

GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR EL DISEÑO DE SS/AA

Desarrollo de una propuesta de guía metodológica para orientar el diseño de los servicios auxiliares de subestaciones convencionales de media tensión para un Sistema de Distribución

Local – SDL.

Sofía Fernanda Moscote Rueda, Harley Padilla Gutiérrez

Trabajo de Grado para Optar al Título de ingenieros electricistas

Director

Oscar Arnulfo Quiroga Quiroga

Doctor en tecnología

Codirector

Oscar Iván Aguirre Varela

Especialista en gerencia de recursos energéticos

Universidad Industrial de Santander

Facultad de ingenierías físico-mecánicas

Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones

Ingeniería Eléctrica

Bucaramanga

2023

Dedicatoria

A Luz Dary Rueda Caicedo y Alcibiades Moscote Paba mi fuente inagotable de amor, quienes han estado a mi lado en cada paso de este camino. Su apoyo ha sido el motor que me impulsó a alcanzar esta meta, gracias por su amor incondicional y comprensión en los momentos más desafiantes, nunca tendré cómo pagarles.

Sofia Fernanda Moscote Rueda

Dedicatoria

A mis padres, Yurlis Gutiérrez Estrada y Heriberto Padilla Iturriago.

Por su amor, apoyo y sacrificio incondicional.

Gracias por creer en mí, incluso cuando yo no creía en mí mismo.

Gracias por estar siempre a mi lado apoyándome, en los buenos y en los malos momentos.

Gracias por enseñarme el valor del esfuerzo y la perseverancia.

Gracias por hacerme la persona que soy hoy.

Los amo más que a nada en el mundo.

Harley Padilla Gutiérrez

Agradecimientos

Mi más profundo agradecimiento se extiende a mis papás, gracias por haberme guiado a lo largo de este camino, y aún más importante, gracias por haberme transmitido valores tan significativos como la disciplina y la responsabilidad. Su sabiduría y ejemplo de sacrificio y perseverancia han sido mi mejor herencia, la brújula que me ha orientado en cada paso de mi formación. Sin estos valores, no estaría aquí, culminando este proceso. Gracias porque han moldeado no solo mi desarrollo académico, sino también mi carácter y mi enfoque en la vida. Estoy eternamente agradecida por el regalo de su sabiduría y amor incondicional.

Agradezco sinceramente a todos mis profesores, en particular al profesor Tarcisio Leal, cuya generosidad y dedicación en compartir su valioso conocimiento y tiempo fueron fundamentales para el desarrollo de este proyecto. Merece mi más profunda admiración.

Asimismo, mi gratitud se extiende al codirector de este proyecto, el ingeniero Oscar Varela, una persona admirable tanto por su profundo dominio en el campo de la ingeniería como por su humildad, siempre dispuesto a colaborar.

No puedo dejar de reconocer al director de este proyecto, Oscar Quiroga, quien ha brindado su tiempo y experiencia en aras de asegurar el éxito de este proyecto. Sin su apoyo y compromiso, este logro no habría sido posible.

Sofía Fernanda Moscote Rueda

Agradecimientos

En primer lugar, quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mis padres, por su amor, apoyo y sacrificio incondicional. Sin ellos, no habría sido posible llegar hasta aquí.

También quiero agradecer a mis profesores y tutores, por su orientación y ayuda durante mi formación académica. En particular, quiero agradecer a mi codirector de proyecto de grado, Oscar Iván Aguirre Varela, por su guía y apoyo constante. Gracias a él, he podido desarrollar mis habilidades y conocimientos de una manera que nunca hubiera imaginado. Asimismo, quiero agradecer a mi director de proyecto, Oscar Arnulfo Quiroga Quiroga, por su colaboración y aportaciones. Gracias a su experiencia y conocimientos, he podido mejorar mi trabajo de una manera significativa. Por último, quiero agradecer a la Universidad Industrial de Santander, por brindarme la oportunidad de desarrollarme como profesional y como persona. Gracias a esta institución, he podido adquirir los conocimientos y habilidades necesarias para alcanzar mis metas.

Este trabajo no hubiera sido posible sin el apoyo y la ayuda de todos los que me han acompañado en este camino.

Harley Padilla Gutiérrez

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	13
1. Objetivos.....	15
1.1 Objetivo General.....	15
1.2 Objetivos Específicos.....	15
2. Generalidad	16
2.1 Justificación	16
2.2 Alcance del proyecto.....	18
2.3 Entregables del Proyecto.....	18
3. Estado del arte.....	19
3.1. Falta de análisis de los requisitos de la carga	19
3.2. Uso de equipos y materiales inadecuados.....	20
3.3. Mala planificación del espacio.....	20
3.4. Limitada redundancia.....	21
3.5. Poca flexibilidad:	21
3.6 Recomendaciones de Diseñadores.....	22
4. Marco Normativo y Legal.....	24
5.Procedimiento	27
5.1 Identificación de la información	27
5.2 Selección de la información.....	28
5.3 Análisis de la información	28
5.4 Elaboración del contenido.....	29

GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR EL DISEÑO DE SS/AA

5.4.1 El público objetivo.....	29
5.4.2 Finalidad de la guía.....	30
5.4.3 Elaboración de un esquema	30
5.5 Desarrollo del contenido.....	33
5.5.1 Planificación de los servicios auxiliares	34
5.5.2 Requerimientos claves para el dimensionamiento de equipos.....	35
5.5.3 Dimensionamiento de equipos.....	35
6. Fundamentación Teórica.....	38
6.1 Conceptos clave sobre subestaciones de media tensión en un Sistema de Distribución Local (SDL).	39
6.2 Estudio de cargas	41
6.2.1 Cargas de corriente alterna.....	42
6.2.1.1 Cargas esenciales.	42
6.2.1.2 Cargas no esenciales.	43
6.2.2 Cargas de corriente directa.....	44
6.2.2.1 Cargas permanentes.	45
6.2.2.2 Cargas no permanentes.	45
6.3 Componentes.....	46
6.3.1 Transformador de potencia	46
6.3.2 Planta de emergencia	52
6.3.3 Cargador de baterías	55
6.3.4 Baterías	57
6.3.5 Protecciones	63

GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR EL DISEÑO DE SS/AA

6.3.6 Tableros.....	67
6.3.7 Sistema de Transferencia	74
7. Conclusiones.....	77
8. Recomendaciones	79
Referencias Bibliográficas	81

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 2 <i>Tabla de tensiones normalizadas</i>	58
Tabla 3 <i>Tabla de valores correspondientes para un sistema de 125 y 48 volts</i>	59
Tabla 4 <i>Cuadro de grado de protección IP</i>	73

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1 <i>Mantenimiento y operación en las subestaciones</i>	19
Figura 2 <i>Diagrama unifilar de los elementos a dimensionamiento de los servicios auxiliares</i> ...	32
Figura 3 <i>Diagrama de flujo del desarrollo de la guía</i>	33
Figura 4 <i>Diagrama de flujo del paso a paso para el dimensionamiento del transformador</i>	36
Figura 5 <i>Captura del cuadro de entrada, salidas y cálculos de la guía</i>	36
Figura 6 <i>Transformador de potencia de los servicios auxiliares</i>	46
Figura 7 <i>Planta de emergencia</i>	52
Figura 8 <i>Cargador rectificador</i>	56
Figura 9 <i>Diagrama unifilar del CANE (tablero de corriente alterna no esenciales)</i>	68
Figura 10 <i>Diagrama unifilar del CAE (tablero de corriente alterna esenciales)</i>	68
Figura 11 <i>Diagrama unifilar del CD (tablero de corriente directa)</i>	70
Figura 12 <i>Diagrama unifilar de la transferencia automática</i>	75

GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR EL DISEÑO DE SS/AA

Resumen

Título: Guía metodológica para orientar el diseño de los servicios auxiliares de subestaciones convencionales de media tensión para un Sistema de Distribución Local – SDL.

Autor: Sofía Fernanda Moscote Rueda, Harley Padilla Gutiérrez

Palabras Clave: Subestaciones eléctricas, servicios auxiliares SSAA, Sistema de Distribución Local, dimensionamiento, confiabilidad eléctrica, planificación.

Descripción: El presente proyecto se orienta hacia el desarrollo de una guía metodológica cuyo propósito fundamental radica en proporcionar recomendaciones a considerar durante las etapas de planificación y diseño de los sistemas de servicios auxiliares (SS/AA) de subestaciones convencionales de media tensión que operan dentro del contexto de un Sistema de Distribución Local (SDL), facilitando la conceptualización de proyectos eléctricos y orientando su desarrollo a instalaciones que presenten un alto estándar de confiabilidad y desempeño, y en concordancia con las exigencias establecidas en la regulación vigente. Esta guía abarca una amplia gama de componentes cruciales, incluyendo transformadores, plantas eléctricas, cargadores rectificadores, inversores, sistemas de protección, transferencia automática, tableros eléctricos, y demás elementos esenciales que permitirán facilitar un diseño más eficiente y confiable de los servicios auxiliares en subestaciones, optimizando la utilización de recursos, principalmente de tiempo y asegurando la operación continua de los equipos auxiliares. El proyecto se desarrolla en conformidad con los lineamientos establecidos en la normativa colombiana, en particular, el Código Eléctrico Colombiano (NTC 2050) y el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE), Resolución No. 90708 de agosto 30 de 2013, y sus posteriores correcciones y aclaraciones emitidas en las Resoluciones No. 90795 del 25 de julio de 2014 y No. 40492 del 24 de abril de 2015. Además, este proyecto se distingue por contener las valiosas recomendaciones proporcionadas por personal altamente especializado de un operador de red en Santander. Se reconoce que la experiencia práctica en campo es un activo inestimable, y estas aportaciones contribuyen a la mejora continua y al perfeccionamiento de la guía desarrollada.

Abstract

Title: Proposal for a Methodological Guide for Guiding the Design of Auxiliary Services in Conventional Medium Voltage Substations for a Local Distribution System – SDL."

