

Universidad Católica de Santa María

**Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica y
Mecatrónica**



**Análisis de estudio de selección y coordinación de protecciones del
sistema eléctrico en baja tensión del centro de salud Maritza Campos
Díaz, Cerro Colorado, utilizando Electrical Transient and Analysis
Program - ETAP V.21.0.1**

Tesis presentada por el Bachiller:

Salas Angulo, Diego Alonso

ORCID: 0009-0004-4390-4859

para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico Eléctricista

Asesor:

Mg. Donayre Cahua, Jesús Manuel

ORCID: 0009-0003-4649-8430

Arequipa - Perú

2024

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA
INGENIERIA MECANICA ELECTRICA Y MECATRONICA
TITULACIÓN CON TESIS
DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 13 de Junio del 2024

Dictamen: 011791-C-EPIMMEM-2024

Visto el borrador del expediente 011791, presentado por:

2004801401 - SALAS ANGULO DIEGO ALONSO

Titulado:

ANALISIS DE ESTUDIO DE SELECCIÓN Y COORDINACIÓN DE PROTECCIONES DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN BAJA TENSIÓN DEL CENTRO DE SALUD MARITZA CAMPOS DIAZ, CERRO COLORADO, UTILIZANDO ELECTRICAL TRANSIENT AND ANALYSIS PROGRAM - ETAP V.21.0.1

Nuestro dictamen es:

APROBADO

Título Profesional/Título de Segunda Especialidad/Grado Académico a optar:

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

06426119 - ALVAREZ FLOREZ DARWIN REYNALDO
DICTAMINADOR



29634844 - CHIRINOS APAZA LUIS ADRIAN
DICTAMINADOR



29616686 - RIVERA ACOSTA VICTOR GONZALO
DICTAMINADOR



Análisis de estudio de selección y coordinación de protecciones del sistema eléctrico en baja tensión del centro de salud Maritza Campos Díaz, Cerro Colorado, utilizando Electrical Transient and Analy

INFORME DE ORIGINALIDAD

13%

INDICE DE SIMILITUD

13%

FUENTES DE INTERNET

0%

PUBLICACIONES

7%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante	4%
2	ciencia.lasalle.edu.co Fuente de Internet	2%
3	hdl.handle.net Fuente de Internet	2%
4	vsip.info Fuente de Internet	1%
5	docplayer.es Fuente de Internet	1%
6	dspace.ups.edu.ec Fuente de Internet	1%
7	tangara.uis.edu.co Fuente de Internet	1%

Dedicatoria

A mis padres, cuyo amor y apoyo incondicional han sido mi motor constante.

A mi amada esposa e hijos, cuya presencia ha sido mi mayor alegría y fortaleza.

A mis profesores y mentores, por su invaluable guía y sabiduría que han enriquecido mi aprendizaje.

Gracias a todos los que han sido parte de este viaje.

Salas Angulo, Diego Alonso

Agradecimientos

Agradezco a mi director de tesis por su orientación experta y su dedicación incansable.

Quiero expresar mi gratitud hacia mis profesores y compañeros, cuyos aportes y observaciones han fortalecido este trabajo.

Por último, a mis padres y seres queridos, por su apoyo inquebrantable y ánimo constante que han sido mi impulso más grande. Gracias por confiar en mí y ser mi inspiración continua.

Salas Angulo, Diego Alonso

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como propósito, de realizar el estudio de selección y coordinación de protección del sistema eléctrico de baja tensión del “HOSPITAL MARITZA CAMPOS DÍAZ”, que se encuentra ubicado en el distrito de Cerro Colorado, provincia de Arequipa, utilizando el software Electrical Transient and Analysis Program – ETAP v.21.0.1, ante alguna falla técnica o no técnica que pueda afectar el sistema eléctrico general del Hospital en mención.

Este estudio se realizó por un requerimiento especial del área de supervisión de esta obra. El motivo principal fue verificar los cálculos realizados en el proyecto y comprobar su efectividad utilizando un software especializado en coordinación de protecciones, flujos de carga y determinación de potencia de corto circuito.

Para analizar el estudio de protecciones eléctricas, es esencial mencionar que, en términos generales, un sistema de protección se refiere a un dispositivo específico o a un conjunto de equipos que miden y comparan las magnitudes de un sistema de potencia. Estos dispositivos inician la acción necesaria para aislar el sistema eléctrico y los elementos que presenten o puedan generar una falla eléctrica.

Para poder realizar la correcta selección y coordinación de protección del sistema eléctrico del Hospital Maritza Campos Díaz se requiere analizar el Flujo de Carga, analizar el estudio de Corto Circuito y estudio de Arco Eléctrico.

Para este estudio se decidió utilizar el Software ETAP v.21.0.1, dado que este programa ofrece detección y evaluación automáticas de la protección y coordinación del sistema. Además, garantiza la selectividad basándose en criterios de diseño tanto de forma tabular como gráfica, y proporciona una referencia sobre las condiciones a las que estará sometido el sistema eléctrico en caso de una falla.

Palabras clave: Protecciones Eléctricas, Tensión, Cortocircuito, Fallas, ETAP.

ABSTRACT

The purpose of this research work is to carry out the study of selection and protection coordination of the low voltage electrical system of the “HOSPITAL MARITZA CAMPOS DÍAZ”, which is located in the district of Cerro Colorado, province of Arequipa, using the Electrical Transient and Analysis Program – ETAP v.21.0.1 software, in the event of any technical or non-technical failure that may affect the general electrical system of the Hospital in question.

This study was carried out due to a special request from the supervision area of this work. The main reason was to verify the calculations made in the project and check their effectiveness using software specialized in coordination of protections, load flows and determination of short circuit power.

To analyze the study of electrical protections, it is essential to mention that, in general terms, a protection system refers to a specific device or a set of equipment that measures and compares the magnitudes of a power system. These devices initiate the necessary action to isolate the electrical system and the elements that present or may generate an electrical failure.

In order to carry out the correct selection and coordination of protection of the electrical system of the Maritza Campos Díaz Hospital, it is necessary to analyze the Load Flow, analyze the Short Circuit study and the Electric Arc study.

For this study it was decided to use the ETAP Software v.21.0.1, since this program offers automatic detection and evaluation of the protection and coordination of the system. In addition, it guarantees selectivity based on design criteria in both tabular and graphical form, and provides a reference on the conditions to which the electrical system will be subjected in the event of a failure.

Keywords: Electrical Protections, Voltage, Short Circuit, Faults, ETAP.

ÍNDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

RESUMEN

ABSTRACT

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I	2
1. PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	2
1.1. Línea de investigación	2
1.2. Descripción de la realidad problemática	2
1.3. Delimitación de la investigación	3
1.3.1. Delimitación espacial	3
1.3.2. Delimitación social	3
1.3.3. Delimitación temporal	4
1.3.4. Delimitación conceptual	4
1.4. Problema de investigación	4
1.4.1. Problema principal	4
1.4.2. Problemas secundarios	4
1.5. Objetivos del proyecto	5
1.5.1. Objetivo general	5
1.5.2. Objetivos específicos	5
1.6. Justificación e importancia del proyecto	6

1.6.1.	Justificación.....	6
1.6.2.	Importancia.....	6
1.7.	Factibilidad del proyecto.....	6
1.8.	Limitaciones	7
CAPITULO II.....		8
2.	MARCO TEÓRICO	8
2.1.	Antecedentes de investigación.....	8
2.2.	Bases teóricas.....	9
2.2.1.	Protección del Sistema Eléctrico	9
2.2.2.	Clasificación de la Protección Eléctrica.....	10
2.2.3.	Fallas en las instalaciones eléctricas.	10
2.2.4.	Tipos de falla	11
2.2.5.	Dispositivos de Protección contra Fallas.	21
2.2.6.	Estudio de Flujo de Potencia	25
2.2.7.	Estudio de Cortocircuito.....	25
2.2.8.	Coordinación de protecciones	25
2.2.9.	Electrical Transient and Analysis Program – ETAP	25
CAPITULO III		27
3.	METODOLOGÍA	27
3.1.	Metodología de desarrollo.....	27
3.2.	Parámetros eléctricos.....	29
3.3.	Ajustes en transformadores	30
3.3.1.	Función 51	30
3.3.2.	Función 51N	30
3.3.3.	Función 50N	31
3.4.	Ajustes cargas 380/220v – Consideración inicial	31
3.4.1.	Función 51	31

3.4.2.	Función 50	31
3.4.3.	Función 51N	31
3.4.4.	Función 50N	32
CAPITULO IV.....		33
4.	ESTUDIOS DE DESARROLLO	33
4.1.	Estudio de flujo de carga.....	33
4.1.1.	Tabla de Escenarios de estudio de Flujo de Carga.....	33
4.1.2.	Diagrama Unifilar General del análisis de flujo de Carga en condiciones normales	35
4.2.	Estudio de corto circuito:	43
4.2.1.	Tabla de escenarios de Estudio de Corto Circuito	44
4.2.2.	Resultados de Barras para analizar el estudio de corto circuito.....	45
4.2.3.	Diagrama de barras y resultados.	46
4.3.	Estudio de coordinación de protecciones.....	46
4.3.1.	Cuadro de protecciones de Tablero General Normal (TGN)	48
4.3.2.	Cuadro de Protecciones de Tablero General de Emergencia (TG-E1) ..	49
4.3.3.	Simulación Falla en barra de Tablero General Normal (TGN).....	51
4.3.4.	Simulación Falla en barra de Tablero Normal de Emergencia (TN-E1)	53
CONCLUSIONES		55
RECOMENDACIONES		56
REFERENCIAS		57
ANEXOS		60
ANEXO A: PLANO UNIFILARES GENERAL “HOSPITAL DANITZA CAMPOS DIAZ”		61
ANEXO B: ESTUDIO DE FLUJO DE CARGA EN CONDICIONES NORMALES		62
ANEXO C: ESTUDIO DE FLUJO DE CARGA APERTURA DE FUSIBLES.....		63
ANEXO D: ESTUDIO DE CORTO CIRCUITO_REV2.1 _ MÁXIMO.....		64

ANEXO E: ESTUDIO DE CORTO CIRCUITO_REV2.2 _ MÍNIMO	65
ANEXO F: COORDINACIÓN DE PROTECCIONES TABLERO GENERAL NORMAL (TGN).....	66
ANEXO G: COORDINACIÓN DE PROTECCIONES TABLERO NORMAL DE EMERGENCIA (TN-E1)	67
ANEXO H: CUADRO DE PROTECCIONES (TG-E1)	68
ANEXO I: CUADRO DE PROTECCIONES (TGN).....	69

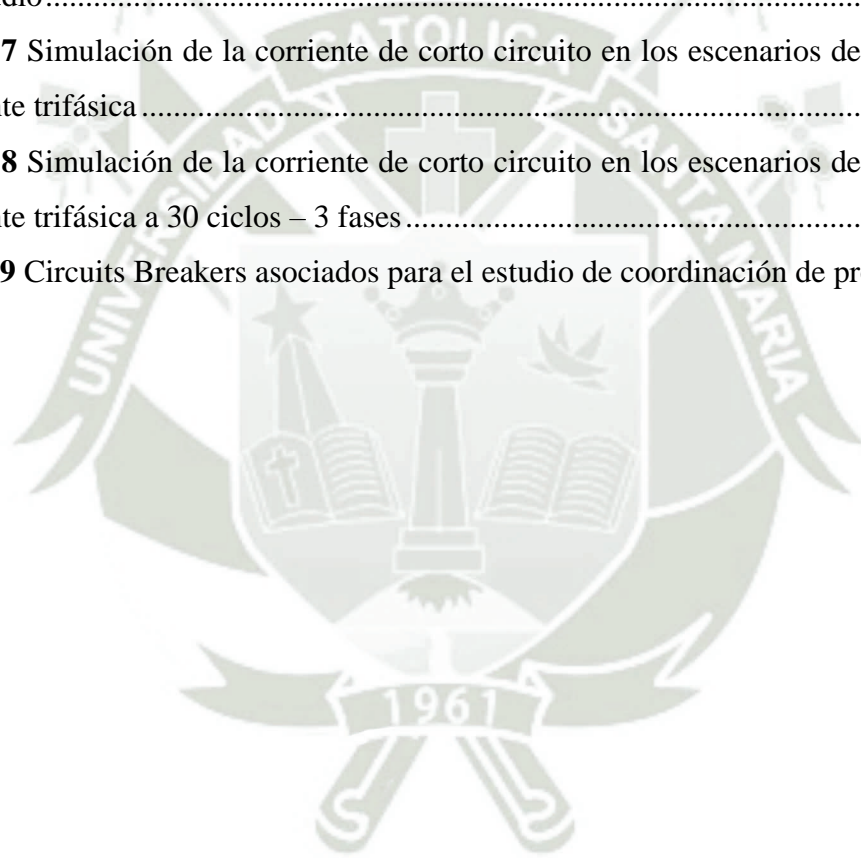


ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Sistema elemental para el efecto de sobrecarga.....	11
Figura 2 Ciclo de trabajo para un cable de distribución subterránea	12
Figura 3 Curva de tolerancia corriente – tiempo	13
Figura 4 Constante térmica en las maquinas eléctricas.....	14
Figura 5 Influencia de la temperatura en la vida de los aislamientos.....	16
Figura 6 Curva de calentamiento de conductores	17
Figura 7 Duración de una parte de la instalación en función de la Temperatura	18
Figura 8 Temperatura máxima según material y clase.....	18
Figura 9 Dispositivos de Protección contra Fallas.....	22
Figura 10 Área de Influencia del Proyecto.....	27
Figura 11 Metodología de Desarrollo	28
Figura 12 Diagrama unifilar general del proyecto	29
Figura 13 Diagrama Unifilar General análisis flujo de Carga en condiciones normales ...	35
Figura 14 Análisis de Flujo de Carga de Tablero General Normal (TGN).....	36
Figura 15 Análisis de Flujo de Carga de Tablero General de Emergencia (TG-E1)	36
Figura 16 Análisis de termográfico Flujo de Carga del Tablero General Normal (TGN) .	37
Figura 17 Análisis de termográfico de Flujo de Carga del Tablero General Emergencia (TG-E1)	38
Figura 18 Análisis de flujo de carga en condición “Falla”.....	39
Figura 19 Conmutación del Interruptor de Transferencia	40
Figura 20 Flujo de carga de energía de los generadores 762 kW.....	40
Figura 21 Análisis de Flujo de Carga de Tablero General de Emergencia (TG-E1)	41
Figura 22 Análisis de Flujo de Carga de Tablero de Ascensores (TFE-ASC).....	42
Figura 23 Tablero General (TGN).....	46
Figura 24 Tablero general de emergencia (TG-E1)	46
Figura 25 Protecciones de Tablero General Normal (TGN)	48
Figura 26 Protecciones (TGN)	48
Figura 27 Protecciones de Tablero General de Emergencia (TG-E1).....	49
Figura 28 Protecciones (TG-E1)	50
Figura 29 Simulación de Falla en barra de Tablero General Normal (TGN).....	51
Figura 30 Simulación de Falla en barra de Tablero Normal de Emergencia (TN-E1).....	53

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Análisis De Flujo De Carga De Hospital "Danitza Campos Díaz": Escenarios De Estudio.....	34
Tabla 2 Resultados del Tablero General y Tablero de Emergencia	37
Tabla 3 Resultados Generador N° 1 y N°2.....	41
Tabla 4 Resultados del Tablero General de Emergencia (TG-E1).....	42
Tabla 5 Resultados del Flujo de Carga de Tablero de Ascensores (TFE-ASC).....	42
Tabla 6 Análisis estudio de corto circuito del "Hospital Danitza Campos Díaz " - Escenarios de estudio.....	44
Tabla 7 Simulación de la corriente de corto circuito en los escenarios de falla máxima de corriente trifásica	45
Tabla 8 Simulación de la corriente de corto circuito en los escenarios de falla máxima de corriente trifásica a 30 ciclos – 3 fases	45
Tabla 9 Circuits Breakers asociados para el estudio de coordinación de protecciones.....	47



INTRODUCCIÓN

El presente trabajo tiene como finalidad realizar un estudio de selección y coordinación de sistema protecciones del “Hospital Maritza Campos Díaz” para asegurar que el sistema eléctrico opere dentro de los requerimientos y parámetros previstos, además de brindarle seguridad a redes eléctricas, proteger la inversión de capital y proteger a las personas.

Un sistema de suministro y transporte de energía eléctrica debe cumplir con requisitos esenciales para garantizar un servicio con elevados estándares de calidad y seguridad. Estos requisitos se satisfacen en parte mediante el cumplimiento de normativas y procedimientos rigurosos durante las fases de diseño y construcción de sistemas eléctricos. No obstante, los sistemas eléctricos están susceptibles a diversas fallas originadas por múltiples causas. Por consiguiente, es esencial implementar un esquema de protección para estos sistemas. Dicho esquema tiene como objetivo principal mitigar los efectos de las fallas, reducir los tiempos de interrupción y mejorar la continuidad del suministro eléctrico hacia los consumidores finales.

Ante una situación de falla o condición atípica, el sistema de protección debe ser capaz de detectar el problema inmediatamente y aislar la sección afectada, permitiendo que el resto de sistema eléctrico permanezca en servicio y limitar la posibilidad de daño a otros equipos.

Para el estudio de selección y coordinación de protección se utilizará el software Electrical Transient and Analysis Program – ETAP v.21.0.1, instalado en el laboratorio “CDIM” de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica a través del convenio estratégico que cuenta la Escuela con ETAP; con lo que verificaremos las condiciones ante una falla y las respuestas de activación de las protecciones eléctricas que tiene instalado el Hospital “Maritza Campos Díaz”.

CAPITULO I

1. PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Línea de investigación

De acuerdo a las líneas de investigación de nuestra Escuela Profesional, la línea de investigación trabajada en la presente tesis es: Sistemas eléctricos de potencia, abordando la selección y coordinación de protección en sistemas eléctricos de baja tensión utilizando el software ETAP.

1.2. Descripción de la realidad problemática

Según el reporte de Sostenibilidad 2022 de las Sociedad Eléctrica del Sur Oeste – SEAL, indica que el año 2023 diagnostica que tendrá un reporte de indicadores de pérdida de energía en distribución de 7.98%, para el año 2024 SEAL diagnostica que tendrá una pérdida de energía en distribución de 8.00% a lo cual indica que puede ser pérdidas técnicas que puede ser producto a la misma red eléctrica propiamente dicha o puede ser pedidas no técnicas que puede ser ocasionadas por vandalismos y otra acción ocasionada por personas.

El departamento de Arequipa, tiende normalmente a incrementarse en los próximos años y dentro de este contexto está vinculado directamente a la disponibilidad energética produciéndose una constante carrear entre la potencia eléctrica instalada por la empresa productora de energía Charcani I, II, III, IV, V, y la potencia demandada por los usuarios.

Por lo tanto un desequilibrio desfavorable a la potencia producida no solo por problemas técnicos, también produce de índole social y político por lo que es el suministro de energía eléctrica no solo debe ser en cantidad requerida por los usuarios, sino también deben cumplir con las cualidades de calidad.

Algunas de las causas más comunes que producen fallas en un sistema eléctrico pueden ser las mencionadas a continuación.

- Fallas en los aislamientos de máquinas, aparatos y cables debido al envejecimiento, calentamiento o corrosión.
- Fallas en el aislamiento del aire o en los materiales de máquinas y aparatos, principalmente causadas por sobretensiones de origen atmosférico,

maniobras de interruptores o contaminación a tensiones de frecuencia operativa del sistema.

- Efectos de la humedad en el terreno y en el medio ambiente.
- Fallas mecánicas en las máquinas, fallas en las líneas de transmisión provocadas por el viento, caída de árboles o ramas en los conductores, etc.
- Errores humanos durante maniobras, como apertura de cuchillas bajo condiciones de carga, maniobras incorrectas, etc.
- Sobrecarga en transformadores, generadores y líneas de transmisión.
- Accidentes provocados por animales, como aves en las líneas de transmisión y roedores en cables y tableros.

Este tipo de fallas y algunas otras de la misma naturaleza se pueden agrupar como se indica a continuación.

- Sobrecargas.
- Corto Circuito.
- Caída de Tensión.
- Elevación de Tensión.

1.3. Delimitación de la investigación

1.3.1. Delimitación espacial

El desarrollo del estudio se realizará utilizando los planos unifilares “ASBUILT” del Hospital Maritza Campos Díaz que se encuentra en la etapa de ejecución en el distrito de Cerro Colorado, en la provincia y departamento de Arequipa, ubicado en la Avenida 54. Mz.- “K”, lote “01”. HH. Tierra Prometida Las Mercedes.

1.3.2. Delimitación social

El desarrollo de estudio garantizara la protección de equipamiento hospitalario y sistemas de tecnología de información y comunicación en un total de 6005 unidades según el siguiente detalle: 391 unidades de equipamiento biomédico, 597 unidades de equipamiento complementario, 433 unidades de equipamiento electromecánico, 367 unidades de equipamiento informático, 245 unidades de instrumental, 2320 unidades de mobiliario administrativo, 1652 unidades de mobiliario clínico.

1.3.3. Delimitación temporal

El estudio se terminó en un plazo de 5 meses.

1.3.4. Delimitación conceptual

El presente estudio tiene una cobertura a nivel del Ministerio de Energía y Minas Dirección General de Electricidad.

Los estudios se realizan con la última edición de las normas IEC (y cualquier otra publicación mencionada en el mismo).

- IEC 60909 – Corrientes de Cortocircuito en Sistema de Corriente Trifásica.
- IEC 60038 – IEC Standard Voltages.
- DGE/MEM-2006 – Código Nacional de Electricidad – Utilización
- DGE/MEM-2011 – Código Nacional de Electricidad – Suministro
- IEEE 242 – Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems.
- IEEE 399 – Recommended Practice for Industrial and Commercial Power Systems Analysis.

1.4. Problema de investigación

1.4.1. Problema principal

P.G.1: ¿Porque es importante realizar un estudio de selección y coordinación de protecciones del sistema eléctrico?, ¿Cuáles son los beneficios que conllevan tener este tipo de estudio?

1.4.2. Problemas secundarios

P.E.1. ¿Cuáles serán los equipos de protección eléctrica en los niveles de baja tensión, bajo condiciones de falla?

P.E.2. ¿Cuál será la coordinación de protección eléctrica del sistema eléctrico en condiciones de falla?

P.E.3. ¿Cuáles serán los rangos específicos para la selección de los equipos de protección aptos de sistema eléctrico?

P.E.4. ¿Qué equipos de protección de sistema de eléctrico son los recomendables para el proyecto?

P.E.5. ¿Cuáles son los ajustes de que deben tener los componentes eléctricos en baja tensión para el estudio de selección y coordinación de protección del sistema eléctrico?

P.E.6. ¿Cuál será el tiempo disparo de los componentes ante una falla de sobre corriente del sistema eléctrico del proyecto?

P.E.7. ¿Los cables eléctricos estarán correctamente seleccionados para asumir alguna falla de sobre corriente o cortocircuito?

