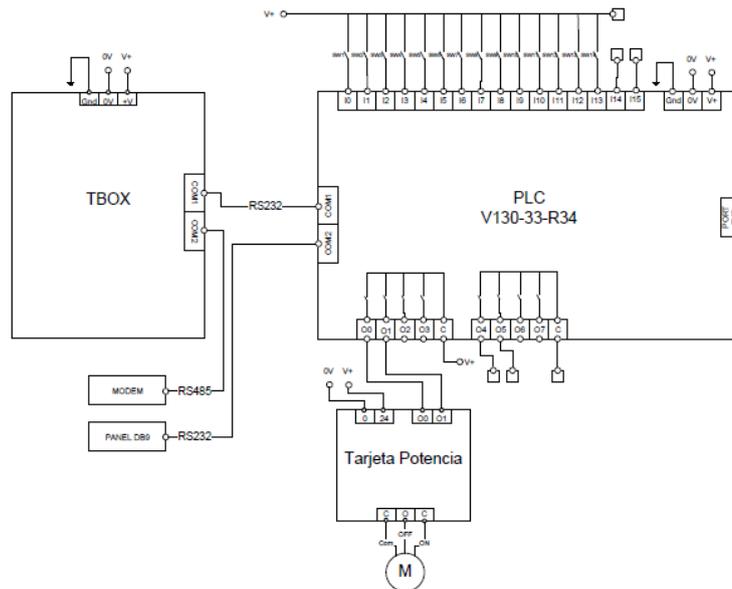


Ilustración 27 - Diagrama de control con tarjeta de potencia – Fuente: Autor

4.9 PROTECCIONES

El diseño de circuito se inicia con la distribución de acometida y las protecciones, dependiendo del perfil del sistema y de la cantidad de señales a usar para realizar una distribución adecuada. Para el cableado de las acometidas de alimentación se tiene que tener claro el requerimiento, tanto de voltaje como de corriente de los elementos y así dimensionar la protección de sobre corrientes de una manera eficiente.

Se tiene en cuenta el consumo de cada componente a instalar para así saber la corriente que va a circular por todo el sistema.

Ítem	Circuito de Control (24V)	Circuito de Potencia (110V)
Fuente SDR-480P-24	480 W	
UPS DR-UPS40		10 W
Relé G2R1SNAC120S	3,6 W	
Relé Finder	2,3 W	
Tarjeta Potencia		1 W
PLC Unitronics		6,4 W
Enrutador + Radio	40 W	40 W
Total	57,4 W	485,9 W

Tabla 22 - Consumo de Potencia Elementos a Instalar

Se calcula la corriente necesaria para alimentar tanto el circuito de control como el circuito de potencia con la ecuación:

$$P = V * I$$

Donde P es la potencia de consumo, V el voltaje al que se alimenta el sistema y I la corriente de operación. Por lo tanto se tiene los valores de V y de P para nuestro sistema, así que se prosigue despejando el valor de I con lo cual se obtiene la siguiente ecuación:

$$I = \frac{P}{V}$$

	Potencia	Voltaje	Corriente
Sistema de Control	60 W	24 VDC	2,5 A
Sistema de Potencia	500 W	110 VAC	5 A

Tabla 23 - Consumo de Potencia Total Gabinete de Control

En el sistema de control se tiene en cuenta que al momento de realizar una apertura en el seccionador puede llegar a haber un pico de corriente de hasta 16A. Por lo tanto se suma al resultado de la corriente de consumo correspondiente, teniendo como resultado una corriente máxima de 18,5 A.

Al obtener las corrientes de consumo de los sistemas a implementar, se prosigue con la selección del calibre y el tipo del cable a implementar. Teniendo en cuenta que el sistema contempla corrientes relativamente bajas y para presentación y distribución del cableado se seleccionó un cable que pueda servir tanto para el sistema de potencia como para el sistema de control.