Author(s): Sofía Fernanda Moscote Rueda, Harley Padilla Gutiérrez

Key Words: **Electrical substations, Auxiliary services (SSAA - Substation Auxiliary Services), Local Distribution System (SDL), Sizing, Electrical reliability, Planning.**

Description: This project is oriented towards the development of a methodological guide, the main purpose of which is to provide recommendations to be considered during the planning and design stages of the auxiliary service systems (SS/AA) of conventional medium-voltage substations operating within the context of a Local Distribution System (SDL). Its purpose is to facilitate the conceptualization of electrical projects and guide their development towards installations that meet a high standard of reliability and performance, in accordance with the requirements established by current regulations. This guide thoroughly covers a wide range of crucial components, including transformers, power plants, rectifier chargers, inverters, protection systems, automatic transfer, electrical panels, and other essential elements that will enable a more efficient and reliable design of auxiliary services in substations, optimizing the use of resources, mainly time, and ensuring the continuous operation of auxiliary equipment. The project is carried out in compliance with the guidelines established in Colombian regulations, particularly the Colombian Electrical Code (NTC 2050) and the Technical Regulation for Electrical Installations (RETIE), Resolution No. 90708 of August 30, 2013, and its subsequent corrections and clarifications issued in Resolutions No. 90795 of July 25, 2014, and No. 40492 of April 24, 2015. Furthermore, this project stands out for containing valuable recommendations provided by highly specialized personnel from a network operator in Santander. Practical field experience is recognized as an invaluable asset, and these contribute to continuous improvement and the refinement of the developed guide.

Introducción

Los servicios auxiliares desempeñan un papel fundamental en la preservación ininterrumpida de la operatividad; y el control de una subestación eléctrica. Estos servicios se encargan de proveer la energía necesaria y otorgar el respaldo requerido para satisfacer las distintas cargas, tanto aquellas de carácter crítico como las que no lo son; así como para abordar la demanda interna de la subestación eléctrica, tanto en la forma de corriente alterna como de corriente continua. En caso de no realizar una selección, dimensionamiento y configuración apropiados de los servicios auxiliares, se corre el riesgo de comprometer el funcionamiento de la subestación y, de manera aún más preocupante, la continuidad en la provisión del servicio eléctrico necesario para satisfacer la demanda. Con el objetivo de abordar esta problemática y garantizar la eficiencia y confiabilidad en el diseño de los servicios auxiliares de subestaciones convencionales de media tensión en un Sistema de Distribución Local (SDL), se ha desarrollado la presente guía metodológica.

Esta guía tiene como propósito principal proporcionar una orientación clara y estructurada durante las etapas de planificación, diseño y selección de los sistemas de servicios auxiliares (SS/AA) con la finalidad de facilitar la conceptualización de los proyectos eléctricos y orientar su desarrollo de modo que las instalaciones presenten un alto estándar de confiabilidad y desempeño, en concordancia con las exigencias establecidas en la regulación vigente. Con la aplicación futura de esta guía, se espera lograr una reducción en el tiempo de diseño y una mayor estandarización en la construcción de los servicios auxiliares de las subestaciones convencionales de media tensión en un SDL. Además, este trabajo se enmarca en la temática más amplia del diseño de subestaciones eléctricas convencionales de media tensión en un SDL, lo que permite una sinergia con otros

GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR EL DISEÑO DE SS/AA

proyectos de diseño de componentes y promueve una mayor interacción con el operador de la red, así como el fortalecimiento de las habilidades de diseño en este campo.

A través de esta guía metodológica, se espera impulsar la mejora continua en la infraestructura eléctrica de los sistemas de distribución, fomentando la eficiencia operativa, la confiabilidad y la calidad del suministro eléctrico en beneficio de los usuarios finales.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Desarrollar una guía metodológica para el diseño de los servicios auxiliares de subestaciones convencionales de media tensión para un Sistema de Distribución Local – SDL.

1.2 Objetivos Específicos

Definir las características y contenido general de la guía con apoyo de personal especializado de un operador de red.

Documentar el contenido de la guía acorde con los requerimientos definidos con el operador de red y las exigencias de la regulación y normativa aplicable.

Ajustar la guía desarrollada incorporando las recomendaciones del personal especializado del operador de red

2. Generalidad

Los servicios auxiliares desempeñan un papel crítico en la operación segura y eficiente de las subestaciones, abarcando desde sistemas de control y protección hasta iluminación y sistemas contra incendios. Dada la diversidad de aspectos que involucran, es crucial establecer una comprensión sólida del alcance de este proyecto y de los resultados esperados. En el presente capítulo, se explorará en detalle el alcance del proyecto y los entregables específicos que se anticipan, brindando una visión completa de los objetivos y una guía sólida para la ejecución exitosa del proyecto.

2.1 Justificación

Los servicios auxiliares en las subestaciones convencionales de media tensión, en un Sistema de Distribución Local (SDL), son la columna vertebral que sostiene la operación, ya que son la fuente de alimentación de los sistemas de el control, protección y comunicaciones de la subestación en todo momento. Y brindan el soporte esencial que asegura la operatividad sin interrupciones. La falta de una adecuada selección, dimensionamiento y configuración de estos servicios puede exponer la operación de la subestación a riesgos inaceptables y, lo que es aún más crucial, amenazar la continuidad del servicio eléctrico necesario para satisfacer la demanda. Por lo anterior, se plantea la posibilidad de desarrollar una guía metodológica que facilite el proceso de diseño de servicios auxiliares para subestaciones de este tipo.

Esta guía permitirá la identificación y definición de criterios básicos fundamentales que se ajusten a las necesidades del sistema y que se alineen plenamente con las normativas vigentes. La consecuencia directa de este enfoque será una reducción en el tiempo de diseño y una mayor estandarización en la construcción de subestaciones eléctricas de media tensión en SDL,

GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR EL DISEÑO DE SS/AA

facilitando los procesos de compras y la gestión de inventarios para quienes usan este tipo de subestaciones.

Este proyecto de grado se encuentra arraigado en la temática del diseño de subestaciones eléctricas convencionales de media tensión en el contexto de los SDL. Constituye un componente integral de una serie de investigaciones que abordan distintos aspectos del diseño de subestaciones, todos con el objetivo de fortalecer la interacción con el operador de red y desarrollar las habilidades de diseño. En última instancia, el propósito de este proyecto va más allá de la mera academia, ya que busca mejorar la infraestructura eléctrica y por consiguiente el aseguramiento del suministro de energía de manera confiable y eficiente para la comunidad atendida por el SDL.

2.2 Alcance del proyecto.

El alcance del proyecto consiste en la elaboración de un procedimiento que permita establecer una secuencia lógica de pasos, con base en la aplicación de estándares reconocidos y el cumplimiento de los requisitos regulatorios involucrados en el diseño de servicios auxiliares para subestaciones de media tensión, dentro de un Sistema de Distribución Local (SDL). Incluye la revisión exhaustiva de las especificaciones técnicas y requisitos normativos aplicables a las fuentes de alimentación de corriente continua y alterna en subestaciones de media tensión, además de la definición de los parámetros clave para el diseño, tales como la capacidad, la redundancia, la estabilidad y la eficiencia de las fuentes de alimentación, que permitan definir pautas precisas para la selección de equipos y componentes adecuados para las fuentes de alimentación. De igual forma se propone un procedimiento para el dimensionamiento y la selección de las fuentes de alimentación, además de complementarse con documentación que respalda el procedimiento, incluyendo ejemplos de cálculos, diagramas esquemáticos y recomendaciones.

El proyecto se centrará únicamente en el desarrollo del procedimiento detallado para el cálculo y diseño de las fuentes de alimentación de corriente continua y alterna destinadas a los servicios auxiliares en subestaciones de media tensión dentro de un SDL. No abordará otros aspectos relacionados con los servicios auxiliares o subestaciones en general.

2.3 Entregables del Proyecto

El producto principal de este proyecto consiste en una Guía Metodológica que describe el procedimiento propuesto para el dimensionamiento de fuentes de alimentación de corriente continua y alterna destinadas a los servicios auxiliares en subestaciones de media tensión dentro de un Sistema de Distribución Local (SDL).

3. Estado del arte

Algunas de las situaciones y problemáticas más comunes que ocurren en el diseño de los servicios auxiliares de las subestaciones se describen en los siguientes ejemplos.

Figura1

Mantenimiento y operación en las subestaciones



Nota. Imagen tomada de Obras del STR Sur de la ESSA.

3.1. Falta de análisis de los requisitos de la carga

Los servicios auxiliares deben estar diseñados para satisfacer las necesidades de carga de la subestación específica. Sin embargo, es común que los diseñadores no realicen un análisis completo de los requisitos de carga, lo que puede conducir a una sub o sobre estimación de la capacidad de los servicios auxiliares.

GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR EL DISEÑO DE SS/AA

Por ejemplo, un diseño que no cumple con los requisitos de carga puede provocar interrupciones en el suministro de energía, al generar apertura frecuente por sobre carga del transformador de servicios auxiliares; lo que puede conllevar a actuaciones no deseadas de los demás componentes del sistema de servicios auxiliares (arranques de la planta de emergencia, descargas del banco de baterías, etc.).

3.2. Uso de equipos y materiales inadecuados

Los servicios auxiliares deben ser diseñados para funcionar de manera segura y confiable en las condiciones ambientales de la ubicación de la subestación. El uso de equipos y materiales inadecuados puede aumentar el riesgo de fallas o interrupciones en el suministro de energía.

Por ejemplo, un diseño que no cumple con los requisitos de selección de equipos y materiales puede provocar interrupciones en el suministro de energía, al presentarse fenómenos de mortalidad infantil en los cargadores y/o en los bancos de baterías, los cuales pueden presentar fallos incluso antes de contar con un tiempo mínimo de operación, por condiciones de operación (temperatura, humedad, etc.) diferentes a las que por diseño deben contemplarse para su instalación.

3.3. Mala planificación del espacio

Los servicios auxiliares deben estar ubicados de manera que sean accesibles y fáciles de mantener. La mala planificación del espacio puede dificultar el mantenimiento y operación de los servicios auxiliares. Una subestación mal planificada puede dificultar la instalación, el mantenimiento y operación de los servicios auxiliares, lo que puede provocar interrupciones en el suministro de energía.

GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR EL DISEÑO DE SS/AA

Por ejemplo, un diseño que no realiza una adecuada planificación del espacio puede provocar interrupciones en el suministro de energía, cuando al momento de requerirse acciones de mantenimiento o cambio de alguno de sus componentes, se debe desenergizar completamente el sistema de servicios auxiliares para evitar riesgos al personal ejecutor de las actividades y la subestación se queda sin fuentes alimentación para las cargas críticas.

3.4. Limitada redundancia

Los servicios auxiliares deben ser redundantes para garantizar que la subestación pueda operar de manera confiable en caso de falla.

Por ejemplo, un diseño que no contempla el concepto de redundancia de forma adecuada puede provocar interrupciones en el suministro de energía, cuando al momento de requerirse y no contar con una segunda o tercera fuente para la alimentación de los servicios auxiliares, la subestación se queda sin alimentación para las cargas críticas.