1.5. Objetivos del proyecto

1.5.1. Objetivo general

Analizar la coordinación de protecciones del Hospital Maritza Campos Díaz mediante el software ETAP v.21.0.1, a fin de que las protecciones sean capaces de detectar y eliminar las condiciones de falla de forma rápida y efectiva, y así evitar daños a las personas, propiedades y equipos.

1.5.2. Objetivos específicos

- Garantizar la selección de los equipos de protección y determinar los ajustes a ser implementados para la correcta coordinación de protección en caso de falla del sistema eléctrico y evitar pérdidas económicas y humanas.
- Analizar los componentes eléctricos de protección para que funcionen coordinadamente para proteger el sistema eléctrico.
- Determinar los rangos críticos ante una falla de potencia eléctrica mediante el Software ETAP v21.0.1 y que el sistema de protecciones cumpla su función correctamente.
- Evaluar el diagrama unifilar del proyecto para la selección de los dispositivos correctos, con una buena coordinación en presencia de una falla eléctrica; mediante el software ETAP 21.0.1
- Estudiar la coordinación de protecciones del sistema eléctrico ubicado aguas debajo del punto de conexión otorgado por el operador de red de distribución eléctrica.
- Analizar el tiempo de ajuste de disparo de los dispositivos de protección utilizando el Software ETAP v.21.0.1.

- Comprobar mediante el software ETAP v.21.0.1 si los cables alimentadores del proyecto fueron seleccionados adecuadamente ante una posible falla del sistema.

1.6. Justificación e importancia del proyecto

1.6.1. Justificación

El presente proyecto de tesis servirá como un respaldo técnico detallado para complementar el sustento técnico del proyecto del Hospital Maritza Campos Díaz. Este será presentado a los representantes de la construcción del hospital, con el objetivo de garantizar y justificar que los análisis y componentes de protección han sido seleccionados e instalados de manera profesional, conforme al código nacional de electricidad y la Norma Técnica Peruana.

La metodología de cálculo eléctrico cumplirá con todas las normativas del Ministerio de Energía y Minas, estableciendo las bases para los cálculos mínimos y máximos que se aplicarán en este proyecto de tesis. El estudio incluirá tabulaciones y gráficos que permitirán el análisis bajo diferentes condiciones de falla.

1.6.2. Importancia

El estudio de selección y coordinación de protecciones ha surgido no solo como necesidad de aportar la calidad de energía suministrada por parte de la compañía SEAL hacia el Hospital Maritza Campos Díaz sino una medida de proteger y salvaguardar al personal médico que día a día estará de manera continua y a todos los pacientes que este Hospital albergue durante los 365 días del año. Así mismo mantener a salvo todos los equipos eléctricos, electromecánicos, electrónicos e informáticos que son de suma importancia para este tipo de edificación.

1.7. Factibilidad del proyecto

Este estudio es factible, ya que el proyecto se considera una inversión pública, considerada una obra de infraestructura de Salud por encargo de PARSALUD del Ministerio de Salud y cuenta con la viabilidad desde el 30 de junio del 2016. De acuerdo con el estudio de Pre-inversión, el proyecto es parte del Listado Nacional de Establecimientos de Salud Estratégicos según la resolución Ministerial N° 997-2012/MINSA, cuyo objetivo fundamental esperado es contar con un adecuado acceso a los servicios de Salud en el sector de Cerro Colorado en la provincia de Arequipa.

1.8. Limitaciones

Las posibles limitaciones que se puedan presentar para el presente proyecto de tesis están referidas a la falta de accesibilidad de los datos técnicos que tienen los componentes eléctricos, listado de circuitos.



CAPITULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de investigación

Galván, Rosas y Santana (2019) presentaron la tesis "Coordinación de Protecciones para un Sistema Eléctrico Industrial", en la cual demostraron que al coordinar las protecciones del sistema eléctrico, se mitigan las fallas de la red. De esta manera, el ajuste de las protecciones está vinculado con la capacidad y el comportamiento de los equipos del propio sistema eléctrico al que pertenecen. Se evidenció que el tiempo de actuación de las protecciones depende del valor de la corriente. Para los ajustes, se debe considerar la sensibilidad, velocidad, fiabilidad, selectividad y seguridad de la operación.

Palacios y Jalixto (2016) presentaron la tesis "Estudio de Coordinación de Protecciones de las Instalaciones Eléctricas en Baja Tensión del Hospital Antonio Lorena del Cusco", donde demostraron que hubo errores en la selección de cables "alimentadores", ya que el proyectista no tuvo en cuenta los criterios de diseño y normas. Realizaron estudios de cortocircuito en la zona de media tensión (MT) y en la zona de baja tensión (BT), además de analizar el poder de corte de los interruptores termomagnéticos (ITM) principales, los cuales seleccionaron con una capacidad de 70 KA. Concluyeron determinando los ajustes adecuados para que la curva de operación de los interruptores termomagnéticos no se interceptara, permitiendo que las protecciones actúen de manera rápida y selectiva en caso de falla, protegiendo y garantizando la continuidad del servicio.

Gonzales (2011) presentó la tesis "Selección y Coordinación de Protecciones para Baja Tensión", evidenciando que para el cálculo de la corriente de cortocircuito en baja tensión existen diversas opciones de software conforme a las normas vigentes. Esto permite determinar y obtener los valores de corte y cierre de los equipos de protección del sistema eléctrico.

Chavesta (2013) presentó la tesis "Metodología para Elaborar la Actualización de Estudios de Coordinación de Protecciones de un Sistema Eléctrico Interconectado". En esta tesis se concluyó que, al realizar el estudio de coordinación de protecciones para una instalación, se debe verificar la influencia del proyecto en los sistemas eléctricos existentes y, si es necesario, realizar una nueva coordinación de protecciones para lograr una correcta selectividad. Se verificó que utilizaron el software "DIGSILENT" para desarrollar el estudio

de coordinación de protecciones del sistema eléctrico. Chavesta aclaró que de nada sirve realizar un estudio de coordinación si las empresas responsables de las instalaciones (SS.EE y líneas de transmisión) no implementan los ajustes de protección propuestos. Por ello, tanto la evaluación como la implementación de los ajustes de protección deben ir de la mano para conseguir la correcta selectividad del sistema.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Protección del Sistema Eléctrico

La función de la protección del sistema eléctrico mediante relevadores es retirar rápidamente del servicio cualquier componente de un sistema de potencia que sufra un cortocircuito o que comience a operar de manera anormal, lo que podría causar daños o interferir con el funcionamiento eficiente del resto del sistema.

El equipo de protección se apoya en interruptores que pueden desconectar el elemento defectuoso cuando reciben la orden del equipo de protección. Estos interruptores están ubicados estratégicamente para permitir la desconexión completa de cada generador, transformador, barra colectora, línea de transmisión, etc., del resto del sistema. Los interruptores deben ser capaces de soportar momentáneamente la corriente máxima de cortocircuito que pueda pasar a través de ellos y luego interrumpir esta corriente. Además, deben ser capaces de soportar y cerrar un cortocircuito similar y de interrumpirlo conforme a las normas prescritas.

Los fusibles se utilizan en situaciones donde el uso de relevadores de protección e interruptores no es económicamente justificable.

Aunque la función principal de la protección es mitigar los efectos de los cortocircuitos, también se requieren protecciones para otras condiciones anormales de funcionamiento.

Una función secundaria de la protección es indicar la ubicación y el tipo de falla. Estos datos no solo facilitan las reparaciones oportunas, sino que también, mediante la comparación con observaciones humanas y registros de oscilógrafos automáticos, proporcionan medios para analizar la eficacia de la prevención de fallas y las características de mitigación que incluye la protección. (MASON, 1971).

2.2.2. Clasificación de la Protección Eléctrica

La clasificación de la protección en los sistemas eléctricos se puede decir que básicamente existen dos tipos:

2.2.2.1. Protección Primaria

Esta protección se refiere a un esquema de protección cuyo objetivo principal es salvaguardar los componentes esenciales del sistema de potencia. Su función es desconectar la menor cantidad posible de elementos del sistema, minimizando así la afectación a los usuarios, cuando se presenta un disturbio.

2.2.2.2. Protección de Respaldo

La protección de respaldo se utiliza cuando la protección primaria falla. Cuando se dice que los relevadores primarios pueden fallar, se refiere a que pueden ocurrir diversas situaciones que impidan que los relevadores primarios desconecten el sistema correctamente. La protección primaria puede fallar debido a problemas en los siguientes elementos:

1. Suministro de corriente o voltaje a los relevadores.
2. Voltaje de alimentación en corriente directa al circuito de disparo.
3. Relevadores de protección.
4. Circuito de disparo o mecanismo del interruptor.
5. Fallo en el interruptor.

La protección de respaldo se emplea únicamente contra cortocircuitos, ya que representan el tipo de falla predominante en los sistemas eléctricos de potencia. La experiencia ha demostrado que la protección de respaldo para fallas que no sean cortocircuitos resulta económicamente injustificable.

Es muy deseable que la protección secundaria por relevadores se organice de tal manera que cualquier cosa que cause una falla en la protección primaria no afecte a la protección secundaria. Esta condición se cumple plenamente solo si los relevadores de respaldo están ubicados de manera que no compartan el control ni ningún otro elemento con los relevadores primarios. (Harper, 1993)

2.2.3. Fallas en las instalaciones eléctricas.

También conocido comúnmente como "Régimen perturbado", se refiere a todas las condiciones en una instalación eléctrica que provocan un funcionamiento anormal. Esto no

se limita únicamente a fallas de origen eléctrico, como cortocircuitos o fallas a tierra en general, sino que abarca todas las condiciones anormales de operación causadas por factores como temperaturas, humedad o uso ineficiente del equipo, así como dimensionamiento incorrecto de la carga. En estas condiciones, algunas situaciones pueden no tener un impacto inmediato en el equilibrio eléctrico, pero con el tiempo podrían degenerar en una interrupción transitoria o permanente del servicio. (Harper, 1993)

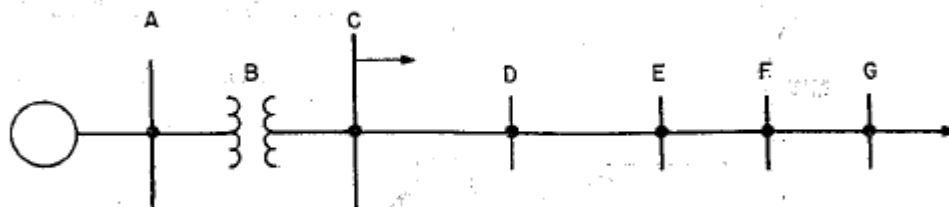
2.2.4. Tipos de falla

2.2.4.1. Sobrecargas

En la actualidad, existen técnicas que tienden a no establecer distinciones y consideran un régimen de sobrecarga y de cortocircuito como simples sobrecorrientes con valores diferentes. Sin embargo, por facilidad, en esta parte se mantendrá la diferencia clásica entre una sobrecorriente debida a una sobrecarga y una sobrecorriente por cortocircuito, no solo por su magnitud, sino también por su duración.

En la siguiente figura se muestra un sistema elemental compuesto por una línea de distribución, una subestación eléctrica y los usuarios a nivel primario. Para ilustrar el efecto de la sobrecarga, se puede considerar que en cada punto de la instalación se presenta una condición de sobrecarga. Es importante mantener el criterio de mantener una cierta magnitud de corriente por debajo de ciertos límites prefijados en cada caso. Esto hace comprender fácilmente que es difícil dar una definición analítica de lo que es una sobrecarga. Más bien, se trata de definir cuáles son los límites sobre los cuales una corriente se considera excesiva. Hay que tener en cuenta que una instalación eléctrica puede funcionar con éxito con un valor muy inferior a la llamada corriente nominal y también puede operar durante un tiempo prolongado con un régimen superior a la corriente nominal. (Harper, 1993)

Figura 1 Sistema elemental para el efecto de sobrecarga



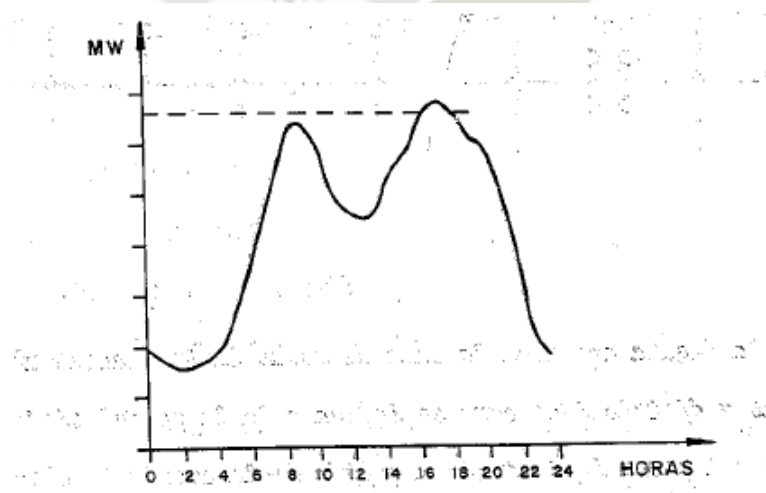
Fuente: (Harper, 1993)

En la figura 1, la suma de todas las corrientes absorbidas por las cargas y distribuidas como se indica a lo largo del sistema, pasará por la barra “A” y por lo tanto la magnitud de la eventual sobrecarga en “A” será muy distinto al valor de la sobrecarga en “F” en donde la corriente que pasa tiene un valor completamente distinto al de “A”, esto significa que en las instalaciones eléctricas y sobre todo las de tipo radial se debe hacer un dimensionamiento para la carga y sobre carga previsible en cada parte.

En una red mallada la distribución de la corriente es diferente y en cierto modo se puede decir que es más balanceada y en este caso la sobrecarga también debe tener un incremento adecuado en cada zona, aun cuando el criterio de diseño es diferente. En un modo más general se puede expresar la sobrecarga como un porcentaje de la corriente nominal diciendo por ejemplo que una sobrecarga del 25% corresponderá a 1.25 veces la corriente nominal.

Desde un punto de vista del proyecto se deben calcular las secciones de los conductores y los niveles de aislamiento en función de las máximas solicitaciones previsibles ya que un pequeño aumento de la corriente nominal en algunos casos puede representar una solicitud severa si se prolonga en el tiempo. Por ejemplo el ciclo de trabajo para un cable de distribución subterránea puede adoptar una curva como la mostrada en la figura.

Figura 2 Ciclo de trabajo para un cable de distribución subterránea



Fuente: (Harper, 1993)

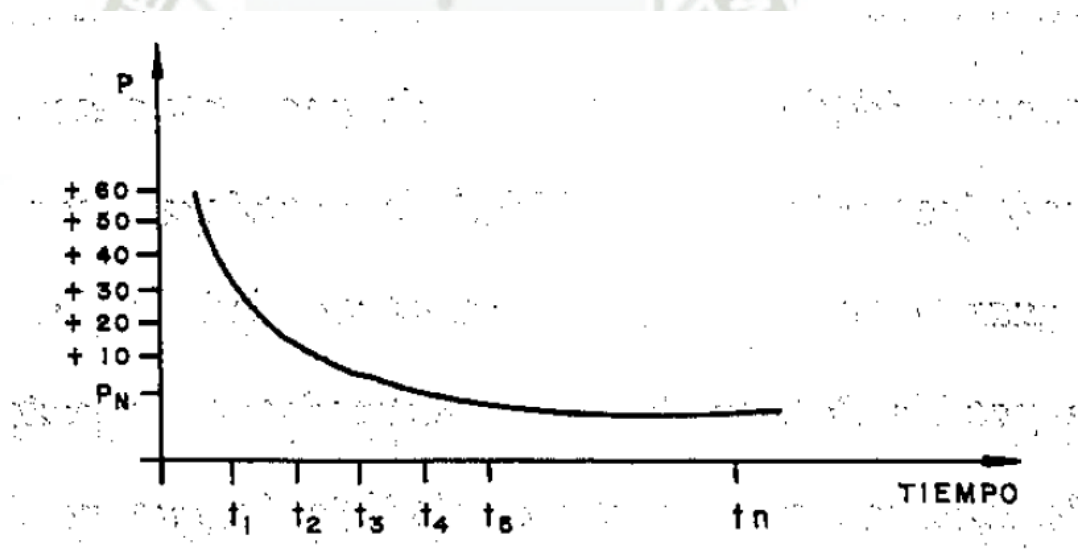
En la curva se observa que la corriente que absorbe en las primeras horas de la noche es superior a las del resto del día por lo que es necesario que el diseño del cable se considere

una mayor sollicitación durante la noche, pero desde luego sin entrar en un régimen de anormalidad.

En el caso de redes eléctricas que han sido instaladas de un cierto tiempo atrás en donde el ciclo de operación de la carga puede cambiar a lo largo del tiempo se presenta con frecuencia la necesidad de cambiar las características de los conductores para adecuarlas al desarrollo de la red, por lo que es muy importante en la planeación de los sistemas eléctricos pronosticar con más o menos cierta aproximación el posible desarrollo de las redes considerando los límites de máxima tolerancia en corriente y tiempo particularmente para todos aquellos elementos eléctricos que son insustituibles.

Por ejemplo una corriente del orden del 150% de la corriente nominal será tolerable en operación por un tiempo (t) mientras que una sobrecarga del 200% será tolerable por un tiempo proporcionalmente menor de acuerdo a una curva como la mostrada en la figura.

Figura 3 Curva de tolerancia corriente – tiempo



Fuente: (Harper, 1993)

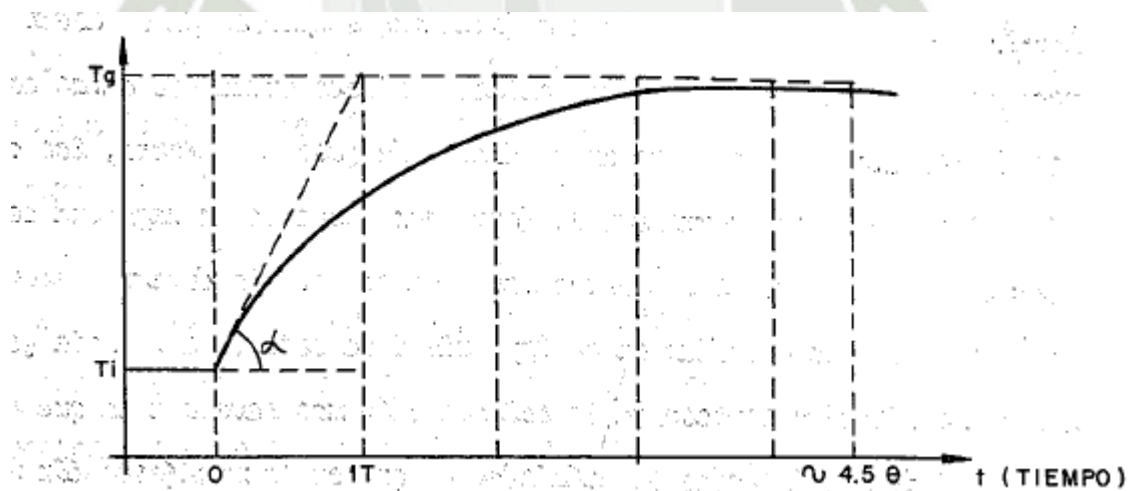
La curva de tolerancia corriente – tiempo ya sea para las maquinas o para las líneas eléctricas dependen de varios factores, el primero entre otros es el medio refrigerante existente, de hecho el efecto térmico que en el caso de sobrecarga es el más importante crece con el cuadrado de la corriente y tiene una forma asintótica. (Harper, 1993)

2.2.4.1.1. Constante térmica en las máquinas eléctricas.

Es fundamental abordar brevemente el concepto de sobrecarga en los sistemas eléctricos, sin dejar de mencionar su relevancia en las máquinas eléctricas. La capacidad de sobrecarga de una instalación está estrechamente relacionada con el medio refrigerante utilizado; la cantidad de corriente que puede soportar es mayor cuanto más baja es la temperatura del medio. En las máquinas eléctricas, especialmente en los transformadores, la potencia de placa se refiere a la máxima temperatura admisible, lo que no impide que a temperaturas menores se puedan suministrar potencias mayores.

En términos más claros, si (T_i) es la temperatura inicial de la máquina para una carga (P), y (T_f) es la temperatura de equilibrio final alcanzada por la máquina después de un brusco aumento de carga, se define la constante térmica θ como el tiempo que transcurre desde el paso de (T_i) a (T_f), de acuerdo con la ley de variaciones de la temperatura. Esta ley puede ser exponencial a partir de la tangente del punto inicial de la temperatura (T_i), como se muestra en la figura.

Figura 4 Constante térmica en las máquinas eléctricas.



Fuente: (Harper, 1993)

La constante de tiempo mencionada es mayor cuanto mayor sea la capacidad térmica de la máquina o instalación, y cuanto menor sea la conductancia térmica de dispersión. En el caso de transformadores de media y gran potencia, se estima que la temperatura de régimen se alcanza en un tiempo que es aproximadamente 4.5 veces la constante de tiempo, considerando como inicio del fenómeno el momento en que se conecta la carga.

Una vez alcanzada la temperatura de régimen, tanto los cables como las máquinas pueden tolerar variaciones limitadas en el tiempo. Desde este punto de vista, la sobrecarga se puede ajustar a la variación de corriente que produce un cambio de temperatura ($+\Delta T$) en cualquier parte de la instalación.

Basándonos en lo anteriormente expuesto, se puede afirmar que como medida preventiva para las sobrecargas, se pueden implementar:

- Protecciones sensibles a las variaciones de corriente dentro de los límites en los cuales tales variaciones se encuentran dentro del concepto de sobrecarga.
- Protecciones sensibles a las variaciones de temperatura. (Harper, 1993)

2.2.4.2. Corto Circuito

En términos simples, un cortocircuito ocurre cuando hay contacto entre dos o más conductores de distintas fases o entre un conductor de fase y tierra. Estos cortocircuitos suelen aumentar considerablemente la magnitud de la corriente que circula por los circuitos eléctricos. Este fenómeno representa la carga más severa a la que puede someterse una instalación eléctrica, ya que en su forma más extrema puede causar efectos térmicos y dinámicos tan violentos que pueden llevar a la destrucción mecánica de las máquinas e incluso de los materiales.

Estadísticamente, la mayoría de las fallas de este tipo tienen su origen en una falla de línea a tierra. El estudio de los efectos térmicos y dinámicos de las corrientes de cortocircuito es tema de otra literatura más enfocada en el diseño de instalaciones eléctricas. En esta sección, nos enfocaremos en el cortocircuito desde el punto de vista de su efecto directamente relacionado con la selección y protección de las instalaciones.