Código AWG	Diámetro del Conductor (mm)	Amperaje Máximo
0000	11,684	380
000	10,40384	328
00	9,26592	283
0	8,25246	245
1	7,34822	211
2	6,54304	181
3	5,82676	158
4	5,18922	135
5	4,62026	118
6	4,1148	101
7	3,66522	89
8	3,2639	73
9	2,90576	64

10	2,58826	55
11	2,30378	47
12	2,05232	41
13	1,8288	35
14	1,62814	32
15	1,45034	28
16	1,29032	22
17	1,15062	19
18	1,02362	16
19	0,91186	14
20	0,8128	11
21	0,7239	9
22	0,64516	7
23	0,57404	4,7
24	0,51054	3,5
25	0,45466	2,7
26	0,40386	2,2
27	0,36068	1,7
28	0,32004	1,4
29	0,28072	1,2
30	0,254	0,86
31	0,22606	0,7
32	0,2034	0,53

Tabla 24 - Selección de tipo de cable – Fuente: Condux. Manual Técnico de Cables de Energía, México, Ed. Lito-Grapo (2005). Cap. 1

De acuerdo a la Tabla 24 se selecciona el cable AWG calibre 16 el cual soporta un máximo de 19 amperios en distancias cortas. Teniendo en cuenta las corrientes que circulan por el equipo se prosigue a la selección de los elementos que van a servir de protección y conexionado de nuestro sistema en los que comprende Varistores, Breakers, Fusibles, borneras.

Ítem	Referencia	Cantidad	Precio
Varistores	V20C3FS550	2x3	529200
Breakers	PLSM-B4	3	28000
Fusibles	6A	10	500
Borneras	1SNA 115 486 R0300	20	5000

Tabla 25 - Precio de Sistema de Protección Para Gabinete de Control

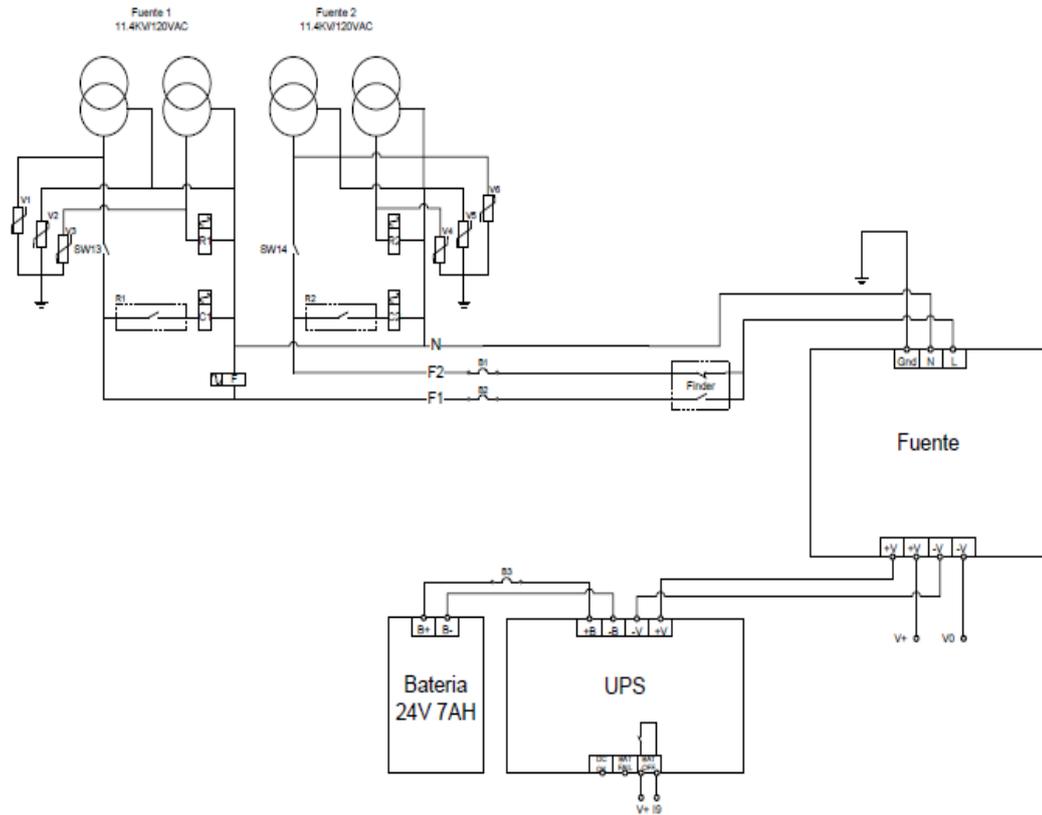


Ilustración 28 - diagrama de potencia con protecciones – Fuente: Autor

De acuerdo a la ilustración 28 se observa el sistema de potencia con sus respectivas protecciones de operación, este sistema protege al equipo de sobre tensiones y descargas atmosféricas que se vean reflejadas en el equipo.