3.5. Poca flexibilidad:

Los servicios auxiliares deben ser flexibles para adaptarse a los cambios en las necesidades de la subestación.

Por ejemplo, un diseño que no contempla el concepto de flexibilidad de forma adecuada puede provocar interrupciones en el suministro de energía, cuando al momento de requerirse y a pesar contarse con una segunda y/o tercera fuente para la alimentación de los servicios auxiliares, la subestación se queda sin alimentación para las cargas críticas por la inoperancia de esquemas que flexibilicen y agilicen el cambio de fuente sin la necesidad de la intervención humana.

3.6 Recomendaciones de Diseñadores.

Es igualmente crucial tener en cuenta las sugerencias proporcionadas por diseñadores experimentados al desarrollar servicios auxiliares en subestaciones, tales como

- ✓ Efectos de las fuerzas sísmicas en los equipos y estructuras de la subestación.
- ✓ Capacidad de cargas futuras: Para el transformador se debe dimensionar con un 20% por encima de la carga del diseño.
- ✓ Respaldo de emergencia: La planta de emergencia puede respaldar hasta 8 días seguidos, pero por cuestiones de mantenimiento en algunos puntos específicos no soporta este periodo de respaldo, lo recomendado es que sea un intervalo de 24-36 horas.
- ✓ Criterios de las cargas en sistema de respaldo: Dependiendo del diseñador y el tipo de subestación, a la planta se le añade la carga de los aires acondicionado. Se considera dependiendo de la temperatura ambiente de la subestación, si la temperatura ambiente está por encima de 25°, se obliga a tener refrigerado por temas de protecciones, baterías, sistema de comunicación y control, de lo contrario puede haber comportamientos erráticos de las protecciones y desgaste de las baterías.
- ✓ Cargadores: Es más común la utilización de cargadores y rectificadores tipo convencionales que los de alta frecuencias y estados sólidos. Esto debido que estos últimos eran más propensos a sufrir desgaste ya sean por temperatura o por picos que se genera en estado de igualación, en cambio las convencionales muestran un mejor rendimiento y mejores resultados.

GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR EL DISEÑO DE SS/AA

- ✓ Nivel de tensión en los cargadores: Para el correcto funcionamiento de los cargadores se utiliza un intervalo de operación del +/-8% de la tensión nominal DC si sobrepasa del voltaje máximo de operación puede sufrir calentamiento en las baterías y daños en el equipo.
- ✓ Tensión Primaria del Transformador: 34.5 kV: La estabilidad del sistema eléctrico es una consideración fundamental en la distribución de voltaje, la mitigación de pérdidas y la prevención de caídas de tensión. Al mantener una tensión primaria constante, se puede lograr un mejor control y estabilidad del sistema eléctrico, lo que contribuye a un suministro de energía más confiable y eficiente para las cargas y las instalaciones conectadas al sistema. Esta práctica es común en muchos sistemas eléctricos para garantizar un funcionamiento óptimo y minimizar los problemas de calidad de energía.
- ✓ Tipo de control: El control recomendado para los servicios auxiliares de este tipo de subestaciones es centralizado, ya que permite que todos los equipos y sistemas de servicios auxiliares sean controlados desde una ubicación central. Esto simplifica la gestión de los servicios auxiliares y reduce la necesidad de personal de operación.

Esta información se basó de las siguientes normas: Norma Internacional IEC 60300-3-3:2018, "Gestión de servicios - Parte 3-3: Diseño de servicios". Norma Internacional ISO 9001:2015, "Sistemas de gestión de la calidad - Requisitos". Norma Internacional ISO 55001:2014

4. Marco Normativo y Legal

El diseño de los sistemas de Servicios Auxiliares en Subestaciones Eléctricas (SSAA) se encuentra regido por una serie de normativas y estándares internacionales que garantizan la eficiencia, confiabilidad y seguridad de dichos sistemas.

A continuación, se presenta una recopilación exhaustiva de las normas utilizadas en este ámbito:

- ✓ IEEE Std C57.96™-1999 (R2005) de IEEE: esta norma técnica publicada por el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) que proporciona recomendaciones para la carga de transformadores de distribución y potencia secos. La norma cubre transformadores con tensiones nominales de 601 V o más en la bobina de mayor tensión
- ✓ Resolución CREG 070-98: Esta resolución establece el Reglamento de Distribución de Energía Eléctrica, como parte del Reglamento de Operación del Sistema Interconectado Nacional.
- ✓ El Reglamento de Distribución de Energía Eléctrica establece los requisitos y procedimientos para la prestación del servicio de distribución de energía eléctrica en Colombia.
- ✓ IEEE Std 485 "*IEEE Recommended Practice for Sizing and Applying Batteries for Stationary Applications*", este estándar proporciona orientación sobre el dimensionamiento y la aplicación de baterías para aplicaciones estacionarias. La norma se centra en las baterías de plomo-ácido, que son el tipo de batería más comúnmente utilizado en aplicaciones estacionarias.

GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR EL DISEÑO DE SS/AA

- ✓ norma IEC 60529: La norma IEC 60529, "Clasificación de los grados de protección proporcionados por las envolventes (código IP)", es una norma internacional que establece un sistema de clasificación para los grados de protección proporcionados por las envolventes de los equipos eléctricos. La norma se aplica a los equipos eléctricos con tensión nominal inferior a 72,5 kV.
- ✓ norma NTC 2050 es una norma técnica publicada por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación ICONTEC, que establece los requisitos para el diseño, instalación, mantenimiento y operación de instalaciones eléctricas de baja tensión.
- ✓ IEC 60617-SN:2007: Esta norma, emitida por la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC), establece directrices específicas para el trazado de planos y diagramas de principio en sistemas eléctricos. Su aplicación asegura la representación coherente y comprensible de los componentes y conexiones en los SSAA.
- ✓ IEC 61850: Este estándar, también desarrollado por la IEC, es esencial para la automatización de subestaciones eléctricas. Define protocolos y métodos para el intercambio de información y señales entre dispositivos en las subestaciones, optimizando así el control y la operación de los equipos en el sistema.
- ✓ ANSI C84.1 (2020): Emitida por el Instituto Nacional Estadounidense de Estándares (ANSI), esta norma especifica los niveles de tensión en Corriente Alterna (AC) que pueden ser implementados en los diseños de SSAA. Garantiza que los sistemas de voltaje cumplan con los requisitos de seguridad y eficiencia.
- ✓ CFE VY500-16 (1982): Esta normativa, establecida por la Comisión Federal de Electricidad (CFE) de México, proporciona criterios generales de diseño eléctrico para

GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR EL DISEÑO DE SS/AA

los servicios propios de subestaciones de potencia. Su aplicación asegura la coherencia y confiabilidad en el diseño de SSAA.

- ✓ IEEE 1818 (2017): Emitida por el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE), esta guía ofrece directrices específicas para el diseño de sistemas auxiliares de baja tensión en subestaciones eléctricas. Su enfoque técnico contribuye a la eficiencia y la seguridad en los SSAA.

La combinación de estas normativas y estándares permite un diseño bien estructurado de los sistemas de Servicios Auxiliares en Subestaciones Eléctricas, garantizando su correcto funcionamiento y contribuyendo a una operación confiable de toda la infraestructura eléctrica.

5.Procedimiento

Es fundamental reconocer que el diseño de una guía metodológica para los servicios auxiliares de una subestación eléctrica conectada al sistema de distribución local requiere seguir una secuencia lógica y estructurada. Esto es esencial porque permite un enfoque coherente y ordenado en el diseño y funcionamiento de estos servicios críticos. Siguiendo una secuencia lógica, se garantiza que cada paso y componente se construya sobre la base del anterior, evitando omisiones importantes y asegurando que se aborden todos los aspectos necesarios. Además, una secuencia lógica facilita la comprensión y la aplicación de la guía, ya que los usuarios pueden seguir un proceso paso a paso que abarca desde la identificación y selección de información relevante hasta la elaboración del contenido y la implementación práctica. Esta estructura también promueve la consistencia y la efectividad en la toma de decisiones, contribuyendo en última instancia a la confiabilidad y el rendimiento óptimo de los servicios auxiliares en una subestación eléctrica.

5.1 Identificación de la información

En esta etapa inicial, el objetivo principal consistió en determinar cuál información era de vital importancia para abordar en la guía metodológica. Este proceso se llevó a cabo mediante una revisión exhaustiva de la literatura existente, haciendo uso de bases de datos académicas, motores de búsqueda y otras fuentes de información pertinentes. Además, se establecieron reuniones con expertos en subestaciones eléctricas, incluyendo personal de un operador de red, con el propósito de obtener un conocimiento adicional en profundidad. Durante estas reuniones, se exploraron aspectos relacionados con el diseño, construcción, operación y mantenimiento de los servicios auxiliares en subestaciones. Los expertos compartieron sus valiosas perspectivas y las mejores prácticas asociadas con el diseño y la operación de estos sistemas. También es importante destacar que el personal del operador de red proporcionó recomendaciones valiosas sobre los puntos clave

GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR EL DISEÑO DE SS/AA

a abordar en la guía metodológica. Asimismo, se llevaron a cabo visitas a diferentes subestaciones para observar el funcionamiento práctico de los equipos y sistemas en tiempo real. Estas visitas proporcionaron una comprensión más profunda de los requisitos de seguridad, confiabilidad y eficiencia en el contexto de las subestaciones eléctricas, lo que nos permitió identificar qué información era crucial incluir en la guía metodológica.

5.2 Selección de la información

Se llevó a cabo una cuidadosa elección de la información crítica necesaria para abordar este proceso, dando prioridad a los parámetros esenciales para el dimensionamiento de las fuentes de alimentación de los servicios auxiliares, teniendo en cuenta lo siguiente:

Relevancia: Se priorizó la información directamente relacionada con el ámbito de estudio, asegurando así su contribución significativa a los objetivos de la Guía Metodológica.

Actualidad: Se dio preferencia a la información de carácter reciente, de manera que reflejara las prácticas y estándares más actuales en el campo de los servicios auxiliares de subestaciones eléctricas.

Calidad: Se llevó a cabo una evaluación meticulosa de la calidad de la información, garantizando su respaldo mediante documentación sólida y su procedencia de fuentes ampliamente reconocidas por su confiabilidad.

5.3 Análisis de la información

Por último, se analizó la información seleccionada para identificar los principales temas, hallazgos y conclusiones.

5.4 Elaboración del contenido

En esta etapa, se propuso el contenido de la guía teniendo en cuenta la ayuda de expertos y entidades interesadas en el proyecto para garantizar que la guía sea precisa y completa. Los expertos desempeñaron un papel fundamental al aportar información relacionada con buenas prácticas y las tendencias actuales en el campo, además de colaborar en la identificación y corrección de posibles errores en la guía.