En general, la intensidad de la corriente que define una falla como un cortocircuito es al menos dos veces el valor de la corriente nominal. (Harper, 1993)

2.2.4.2.1. Efectos térmicos del corto circuito

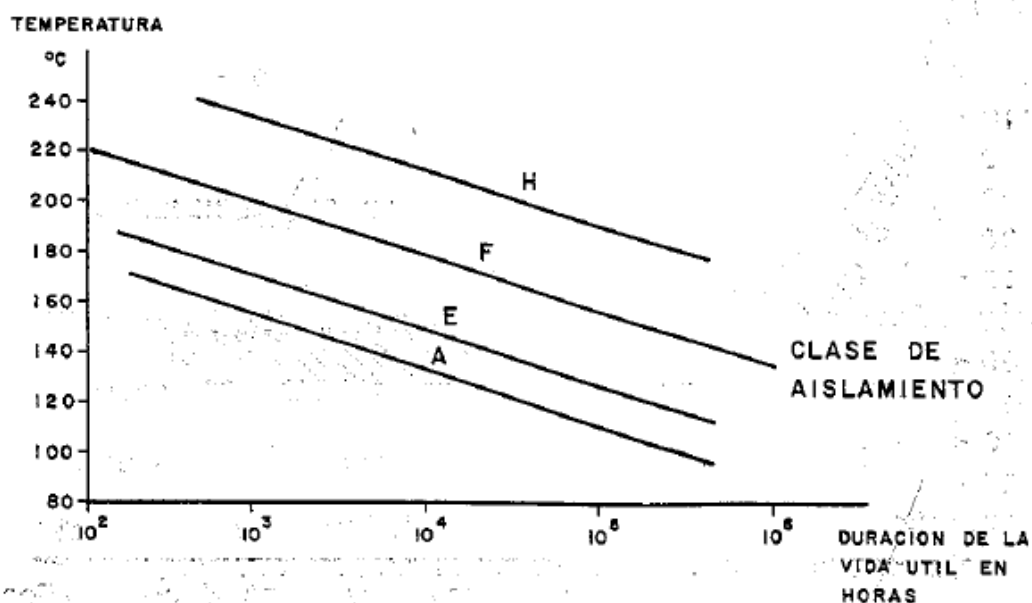
Una protección efectiva y selectiva puede eliminar un cortocircuito de la red en cuestión de décimas de segundo. Sin embargo, si esto no ocurre, las consecuencias térmicas de las corrientes del cortocircuito sobre las instalaciones pueden volverse significativas. Aunque al principio del fenómeno estas consecuencias no parecen tener mucha importancia, con el tiempo, la energía

térmica acumulada se difunde por todas las partes no metálicas de la instalación, lo que puede provocar problemas severos.

En situaciones donde las corrientes de cortocircuito son muy elevadas, se pueden alcanzar temperaturas elevadas en pocos segundos cuando los medios refrigerantes y los aislamientos no tienen suficiente tiempo para absorber la súbita sobrecarga térmica. En este caso, las partes metálicas mecánicamente más frágiles son las más propensas a ceder, ya que el considerable efecto térmico se suma a las sollicitaciones dinámicas producidas por las corrientes de cortocircuito.

La notable diferencia en la velocidad de disipación de la temperatura entre los soportes metálicos y los aislantes hace que la temperatura acumulada se transfiera al exterior de manera más lenta. Esto se puede observar en la figura siguiente, que muestra un cable conductor de 500mm² de sección aislado con termoplástico de 4mm de espesor. En este caso, el mismo material aislante del cable contribuye durante un cierto período de tiempo a mantener la temperatura del conductor a niveles elevados.

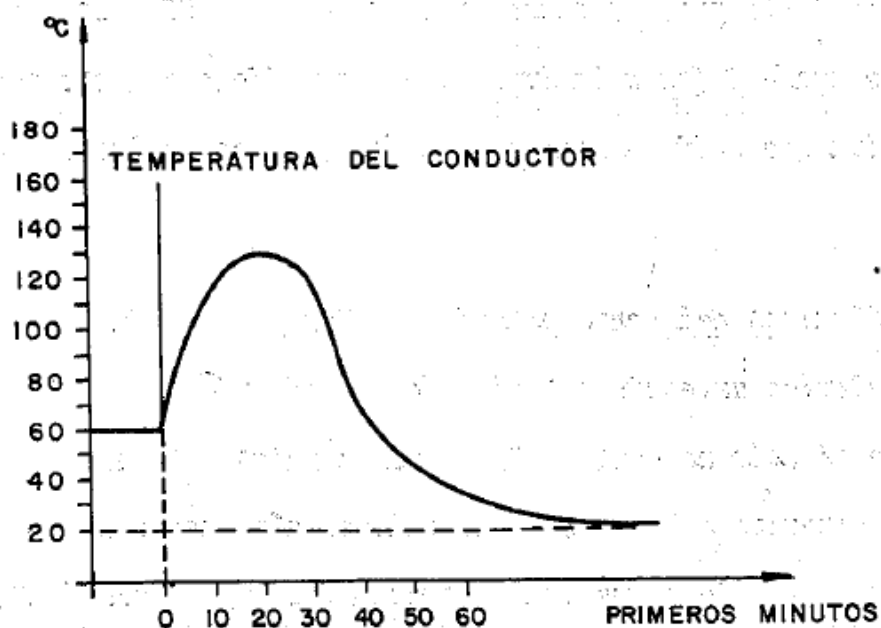
Figura 5 Influencia de la temperatura en la vida de los aislamientos



**INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN LA VIDA
DE LOS AISLAMIENTOS**

Fuente: (Harper, 1993)

Figura 6 Curva de calentamiento de conductores

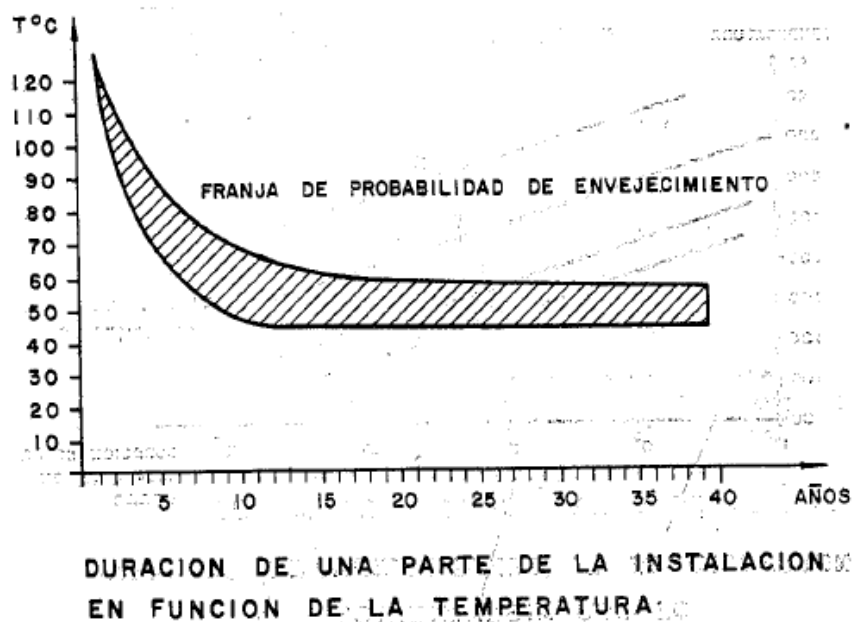


CURVA DE CALENTAMIENTO DE CONDUCTORES

Fuente: (Harper, 1993)

La temperatura del conductor se representa a su valor máximo (cuando el corto circuito se ha eliminado) el aumento de temperatura en el medio aislante provoca desde luego un proceso de envejecimiento del mismo en un tiempo más o menos largo. En la figura siguiente se muestra en forma hipotética la vida media de la vida de una instalación en función de la temperatura del régimen.

Figura 7 Duración de una parte de la instalación en función de la Temperatura



Fuente: (Harper, 1993)

Figura 8 Temperatura máxima según material y clase

CLASE	MATERIAL	TEMPERATURA MAXIMA (°C)
Y	PAPEL, ALGODON, MADERA, SEDA, GOMA	95
A	MATERIALES ORGANICOS DE LA CLASE "Y" PERO IMPREGNADOS O SUMERGIDOS EN ACEITE	105
E	ESMALTADOS POR HILOS	120
B	FIBRA Y TEJIDOS DE VIDRIO Y AMIANTO, AGLOMERADOS DE MICA	130
F	MATERIALES DE LA CLASE "B" IMPREGNADOS CON ELEMENTOS DE ELEVADA ESTABILIDAD TERMICA (RESINAS SILICONADAS Y EPOXICAS)	155
H	IGUAL QUE LA CLASE "F"	165

Fuente: (Harper, 1993)

Es evidente que como cada falla que incrementa el valor medio de la temperatura de función equivale a un cambio brusco que hace que se precipite la curva de envejecimiento de la sección interesada por lo que es necesario limitar en número e intensidad los posibles cambios bruscos de la instalación.

El incremento de temperatura es un conductor sometido a una brusca variación de régimen de corriente (I1) a una corriente (I2) se obtiene con una cierta aproximación de la expresión siguiente.

$$\Delta T = \frac{\rho \times I^2}{S \times K \times A} = ^\circ C$$

ΔT = *variación de la temperatura en °C*

ρ = *resistividad del conductor en ohm – mm²/m*

A = *Sección del conductor en mm²*

S = *Superficie de dispersión del conductor en mm²*

K = *constante del conductor en W/mm² °C* ,

(Número de watts dispersados por unidad de superficie por cada grado de aumento en las temperaturas)

La determinación del coeficiente "K" es un proceso complicado, ya que no solo depende del material, sino también de las condiciones ambientales y, en general, de la conductividad térmica del entorno. Por lo tanto, la fórmula anterior es útil en la práctica cuando se conoce con cierta precisión las características de los medios de dispersión térmica.

2.2.4.2.2. *Efectos dinámicos de la corriente de cortocircuito.*

Los efectos dinámicos de las corrientes de cortocircuito tienen una naturaleza dual, ya sea relacionada con la dilatación térmica de los materiales o con las fuerzas de atracción y repulsión que se manifiestan durante la perturbación. Estos esfuerzos dinámicos generan tensiones de naturaleza mecánica en las partes rígidas de las instalaciones, como los buses de fase aislada, las barras rígidas en las subestaciones eléctricas y los tableros de fuerza.

En el caso de los cables de potencia, aquellos con aislamiento de polietileno suelen deformarse debido a las bruscas elevaciones de temperatura, mientras que los medios aislantes con diferentes coeficientes de dilatación experimentan deformaciones menos pronunciadas. Por lo tanto, las deformaciones en los cables están estrechamente relacionadas con sus características constructivas.

2.2.4.3. Fallas a tierra

Estadísticamente se observa que el tipo de falla más común en las instalaciones eléctricas es el denominado de fase a tierra cuyo origen puede encontrarse en una serie de fenómenos distintos como son:

1. Las sobretensiones de origen atmosféricos que producen fallas de aislamiento ya sea en el aislamiento en aire en las líneas de transmisión o bien en el aislamiento de los materiales usados en la construcción de las maquinas eléctricas.
2. Las sobretensiones debidas a maniobra de interruptores y cuyo efecto es semejante al producido por las sobretensiones de origen atmosférico.
3. Las sobretensiones producidas por inducción por el paralelismo en líneas de transmisión, que aun cuando normalmente no son severas en un momento dado bajo ciertas condiciones ambientales y de operación de la red pueden producir esfuerzos dieléctricos considerables.
4. Fallas de aislamiento por envejecimiento, salinidad, depósitos de químicos de distintas naturalezas.
5. Ruptura y contacto a tierra de los conductores debido a corrosión atmosférica, viento, etc.
6. Causas accidentales como conductores en la proximidad de zonas arboladas, ruptura o contacto con elementos mecánicos operados por el hombre.

Es evidente que la probabilidad de un evento varía de región en función de las condiciones ambientales y climatológicas del estado de conservación de las instalaciones y del nivel de aislamiento que esta tenga. (Harper, 1993)

2.2.4.4. Caída de tensión

La caída de tensión en una instalación eléctrica puede ser causada por diversas razones. En una planta generadora, se considera que hay una caída de tensión cuando el valor de esta es inferior al valor nominal en cualquier punto de la red. Esto puede ser ocasionado por una sobrecarga en algún momento, que demande más corriente de la prevista, lo que resulta en un exceso en la caída de tensión debido a las impedancias de los conductores.

Los voltajes bajos en la red eléctrica pueden ser perjudiciales para el correcto funcionamiento de las instalaciones eléctricas. Estos efectos pueden ser de diferentes naturalezas en los usuarios, desde una reducción en el nivel de iluminación en las lámparas incandescentes hasta problemas de arranque de los motores de inducción debido al bajo voltaje. También pueden surgir otros inconvenientes en equipos que operan con relevadores de bajo voltaje, entre otros.

2.2.4.5. Elevación de tensión

Las sobretensiones en las instalaciones eléctricas pueden surgir por diversas razones, como se mencionó brevemente en los párrafos anteriores. Algunas de estas sobretensiones pueden superar los niveles de aislamiento y provocar cortocircuitos. Las sobretensiones pueden ser transitorias, como las generadas por descargas atmosféricas o maniobras de interruptores, en cuyo caso los dispositivos de protección se basan en la descarga a tierra de estas sobretensiones, siendo el pararrayos el principal elemento de protección.

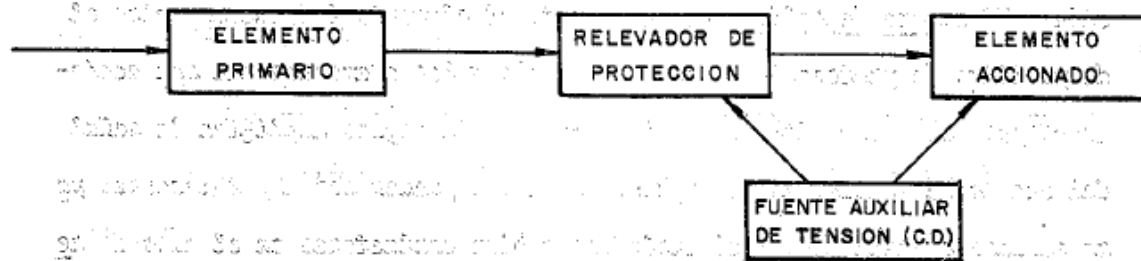
Otras sobretensiones, que ocurren a la frecuencia del sistema, pueden causar fallas de aislamiento o problemas en la operación del sistema eléctrico. Estas pueden ser originadas por pérdidas de carga, sobreexcitación, entre otras razones. Para este tipo de sobretensiones, generalmente se implementan medidas específicas de protección.

2.2.5. Dispositivos de Protección contra Fallas.

Se puede afirmar que muchas de las fallas que ocurren en las instalaciones eléctricas son prácticamente inevitables. No solo desde un punto de vista técnico, sino también económicamente, las soluciones para corregirlas resultarían prohibitivas. Por lo tanto, es necesario reconocer que no es posible evitar con certeza la presencia de fallas. Sin embargo, para minimizar su ocurrencia y reducir sus efectos, es fundamental contar con los dispositivos de protección adecuados.

En términos generales, cualquier dispositivo de protección basado en relevadores consta de los elementos que se indican.

Figura 9 Dispositivos de Protección contra Fallas.



Fuente: (Harper, 1993)

2.2.5.1.1. Elementos Primarios

Este elemento generalmente detecta las señales provenientes de la falla, como corriente, voltaje, etc., y las convierte en valores adecuados para alimentar al dispositivo de protección, es decir, una tensión baja y una potencia generalmente también baja. Estos elementos primarios suelen estar compuestos por transformadores de corriente, que además actúan como el medio de aislamiento eléctrico entre las partes de alta tensión y baja tensión de la instalación eléctrica.

2.2.5.1.2. Dispositivo de protección

El dispositivo de protección constituye el elemento principal de los sistemas de protección contra fallas. Funcionalmente, está compuesto por un sistema de conversión, encargado de convertir las señales de entrada procedentes del elemento primario. A menudo, este elemento físicamente no existe y el dispositivo utiliza directamente la señal del elemento primario.

El sistema de medida, que es la parte más importante del dispositivo de protección, se encarga de medir las señales provenientes de otros sistemas y, en función de los valores medidos, decide cuándo entra en acción el dispositivo de protección.

El sistema de salida actúa como el elemento intermedio entre el dispositivo de protección en sí mismo y los elementos que son activados por este dispositivo. Por lo general, este sistema amplifica la señal del órgano de medida. Estos sistemas de salida pueden ser amplificadores en el caso de relevadores electrónicos o contactores en el caso de dispositivos electromagnéticos.

2.2.5.1.3. Elemento accionado

El elemento accionado generalmente consiste en el componente al que llega la señal del dispositivo de protección, y suele ser la bobina de disparo de los interruptores.

2.2.5.1.4. Fuente auxiliar de tensión

Normalmente, en todas las instalaciones de protección, se requiere una fuente auxiliar de tensión en corriente continua. Esta fuente suele estar constituida por un banco de baterías (acumuladores) que operan a voltajes bajos, como 6 V, 9 V, 12 V, etc.

2.2.5.2. Características Importantes de los dispositivos de protecciones

Dado que los dispositivos de protección son elementos fundamentales en los sistemas eléctricos, deben cumplir con ciertas exigencias funcionales. Entre ellas se incluyen las siguientes:

- El dispositivo de protección debe ser insensible a las sobretensiones y sobrecargas momentáneas.
- No debe alterar su operación ante variaciones en la tensión y la corriente.
- El consumo propio de potencia del dispositivo de protección debe ser lo más bajo posible.
- Su funcionamiento no debe ser afectado por cambios normales en la configuración de la red, como la conexión y desconexión de cargas, y la entrada y salida de líneas.
- El dispositivo de protección debe operar independientemente de la naturaleza y situación de la falla para la cual ha sido seleccionado.

Las magnitudes a las que los dispositivos de protección son sensibles para detectar la presencia de fallas suelen ser las siguientes:

- Aumento en la intensidad de la corriente.
- Caída de tensión.
- Disminución en la impedancia aparente.
- Inversión en el sentido de la potencia.
- Comparación en la magnitud de la corriente de entrada y salida, o comparación de fase.

De acuerdo a la magnitud eléctrica que miden o controlan, los dispositivos de protección suelen clasificarse de la siguiente manera:

2.2.5.2.1. *Protección de Corriente*

Estos dispositivos responden a la intensidad de la corriente que fluye a través de ellos, lo que los clasifica como dispositivos tipo amperímetro. Pueden ser de máxima corriente, activándose cuando la corriente en el elemento protegido excede un valor predeterminado, o de mínima corriente, actuando cuando la corriente en el sistema protegido cae por debajo de un umbral establecido previamente.

2.2.5.2.2. *Protección de voltaje*

Este tipo de dispositivos se basa en el principio del voltímetro y responden al voltaje al que están sujetos. Se denominan dispositivos de máxima tensión cuando se activan al superar un valor predefinido de voltaje, y de mínima tensión cuando se activan si el voltaje desciende por debajo de otro valor establecido previamente.

2.2.5.2.3. *Protección de cociente*

Estos dispositivos funcionan cuando el cociente de dos magnitudes eléctricas, generalmente voltaje y corriente, alcanza un valor predefinido. Se les llama dispositivos de mínima impedancia y operan cuando la impedancia $Z = V/I$ cae por debajo de un valor predeterminado.

2.2.5.2.4. *Protección de frecuencia*

Estos dispositivos de protección entran en funcionamiento cuando el valor de la frecuencia en el sistema al que están conectados varía en comparación con un valor predefinido. Dado su funcionamiento característico, suelen ser del tipo de inducción.

2.2.5.2.5. *Protecciones diferenciales*

Esta forma de protección entra en acción, como su nombre lo sugiere, cuando la disparidad entre dos o más cantidades eléctricas del mismo tipo (dos corrientes, dos voltajes, etc.) supera un umbral establecido previamente.

2.2.5.2.6. Protecciones de producto

Estos dispositivos responden al producto de dos cantidades eléctricas, típicamente voltaje y corriente, y por ello también se les conoce como protección de tipo wattímetro.

2.2.6. Estudio de Flujo de Potencia

Los análisis de flujo de potencia son fundamentales para la planificación y diseño de futuras expansiones en sistemas de energía, así como para optimizar las operaciones de sistemas existentes. Principalmente, estos estudios arrojan datos sobre la magnitud y el ángulo de fase del voltaje en cada punto de conexión, además de las potencias reales y reactivas que fluyen por cada línea de transmisión.

2.2.7. Estudio de Cortocircuito

Los estudios de cortocircuitos son esenciales para identificar las posibles anomalías que podrían perturbar el flujo normal en un sistema eléctrico. Se requieren en todas las etapas de un sistema eléctrico, desde la generación hasta la distribución de la energía, por lo que es importante comprender sus aplicaciones principales:

- Calcular las corrientes de cortocircuito para diversos tipos de fallas en diferentes puntos de la red, lo que facilita la especificación de los dispositivos principales de protección.
- Determinar las potencias de cortocircuito para seleccionar dispositivos de protección y coordinar su funcionamiento.
- Calcular las corrientes de cortocircuito para evaluar los efectos térmicos y dinámicos, fundamentales en el diseño de sistemas de barras y tableros.

2.2.8. Coordinación de protecciones

Este esquema también recibe el nombre de "cascada", dado que opera en forma radial. En este esquema, se aplican dos o más dispositivos de protección en un mismo sistema eléctrico. El dispositivo más cercano a la falla, en el lado de la alimentación, actúa como el protector principal, mientras que el siguiente dispositivo más cercano, en el mismo lado, se conoce como el dispositivo de "respaldo" o protegido. (S.Ramirez.Castano)

2.2.9. Electrical Transient and Analysis Program – ETAP

Electrical Transient and Analysis Program (ETAP), es una herramienta informática especializada diseñada para facilitar el diseño y análisis detallado de sistemas eléctricos. Este software permite simular y evaluar el comportamiento de sistemas eléctricos

complejos, abarcando desde la generación hasta la distribución de energía. Mediante el uso de ETAP, se detecta y analiza potenciales problemas como cortocircuitos o sobrecargas y se desarrolla estrategias de mitigación eficientes. Es una herramienta fundamental en la ingeniería eléctrica para garantizar la eficiencia, fiabilidad y seguridad de las infraestructuras eléctricas. (www.etap.com, s.f.)