4.10 Gabinete de control

De acuerdo a la norma NTC 2050 se exige que el porcentaje de espacio sin uso en gabinetes de control para su implementación en la intemperie debe ser mayor de 60% y su 40% restante corresponde al espacio a utilizar con los equipos a instalar para que este opere. Por este motivo se realiza una sumatoria del volumen de cada uno de los componentes y así saber cuánto espacio es necesario para cumplir con la norma. Posteriormente se puede empezar con el dimensionamiento del gabinete.

A continuación se describen las respectivas dimensiones de los equipos necesarios para el funcionamiento del equipo, así mismo su volumen para determinar el volumen ocupado por los instrumentos.

Ítem	Equipo	Serie	#	Dimensiones (W,H,D)	Volumen (cm3)
1	Fuente <i>MeanWell</i>	SDR-480P-24	1	85.5mm x 125.5mm x 128.5mm	1376
2	UPS <i>MeanWell</i>	DR-UPS40	1	55.5mm x 125.5mm x 100mm	695
3	Batería <i>Vision</i>	<i>Vision</i> 12V - 12AH	1	98mm x 95mm x 151mm	1950
4	Controlador Unitronics	V130-33-R34	1	109mm x 114.1mm x 68mm	846
5	RTU T-Box	T-Box lite LT-100	1	29mm x 150mm x 83mm	585
6	Sistema Basado en Relés	Relé: G2R1SNAC120S Base: P2RF05E	2	29mm x 35,5mm x 13mm 92mm x 32.6mm x 8mm	336
7	Breaker	PLSM-B4	3	60mm x 17.5mm x 80mm	280
8	Relé Finder	Relé Finder Modelo 222380120	1	84mm x 58,4mm x 17.4mm	87
9	Varistor	V20C3FS550	2	90mm x 71,2mm x 60mm	616
11	Borneras de control y Potencia	1SNA 115 486 R0300	24	46mmx46mmx10mm	300
Total					7071

Tabla 26 - Volumen de Componentes a Instalar en Gabinete de Control

Al obtener el volumen que se está ocupando por los equipos que darán control al seccionador de arco rotativo marca Yaskawa se prosigue a realizar una regla de tres para determinar el volumen mínimo requerido para la fabricación del gabinete que tendrá a estos en su interior.

$$7071 \text{ cm}^3 = 40\%$$

$$X = 100\%$$

Despejando X

$$17677,5 \text{ cm}^3 = X$$

Tras realizada la regla de tres se halla que el volumen mínimo para la elaboración del gabinete es de 17677,5 cm³, por lo tanto se puede empezar a realizar un prototipo del gabinete que se va a elaborar. Teniendo en cuenta que el cliente instalará un radio en su interior, el espacio que será utilizado para el cableado según el fabricante y el espacio disponible para mas equipos que el cliente requiera se hace el esquema para la aplicación.

Ítem	Equipo	Dimensiones (W,H,D)	Volumen (cm3)
1	Gabinete de Control	700mm x 220mm x 500mm	77000