Se enfatiza la importancia de adherirse a las normas y estándares pertinentes. Esto desempeñará un papel fundamental para garantizar que la guía sea coherente con las mejores prácticas y cumpla con los requisitos esenciales de seguridad y confiabilidad.

Durante diversas reuniones con personal especializado en mantenimiento de subestaciones, operación, calidad y demás áreas, se logró una mejora significativa en la definición del alcance de la guía. En esta fase, se llegó a una conclusión respecto a los temas que se abordarán, tomando en consideración los siguientes factores:

5.4.1 El público objetivo

La guía está dirigida a un público amplio, que incluye:

- ✓ ingenieros electricistas: Los ingenieros eléctricos son los responsables del diseño, instalación y mantenimiento de los servicios auxiliares de subestaciones. Una guía de diseño les proporcionará información sobre las mejores prácticas y los requisitos de seguridad y confiabilidad.
- ✓ Arquitectos: Los arquitectos pueden estar involucrados en el diseño de subestaciones. Una guía de diseño les proporcionará información sobre los requisitos de espacio y distribución de los servicios auxiliares.

GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR EL DISEÑO DE SS/AA

- ✓ **Contratistas:** Los contratistas pueden ser contratados para instalar o mantener los servicios auxiliares de subestaciones. Una guía de diseño les proporcionará información sobre los procedimientos de instalación y mantenimiento.
- ✓ **Operadores de subestaciones:** Los operadores de subestaciones son responsables del funcionamiento diario de las subestaciones. Una guía de diseño les proporcionará información sobre la operación y mantenimiento de los servicios auxiliares.

5.4.2 Finalidad de la guía

- ✓ **Garantizar la seguridad y la confiabilidad de las subestaciones.** Los servicios auxiliares son esenciales para el funcionamiento seguro y confiable de las subestaciones. Una guía de diseño que siga las mejores prácticas y las normas y estándares aplicables ayudará a garantizar que los servicios auxiliares se diseñen, instalen y mantengan de manera segura y confiable.
- ✓ **Facilitar el diseño, la instalación, el mantenimiento y la operación de los servicios auxiliares.** Una guía de diseño clara y concisa proporcionará a los diseñadores, instaladores, mantenedores y operadores de subestaciones la información que necesitan para realizar su trabajo de manera segura y eficiente.

5.4.3 Elaboración de un esquema

- a. En esta etapa, se elaboró un esquema de contenido para la guía. Esto ayudo a organizar el contenido de la guía y a asegurar que se cubra todos los temas relevantes. El esquema incluye:
 - ✓ **Introducción**
 - ✓ **Objetivo**

GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR EL DISEÑO DE SS/AA

- ✓ Alcance
- ✓ Definiciones
- ✓ Documento de referencia
- ✓ Contenido
- ✓ Anexos

Para la realización de los cálculos de las capacidades requeridas para los equipos que componen el sistema de servicios auxiliares, se definió el siguiente proceso para el contenido:

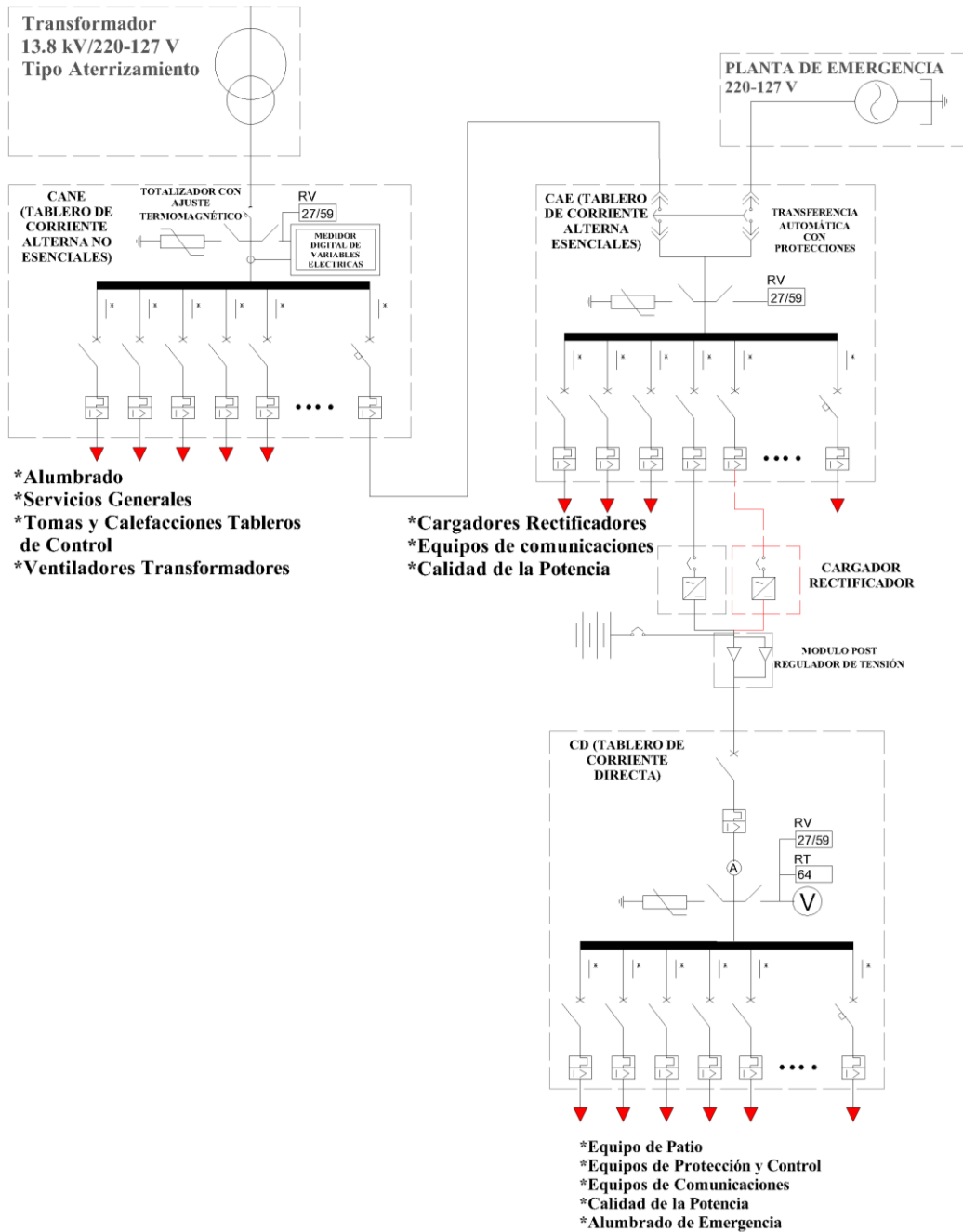
1. Cuestionamientos generales
2. Determinar las cargas asociadas a las celdas
3. Segregar las cargas en CA y CC
 - 3.1 VCC 125
 - a. No permanentes o momentáneas cargas a 125 Vcc
 - b. Permanentes a 125 Vcc
 - 3.2 VCA 208/120
 - a. Cargas esenciales a 208/120 VCA
 - b. Cargas no esenciales a 208-120 VCA
4. Dimensionamiento
 - a. Transformador
 - b. Grupo electrógeno
 - c. Cargador
 - d. Inversor
 - e. Banco de baterías
 - f. Sistema de transferencia

GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR EL DISEÑO DE SS/AA

- g. Protecciones
- h. Tableros

Figura2

Diagrama unifilar de los elementos a dimensionamiento de los servicios auxiliares



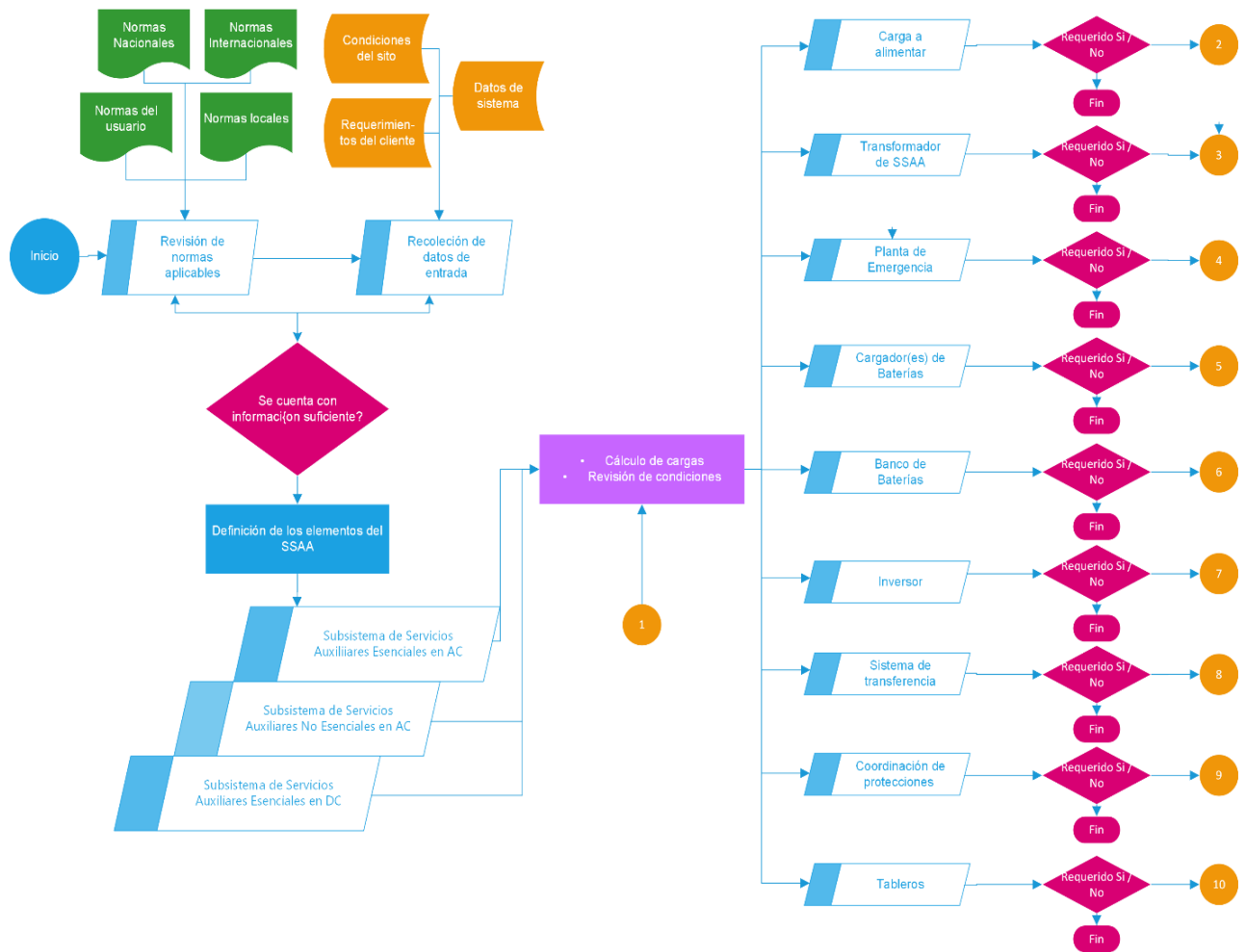
Nota. Ilustración tomada de plano de AutoCAD realizado para el proyecto

5.5 Desarrollo del contenido

Esta sección proporciona información sobre el paso a paso y los factores que deben tenerse en cuenta al diseñar servicios auxiliares de subestaciones, como la seguridad, la confiabilidad, la eficiencia y la facilidad de uso.