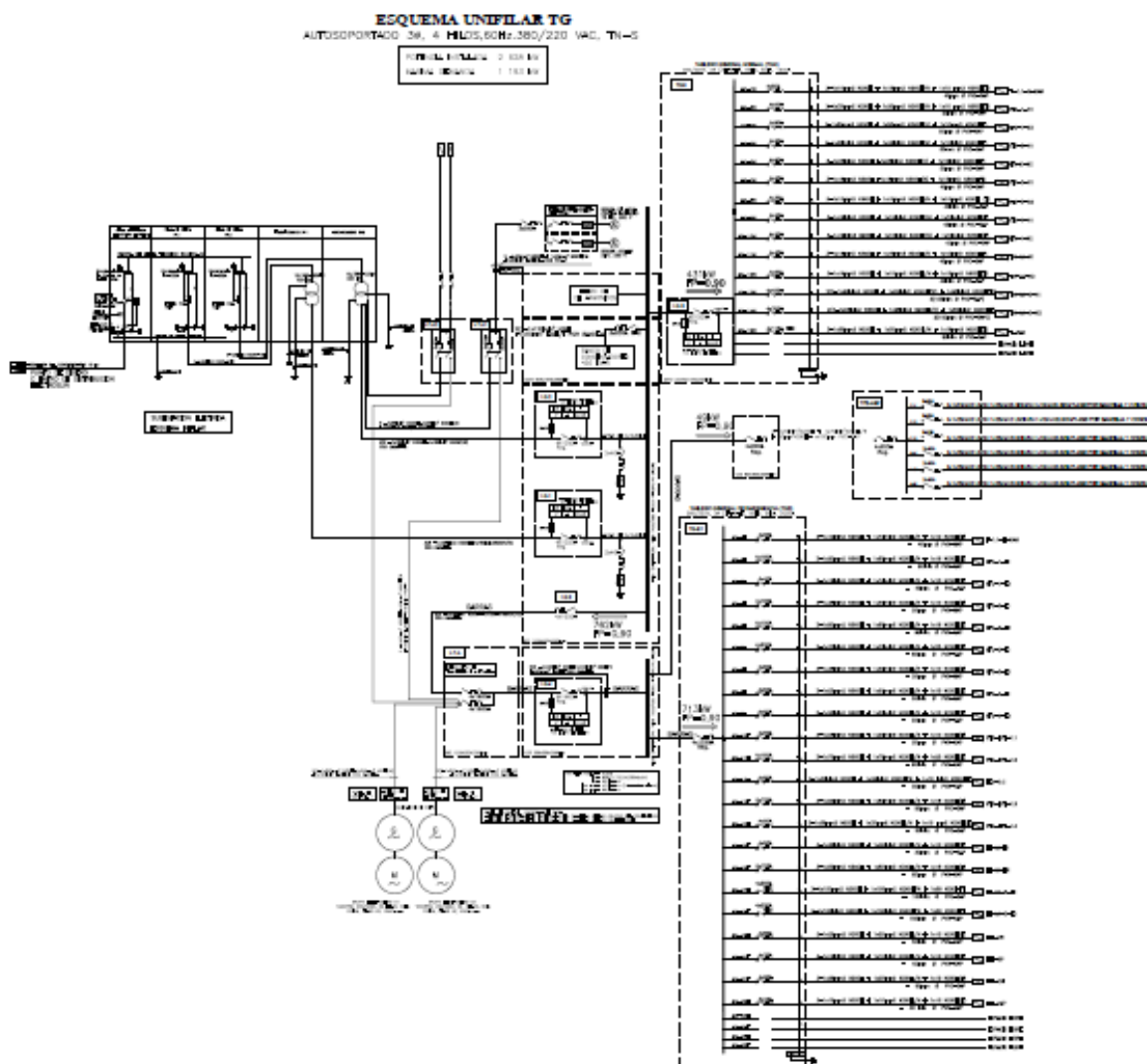
CAPITULO III

3. METODOLOGÍA

3.1. Metodología de desarrollo

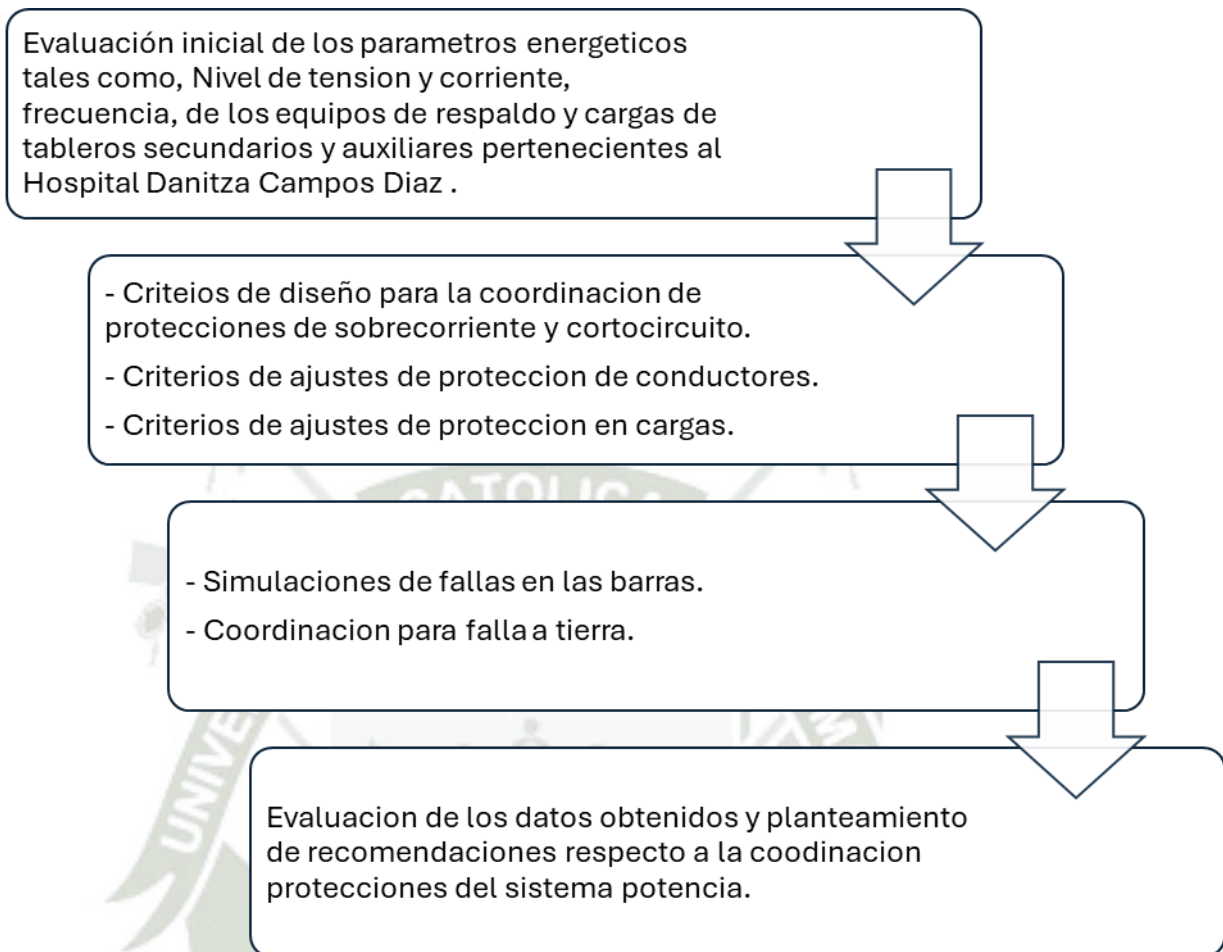
En la presente topología (Figura 10) del sistema eléctrico bajo la cual fue realizado el análisis de coordinación de protecciones, buscando garantizar la correcta selectividad entre los dispositivos de protección.

Figura 10 Área de Influencia del Proyecto



Fuente: Elaboración Propia

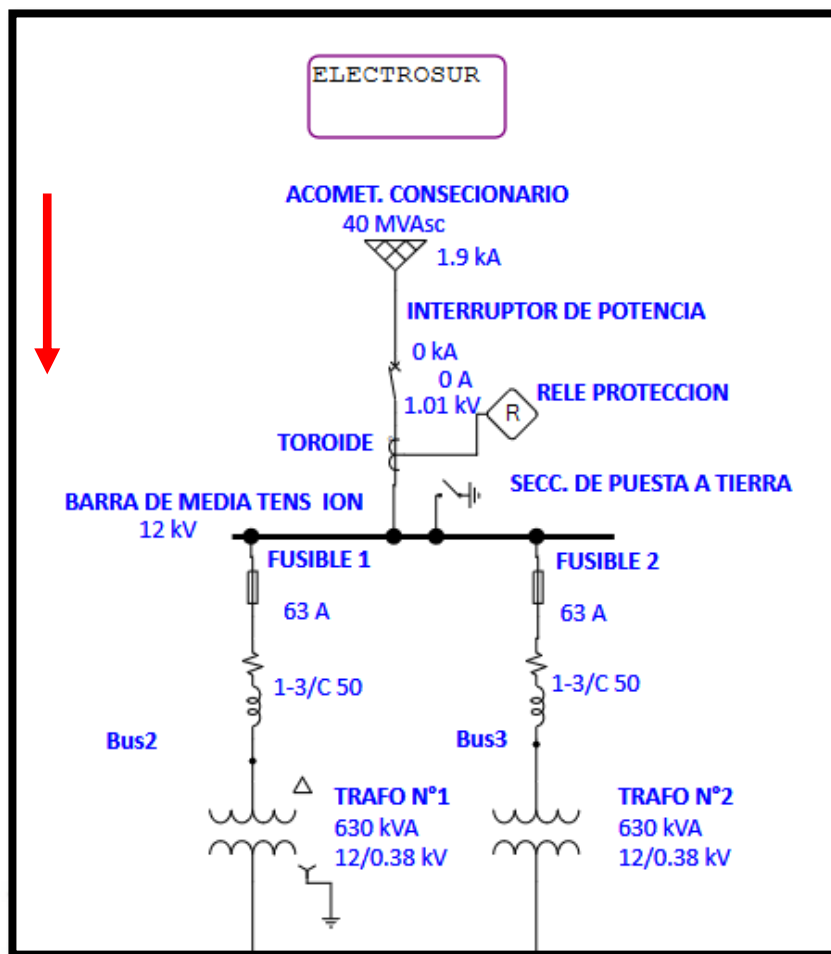
Figura 11 Metodología de Desarrollo



Fuente: Elaboración Propia

Este sistema eléctrico se obtuvo del diagrama unifilar del proyecto Hospital Danitza Campos Díaz que tiene como categoría Aprobado para Construcción (Anexo A). Como se muestra en el diagrama unifilar general del proyecto, el Hospital tiene como punto de diseño, el centro de distribución de ELECTROSUR con una tensión de (10kV), por el cual pasa por una Subestación Eléctrica para que la tensión sea regulada de 12kV a 0.38kV. Por dos transformadores de configuración (Triangulo – Estrella), luego de tener tensión en 0.38kV, alimentaremos Interruptores generales, Interruptores de transferencia para respaldo de falla y en caso de incendios.

Figura 12 Diagrama unifilar general del proyecto



Fuente: Elaboración Propia

Para el estudio de coordinación de protecciones está desarrollada bajo la norma EIC. También se tuvieron en cuenta las recomendaciones y lineamientos establecidos por las normas IEEE Std C37.91-2008, IEEE Std 242-2001 (Buff Book).

3.2. Parámetros eléctricos

Se procede calcular la corriente nominal del transformador dado que tenemos un porcentaje de impedancia del 4%.

$$I_{nom} = \frac{630 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \times 0.380 \text{ kV}} = 957.18 \text{ A}$$

Calculamos la corriente de cortocircuito trifásica considerada para los cálculos

$$I_{cc} = \frac{I_{nom}}{\%Z} = \frac{957.18 \text{ A}}{0.04} = 23929.64 \text{ A} = 23.929 \text{ kA.}$$

$$\begin{aligned}V_{cc} \text{ trafo } 630\text{kVA} &= 4,00\% \\I_{sw} &= 630 / (1,7321 \times 0,380 \times 0,04) \\I_{sw} &= 23,9\text{kArms} \\I_{sw} \text{ max} &= 47,8\text{kArms} \text{ (2 transformadores)} \\I_{sw} \text{ nom} &= 50,0\text{kArms}\end{aligned}$$

En resumen, se tiene lo siguiente.

3.3. Ajustes en transformadores

3.3.1. Función 5I

La corriente de arranque en los lados de alta y baja tensión se calcula utilizando el siguiente criterio: se toma el valor mínimo entre el 130% de la corriente nominal del transformador de potencia, el 120% de la corriente nominal del transformador de corriente y el 120% del límite térmico del conductor.

Se sugiere seleccionar una curva IEC Normal Inversa, que esté en línea con las curvas ajustadas aguas abajo. Se recomienda un dial mínimo aceptable de 100 ms, que esté por debajo de la curva de daño del transformador, asegurando la selectividad con las protecciones existentes ubicadas aguas arriba y aguas abajo. Además, se debe verificar que los diales recomendados puedan ser implementados en el dispositivo de protección, según los rangos de ajustes definidos por cada fabricante.

Es importante garantizar que la protección del lado de alta del transformador opere en un tiempo máximo de 750 ms ante una falla plena en el lado de baja del transformador. Se asume un factor de coordinación de 50 ms entre el ajuste de las funciones de sobrecorriente del lado de alta tensión y baja tensión del transformador.

3.3.2. Función 5IN

Se recomienda ajustar la corriente de arranque al mínimo valor entre:

- 30% de la corriente nominal del transformador de potencia.
- 30% del límite térmico del conductor de neutro
- 30% de la corriente nominal del transformador de corriente.

Se recomienda escoger una curva IEC Normal Inversa. Para los relés ubicados en el lado de alta de los transformadores de potencia de conexión Dy se ajusta al mínimo dial debido a que este no detecta corrientes de secuencia cero, por lo tanto no debe coordinar con ningún otro dispositivo.

Se debe verificar de igual forma que los diales recomendados puedan ser implementados en el dispositivo de protección según los rangos de ajustes definidos por cada fabricante.

3.3.3. Función 50N

La función de sobre corriente de tiempo definido de tierra se recomienda no habilitarla en el lado de alta de los transformadores.

En caso de ser necesario habilitar la función por coordinación con la protección ubicada aguas arriba el criterio dependerá de la conexión del transformador. Para conexión Dy el arranque se debe ajustar ($5 \times I_n$) y para la conexión Yy el ajuste recomendado para la corriente de arranque es el menor valor entre ($1.5 \times I_{cc1F}$) y ($0.5 I_{inrush}$), y para ambos tipos de conexión se recomienda una temporización en un tiempo de operación entre 100 ms y 150 ms con el objetivo de evitar la operación de la protección ante la ocurrencia de transitorios en el sistema.

3.4. Ajustes cargas 380/220v – Consideración inicial

3.4.1. Función 51

El arranque para la función de sobre corriente de fases de las cargas asociadas al nivel de 380V, se ajusta considerando el menor valor entre el 1.2 veces de la corriente nominal de la línea, 1,2 de la corriente limite termina del conductor o el 1.2 veces la corriente nominal del transformador de corriente y se emplea una curva de tipo IEC Inversa.

3.4.2. Función 50

No se recomienda ajustar esta función para este nivel de tensión, en caso de ser necesario ajustar esta función el criterio que se debe aplicar para el arranque es de 0.7 de I_{cc3F} en bornes del circuito con una temporización de 50 ms garantizando coordinación con la protección del devanado de baja tensión de mínimo 200 ms.

3.4.3. Función 51N

El arranque para la función de sobre corriente de tierra de las cargas asociadas al nivel de 13.8 kV se ajusta considerando el menor valor entre el 0.3 veces la corriente nominal de la línea, 0.3 la corriente limite termina del conductor o el 0.3 veces la corriente nominal del transformador de corriente y se emplea una curva de tipo IEC inversa.

3.4.4. *Función 50N*

No se recomienda habilitar esta función para este nivel de tensión en caso de ser necesario realizar una recomendación de ajuste de la función 50N para garantizar o mejorar tiempos de operación se aplicará el mismo criterio considerado para la función 50. Para este caso el proyectista uso en el lado de baja interruptores de bajo voltaje.



CAPITULO IV

4. ESTUDIOS DE DESARROLLO

Los casos estudios que se proponen a continuación, se eligieron en base a su representatividad, ya que funcionan de manera precisa como excelentes modelos o ejemplos de presentación para analizarlos en los diferentes módulos del software. Sin embargo, se podría analizar cualquier caso en particular utilizando ETAP 21.0.1.

4.1. Estudio de flujo de carga

El objetivo del estudio de Flujo de Carga es determinar cómo fluye la energía eléctrica a través del sistema de potencia instalado, para poder garantizar que la red pueda funcionar de manera eficiente y confiable.

Para llevar a cabo el análisis, se empleó el módulo de flujo de carga "Load Flow Analysis" del software ETAP. Esta herramienta ofrece la capacidad de realizar simulaciones de flujo de potencia utilizando métodos numéricos.

El método empleado para los cálculos fue el método de Newton-Raphson adaptativo.

Para iniciar el estudio, se debe seleccionar el icono de análisis de flujo de potencia. Los resultados obtenidos se presentarán en la barra y mostrarán el voltaje en unidades de kVA, amperios y %PF.

Los resultados del flujo de carga incluirán los valores de potencia aparente (KVA), potencia activa (KW), amperios (Amp.) y factor de potencia (FP).

4.1.1. *Tabla de Escenarios de estudio de Flujo de Carga*

Para el estudio de flujo de carga se presentará dos (02) escenarios los cuales se presentarán a continuación en la tabla 1.

Tabla 1 Análisis De Flujo De Carga De Hospital "Danitza Campos Díaz": Escenarios De Estudio

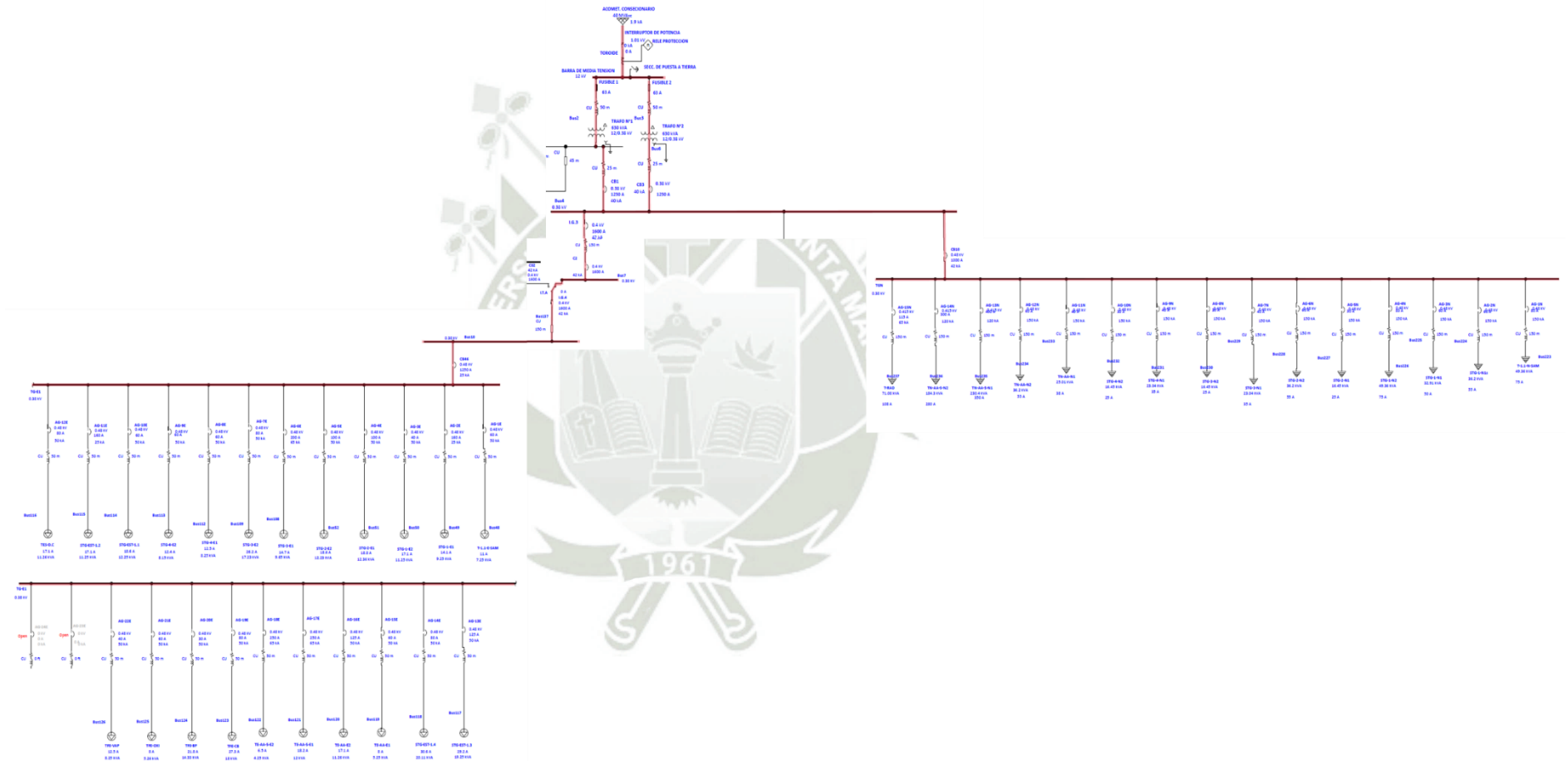
" ANALISIS DE FLUJO DE CARGA DE HOSPITAL DANITZA CAMPOS DIAZ ": ESCENARIOS DE ESTUDIO

ESCENARIOS	DESCRIPCION	CONDICION	UBICACIÓN & CONDICION DE FALLA	LINEA DE SUMINSITRO	TABLEROS (ANALIZADOS)	N° de Barras	RANGOS DE TENSION PERMISIBLES EN BARRAS		CUMPLIMIENTO DE LA ESTRATEGIA DE CONTROL	CONDICIONES OPERATIVAS	OBSERVACIONES
							mínimo (3%)	máximo			
							#	Volt.			
1	Análisis de estudio de Flujo de Carga para el Sistema de Potencia del Hospital Danitza Campos Díaz:	NORMAL	-	CONSESIONARIO (SEAL)	- Tablero General Normal (TGN) - Tablero General de Emergencia (TG-E1)	2	368.6 Volt.	380 Volt.	- El suministro eléctrico del conaseccionario (SEAL) debe cubrir las condiciones necesarias para cubrir la demanda de El hospital, sin que los componentes y usuarios (barras, dispositivos de protección, cables, aparatos electrónicos, equipos de acondicionamiento, etc.) se vean afectados.	Definir si tenemos todas las condiciones para que el sistema de potencia del hospital cumpla con la normativas peruanas vigentes.	- Para el análisis se trabajará con la norma ANSI. - Metodo adaptativo de Newton - Raphson.
2	Análisis de estudio de Flujo de Carga para el Sistema de Potencia del Hospital Danitza Campos Díaz:	FALLA	- BARRA DE MEDIA TENSION // APERTURA DE FUSIBLES)	GENERADORES - (G.E. 01 - 762 Kw.) - (G.E. 02 - 762 Kw.)	- Tablero General Normal (TGN) - Tablero General de Emergencia (TG-E1)	2	368.6 Volt.	380 Volt.	- el suministro eléctrico de los generadores (G.E.1 & G.E.2) debe cubrir la demanda de los dos tableros (TGN & TGE-1) sin que los componentes y usuarios del hospital se vean afectados	Definir si tenemos todas las condiciones para que el sistema de potencia del hospital cumpla con la normativas peruanas vigentes.	- Para el análisis se trabajará con la norma ANSI. - Metodo adaptativo de Newton - Raphson.