Tabla 27- Volumen Total de Gabinete a Diseñar

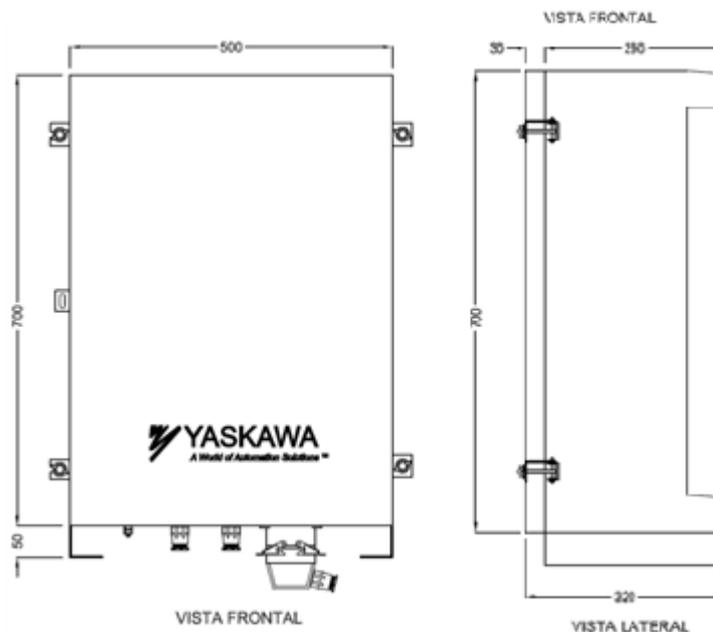


Ilustración 29 - Dimensiones gabinete de control – Fuente: Autor

Este esquema al parecer cumple con los requerimientos del cliente el cual exige que el espacio utilizado sea menor de 40% del volumen total del gabinete instalado a la intemperie, con lo que actualmente se está usando un 22,95% y queda disponible el 18,04% para la instalación de equipos a criterio del cliente.

Se especifican los requerimientos tanto del cliente como los de diseño y que a su vez cumpla con los estándares de calidad y certificado para su instalación en campo teniendo en cuenta el reglamento técnico de instalaciones eléctricas (RETIE).

- Suministro de un cofre 700 x 500 x 220 mm (W,H,D) en lámina galvanizada calibre 16 con cerraduras en acero inoxidable y pintura electrostática beige y acabado en pliuetano transparente para uso en intemperie. Ejecución Nema 4.
- Suministro e instalación de un conector de 16 pines para la salida del motor del seccionador.

- Suministro de selectores (5) y pulsadores (3, conector DB9 (1) cableados al sistema con cable # 16 AWG de 105 °C.
- Suministro e instalación de canaleta porta-cable plástica, borneras de control y potencia tipo ABB.
- Instalación dentro del cofre de los elementos suministrados por Variadores S.A. tales como PLC, Tbox, Tarjeta de potencia, Fuente, relés de control, varistores y baterías.
- Screen *Yaskawa* en la puerta.

Para la elaboración del gabinete de control con las dimensiones necesarias con el fin de evitar un ambiente condensado, se obtienen las siguientes características y precios para su implementación:

Ítem	Equipo	Dimensiones (W,H,D)	Precio
1	Gabinete de Control	700mm x 220mm x 500mm	2650000

Tabla 28 - Precio gabinete de Control

Se adjudica la compra del gabinete de control para un seccionador de arco rotativo marca *Yaskawa* con la distribución de los componentes como se observa en la Ilustración 30, en la cual se separa el sistema de control al de potencia para evitar ruidos en el sistema de comunicación.