Figura3

Diagrama de flujo del desarrollo de la guía



Nota. Esta imagen muestra de una forma general del desarrollo de la guía metodológica de diseño de servicios auxiliares, imagen hecha con el programa de Microsoft Visio, desarrollado como elemento ilustrativo de la guía.

5.5.1 Planificación de los servicios auxiliares

En esta etapa se exponen elementos importantes para tener en cuenta durante las fases iniciales de la conceptualización del futuro sistema de servicios auxiliares. que inicia con la elección de la disposición del diseño de los auxiliares y un sistema de respaldo para situaciones de emergencia.

En lo que respecta al diseño de sistemas de servicios auxiliares y su sistema de respaldo, la elección se ve influenciada por la relevancia o importancia de la Subestación para el funcionamiento efectivo dentro del Sistema de Distribución Local (SDL). En este contexto, varios factores impactan en la determinación del criterio de selección para evaluar el grado de importancia que podría tener las subestaciones, que incluyen:

- ✓ Exigencias de confiabilidad y versatilidad.
- ✓ La configuración de la red eléctrica en la que se encuentra la subestación eléctrica.
- ✓ Características y magnitud de las cargas o consumos conectados, que abarcan desde los regulados hasta los industriales y residenciales.
- ✓ Aspectos geográficos del área en la que se encuentra la subestación.
- ✓ Identificación de instalaciones consideradas como recursos existentes del SDL para participar en el Plan de Recuperación de Servicio (PRS), o aquellas que podrían serlo en el futuro conforme al desarrollo del sistema interconectado.
- ✓ Estimación del tiempo requerido para el desplazamiento de equipos de mantenimiento o emergencia

5.5.2 Requerimientos claves para el dimensionamiento de equipos

Un factor fundamental en la evaluación de la capacidad de los Servicios Auxiliares es disponer de información técnica actualizada acerca de las cargas CA y CC que se conectarán al sistema. La documentación esencial que se requiere abarca los diagramas esquemáticos de CA y CC, junto con el cuadro de cargas actualizado, elaborados conforme a las directrices establecidas en las normativas.

Para el cuestionamiento oportuno y desarrollo del contenido se tuvieron cuenta requerimientos del sistema y operador de red, con el fin de tener una vista general de la información necesaria para el dimensionamiento de los valores nominales de cada componente que constituye el sistema de servicios auxiliares. Se ha creado una tabla en la guía que detalla los requisitos mínimos de la información necesaria, debido a que es crucial contar con información actualizada sobre los consumos de CA y CC, que puede provenir del cuadro de carga de la instalación, mediciones en el lugar o documentación proporcionada por los fabricantes.

5.5.3 Dimensionamiento de equipos

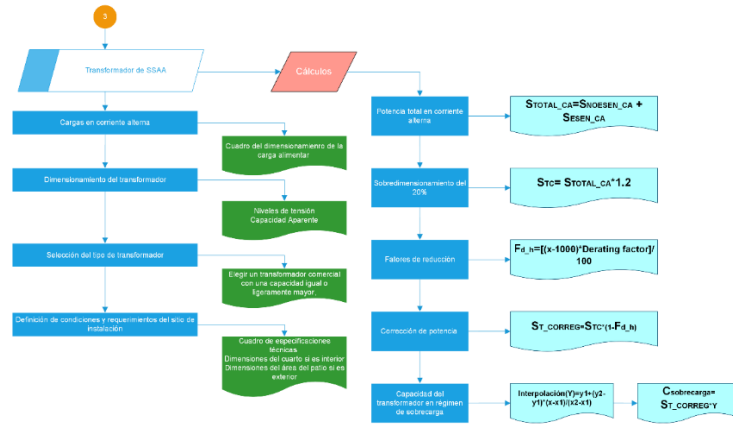
Para mejorar la comprensión y aplicabilidad de los cálculos necesarios para dimensionar de manera efectiva los servicios auxiliares en una subestación eléctrica, la guía propuesta se divide en cuatro secciones esenciales, adaptadas a un contexto más técnico y específico:

- ✓ **Diagrama de flujo de componentes:** En esta sección, se despliega un diagrama de flujo individualizado para cada componente crítico del sistema de servicios auxiliares. Estos diagramas esquematizan de forma generalizada las entradas, salidas, cálculos y pasos que deben seguirse para llevar a cabo el dimensionamiento de los equipos, proporcionando así una visión secuencial y lógica del proceso.

GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR EL DISEÑO DE SS/AA

Figura4

Diagrama de flujo del paso a paso para el dimensionamiento del transformador



Nota. Diagrama de flujo hecha con programa Microsoft Visio.

- ✓ **Cuadro de entradas y salidas:** Este cuadro detalla las entradas de información previamente recopiladas y consideradas cruciales para llevar a cabo el proceso de dimensionamiento. Además, se incluye un listado de las salidas, las cuales se correlacionan directamente con los cálculos que se efectuarán utilizando las entradas, estableciendo un proceso ordenado para la ejecución

Figura5

Captura del cuadro de entrada, salidas y cálculos de la guía.

	Entradas	Salidas	Cálculo
Transformador	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Carga total de los Servicios Auxiliares ➤ Factor de utilización de las cargas no permanentes ➤ Tensión de operación de los servicios auxiliares ➤ Tensión de Primario del Transformador ➤ Tensión de Secundario del Transformador 	Capacidad del transformador con incremento de reserva	$S_T = S_{TOTAL_CA} * 1.20$
		Capacidad reducida debido a la altitud y temperatura	$F_{d_n} = \frac{(X - 1000) * Derating\ factor}{100}$ $S_{T_CORREG} = S_{TC} * (1 - F_{d_n})$
		Verificación de la capacidad del transformador en régimen de sobrecarga:	$y = y_1 + \frac{(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)}(x - x_1)$ $C_{sobrecarga} = S_{T_CORREG} * y$

Nota. Este cuadro muestra los datos importantes para tener en cuenta para cada dimensionamiento, los resultados a obtener y los cálculos para cada resultado.

GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR EL DISEÑO DE SS/AA

- ✓ **Procedimiento detallado paso a paso:** En esta sección, se propone un procedimiento para alimentar eficazmente los componentes de los servicios auxiliares en una subestación eléctrica. Cada paso se describe minuciosamente una guía precisa para la implementación de los cálculos y recomendaciones, con sus respectivas pautas y fórmulas referenciadas en las normas y estándares vigentes.
- ✓ **Ejemplo práctico:** Con el fin de fortalecer la comprensión y aplicación de los conceptos y procedimientos mencionados en la guía, se incorpora un ejemplo práctico. A través de este ejemplo, se demuestra cómo se aplica el procedimiento en situaciones del mundo real, detallando el uso de los datos de entradas, cálculos, normas y requerimientos.

Esta estructura busca proporcionar una guía completa y clara de entender para el dimensionamiento de servicios auxiliares, abordando tanto los aspectos teóricos como prácticos de manera ordenada y coherente.

6. Fundamentación Teórica

El marco teórico de este estudio se construye a partir de diversas fuentes de conocimiento que proporcionan una sólida base para la investigación. En primer lugar, el "*Libro de Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensión*" desempeña un papel central en nuestra comprensión de las subestaciones eléctricas, ofreciendo información detallada sobre las cargas de cada barraje, tanto continuas, así como el dimensionamiento preciso de los elementos necesarios para alimentar los servicios auxiliares de una subestación.

Además, se toma en consideración el trabajo de grado titulado "*Servicios Auxiliares de Corriente Continua para la Subestación a Escala*", realizado por Omar Aguirre Giraldo y Juan Pablo Bejarano Perdomo. Este trabajo proporciona una visión valiosa y específica sobre la implementación de servicios auxiliares de corriente continua en una subestación a escala. Otro recurso esencial en nuestro marco teórico es el proyecto de grado desarrollado por Cesar Enrique Montes Sanchez y Oscar Pineda de los Santos, titulada "*Subestaciones de Servicios Auxiliares*", Este trabajo que profundiza en los aspectos relacionados con la infraestructura y los sistemas de apoyo en subestaciones eléctricas, enriqueciendo nuestra comprensión de este tema crítico.

Adicionalmente, se hace referencia al estándar IEEE Std C57.96™-1999 (R2005) de IEEE, denominado "*IEEE Guide for Loading Dry-Type Distribution and Power Transformers*". Este estándar establece directrices fundamentales relacionadas con la carga de transformadores de distribución y potencia de tipo seco, lo cual resulta esencial para el análisis de las subestaciones eléctricas y sus componentes.

GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR EL DISEÑO DE SS/AA

En conjunto, estas fuentes proporcionan un sólido marco teórico que abarca desde el dimensionamiento de elementos críticos en subestaciones hasta la implementación de servicios auxiliares en subestaciones.

6.1 Conceptos clave sobre subestaciones de media tensión en un Sistema de Distribución

Local (SDL).

Un Sistema de Distribución Local (SDL), según la Resolución CREG 070-98, se define como un sistema de transmisión de energía eléctrica compuesto por redes de distribución municipales o distritales; conformado por el conjunto de líneas y subestaciones, con sus equipos asociados, que operan a tensiones menores de 220 kV y que no pertenecen a un sistema de transmisión regional debido a su dedicación exclusiva al servicio de un sistema de distribución municipal, distrital o local. Este SDL opera a niveles de tensión media y baja y cumple una función crucial al acercar la electricidad generada en subestaciones de alta tensión a los usuarios finales, permitiendo un suministro de energía seguro y confiable en áreas locales, además de la contribución significativa a la mejora de la infraestructura eléctrica y la prestación de servicios de calidad a los usuarios finales en entornos locales.