Fuente: Elaboración Propia

4.1.2. Diagrama Unifilar General del análisis de flujo de Carga en condiciones normales

Figura 13 Diagrama Unifilar General análisis flujo de carga en condiciones normales

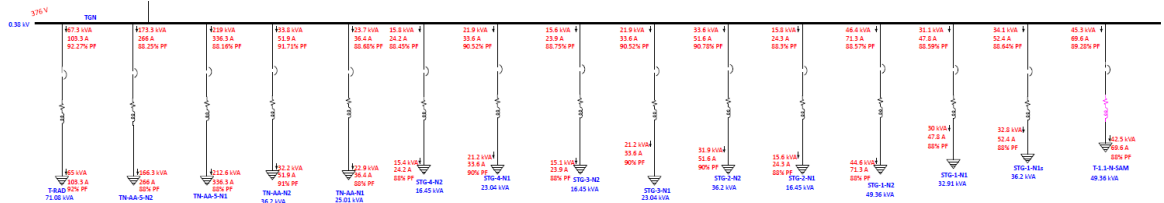


Fuente: Elaboración Propia

4.1.2.1. Escenario 1: Análisis de flujo de carga en condición “Normal”

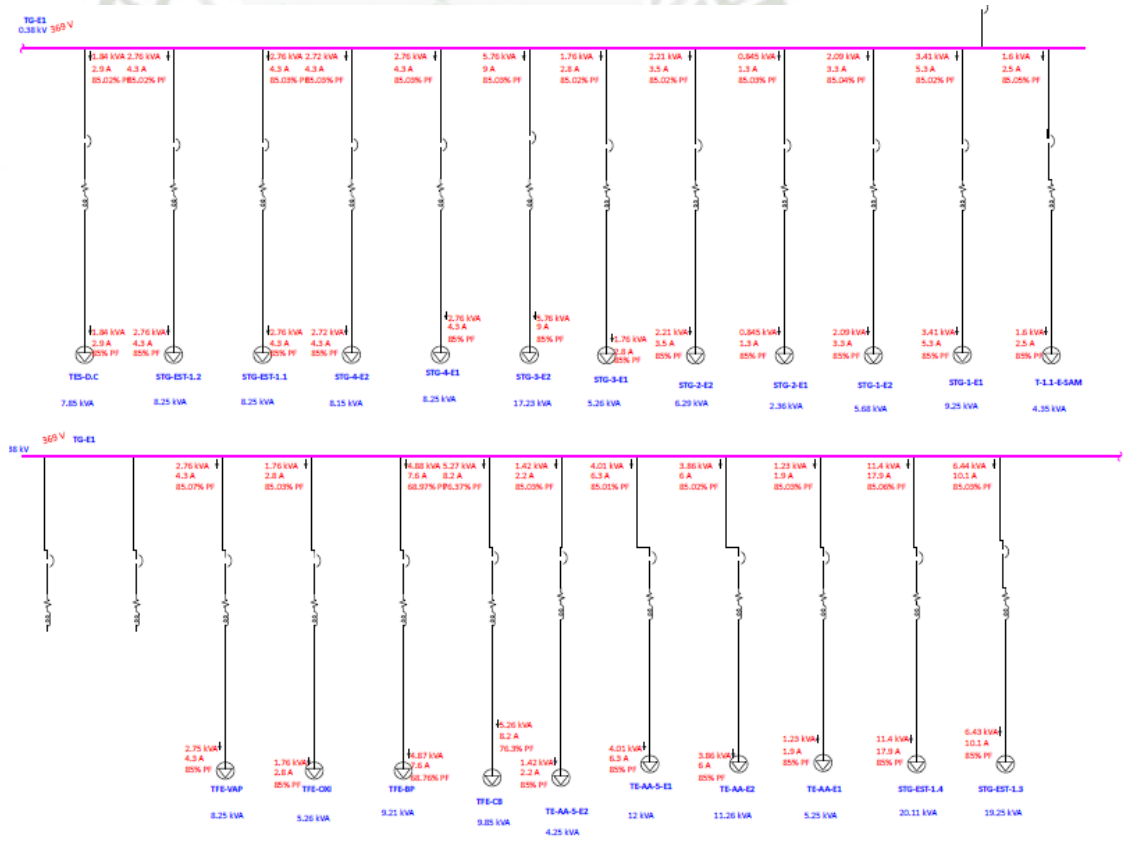
En este escenario evaluaremos el flujo de carga en condiciones normales, es decir alimentación directa desde la empresa concesionaria (SEAL).

Figura 14 Análisis de Flujo de Carga de Tablero General Normal (TGN)



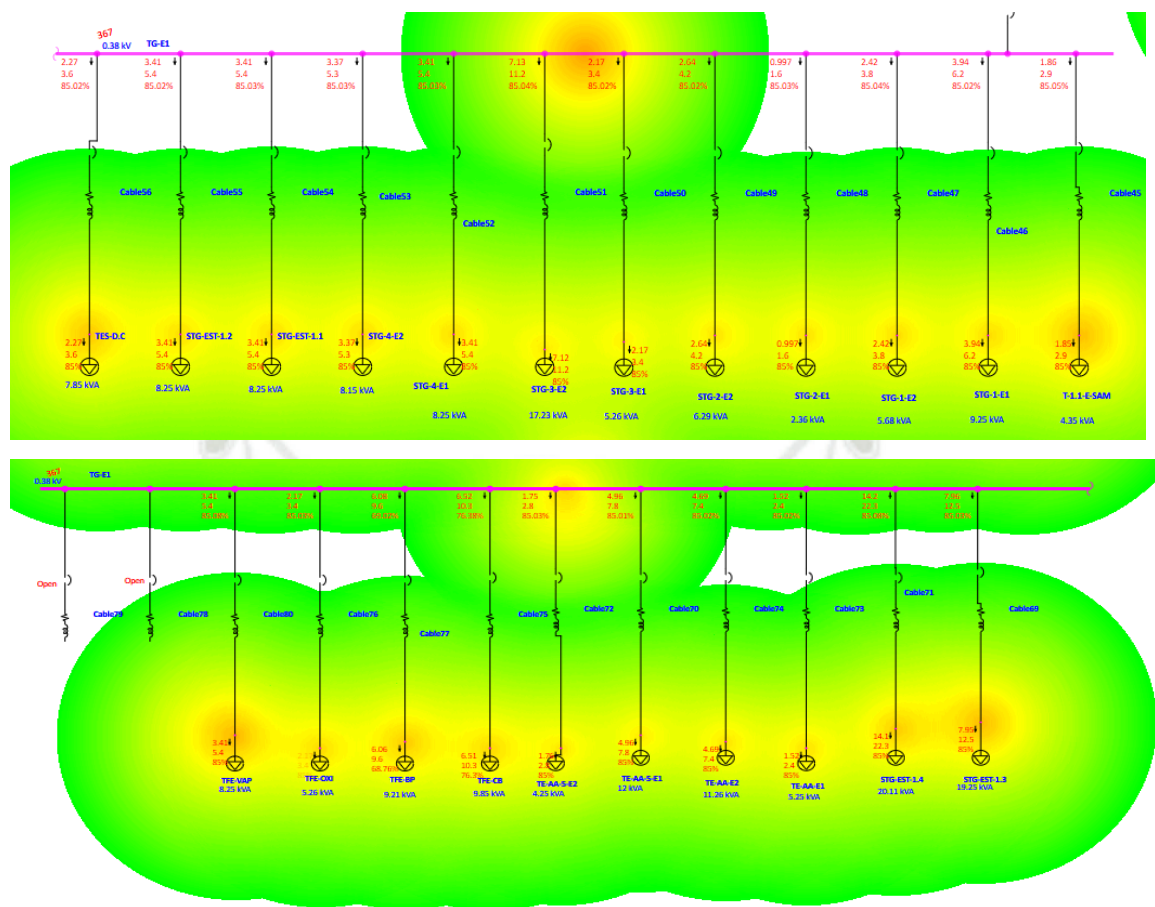
Fuente: Elaboración Propia

Figura 15 Análisis de Flujo de Carga de Tablero General de Emergencia (TG-E1)



Fuente: Elaboración Propia

Figura 17 Análisis de termográfico de Flujo de Carga del Tablero General Emergencia (TG-EI)

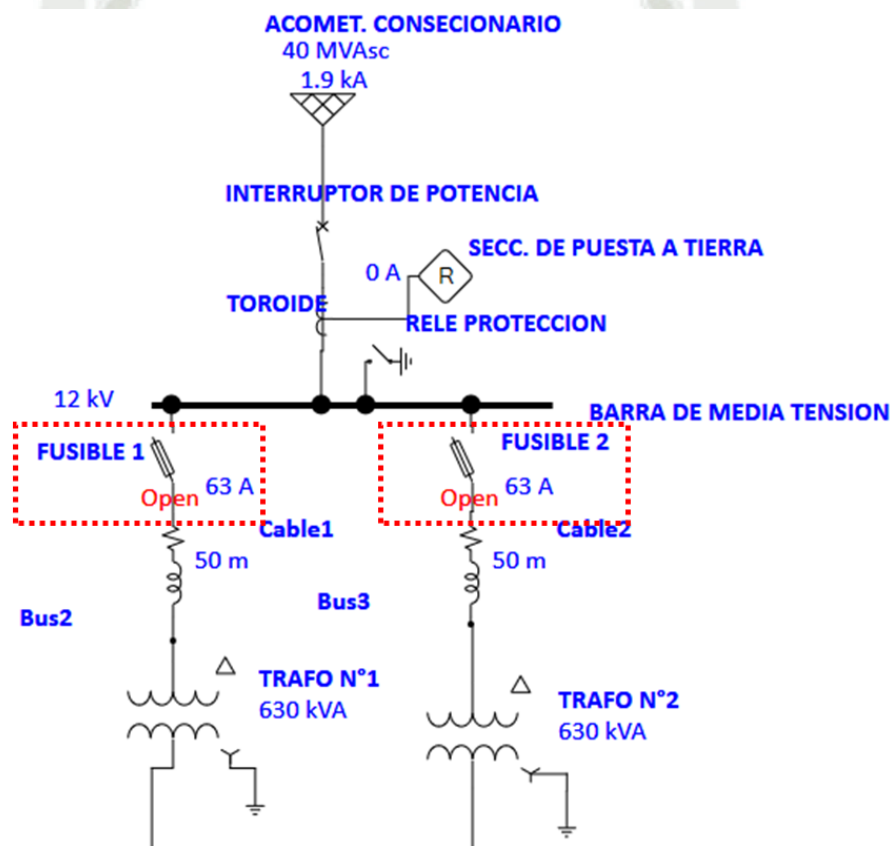


Fuente: Elaboración Propia

4.1.2.2. Escenario 2: Análisis de flujo de carga en condición “Falla”

En este escenario se simulará una falla en la red del concesionario (SEAL), cuya reacción del sistema de eléctrico trae como consecuencia la apertura de los fusibles de 63 amperios respectivamente cuya función es la protección de los dos (02) transformadores de 630KVA.

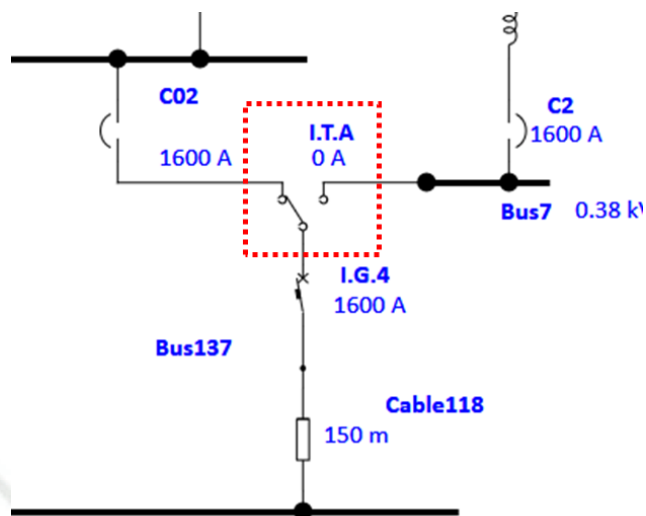
Figura 18 Análisis de flujo de carga en condición “Falla”



Fuente: Elaboración Propia

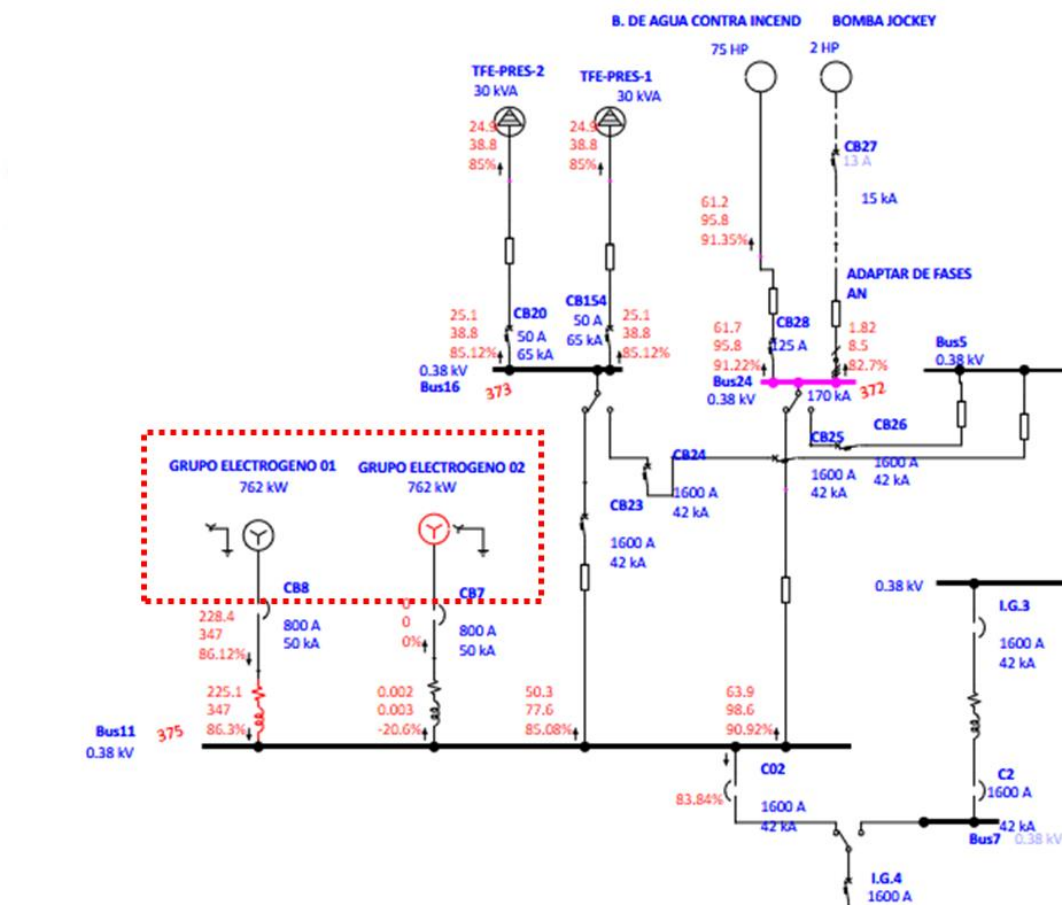
Al presentarse la apertura de los fusibles, automáticamente entra la conmutación del Interruptor de Transferencia, para que entren en servicio los dos generadores de 762 kW respectivamente.

Figura 19 Conmutación del Interruptor de Transferencia



Fuente: Elaboración Propia

Figura 20 Flujo de carga de energía de los generadores 762 kW



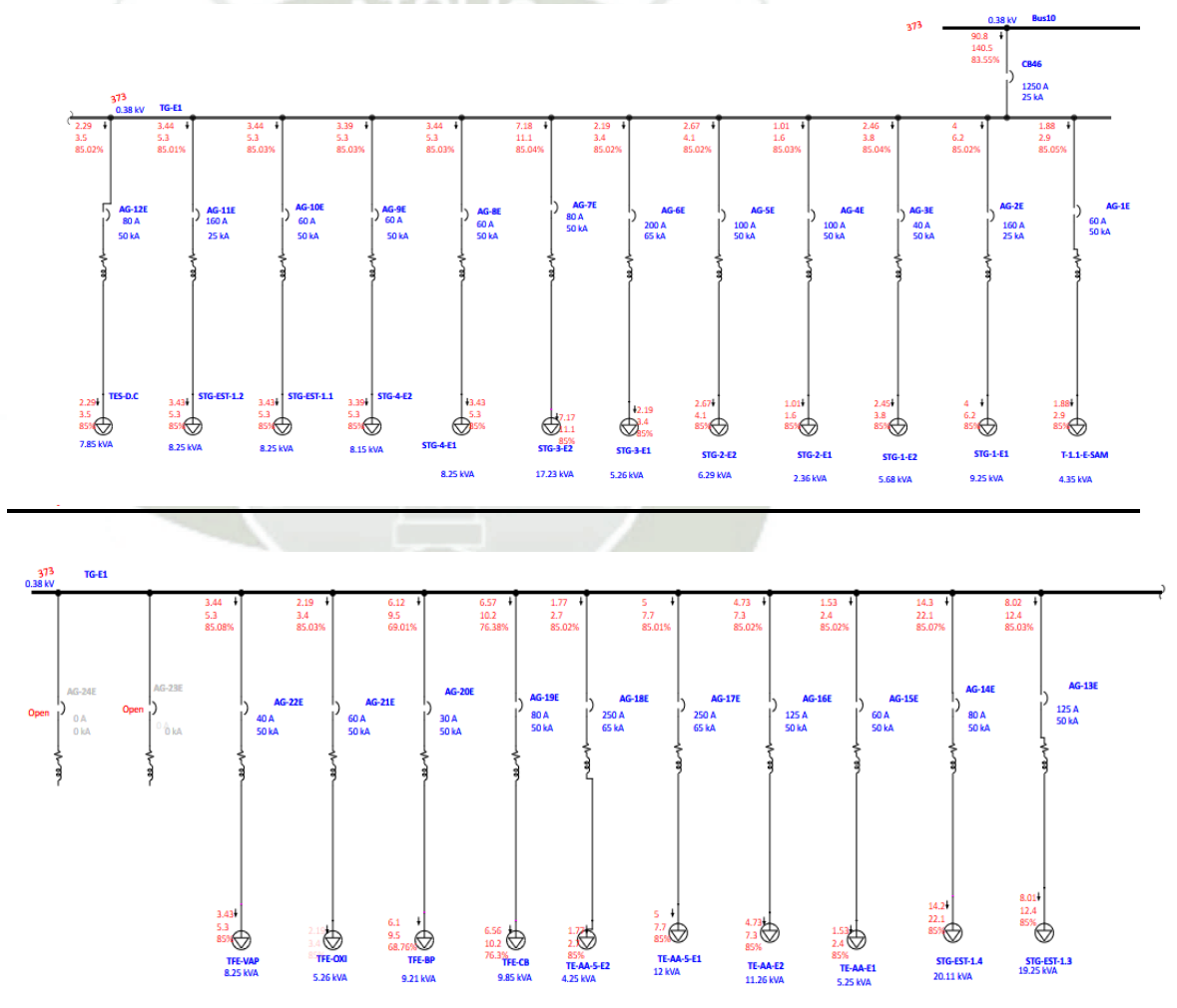
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3 Resultados Generador N° 1 y N°2

Ítem	Pot. (kW)	Tensión Nominal (kV)	Tensión		
			(kV)	% Δ	P.U
Generador N°1	762	0.38	0.376	98.56%	-1.44%
Generador N°2	762	0.38	-	-	-

Fuente: Elaboración Propia

Figura 21 Análisis de Flujo de Carga de Tablero General de Emergencia (TG-E1)



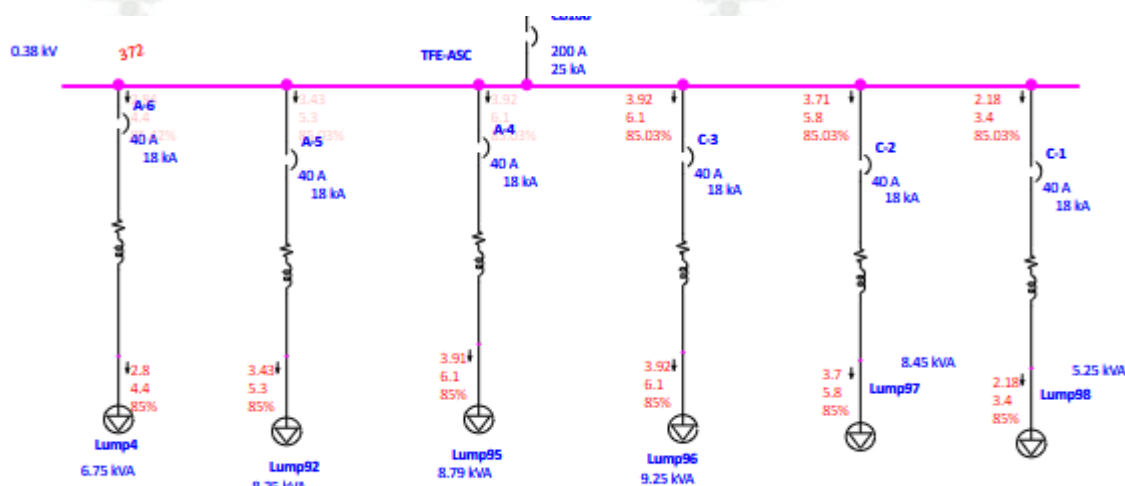
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4 Resultados del Tablero General de Emergencia (TG-E1)

Ítem	Tag	Tensión Nominal (kV)	Tensión		
			(kV)	% Δ	P.U
Tablero de Emergencia	TG-E1	380	373	98.14%	-1.86%

Fuente: Elaboración Propia

Figura 22 Análisis de Flujo de Carga de Tablero de Ascensores (TFE-ASC)



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 5 Resultados del Flujo de Carga de Tablero de Ascensores (TFE-ASC)

Ítem	Tag	Tensión Nominal (kV)	Tensión		
			(kV)	% Δ	P.U
Tablero de Ascensores	TFE-ASC	380	372	97.91%	-2.09%

Fuente: Elaboración Propia

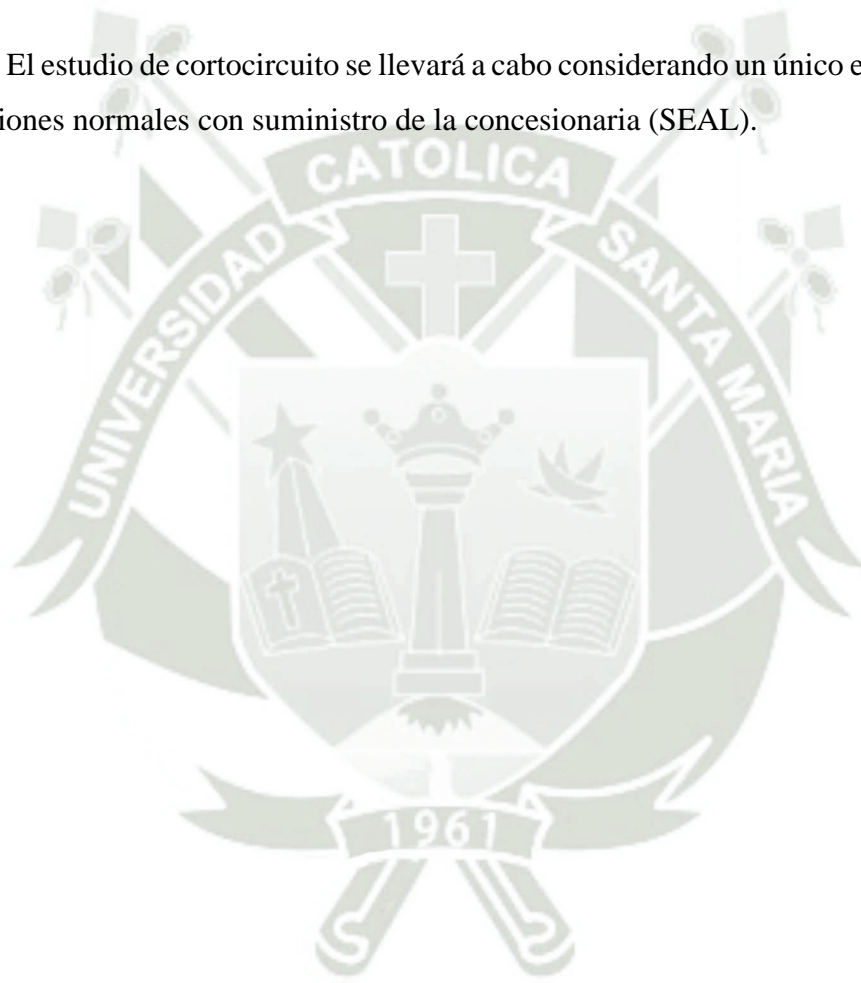
Los resultados de la tabla 5 indican que podríamos cubrir las cargas que están destinadas para el tablero de emergencia, sin embargo nos envían una alarma “Marginal” en la barra del tablero de ascensores, sin embargo estos pueden operar en condiciones de alimentación por cada generador.