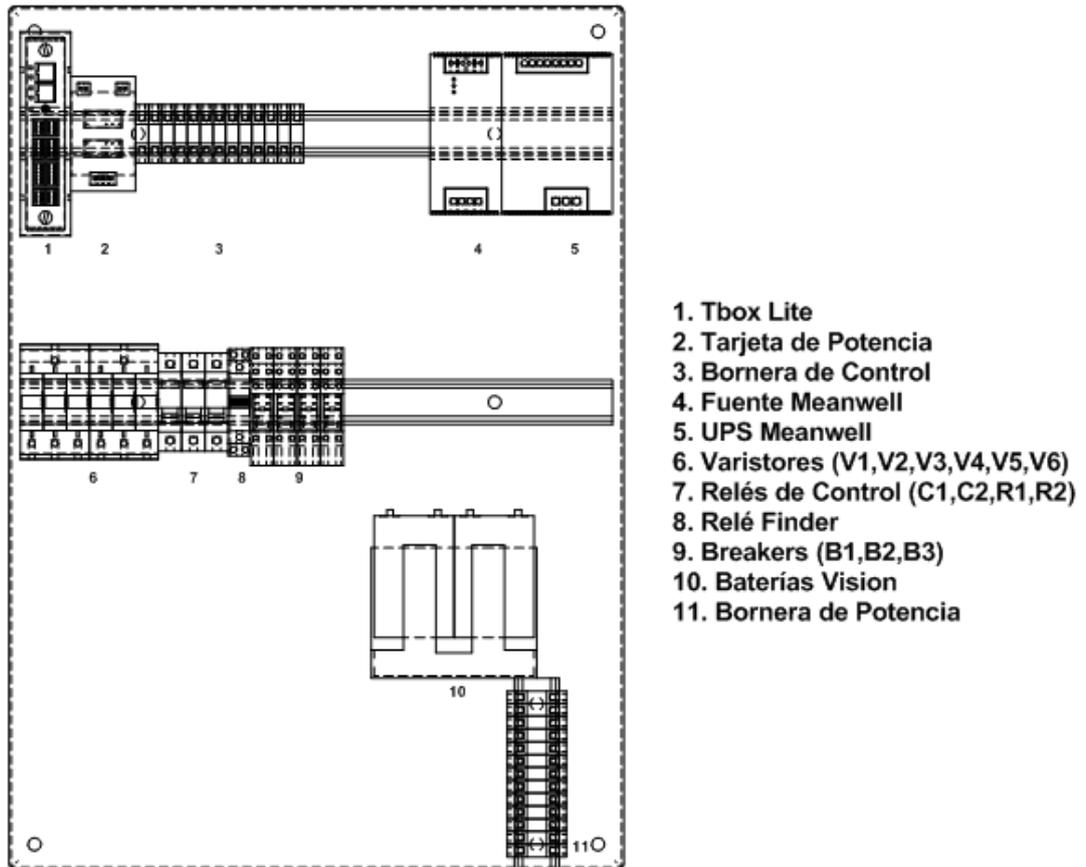


Ilustración 30 - distribución de elementos a instalar en gabinete de control – Fuente: Autor

4.11 PRUEBAS

Para la inspección del equipo se realiza una lista de verificación (**Check List**) con el fin de probar el funcionamiento del equipo y a su vez su estado físico. Estos componentes que se involucran en la lista de verificación dan como garantía que el equipo al momento de la distribución ha sido probado y esta certificado de que cumple con las funciones necesarias para su instalación en campo, métodos de operación manual-automático, manual-remoto, automático-línea y automático-suplencia.

Una vez recibido el gabinete con todos sus componentes (Ilustración 31) se procede a realizar una revisión en cableado y distribución de los equipos dentro del gabinete que corresponda a lo solicitado, se prosigue con el comisionamiento de la lista de verificación para comprobar el funcionamiento que se quiere para satisfacer las necesidades tanto del cliente como de la compañía.



Ilustración 31 – Gabinete Construido

Se anexa lista de verificación diligenciado en el cual se siguieron todos los pasos y se comprueba que el funcionamiento es el requerido y es satisfactorio para lo que el equipo fue diseñado.

Anexo 2 - Lista de Verificación “Check List”

Se continúan las pruebas en el sistema de alimentación en la cual se quiere mostrar el rendimiento del equipo a plena carga únicamente alimentado por baterías, por lo tanto se pretende realizar 150 apertura/cierre en el transcurso de 8 horas y 40 minutos, tomando muestras de 5 operaciones cada 20 minutos, y así demostrar que el equipo cumple con las especificación solicitadas por el cliente y de la compañía.

Hora	A/C	V Baterías	Operación
09:00	5	26,5	OK
09:20	5	25,89	OK
09:40	5	25,82	OK
10:00	5	25,79	OK
10:20	5	25,75	OK
10:40	5	25,71	OK
11:00	5	25,67	OK
11:20	5	25,61	OK
11:40	5	25,54	OK

12:00	5	25,48	OK
12:20	5	25,41	OK
12:40	5	25,37	OK
13:00	5	25,32	OK
13:20	5	25,28	OK
13:40	5	25,25	OK
14:00	5	25,22	OK
14:20	5	25,21	OK
14:40	5	25,17	OK
15:00	5	25,15	OK
15:20	5	25,12	OK
15:40	5	25,08	OK
16:00	5	25,04	OK
16:20	5	25	OK
16:40	5	24,98	OK
17:00	5	24,94	OK
17:20	5	24,91	OK
17:40	20	24,89	OK

Tabla 29 - Pruebas a Baterías *Vision* en Operación Constante

Se puede observar que el comportamiento del sistema bajo 150 operaciones en el transcurso de 8 horas y 40 minutos es eficiente ya que el sistema no bajo de 22V, valor mínimo para mantener energizado el gabinete de control en operación. Esto garantiza un perfecto funcionamiento en el sistema de alimentación y cumple con las necesidades especificadas anteriormente.