El diseño de servicios auxiliares para subestaciones en un Sistema de Distribución Local es una tarea compleja y crítica que requiere un enfoque metódico y sistémico. La Guía Metodológica propuesta en este proyecto de grado se fundamenta en un conocimiento de los aspectos técnicos y operativos del SDL, garantizando la continuidad del suministro eléctrico de manera confiable y eficiente en situaciones normales y de emergencia. Este enfoque contribuye significativamente a la mejora de la infraestructura eléctrica y la prestación de servicios de calidad a los usuarios finales en entornos locales, se deben considerar los siguientes aspectos relevantes:

GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR EL DISEÑO DE SS/AA

- b. Niveles de Tensión: Se debe definir minuciosamente la gama de niveles de tensión que caracterizan al SDL. Estos niveles típicamente abarcan la media tensión (por ejemplo, 34.5 kV) y la baja tensión (como 220 V o 440 V), que son los voltajes utilizados para la distribución de energía eléctrica a los usuarios finales.
- c. Topología de la Red: Se debe describir en detalle la configuración topológica del SDL, lo cual engloba la disposición de subestaciones, transformadores de distribución, líneas de alimentación, y las interconexiones entre los circuitos. Este análisis permite comprender la estructura física de la red eléctrica.
- d. Consumidores y Cargas: Identificar con precisión los perfiles de consumidores que son servidos por el SDL, incluyendo segmentos residenciales, comerciales e industriales. Además, es crucial caracterizar las cargas en términos de sus demandas energéticas y patrones de uso, permitiendo un diseño y operación más eficientes del SDL.
- e. Interconexión con la Red de Alta Tensión: Se debe especificar cómo el SDL se enlaza con la red de alta tensión, usualmente a través de subestaciones de transformación. Esto implica la definición de los puntos de conexión y las capacidades de transformación requeridas.
- f. Marco Regulatorio: Abordar las regulaciones y normativas que rigen el funcionamiento y diseño del SDL, garantizando el cumplimiento con los estándares y requisitos legales establecidos por las autoridades pertinentes.
- g. Resiliencia y Confiabilidad: Detallar las estrategias y sistemas empleados para asegurar la resiliencia y confiabilidad del suministro eléctrico en el SDL,

GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR EL DISEÑO DE SS/AA

incluyendo planes de contingencia y procedimientos de respuesta ante eventos adversos.

- h. Calidad del Suministro: Analizar aspectos relacionados con la calidad del suministro eléctrico, tales como la estabilidad de la tensión, frecuencia y medidas de mitigación de perturbaciones eléctricas, con el propósito de garantizar un suministro de alta calidad.
- i. Eficiencia Energética: Hacer hincapié en la importancia de la eficiencia energética en el SDL, explorando prácticas de gestión de la demanda, tecnologías de conservación de energía y medidas destinadas a reducir pérdidas energéticas en la red.
- j. Medición y Control: Definir los sistemas de medición y control utilizados para monitorear y gestionar el suministro eléctrico en el SDL, incorporando tecnologías avanzadas como medidores inteligentes y sistemas de automatización.
- k. Perspectivas de Desarrollo: Contemplar las proyecciones de crecimiento y evolución del SDL, anticipando las futuras demandas de energía, expansiones de infraestructura y cambios en la operación y gestión del sistema.

6.2 Estudio de cargas

En el ámbito de los servicios auxiliares de subestaciones eléctricas, es fundamental comprender la naturaleza de las cargas eléctricas. Las cargas, en este contexto, son componentes pasivos que requieren energía para su funcionamiento.

Su denominación puede variar según el autor, pero para fines de clasificación, en el presente proyecto se categorizaron como Cargas de Corriente Alterna y Cargas de Corriente Directa.

6.2.1 Cargas de corriente alterna

Las cargas de corriente alterna (CA o AC) son aquellos dispositivos, equipos o sistemas eléctricos o electrónicos que se conectan al barraje de corriente alterna para funcionar. En particular, cuando se trata de Cargas de Corriente Alterna relacionadas con los servicios auxiliares, se adopta un enfoque que depende de la capacidad nominal de la planta de emergencia. Si las cargas de Corriente Alterna se mantienen dentro de esta capacidad, se emplea un único bus para su alimentación. Sin embargo, cuando estas cargas superan la capacidad de la planta de emergencia, se hace necesario subdividir las en dos categorías: Cargas esenciales y Cargas no esenciales. Para llevar a cabo esta división, se suelen separar las barras de Corriente Alterna del tablero de servicios auxiliares y se conectan mediante un interruptor de transferencia automática. Esta separación resultará en dos categorías de servicios en las barras de Corriente Alterna del tablero de Servicios auxiliares: Servicio Normal y Servicio Emergencia.

6.2.1.1 Cargas esenciales. Hacen referencia a aquellas cargas eléctricas que son críticas y fundamentales para el funcionamiento seguro y continuo de una subestación eléctrica en situaciones normales y especialmente en situaciones de emergencia o fallas en el suministro eléctrico. Estas cargas deben recibir alimentación eléctrica ininterrumpida para garantizar que las operaciones vitales no se vean afectadas.

- ✓ Las cargas esenciales pueden variar dependiendo del entorno y el criterio del ingeniero a cargo del diseño, pero algunos ejemplos comunes de cargas esenciales incluyen:
- ✓ Sistemas de Control y Monitoreo: Estos sistemas son esenciales para supervisar y controlar el funcionamiento de equipos críticos en una instalación, como una

GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR EL DISEÑO DE SS/AA

subestación eléctrica. Cualquier interrupción en la alimentación eléctrica a estos sistemas podría resultar en la pérdida de control y la incapacidad para tomar medidas correctivas.

- ✓ **Sistemas de Emergencia:** Luces de emergencia, alarmas contra incendios, sistemas de extinción de incendios, y sistemas de evacuación que deben funcionar ininterrumpidamente en caso de una emergencia.
- ✓ **Comunicación de Emergencia:** Equipos de comunicación de emergencia, como radios y sistemas de telecomunicaciones, que son vitales para la coordinación de la respuesta en situaciones de crisis.
- ✓ **Seguridad:** Sistemas de seguridad electrónica, como cámaras de vigilancia y sistemas de acceso, que deben operar de manera continua para mantener la seguridad en una subestación

6.2.1.2 Cargas no esenciales. Aquellas cargas eléctricas que no son críticas para el funcionamiento esencial y seguro de la subestación eléctrica en situaciones normales o de emergencia. Estas cargas se consideran menos importantes y pueden ser desconectadas temporalmente si es necesario priorizar la alimentación de las cargas esenciales y garantizar la operación continua y segura de la subestación, algunos ejemplos de cargas no esenciales en una subestación eléctrica podrían incluir:

- ✓ **Iluminación no esencial:** Luces en áreas no críticas o áreas de almacenamiento que pueden ser apagadas temporalmente sin afectar la operación de la subestación.
- ✓ **Sistemas de climatización no esenciales:** Unidades de aire acondicionado o calefacción en áreas no críticas de la subestación que pueden ser detenidas en caso de necesidad.

GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR EL DISEÑO DE SS/AA

- ✓ Equipos de monitoreo no esenciales: Instrumentos o sistemas de monitoreo que no son críticos para la seguridad inmediata o el control de la subestación.
- ✓ Equipos de oficina: Dispositivos de oficina, como impresoras y computadoras, que pueden no ser esenciales en el contexto de la operación de la subestación.
- ✓ Sistemas de comunicación no esenciales: Equipos de comunicación que no son necesarios para la operación esencial de la subestación y que pueden ser apagados temporalmente.
- ✓ La capacidad de desconectar cargas no esenciales en una subestación eléctrica es importante porque permite conservar la energía en situaciones de emergencia o durante cortes de energía prolongados. Esto garantiza que las cargas esenciales, como los sistemas de control, protecciones, comunicaciones y seguridad, continúen funcionando sin interrupciones, lo que es fundamental para mantener la operación segura y estable de la subestación eléctrica.

6.2.2 Cargas de corriente directa

Dispositivos y equipos que se conectan al barraje de corriente continua (CD o DC) dentro de la subestación, algunos ejemplos pueden ser los sistemas de control, protección, comunicaciones y monitoreo, donde es necesario garantizar mediciones precisas y acciones de control confiables. La CD evita las fluctuaciones de voltaje y polaridad que pueden ocurrir en sistemas de corriente alterna (CA), además que los dispositivos electrónicos y sistemas de corriente continua pueden responder más rápidamente a las señales de control y cambios en las condiciones del sistema en comparación con los sistemas de CA. Esto es esencial para la detección y la respuesta inmediata a fallas o eventos anormales en la subestación.

GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR EL DISEÑO DE SS/AA

6.2.2.1 Cargas permanentes. Están activas durante todo el ciclo de trabajo. Estas cargas incluyen aquellas que normalmente son manejadas por el cargador de las baterías (también conocido como banco de baterías) y las que se inician al comienzo del ciclo de trabajo. Ejemplos típicos de cargas continuas son iluminación de emergencia, motores que operan continuamente, convertidores (por ejemplo, inversores), luces indicadoras, bobinas energizadas continuamente, cargas de anunciadores y sistemas de comunicación.

6.2.2.2 Cargas no permanentes. Son cargas que se activan solo durante una parte del ciclo de trabajo. Estas cargas pueden encenderse en cualquier momento dentro del ciclo de trabajo, tener una duración establecida, retirarse automáticamente o por acción del operador, o continuar hasta el final del ciclo de trabajo.

6.3 Componentes

En el presente proyecto de grado, se presenta una descripción de estos componentes vitales y las configuraciones secundarias que constituyen los servicios auxiliares en subestaciones de media tensión. A lo largo de este documento, se describirán cada uno de estos elementos, allanando el camino para una comprensión completa de los servicios auxiliares en subestaciones de media tensión para un SDL. Esta descripción permitirá a los lectores familiarizarse con la funcionalidad y la importancia de cada componente, así como comprender cómo contribuyen a la operación segura y fiable de las subestaciones eléctricas.

6.3.1 Transformador de potencia

Figura6

Transformador de potencia de los servicios auxiliares.