4.2. Estudio de corto circuito:

El propósito del estudio de cortocircuito es determinar los niveles máximos de corriente de falla en la barra del tablero General (TGN) y en el tablero general de emergencia (TG-E1). Estos valores se emplearán como referencia para especificar equipos y verificar las capacidades de disparo de los equipos existentes.

Para realizar este análisis, se utilizará el módulo de análisis de cortocircuito del software ETAP 21.0.1.

El estudio de cortocircuito se llevará a cabo considerando un único escenario, durante condiciones normales con suministro de la concesionaria (SEAL).



4.2.1. Tabla de escenarios de Estudio de Corto Circuito

Tabla 6 Análisis estudio de corto circuito del "Hospital Danitza Campos Díaz" - Escenarios de estudio

ANÁLISIS ESTUDIO DE CORTO CIRCUITO DEL "HOSPITAL DANITZA CAMPOS DÍAZ" - ESCENARIOS DE ESTUDIO											
ESCENARIOS	DESCRIPCIÓN	CONDICIÓN	UBICACIÓN & CONDICIÓN DE FALLA	LÍNEA DE SUMINISTRO	TABLEROS (ANALIZADOS)	N° de Barras	RANGOS DE TENSIÓN PERMISIBLES EN BARRAS		CUMPLIMIENTO DE LA ESTRATEGIA DE CONTROL	CONDICIONES OPERATIVAS	OBSERVACIONES
							Mínimo (3%)	Máximo			
							Volt.	Volt.			
1	Análisis de estudio de Flujo de Carga para el Sistema de Potencia del Hospital Danitza Campos Díaz:	NORMAL	-	CONCESIONARIO (SEAL)	- Tablero General Normal (TGN) - Tablero General de Emergencia (TG-E1)	2	368.6 Volt.	380 Volt.	- El suministro eléctrico del concesionario (SEAL) debe cubrir las condiciones necesarias para cubrir la demanda de El hospital, sin que los componentes y usuarios (barras, dispositivos de protección, cables, aparatos electrónicos, equipos de acondicionamiento, etc.) se vean afectados.	Definir si tenemos todas las condiciones para que el sistema de potencia del hospital cumpla con la normativa peruana vigente.	- Para el análisis se trabajará con la norma ANSI. - Método adaptativo de Newton - Raphson.

Fuente: Elaboración Propia

4.2.2. Resultados de Barras para analizar el estudio de corto circuito

Se ha completado el cálculo de las corrientes máximas de cortocircuito en el área de influencia del proyecto evaluado. Aunque estos escenarios son poco probables de ocurrir, se llevó a cabo el análisis para determinar las máximas corrientes de cortocircuito que podrían surgir en la zona afectada.

A continuación, se muestran los resultados con el sistema.

Tabla 7 Simulación de la corriente de corto circuito en los escenarios de falla máxima de corriente trifásica

Ítem	Tag	Tensión Nominal (kV)	Corto circuito (Máxima)		
			Falla Trifásica	Falla Línea - Tierra	Falla Línea - Línea
Tablero General Normal	TGN	0.38	27.245 (kA)	24.011 (kA)	23.595 (kA)
Tablero de Emergencia	TG-E1	0.38	7.416 (kA)	1.558 (kA)	6.423 (kA)

Fuente: Elaboración Propia

Los cálculos obtenidos en la tabla 7, nos indican que se realizó la simulación de la corriente de corto circuito en los escenarios de falla máxima de corriente trifásica, falla de corriente Línea a Tierra y falla de corriente Línea – Línea, considerado a medio ciclo.

Tabla 8 Simulación de la corriente de corto circuito en los escenarios de falla máxima de corriente trifásica a 30 ciclos – 3 fases

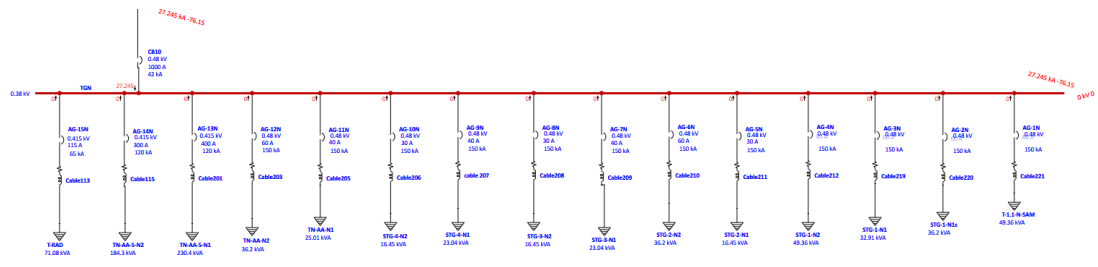
Ítem	Tag	Tensión Nominal (kV)	Corto circuito (Maxima)		
			Falla Trifásica	Falla Línea - Tierra	Falla Línea - Línea
Tablero General Normal	TGN	0.38	25.341 (kA)	22.988 (kA)	21.946 (kA)
Tablero de Emergencia	TG-E1	0.38	6.095 (kA)	1.527(kA)	5.279 (kA)

Fuente: Elaboración Propia

Los cálculos obtenidos en la tabla 8, nos indica que se realizó la simulación de la corriente de corto circuito en los escenarios de falla mínima de corriente trifásica, falla de corriente Línea a Tierra y falla de corriente Línea – Línea, considerado a 30 ciclos para las 3 fases.

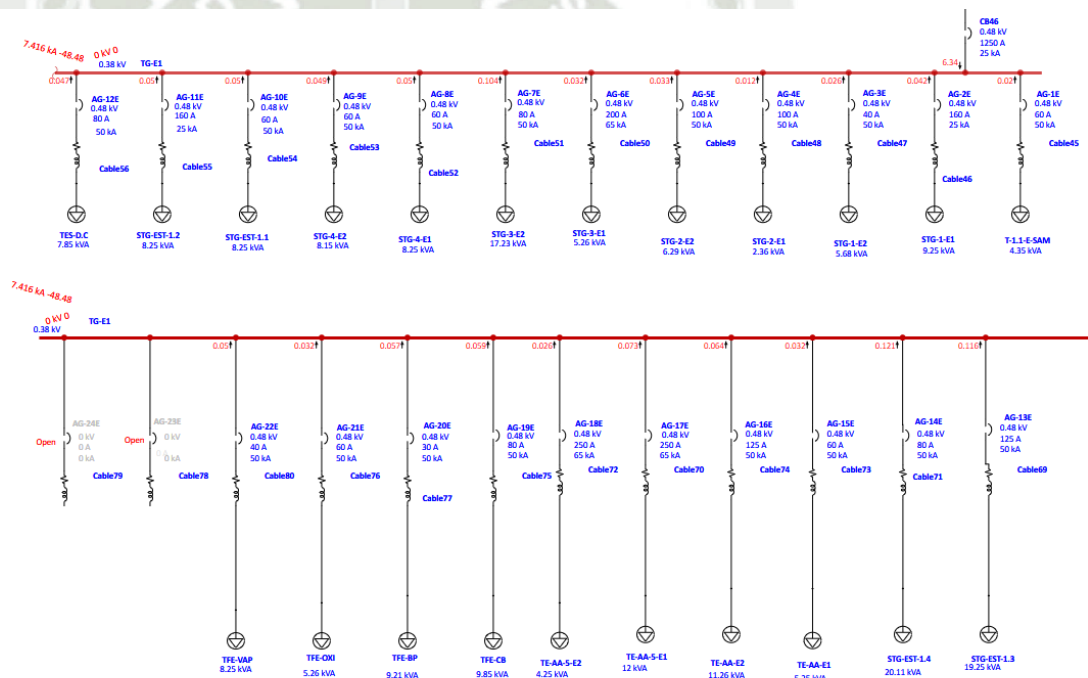
4.2.3. Diagrama de barras y resultados.

Figura 23 Tablero General (TGN)



Fuente: Elaboración Propia

Figura 24 Tablero general de emergencia (TG-E1)



Fuente: Elaboración Propia

4.3. Estudio de coordinación de protecciones

El objetivo principal de la coordinación de protecciones del sistema eléctrico es garantizar la selectividad y la coordinación adecuada entre los dispositivos de protección del Hospital Danitza Campos Díaz, como *circuit breakers*, para detectar y desconectar de manera selectiva las partes defectuosas del sistema eléctrico en caso de fallas o sobrecargas)

En las condiciones para el estudio de coordinación de protecciones se consideró los estándares de referencia aplicables (NFPA 70 (NEC), IEEE Std 242, IEEE Std 446, IEEE Std C37.91, IEEE Std C37.96),

Para el estudio de coordinación de protecciones, se tienen los siguientes Circuits Breakers asociados.

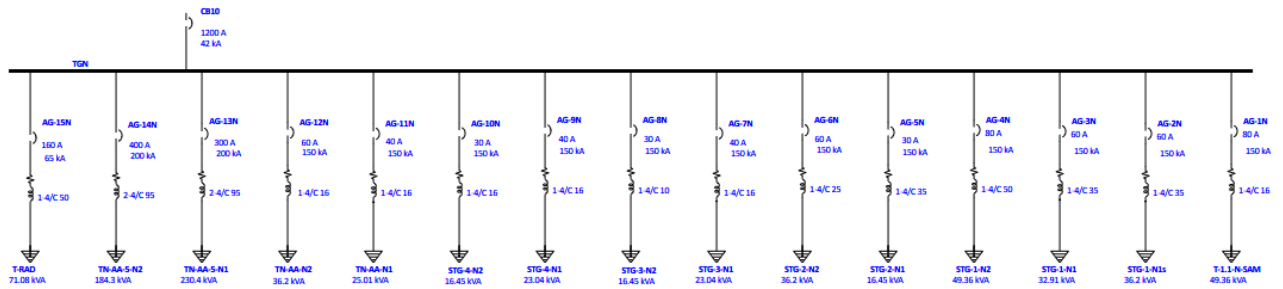
Tabla 9 *Circuits Breakers asociados para el estudio de coordinación de protecciones*

Item	Tablero	Tag de Tablero	Circuit Breaker (CB)	Marca	Capacidad (Amp)	Capacidad de Interrupcion (kAmp)	Nº de Polos
1.00	Tablero General Normal	TGN	PRINCIPAL	ALLEN - BRADLEY	1000	42	4
2.00	Tablero General Normal	TGN	AG-1N	ALLEN - BRADLEY	80	150	4
3.00	Tablero General Normal	TGN	AG-2N	ALLEN - BRADLEY	60	150	4
4.00	Tablero General Normal	TGN	AG-3N	ALLEN - BRADLEY	60	150	4
5.00	Tablero General Normal	TGN	AG-4N	ALLEN - BRADLEY	80	150	4
6.00	Tablero General Normal	TGN	AG-5N	ALLEN - BRADLEY	30	150	4
7.00	Tablero General Normal	TGN	AG-6N	ALLEN - BRADLEY	60	150	4
8.00	Tablero General Normal	TGN	AG-7N	ALLEN - BRADLEY	40	150	4
9.00	Tablero General Normal	TGN	AG-8N	ALLEN - BRADLEY	30	150	4
10.00	Tablero General Normal	TGN	AG-9N	ALLEN - BRADLEY	40	150	4
11.00	Tablero General Normal	TGN	AG-10N	ALLEN - BRADLEY	30	150	4
12.00	Tablero General Normal	TGN	AG-11N	ALLEN - BRADLEY	40	150	4
13.00	Tablero General Normal	TGN	AG-12N	ALLEN - BRADLEY	60	150	4
14.00	Tablero General Normal	TGN	AG-13N	ALLEN - BRADLEY	400	200	3
15.00	Tablero General Normal	TGN	AG-14N	ALLEN - BRADLEY	300	200	3
16.00	Tablero General Normal	TGN	AG-15N	ALLEN - BRADLEY	110	48.75	3
17.00	Tablero general de Emergencia	TG-E1	PRINCIPAL	ALLEN - BRADLEY	200	25	3
18.00	Tablero general de Emergencia	TG-E1	AG-1E	ABB	60	50	4
19.00	Tablero general de Emergencia	TG-E1	AG-2E	ALLEN - BRADLEY	160	25	4
20.00	Tablero general de Emergencia	TG-E1	AG-3E	ABB	40	50	4
21.00	Tablero general de Emergencia	TG-E1	AG-4E	ABB	100	50	4
22.00	Tablero general de Emergencia	TG-E1	AG-5E	ABB	100	50	4
23.00	Tablero general de Emergencia	TG-E1	AG-6E	ABB	200	65	4
24.00	Tablero general de Emergencia	TG-E1	AG-7E	ABB	80	50	4
25.00	Tablero general de Emergencia	TG-E1	AG-8E	ABB	60	50	4
26.00	Tablero general de Emergencia	TG-E1	AG-9E	ABB	60	50	4
27.00	Tablero general de Emergencia	TG-E1	AG-10E	ABB	60	50	4
28.00	Tablero general de Emergencia	TG-E1	AG-11E	ALLEN - BRADLEY	160	25	3
29.00	Tablero general de Emergencia	TG-E1	AG-12E	ABB	80	50	4
30.00	Tablero general de Emergencia	TG-E1	AG-13E	ABB	125	50	4
31.00	Tablero general de Emergencia	TG-E1	AG-14E	ABB	80	50	4
32.00	Tablero general de Emergencia	TG-E1	AG-15E	ABB	60	50	4
33.00	Tablero general de Emergencia	TG-E1	AG-16E	ABB	125	50	4
34.00	Tablero general de Emergencia	TG-E1	AG-17E	ABB	250	65	4
35.00	Tablero general de Emergencia	TG-E1	AG-18E	ABB	250	65	4
36.00	Tablero general de Emergencia	TG-E1	AG-19E	ABB	80	50	4
37.00	Tablero general de Emergencia	TG-E1	AG-20E	ABB	30	50	4
38.00	Tablero general de Emergencia	TG-E1	AG-21E	ABB	60	50	4
39.00	Tablero general de Emergencia	TG-E1	AG-22E	ABB	40	50	4
40.00	Tablero general de Emergencia	TG-E1	AG-23E	SPARE	SPARE	SPARE	SPARE
41.00	Tablero general de Emergencia	TG-E1	AG-24E	SPARE	SPARE	SPARE	SPARE

Fuente: Elaboración Propia

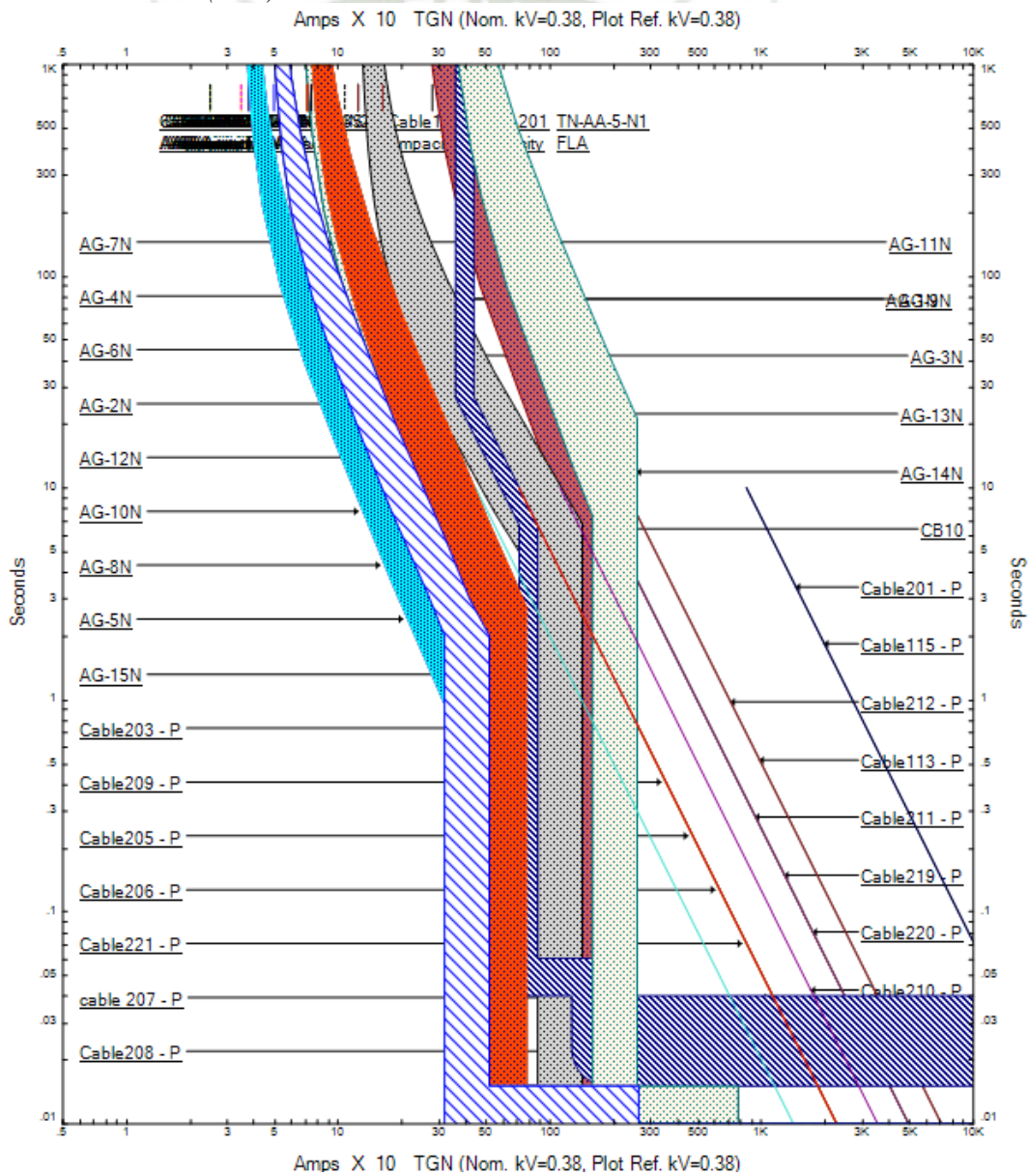
4.3.1. Cuadro de protecciones de Tablero General Normal (TGN)

Figura 25 Protecciones de Tablero General Normal (TGN)



Fuente: Elaboración Propia

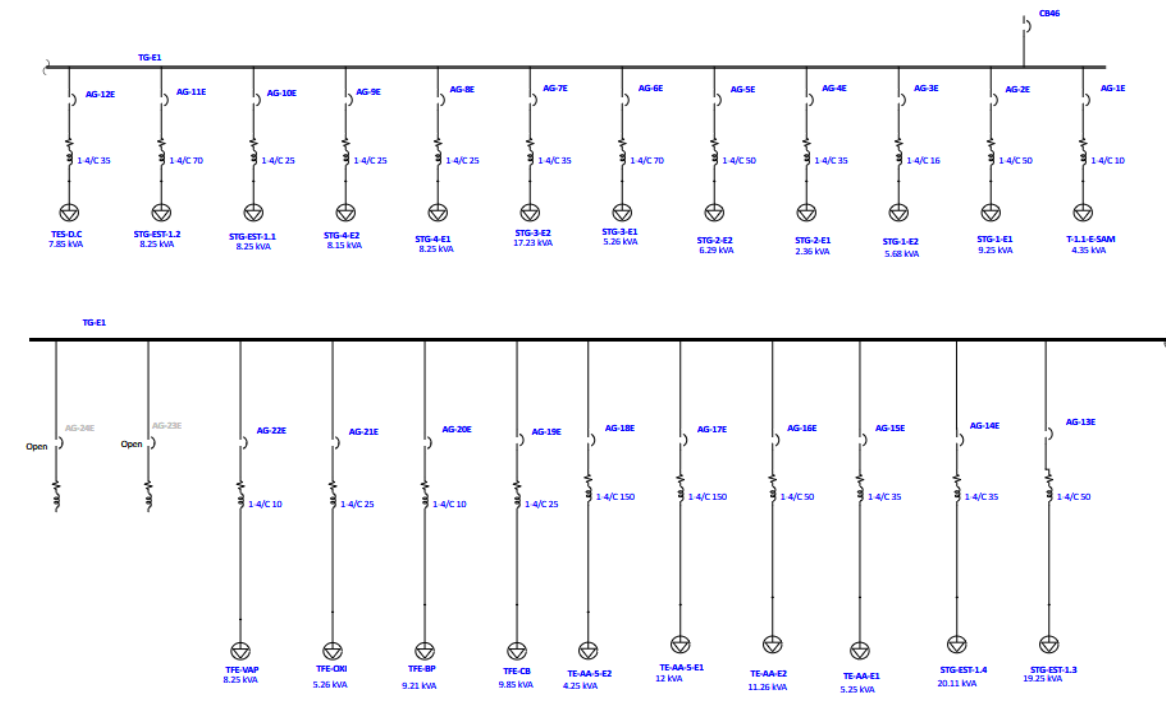
Figura 26 Protecciones (TGN)