4.11.1 Pruebas de Comunicación. Por medio de un simulador DNP3.0 se realiza un monitoreo de las señales de estado del gabinete, al igual se realizan comandos de apertura/cierre y se comprueba el funcionamiento correcto del protocolo usado. Se revisa la fluctuación de transmisión de datos y así observar que no hay pérdida de comunicación momentánea.

Se realizan estas pruebas monitoreando y operando el seccionador remotamente desde el simulador DNP3.0 durante 3 días con el fin de ver detalles en operación y así detectar cualquier falla.

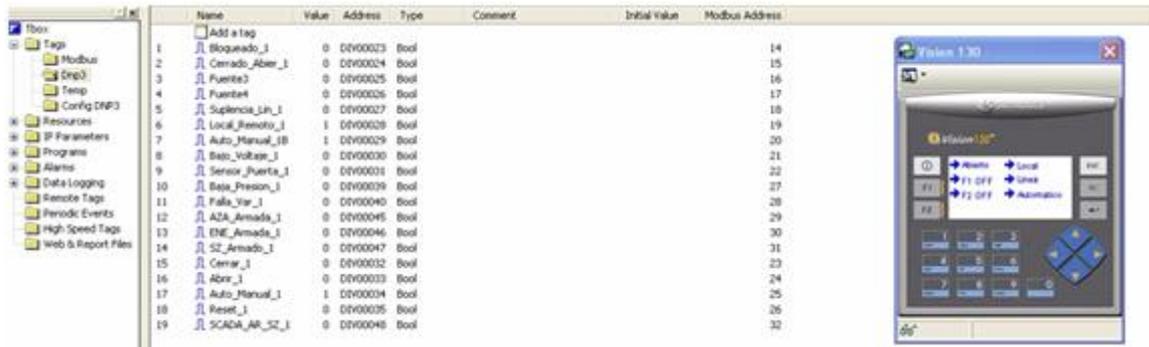


Ilustración 32 – Pruebas de comunicación sistema SCADA por DNP3.0

En la imagen 32 se puede observar el sistema control en comunicación por medio de protocolo de comunicación DNP3 con el centro SCADA donde se puede observar el estado actual de equipo.

Para la simulación del protocolo de comunicación IEC608700-5-104 se realiza una operación similar en la que se conecta el controlador con el centro SCADA corroborando la perfecta transmisión de datos y monitoreando el estado del equipo (Ilustración 33)

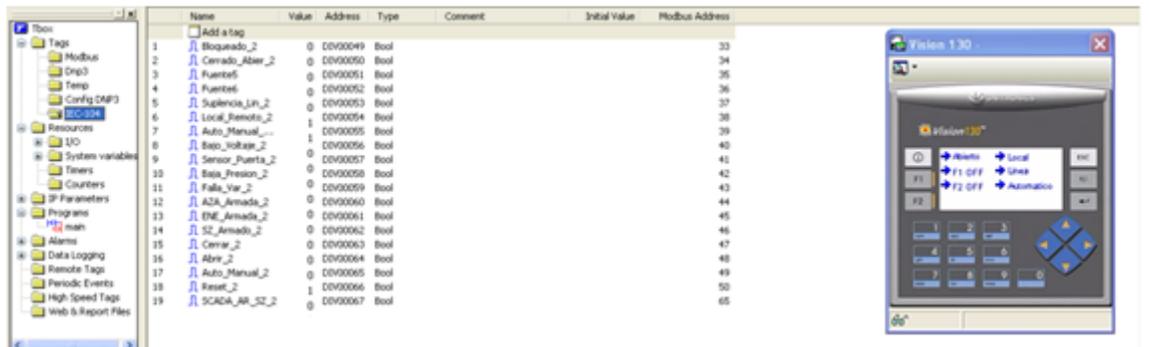


Ilustración 33 – Pruebas de Comunicación sistema SCADA por IEC-60870-5-104

4.12 COSTOS

Se realiza un análisis del costo total de fabricación por gabinete el cual corresponde al valor descrito en la siguiente tabla:

Componentes	Precios
Baterías 12V/7AH Visión	US 32
UPS Mean Well (DR-UPS40)	US 91
Fuente Mean Well (SDR-480-24)	US 335
Sistema basado en relés	US 110
Tbox-IP	US 1700
Gabinete	US 1200
Varistor (x6)	US 440
PLC 130-33-R34 (Unitronics)	US 430
Total	US 4338

Tabla 30 - Precio Total de Gabinete TDC

Al observar el valor definitivo del equipo (4338 Dólares) se presenta a directivos del sector Proyectos de la compañía variadores S.A. con el fin de explicar la funcionalidad del equipo y la viabilidad del proyecto para su implementación en campo.

El Ingeniero Javier Fonseca Director de Soporte Técnico de Proyecto junto con el Ingeniero Jorge Luis Agudelo Director de Proyectos, certifican la viabilidad del proyecto después de una reunión en la que se mostró el equipo con sus respectivas características. La compañía da conformidad y se procede a realizar documento para presentar oferta tanto al cliente como a la compañía Yaskawa para que se pueda implementar y/o fabricar con tecnología propia.

El equipo ciertamente ha gustado en la licitación y se ha pedido realizar varios gabinetes para la implementación en campo Colombiano, el equipo TDC por sus siglas (Time Delay Control) será una nueva línea en la compañía Variadores S.A. capaz de detectar ausencia de voltaje en las líneas de distribución y bloquear el área en falla.

5. CONCLUSIONES

- La implementación del sistema apertura/cierre a 16A cumple con el requerimiento establecido para el accionamiento del equipo desde una estación remota.
- Al momento de analizar el sistema de control se seleccionó el controlador Unitronics el cual cumple con la función de operatividad local por medio de interface HMI y su programación está con base en la lógica Voltaje/Tiempo para la localización de puntos en falla en una red de distribución eléctrica.
- El sistema de comunicación que se elaboró bajo el sistema RTU Tbox-Lite para el monitoreo y operación desde el sistema SCADA demostró alta velocidad en operatividad y sin pérdida de datos en la transmisión de información.
- La fabricación y ensamble del gabinete se elaboró bajo el reglamento técnico de instalaciones eléctricas (RETIE) para equipos a la intemperie y cumple con la norma NTC2050 para evitar ambientes condensados.
- El sistema de control es capaz de operar en ausencia de tensión hasta por 10 horas gracias a la implementación del sistema de alimentación/UPS.

6. BIBLIOGRAFÍA

- YASKAWA ELECTRIC CORPORATION, *Yaskawa Especificaciones Técnicas SHTS-01001S para Seccionador de Arco Rotativo en SF6 para operación bajo carga*, Revisión 3, Enero 31, 2003.
- Juan Antonio Yebra Moron, *Sistemas Electricos de Distribucion*, Editorial Reverte, 2009.
- Juan Pérez Cruz, *Introducción a las Instalaciones y Tecnología Eléctrica*, Editorial Servicio de Publicación Valencia, 2009.
- Reglamento Técnico De Instalaciones Eléctricas Retie
- Ken Curtis, *A DNP3 Protocol Primer*, DNP3 Users Group, 20 March 2005.
- International Electrotechnical Commission, *International Standard IEC 60870-5-104*, IEC, Second edition, June 2006.
- Servicios Condumex (2005) *Manual técnico de cables de energía*, México, ed.Lito-Grapo.
- Jesus Tashorras, *Redes de distribución*, Editorial Creaciones Copyrigh, Enero 2009.
- SF6 Switchgear, Hugh McLaren Ryan, Gordon Rees Jones
- F. Graf, Rudolf. *Diccionario de Electrónica*. Editorial Pirámide S.A. 1984.