Nota. Imagen tomada de la subestación San Gil

Un transformador de potencia de servicios auxiliares en las subestaciones eléctricas es un componente esencial diseñado para desempeñar un papel fundamental en el suministro de energía eléctrica a los sistemas y equipos necesarios para garantizar el funcionamiento seguro, confiable y eficiente de la subestación. Este componente comprende una variedad de equipos, como sistemas

GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR EL DISEÑO DE SS/AA

de control, iluminación, sistemas de seguridad, sistemas de refrigeración, sistemas de comunicación, tomas de servicio, facilidades para la alimentación de equipos de mantenimiento y otros dispositivos que no están directamente involucrados en la transmisión o distribución de energía eléctrica a los usuarios finales.

El transformador de servicios auxiliares cumple su función principal al transformar la tensión de entrada, que generalmente se encuentra en un nivel de transmisión (230, 115, 34.5, 13.8kV), a niveles de tensión más bajos que son adecuados para alimentar los sistemas auxiliares de la subestación, típicamente en el rango de distribución (como 480V, 220, 120V, etc.).

Para asegurar un diseño y funcionamiento adecuados, es esencial que los transformadores de servicios auxiliares cumplan con un conjunto de normativas y estándares tanto locales como internacionales. Algunas de las consideraciones normativas y lineamientos relevantes incluyen:

Normativas locales: Los transformadores deben cumplir con las regulaciones y normativas específicas del país o región en la que se instalan. Estas regulaciones pueden variar y pueden abordar aspectos como la seguridad eléctrica, las emisiones electromagnéticas y otros requisitos locales como por ejemplo de tipo ambiental.

Normas internacionales: Se deben seguir las normas y estándares internacionales reconocidos en la industria eléctrica, como las normas IEC (Comisión Electrotécnica Internacional) o IEEE (Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos), que proporcionan directrices detalladas para el diseño, fabricación, pruebas y mantenimiento de transformadores

Capacidad de carga: La capacidad de carga del transformador debe dimensionarse cuidadosamente para garantizar que pueda suministrar energía de manera confiable a todos los sistemas auxiliares de la subestación, incluso durante condiciones de máxima carga. Esto implica

GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR EL DISEÑO DE SS/AA

un análisis detallado de la demanda de energía de los sistemas auxiliares y la selección de un transformador con la capacidad adecuada.

Eficiencia energética: Para minimizar las pérdidas de energía durante la transformación, se deben seguir pautas de eficiencia energética y seleccionar transformadores que cumplan con los requisitos de eficiencia energética establecidos en las normas aplicables.

Protección y seguridad: Los transformadores de servicios auxiliares deben contar con sistemas de protección adecuados, como relés de protección, fusibles y dispositivos de desconexión, para garantizar su funcionamiento seguro y la desconexión en caso de fallas o condiciones anormales.

Mantenimiento y monitoreo: Se deben implementar sistemas de monitoreo y tener en cuenta recomendaciones de mantenimiento preventivo para garantizar la operación continua y confiable del transformador, reduciendo al mínimo el tiempo de inactividad no planificado.

Aislamiento y seguridad: Los transformadores deben estar diseñados con materiales y métodos de aislamiento adecuados para garantizar la seguridad de los operadores y minimizar el riesgo de cortocircuitos y fallas.

Cumplimiento regulatorio: Es esencial que el diseño, fabricación e instalación del transformador cumpla con todos los requisitos regulatorios y de seguridad aplicables.

El dimensionamiento adecuado de los transformadores de distribución y de potencia es un aspecto crucial en el diseño de subestaciones convencionales de media tensión para sistemas de distribución local (SDL). Para abordar esta necesidad de manera precisa y confiable, es fundamental recurrir a normativas y guías técnicas reconocidas en la industria eléctrica. En este contexto, la IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) se destaca como una fuente confiable y respetada en la elaboración de pautas y estándares para el diseño y operación de

GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR EL DISEÑO DE SS/AA

sistemas eléctricos. El libro de subestaciones de alta y extra alta propone que la selección adecuada de un transformador de servicios auxiliares es un proceso crítico en el diseño de sistemas eléctricos. Implica una serie de consideraciones fundamentales que deben abordarse cuidadosamente para garantizar un rendimiento óptimo y una operación segura del sistema. Las principales consideraciones incluyen los siguientes aspectos:

- ✓ Capacidad en kVA: El primer paso en la selección de un transformador es determinar la capacidad requerida en kVA (kilovoltamperios). Esto se basa en la demanda estimada del sistema que el transformador alimentará.
- ✓ Nivel de Tensión: Se debe especificar el nivel de tensión de entrada y salida del transformador, lo que determina la relación de transformación necesaria.
- ✓ Relación de Transformación: La relación de transformación es la relación entre el voltaje de entrada y el voltaje de salida del transformador. Debe ser seleccionada de acuerdo con los requisitos de diseño y las normativas aplicables.
- ✓ Nivel de Aislamiento: El nivel de aislamiento del transformador debe ser adecuado para garantizar la seguridad y la fiabilidad del sistema eléctrico.
- ✓ Medio de Aislamiento: Se debe elegir el medio de aislamiento adecuado, que puede ser aceite dieléctrico u otros materiales aislantes, según las necesidades del proyecto.
- ✓ Tipo de Enfriamiento: Los transformadores pueden enfriarse de diversas formas, como sumergidos en aceite, convección natural o forzada. La elección del tipo de enfriamiento afecta la capacidad de carga del transformador.
- ✓ Impedancia: La impedancia del transformador es importante para limitar las corrientes de cortocircuito y garantizar la estabilidad del sistema.

GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR EL DISEÑO DE SS/AA

Para determinar la capacidad total del transformador, se debe realizar un análisis de carga que considere la demanda máxima esperada, esto implica la suma de todas las potencias suministradas por cada circuito, multiplicadas por un factor de demanda. A este subtotal se le agrega un porcentaje adicional de su valor, que actúa como un margen de seguridad para acomodar posibles aumentos de carga no previstos en el diseño inicial o variaciones en las potencias suministradas. Además, se aplica un factor de utilización para tener en cuenta que no todos los circuitos consumen energía simultáneamente, evitando así un sobredimensionamiento innecesario del transformador.

Es importante destacar que los transformadores de servicio auxiliares están diseñados para soportar sobrecargas significativas durante periodos prolongados, lo que significa que no es necesario considerar las demandas de corta duración, como el arranque de motores, desde el punto de vista del calentamiento del transformador.

La IEEE Guide for Loading Dry-Type Distribution and Power Transformers (IEEE C57.96) es una de las guías más destacadas y ampliamente reconocidas en lo que respecta a la evaluación de cargas y la determinación de la capacidad de transformadores de distribución y potencia en sistemas eléctricos. Esta guía proporciona pautas detalladas para calcular y evaluar la carga y la capacidad térmica de los transformadores secos, considerando factores clave como la temperatura ambiente, la resistencia térmica y la capacidad de sobrecarga. Además, ofrece recomendaciones para garantizar la durabilidad y el rendimiento eficiente de estos componentes críticos en la red eléctrica.

En el contexto del desarrollo de este proyecto se ha optado por incorporar y aplicar los principios y directrices establecidos en la IEEE C57.96. Esto se hace con el propósito de asegurar que el diseño de las subestaciones y, en particular, la selección y dimensionamiento de los

GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR EL DISEÑO DE SS/AA

transformadores de distribución y potencia, se realice de acuerdo con estándares reconocidos y ampliamente aceptados en la industria eléctrica, permitiendo una evaluación más precisa y confiable de la capacidad de carga de los equipos, lo que, a su vez, contribuirá a la eficiencia y confiabilidad del sistema de distribución local (SDL). Además, al seguir las pautas de esta guía, se promoverá la durabilidad y la vida útil de los transformadores, lo que resultará en un menor costo de operación y mantenimiento a lo largo del tiempo

6.3.2 Planta de emergencia

Figura7

Planta de emergencia.



Nota. Imagen tomada de la subestación San Gil.

En términos simplificados, un grupo electrógeno es un dispositivo generador de energía eléctrica que se compone de un motor de combustión interna acoplado a un generador eléctrico, lo que implica la conversión de energía química almacenada en el combustible en energía mecánica en el eje del motor y, posteriormente, en energía eléctrica mediante el uso de un alternador. Los grupos electrógenos también incluyen componentes auxiliares esenciales para su funcionamiento adecuado, tales como un panel de control, un chasis o estructura de soporte que sustenta la unidad, y en algunos casos, cámaras insonorizadas con el propósito de reducir los niveles de decibelios generados por el motor.

En el contexto de una subestación eléctrica, un grupo electrógeno se utiliza como parte de los servicios auxiliares. Su función principal es proporcionar una fuente de energía de respaldo en

GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR EL DISEÑO DE SS/AA

caso de interrupción en el suministro eléctrico principal. Esto es esencial para garantizar la continuidad del funcionamiento de la subestación y mantener la estabilidad de la red eléctrica.

Algunas de las funciones que cumple un grupo electrógeno en una subestación eléctrica incluyen el suministro de energía de respaldo en caso de cortes o fallas en el suministro eléctrico principal, debido a que el grupo electrógeno entra en funcionamiento automáticamente para garantizar que la subestación continúe operando y manteniendo el flujo de energía en la red eléctrica, asegurando que los sistemas de control, comunicación y seguridad de la subestación sigan funcionando, lo que es crucial para evitar accidentes y garantizar un funcionamiento seguro. Por otro lado, los grupos electrógenos pueden ayudar a mantener la estabilidad de la tensión y la frecuencia en la red eléctrica durante situaciones de emergencia, lo que es esencial para evitar daños en equipos sensibles y para que la red siga funcionando de manera eficiente. El proceso de cálculo y dimensionamiento de grupos electrógenos de emergencia, tal como se describe en este proyecto de grado, se basa en el enfoque recomendado por el libro "*Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensión*"

En primer lugar, se determina la demanda total de energía (kW) que el generador debe suministrar, considerando la suma de todas las cargas, multiplicadas por sus respectivos factores de demanda y teniendo en cuenta un factor de coincidencia. Además, se evalúa el factor de potencia de las cargas, y en caso de que este sea inferior a 0,8, se recomienda la corrección mediante el uso de condensadores, de acuerdo con las prácticas de eficiencia energética.

Asimismo, se establece un enfoque específico para el cálculo de la potencia de arranque de los motores presentes en el sistema. Se reconoce que los motores de ventiladores presentan potencia de arranque aproximadamente diez veces mayores que sus potencias nominales, mientras

GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR EL DISEÑO DE SS/AA

que los motores de inducción de jaula de ardilla, comunes en las subestaciones, generalmente no superan los 6,5 veces el valor asignado.