Fuente: Elaboración Propia

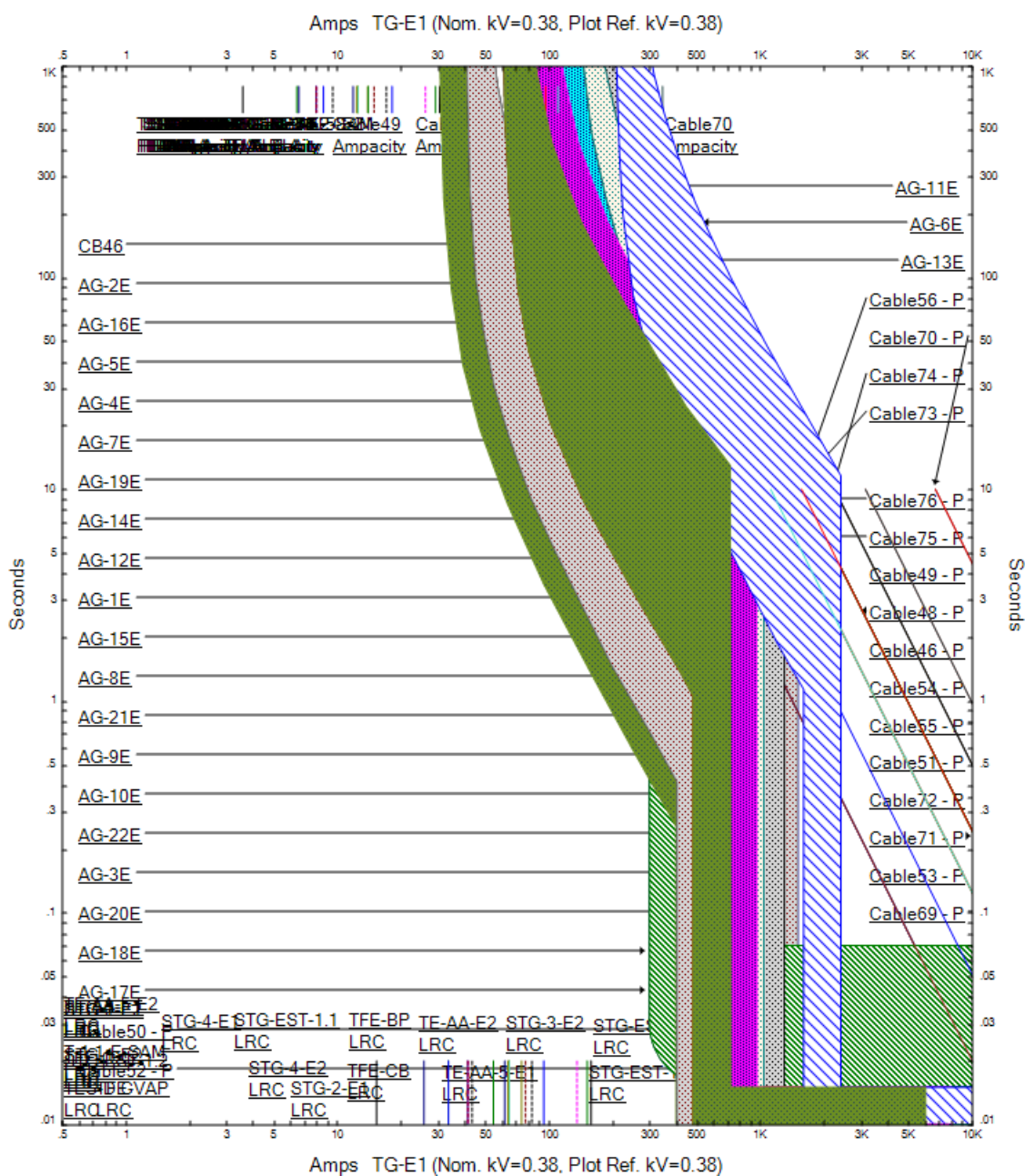
4.3.2. Cuadro de Protecciones de Tablero General de Emergencia (TG-E1)

Figura 27 Protecciones de Tablero General de Emergencia (TG-E1)



Fuente: Elaboración Propia

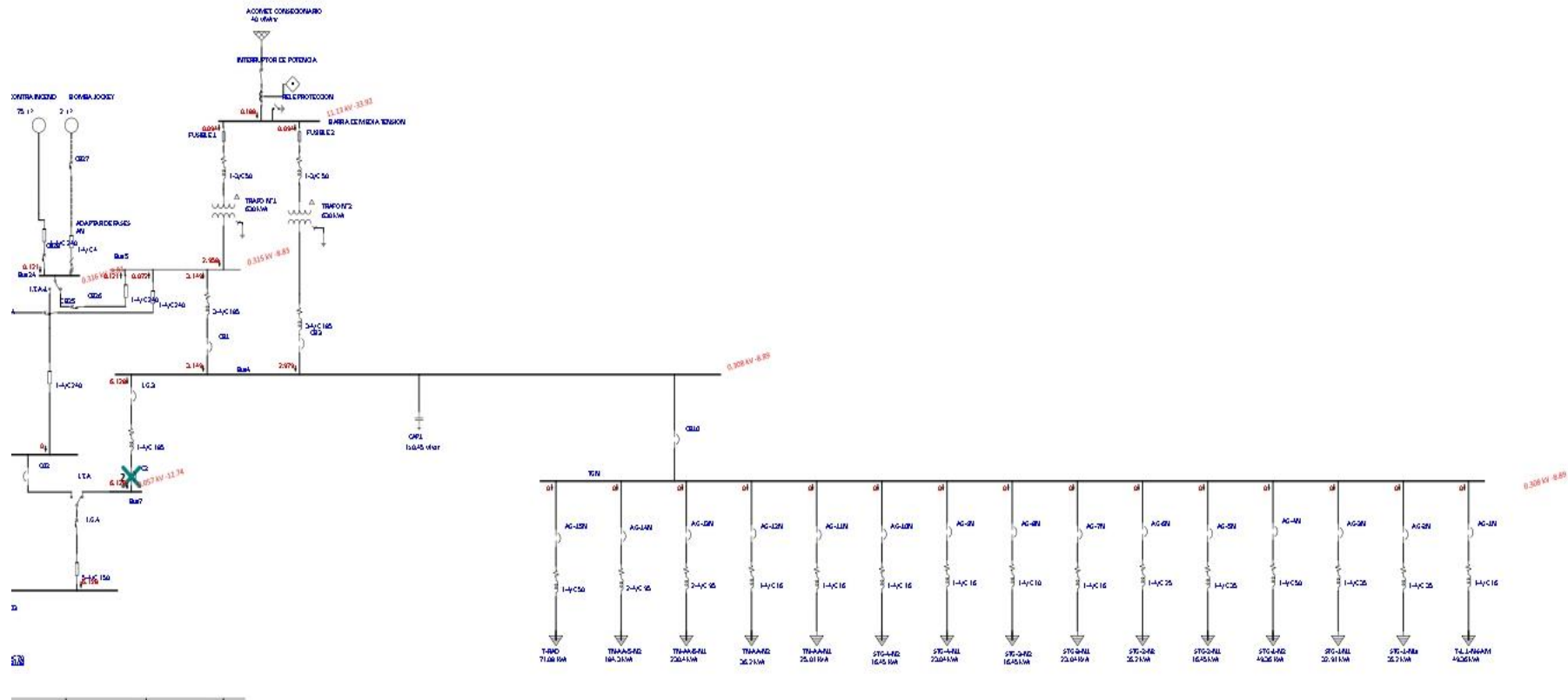
Figura 28 Protecciones (TG-E1)



Fuente: Elaboración Propia

4.3.3. Simulación Falla en barra de Tablero General Normal (TGN)

Figura 29 Simulación de Falla en barra de Tablero General Normal (TGN)



Fuente: Elaboración Propia

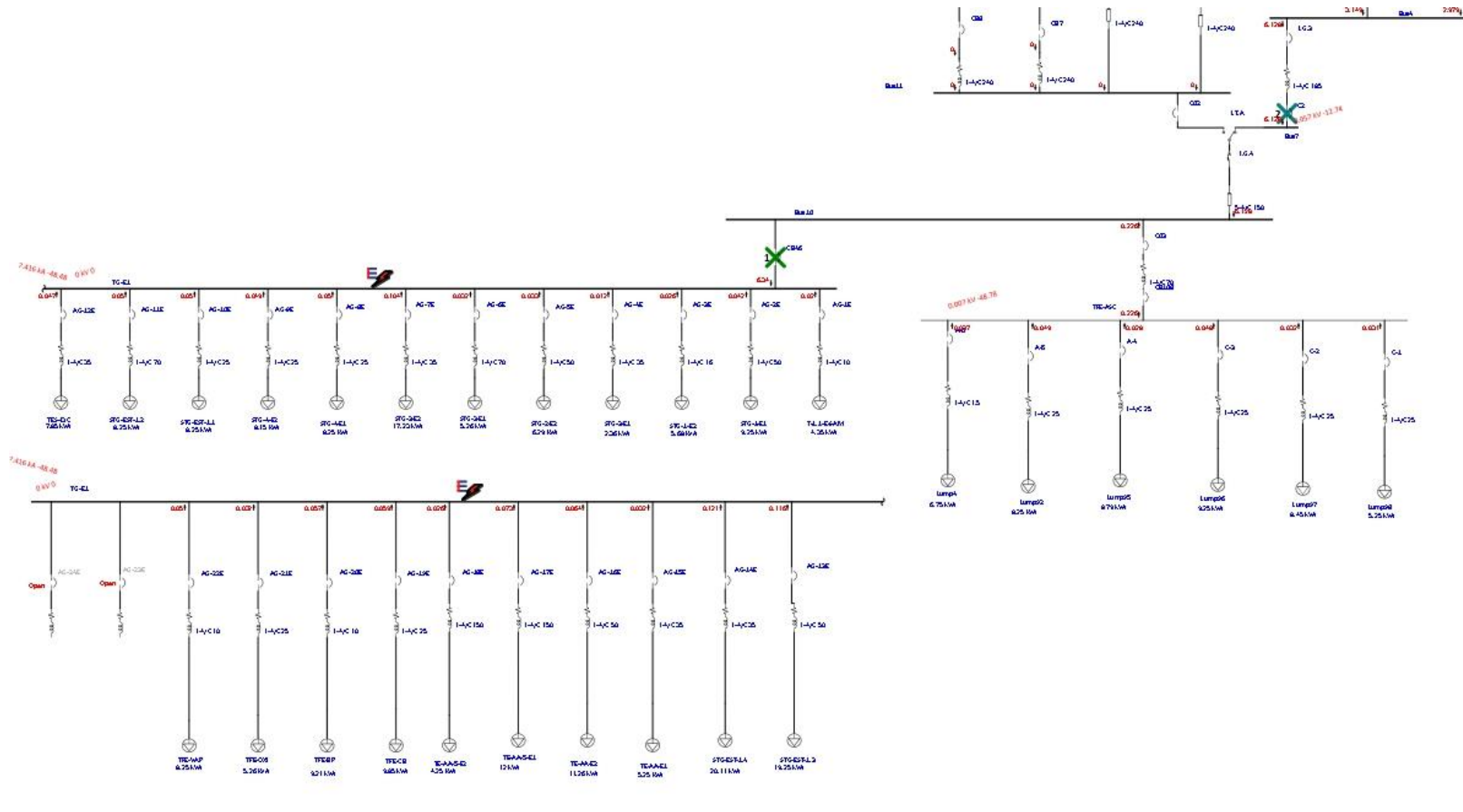
De poder ocurrir una falla de cortocircuito en la barra del tablero general (TGN) generaría un valor de corriente de falla de 27.245 kAmp. La cual sería despejada rápidamente por el interruptor Termomagnético de 1200 Amp. De capacidad a un tiempo de 4 milisegundos.

En la segunda etapa, se abriría el interruptor Termomagnético de 1600 Amp. Protegiendo la barra de tablero de emergencia. Una vez protegida las cargas del tablero de emergencia, se abriría el interruptor Termomagnético de 1250 Amp. Activándose automáticamente el interruptor de transferencia para que entre la energía de respaldo de los generadores.



4.3.4. Simulación Falla en barra de Tablero Normal de Emergencia (TN-E1)

Figura 30 Simulación de Falla en barra de Tablero Normal de Emergencia (TN-E1)



Fuente: Elaboración Propia

- De ocurrir una falla de cortocircuito en la barra del tablero general de emergencia (TG-E1) generaría un valor de corriente de falla de 7.416 kAmp. La cual sería despejada rápidamente por el interruptor Termomagnético de 1250 Amp. De capacidad a un tiempo de 3 milisegundos.
- En segundo etapa se abriría el interruptor Termomagnético de 1600 Amp. Protegiendo la barra de tablero de emergencia. Una vez protegida las cargas del tablero de emergencia, se abriría el interruptor Termomagnético de 1250 Amp. .

Como conclusiones se tiene lo siguiente:

- El Tablero General Normal y el Tablero general de emergencia cuenta con sus sistemas de protección satisfactoria, en caso de que sus barras respectivas entren en falla de cortocircuito.
- Se verifico que si alguna de las cargas de los tableros entra en falla de cortocircuito, el dispositivo que se activaría de primera instancia es el de la propia carga.
- Se verifico que los interruptores Termomagnético principales están seleccionados de tal manera si alguna carga entre en falla, no afecte a las demás cargas y no haga trip todo el tablero.

CONCLUSIONES

1. A partir del estudio de corto circuito ejecutado en ETAP, garantizamos que los dispositivos de protección seleccionados e instalados en el sistema eléctrico del Hospital Danitza Campos Diaz se encuentran debidamente dimensionados para soportar corrientes de falla en condiciones desfavorables.
2. Utilizando el método de secuencia de disparo de ETAP, se analizó que las protecciones funcionan correctamente para proteger el sistema eléctrico ante fallas del sistema eléctrico.
3. Mediante el Software ETAP v21.0.1 se determinó identificar rangos críticos de voltaje y corriente ante fallas de potencia eléctrica, asegurando que el sistema de protecciones opere eficazmente. Se confirmó una adecuada coordinación entre los dispositivos de protección, cumpliendo con las normativas de seguridad eléctrica y garantizando la seguridad, confiabilidad y conformidad del sistema eléctrico del hospital.
4. Utilizando el Software ETAP v21.0.1 se evaluó el diseño del diagrama unifilar. Esto aseguró la selección adecuada de dispositivos de protección y la coordinación eficiente entre ellos, lo que contribuye a la seguridad y confiabilidad del sistema eléctrico ante posibles fallas eléctricas.
5. Este estudio permitió garantizar que los dispositivos de protección operen de manera secuencial y selectiva en caso de una falla eléctrica, protegiendo así de forma efectiva las instalaciones y equipos del sistema, y asegurando la integridad y confiabilidad del suministro eléctrico proporcionado por el operador de red de distribución eléctrica.
6. Se analizó los ajustes antes una falla de corto circuitos de los instrumentos de protección del Tablero General y el Tablero de Emergencia fueron para que estos actúen en un promedio de 4 milisegundos.
7. A partir del análisis de flujo de carga y el estudio de corto circuito se comprobó que las secciones de los conductores eléctricos han sido seleccionados adecuadamente por el área de ingeniería del proyecto “Hospital Danitza Campos Diaz”

RECOMENDACIONES

1. Se sugiere utilizar la presente tesis para poder analizar la mejor opción tarifaria a ser utilizada en el proyecto del “Hospital Danitza Campos Diaz” .
2. Se recomienda realizar un estudio de flujo de potencia a las aplicaciones de los grupos electrógenos utilizados en el proyecto analizado a fin de garantizar su uso en los circuitos más importantes y necesario del hospital.
3. Se recomienda utilizar el software ETAP 21.0.1, como verificación de cualquier proyecto de instalaciones eléctricas a fin de garantizar el correcto funcionamiento de las protecciones utilizadas y determinar los flujos de carga
4. Se recomienda utilizar el software ETAP 21.0.1 en los cursos de pregrado de sistemas eléctricos de potencia 1 y 2 aprovechando el convenio que tiene la universidad con la empresa ETAP.

REFERENCIAS

- Arcos, E., & Chicaiza, D. (2015). *Diseño y construcción de un tablero de control automático para la corrección del factor de potencia, empleando un módulo DCRA*. Quito, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional de Quito.
- Arcos, E., & Chicaiza, D. (2015). *Diseño y construcción de un tablero de control automático para la corrección del factor de potencia, Empleando un módulo DCRA*. Quito, Ecuador: Escuela politécnica nacional.
- Arteaga, T., & Sanchez, A. (2019). *Análisis de circuitos eléctricos con frecuencia variable*. Guayaquil, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana de Ecuador.
- Cano, I. (2020). *Análisis de redes trifásicas*. Barcelona, España: Universidad Politécnica de Catalunya .
- Circuitos Eléctricos. (22 de Noviembre de 1996). Análisis de Sistema de Potencia. En J. J. Jr.. Obtenido de <https://circuitoselectricos248.wordpress.com/2017/11/22/4-7-el-factor-de-potencia/>
- Corvalán, L. (2021). Factor de potencia y coseno de ϕ : las tres dimensiones de la corriente eficaz. *Rev. Ing. Eléctrica*, 3-5.
- Domin, J. L.-T. (2006). *Protective Relaying Principles and Application*. USA: Taylor & Francis Group .
- Esquivel, A., Tipula, J., & Yataco, J. (2021). *Análisis de la calidad de energía del sistema eléctrico de potencia para la reducción de costos de electricidad en empresas productoras de hortalizas, Perú 2021*. Callao, Perú: Universidad Nacional del Callao.
- Farina, A. (2019). *Tableros Eléctricos*. Librería y editorial Arsina, Rosario.
- Gonzales, K. (2022). *Análisis y propuesta de mejora de la calidad de suministro de energía eléctrica de la empresa de distribución Electronorte S.A.* Lambayeque, Perú: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.
- Harper, G. E. (1993). *Fundamentos de Protección de Sistemas Eléctricos por Reveladores*. Mexico: Limusa. Recuperado el 2024

- Huanca, J. (2020). *Análisis de la calidad de energía eléctrica para mejorar el servicio en suministro de baja tensión Huari - Ancash*. Trujillo, Perú: Universidad Cesar Vallejo.
- Markpool de Taboada . (2022). Plan Estratégico de Sociedad Eléctrica del Sur Oeste S.A. 2022 - 2026. *Seal* .
- Martinez, G., Cruz, B., Garrido, J., & Jimenez, J. (2019). Análisis de la calidad de energía eléctrica en una subestación de 300 kVA. *Revista de Operaciones Tecnológicas*, 12-20.
- MASON, C. R. (1971). *El Arte y la Ciencia de la Protección por Reveladores* . Mexico: Continental.
- Metrel. (2023). *Metrel*. Obtenido de <https://www.metrel.es/es/shop/PQA/mi-2892.html>
- Mieles, L., & Molina, A. (2019). *Análisis de calidad de energía en el sistema eléctrico, de la empresa Provefrut en el cantón Latacunga de Elepco S.A, para disminución de pérdidas de energía*. Latacunga, Ecuador: Universidad Técnica de Cotopaxi.
- Morón, J. (2021). *Sistemas eléctricos de distribución*. Reverté.
- Muñoz, J. (2019). *Análisis de calidad de energía eléctrica en el sistema eléctrico de la empresa agrícola pampa baja SAC olmos -tierras nuevas*. Lambayeque, Perú: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.
- Norma Técnica de Calidad de los Servicios Electricos. (1997). Norma Técnica de Calidad de los Servicios Electricos. Perú. Obtenido de <https://www.osinergmin.gob.pe/empresas/electricidad/calidad/NTCSE#:~:text=La%20Norma%20T%C3%A9cnica%20de%20Calidad,de%20electricidad%20y%20los%20Clientes>
- Osinergmin. (s.f.). *Osinergmin, Organismo Superior de la Inversion en Energia y Minería*. Recuperado el 04 de Mayo de 2023, de <https://www.osinergmin.gob.pe/empresas/electricidad/calidad/NTCSE>
- Perez, M., Ramos, J., Raimundo, C., & Barrios, D. (2022). Desarrollo de aplicaciones en el software Scilab para el análisis de armónicos en sistemas industriales. *Ingeniería Electrica*, 24-34.

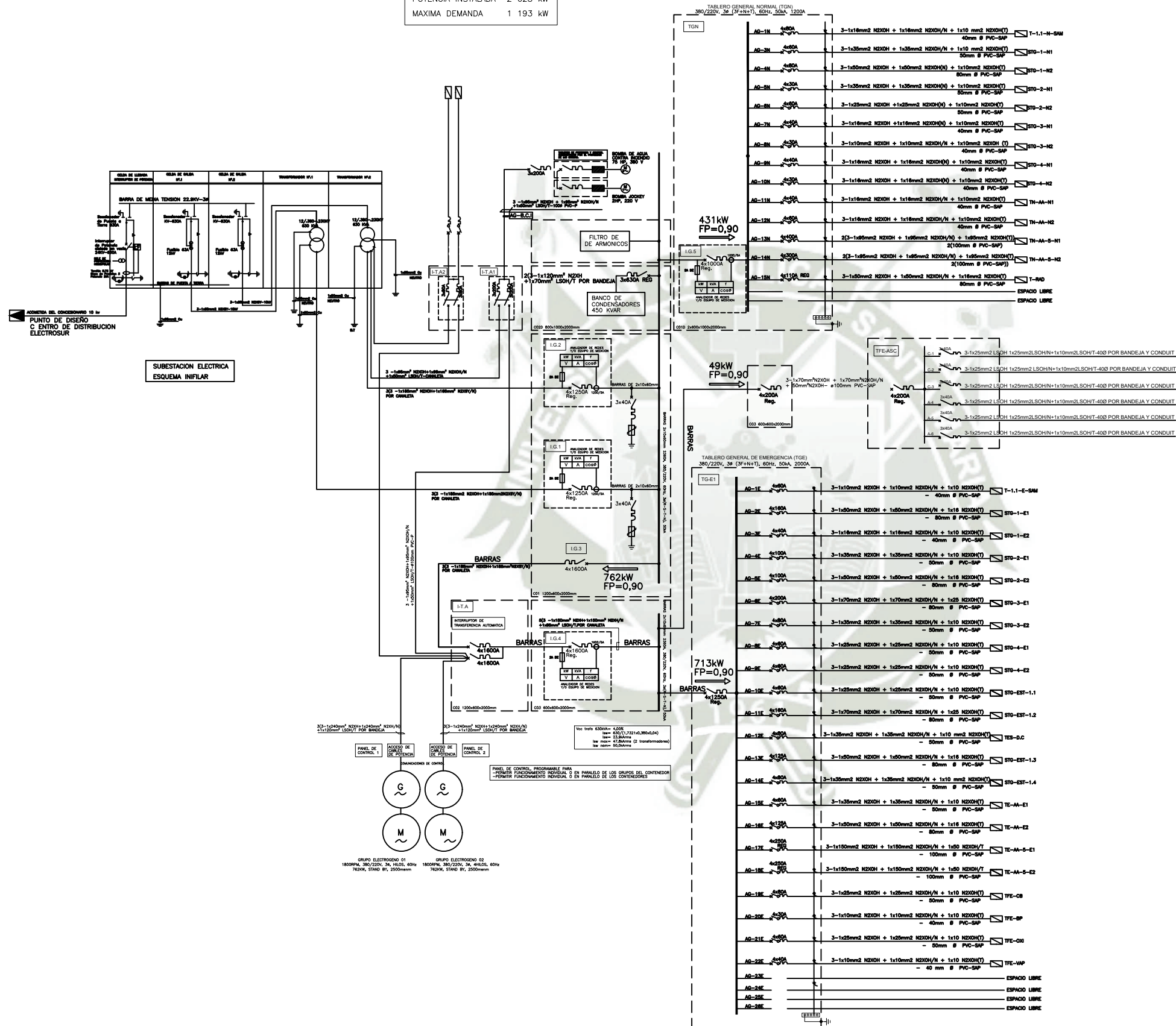
- Polo, V., Peña, J., & Pacheco, L. (2017). Calidad de la energía eléctrica bajo la perspectiva de los sistemas de puesta a tierra. *Ciencia e Ingeniería*, 167-176.
- Rodriguez , J., & Mercado, N. (2021). Soluciones para la mejora de la calidad del servicio de energía eléctrica en Barranquilla. Revisión de la literatura. *Boletín de innovación, Logística y Operaciones*, 1-7.
- S.Ramirez.Castano, P. d. (s.f.). *Proteccion de Sistemas Electricos - S.Ramirez.Castano*.
- Samuel Ramirez Castaño. (s.f.). *Protección de Sistemas Eléctricos*. Colombia.
- Trujillano, E. (2017). *Evaluación de la calidad de la energía eléctrica y cálculo de la opción tarifaria adecuada para el hospital privado Juan Pablo II ubicado en el distrito La Victoria provincia de Chiclayo departamento de Lambayeque*. Lambayeque, Perú: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.
- Vargas, I. (2017). *Implementación de un banco de condensadores para aumentar el factor de potencia de la empresa Fibraforte*. Lima, Perú: Universidad privada del norte.
- Vera, D. (2021). *Análisis de las protecciones para sobrecorrientes y sobretensiones en una sub estación eléctrica de 69/13.8 KV, 16/24 MVA. Utilizando Digsilent y atpdraw*. Guayaquil, Ecuador: Universidad Politecnica Salesiana.
- Visarrea, L. (2022). *Análisis de calidad de energía eléctrica en la Empresa textil Etiquetex S.A. ubicada en el cantón Quito, mediante la regulación ARCERNNR 002/20*. Lacatunga, Ecuador: Universidad de las Fuerzas Armadas.
- www.etap.com. (s.f.). www.etap.com. Obtenido de www.etap.com:
https://etap.com/software/etap-digital-twin?utm_term=etap%20software&utm_campaign=&utm_source=adwords&utm_medium=ppc&hsa_acc=6122921100&hsa_cam=10103285194&hsa_grp=104286465271&hsa_ad=436442606624&hsa_src=g&hsa_tgt=kwd-814187011320&hsa_kw=etap%20software&



ANEXOS

ESQUEMA UNIFILAR TG
AUTOSOPORTADO 3Ø, 4 HILOS, 60Hz, 380/220 VAC, TN-S

POTENCIA INSTALADA 2 628 kW
MAXIMA DEMANDA 1 193 kW



GOBIERNO REGIONAL DE AREQUIPA

PROYECTO: Mejoramiento y Ampliación de los Servicios de Salud del Establecimiento de Salud Moritz Campos Diaz, Distrito de Cerro Colorado, Provincia de Arequipa, Arequipa - S.M.P. 202017

CERRO COLORADO- AREQUIPA

PROFESIONAL RESPONSABLE: ING. HERNAN DEVALLOS YALUM S.P. 19888

ESPECIALIDAD: INSTALACIONES ELECTRICAS

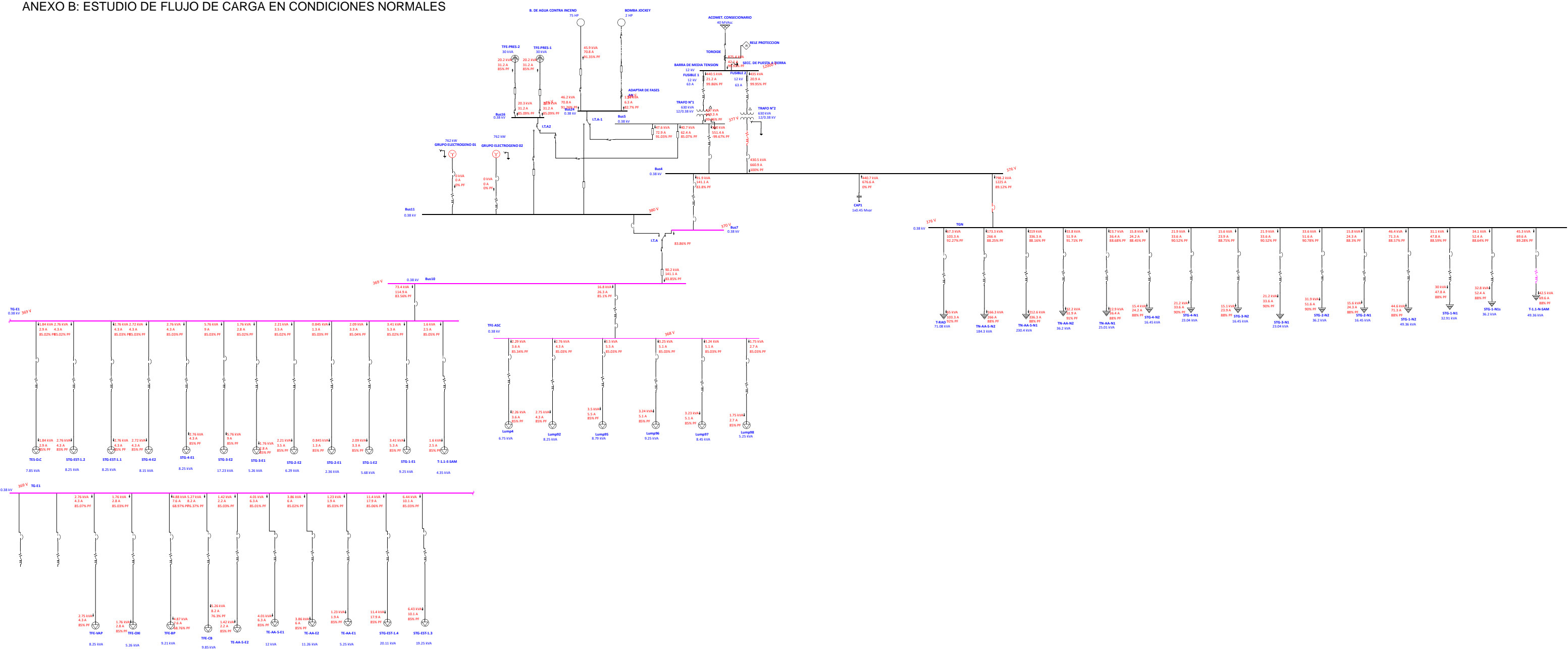
TIPO: DIAGRAMA UNIFILARES TABLERO GENERAL

FECHA: ENERO 2021

LIBRO: IE-38

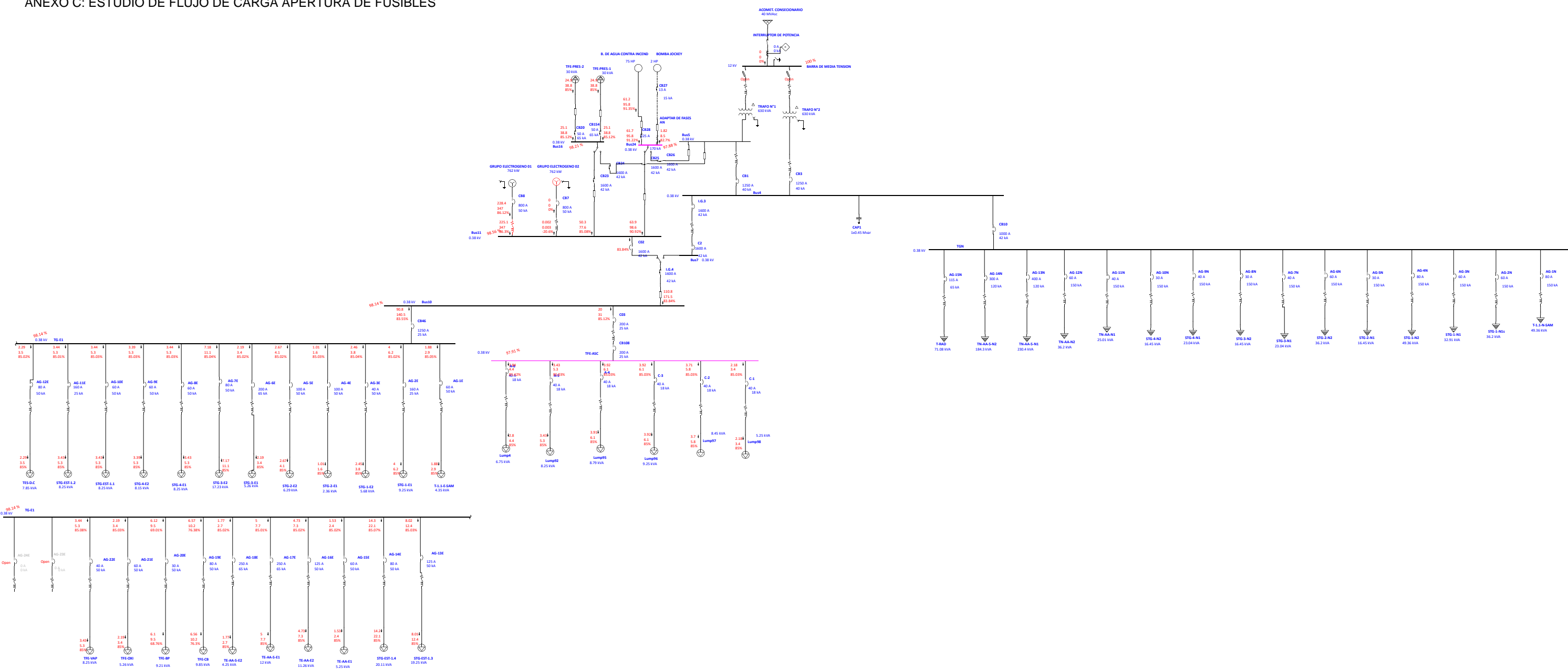
One-Line Diagram - OLV4 (Load Flow Analysis)

ANEXO B: ESTUDIO DE FLUJO DE CARGA EN CONDICIONES NORMALES



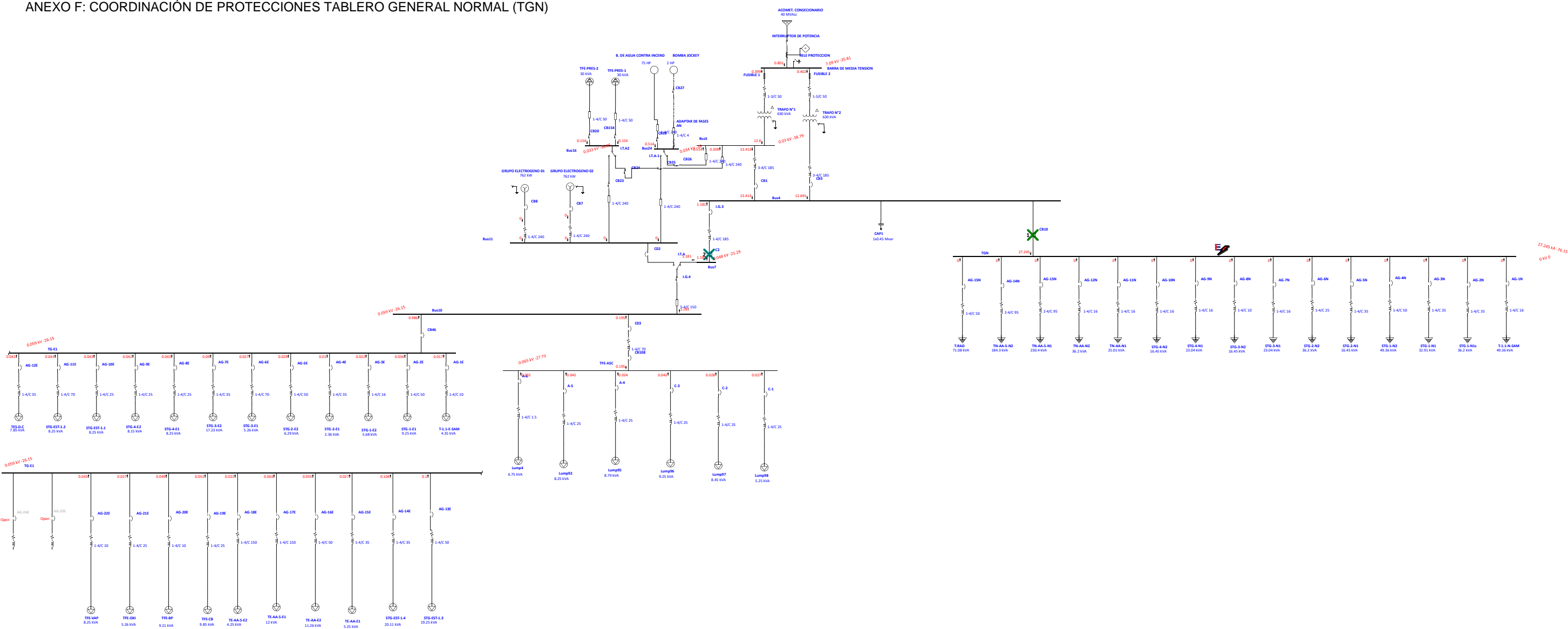
One-Line Diagram - OLV2 (Load Flow Analysis)

ANEXO C: ESTUDIO DE FLUJO DE CARGA APERTURA DE FUSIBLES



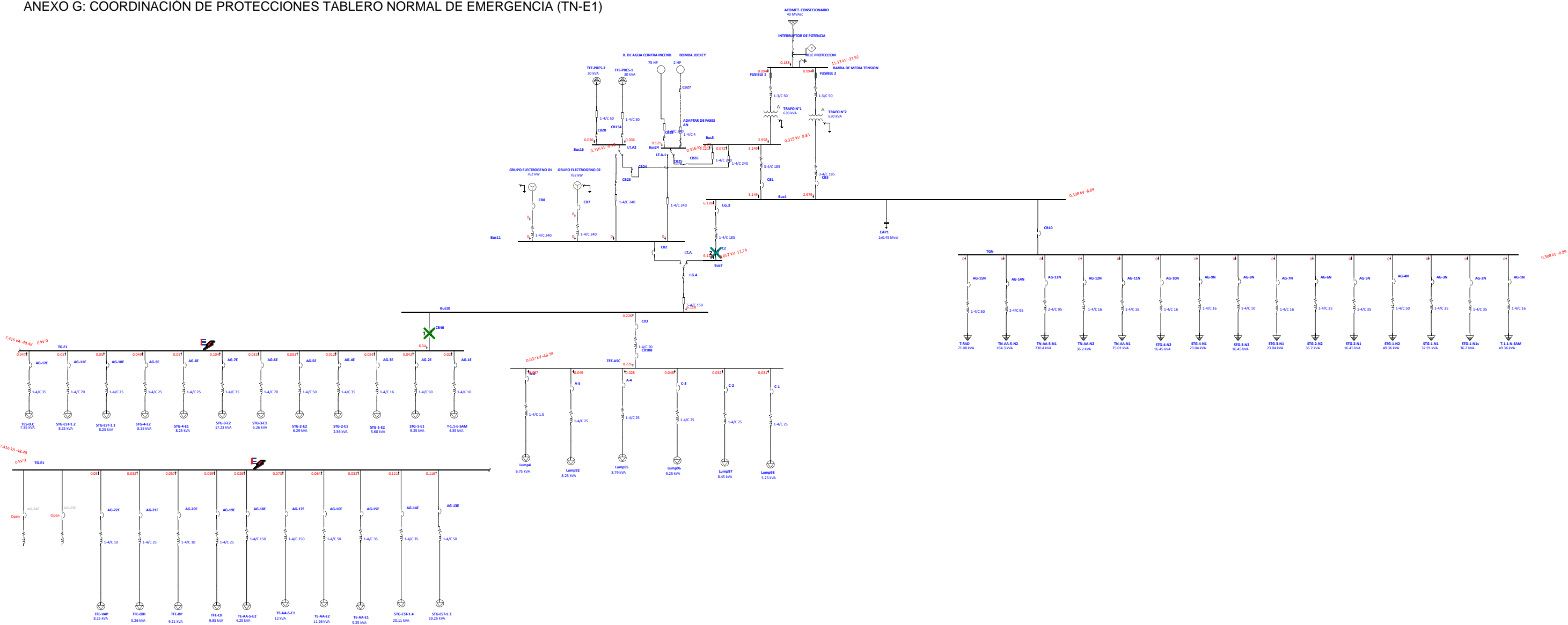
One-Line Diagram - OLV2 (Star - Protection & Coordination)

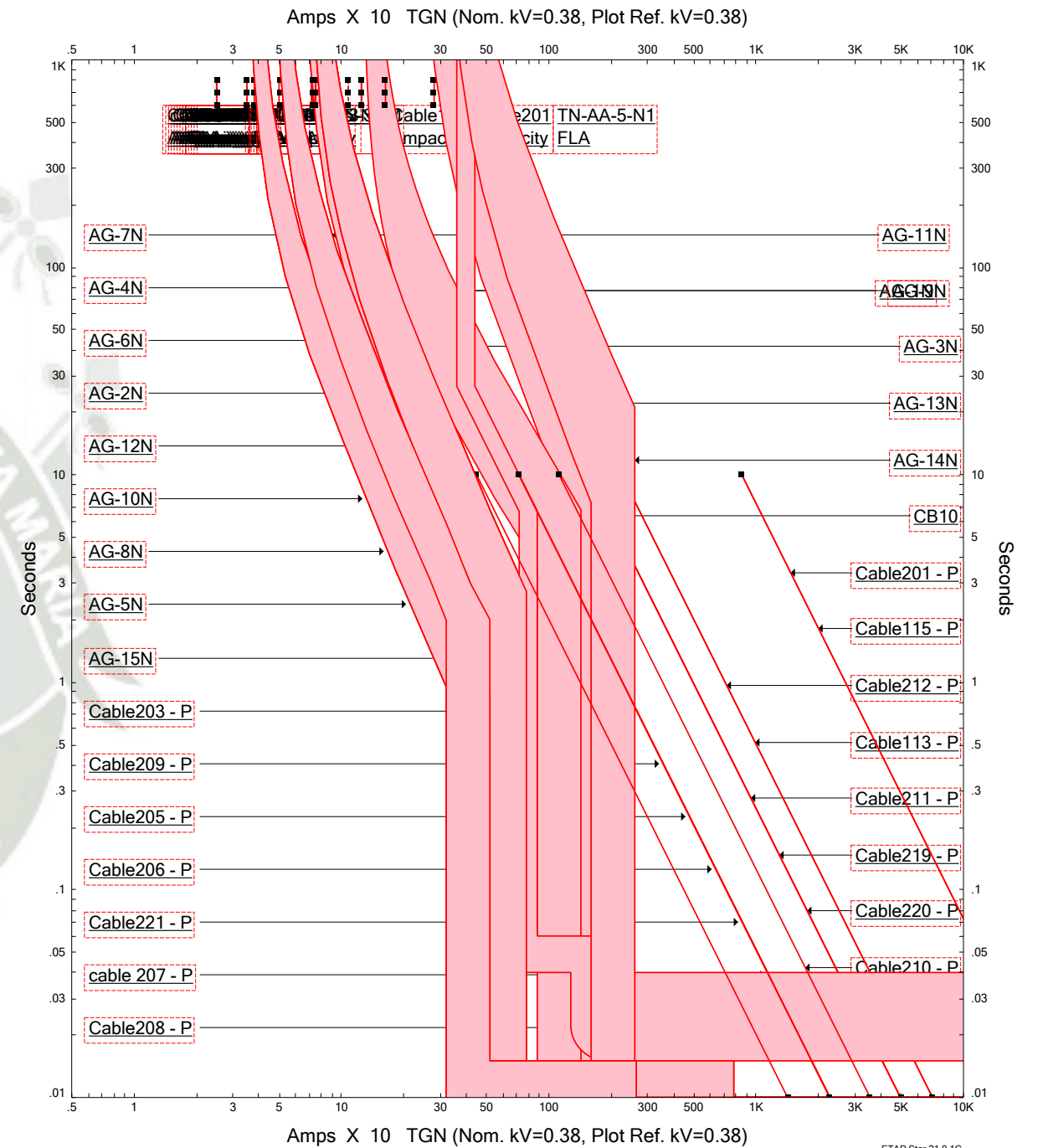
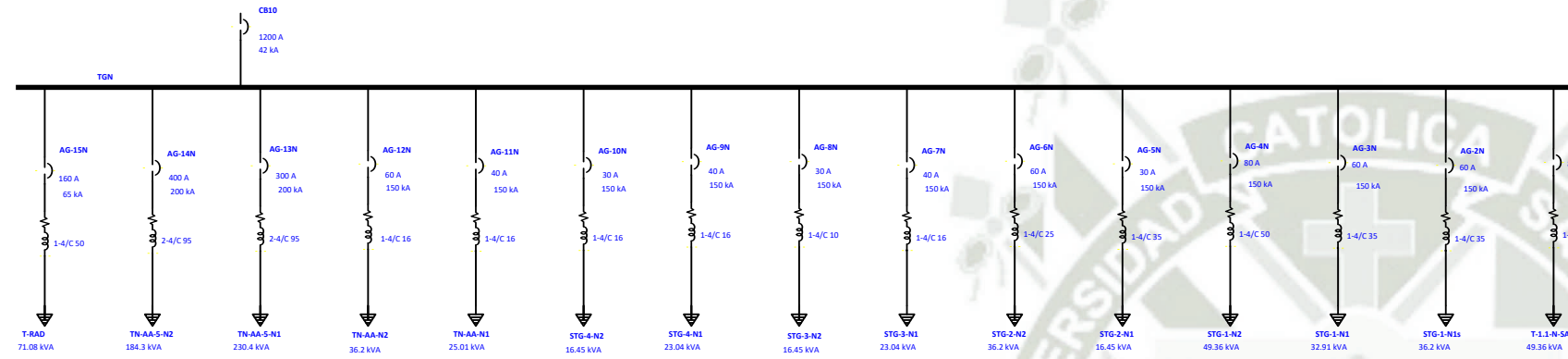
ANEXO F: COORDINACIÓN DE PROTECCIONES TABLERO GENERAL NORMAL (TGN)



One-Line Diagram - OLV2 (Star - Protection & Coordination)

ANEXO G: COORDINACIÓN DE PROTECCIONES TABLERO NORMAL DE EMERGENCIA (TN-E1)





Star10		ETAP Star 21.0.1C
Project: Location: Contract: Engineer: Filename: C:\ETAP 2101\TESI\Sitesi.OTI		Date: 08-04-2024 SN: 0809449000 Rev: Base Fault: Phase