Finalmente, los kVA demandados se calculan utilizando la expresión proporcionada en el libro de referencia, que tiene en cuenta la demanda total a suministrar por el grupo electrógeno a los consumidores, incluyendo el arranque de los motores, así como la carga normal de funcionamiento y los kVA de arranque de los motores que pueden iniciar simultáneamente, siguiendo las pautas y datos establecidos en el libro.

6.3.3 Cargador de baterías

Los cargadores de baterías son dispositivos que mantienen las baterías al nivel de carga nominal (flotación). Estos dispositivos convierten la corriente alterna (CA o AC) en corriente continua (CC) y regulan la tensión de flotación de las baterías. Para cada banco de baterías, generalmente se utilizan dos cargadores, uno como sustituto del otro, en caso de que uno falle. Los cargadores se instalan físicamente en un cuarto cercano al de las baterías, más no en el mismo, para protegerlos de los gases que desprenden éstas. La capacidad de los cargadores debe poder mantener la carga de flotación a tensión constante y, al mismo tiempo, suministrar el consumo de la carga permanente. También se debe tener en cuenta:

- ✓ En el caso de que el cargador esté suministrando la carga completa y simultáneamente aparezca un pico de carga extra, la batería suministrará la diferencia de carga.
- ✓ En el caso de una falla en la corriente alterna, en que la batería alimenta todas las instalaciones de emergencia, más las suyas propias, al regresar aquélla el cargador debe poder suministrar la demanda normal y recargar la batería hasta el valor de flotación.
- ✓ La capacidad del cargador se selecciona a base de obtener el periodo de carga rápida, en un tiempo máximo de 5 horas, en las condiciones más desfavorables
- ✓ Los cargadores deben tener protección de sobrecarga y de cortocircuito, en el lado de corriente alterna y en el de directa. Además, deben tener supervisión por medio de voltímetro y amperímetro, en la salida de corriente directa.
- ✓ El gabinete que soporta el cargador puede ir sobre el suelo o montado en una pared

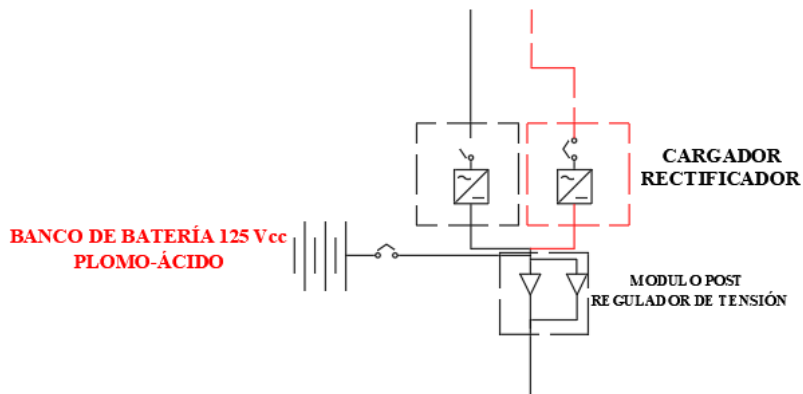
Un cargador de baterías de 48 V_{CC} se utiliza para alimentar el inversor y los sistemas de comunicaciones, mientras que el de 125 V_{DC} es usado para los elementos asociados a control, las protecciones y la medida dentro de la subestación.

GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR EL DISEÑO DE SS/AA

A continuación, se presenta un ejemplo del diagrama unifilar de un cargador rectificador con un banco de baterías:

Figura8

Cargador rectificador



Nota. Imagen tomada del programa AutoCAD

6.3.4 Baterías

Todos los circuitos de mando y control de una subestación eléctrica de potencia necesitan de una fuente de energía independiente y de confianza, capaz de asegurar el servicio a los elementos críticos en todo momento y sobre todo, en circunstancias de emergencia por falta del servicio general de la red.

Las únicas fuentes de energía que reúnen las condiciones anteriores son las baterías de acumuladores de corriente continua, las cuales en caso de falla pueden seguir suministrando el servicio a los circuitos indispensables durante el tiempo permitido por sus características (tiempo de descarga), considerado suficiente para que se reponga el servicio normal. Existen dos grandes grupos de baterías., las de tipo ácido y las de tipo alcalinas, cada una de las cuales tienen características muy diferentes y causan problemas y diferencias que han sido superados parcialmente, Las baterías deben cumplir con la normatividad ambiental vigente.(RETIE)

Donde la tendencia es utilizar una tensión nominal de 125 V_{CD} para equipos de Servicio Propio de la subestación como: Iluminación de emergencia y servicios de control y para todas las tensiones para subestaciones al cual estén diseñados (120, 208 V) Por lo cual se menciona en las normas vigente, las cuales son Norma Técnica Colombiana NTC 2050-2:2021, "Subestaciones eléctricas: Diseño, construcción y operación". Y la Norma Técnica Colombiana NTC 2050-3:2021, "Subestaciones eléctricas: Servicios auxiliares".

Según estas normas, los voltajes mínimo y máximo de operación para los bancos de baterías en las subestaciones son los siguientes:

- ✓ Voltaje mínimo: El voltaje mínimo de operación para los bancos de baterías es del 85% de la tensión nominal del banco.

GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR EL DISEÑO DE SS/AA

- ✓ Voltaje máximo: El voltaje máximo de operación para los bancos de baterías es del 110% de la tensión nominal del banco.

Los principales componentes de la "tipo ácido" se componen de:

- ✓ Placa positiva: Su construcción se basa en la combinación de óxidos de plomo y ácido sulfúrico.
- ✓ Placa negativa: formada por plomo esponjoso
- ✓ Electrolito. Es una solución "Ácido sulfúrico diluido en agua con una densidad de 1.21 a 25°C a su 100% de carga
- ✓ Separadores: Material micro poroso resistente al ácido.

Para "baterías del tipo Alcalina":

- ✓ Placa positiva: Su construcción se basa en la combinación de óxidos de plomo y ácido sulfúrico
- ✓ Placa negativa: Constituido por ácido de CADMIO.
- ✓ Separadores: Constituido de barras de polietileno o hule.
- ✓ Electrolito. Es un hidróxido de potasio a una densidad de 1.17 a 25°C

Tensiones características de acumuladores en volts por celda

Tabla1

Tabla de tensiones normalizadas.

Tensión	Plomo-Ácido	Níquel-Cadmio
Nominal	2.0	1.2
Final	1.75	1.14
Flotación	2.15	1.40
Igualación	2.33	1.55

Notas: Tensiones características de acumuladores en volts por celda.

GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR EL DISEÑO DE SS/AA

Tabla2

Tabla de valores correspondientes para un sistema de 125 y 48 volts.

Valores	Plomo-Ácido		Níquel-Cadmio	
	1.25 V	48V	125 V	48V
Número de celda	60	24	92	40
Nominal	120	48	110	48
Final	105	42	105	45.6
Flotación	129	51.6	129	56
Igualación	140	56	143	62

Nota. En esta tabla se muestra los valores de tensión para sistema de 125 y 48 volts.

Los cuartos en que se instalan las baterías del tipo ácido deben estar provisto de un extractor de gases, que deberá ponerse en funcionamiento antes de la apertura de la puerta de entrada del personal, con el fin de eliminar la posibilidad acumulación de hidrógeno que se desprende durante la descarga intensa de las baterías que, en presencia de alguna chispa originada en la ropa del personal (electricidad estática) que entra, puede provocar una explosión.

Los cuartos de baterías deben cumplir con los siguientes requisitos de seguridad según el RETIE:

- ✓ No deben existir vapores de sustancias volátiles que puedan reaccionar con las baterías.
- ✓ No deben tener comunicación directa con el centro de control.
- ✓ Deben ser secos, bien ventilados y no estar sujetos a vibraciones.
- ✓ Deben contar con un dispositivo para lavado de ojos y manos en caso de emergencia.

Vida Útil de las Baterías: La vida útil de una batería de ciclo profundo depende de muchos factores, incluyendo el uso, el mantenimiento, el método de recarga, la temperatura y otros factores. En casos extremos, la vida útil puede variar significativamente. Por ejemplo, una batería

GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR EL DISEÑO DE SS/AA

puede morir en un año si se sobrecarga severamente, pero otra batería puede durar más de 25 años si se usa y se mantiene adecuadamente.

Temperatura: La temperatura puede afectar la vida útil de una batería. Las baterías deben almacenarse y usarse en condiciones de temperatura controladas. Debido a que, al aumentar la temperatura, sobre 25°C, se incrementan las pérdidas, por lo que se aplica factores de corrección de temperatura para determinar la capacidad en amper-hora del banco de baterías, los factores de corrección:

- ✓ Factor de diseño
- ✓ Factor de envejecimiento
- ✓ Factor de temperatura

Necesidad de servicio: Es indispensable conocer las características físicas de los aparatos que serán alimentadas por el banco, así como el ciclo de operación. Algunas de las cargas conectadas a las barras se mencionan a continuación:

- ✓ Bobinas de cierre
- ✓ Bobina disparo
- ✓ Luces piloto de señalización
- ✓ Relé de protección
- ✓ Relé Auxiliar
- ✓ Cuadros de alarma

Baterías en Flotación: Es la condición de régimen permanente que mantiene las baterías cargadas. En esta etapa el nivel de tensión aplicado a las baterías es superior al voltaje nominal del banco, a fin de mantenerlas cargadas

GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR EL DISEÑO DE SS/AA

Baterías en Descarga: En esta etapa la energía acumulada en las baterías alimenta la carga, con la consecuente disminución progresiva de su tensión hasta que llega a su valor denominado umbral de descarga, a partir del cual las baterías deben ser recargadas

Carga Automática: Es el proceso de carga que se inicia al momento en que retoma la red de alimentación. La tensión en las baterías parte del valor de inicio de carga y va aumentando linealmente hasta alcanzar el nivel ajustado para la carga de ecualización Para las baterías selladas, el nivel de tensión de carga es igual al de flotación

Carga de Ecualización: Es el proceso de carga a un nivel de tensión por encima al voltaje de flotación para garantizar la carga efectiva de la batería este tipo de carga solo aplica a las baterías tipo. Abiertas

Ciclo de Carga: El banco de baterías es recargado aplicando un umbral inicial de tensión e incrementando progresivamente esta hasta alcanzar el voltaje de ecualización, permaneciendo en este nivel hasta el final del ciclo.

Dimensionamiento: El dimensionamiento de un banco de baterías es un proceso crítico para garantizar que el sistema de baterías satisfaga las necesidades de energía de una aplicación específica. En la guía se ajustó a la La norma IEEE Std 485, "*IEEE Recommended Practice for Sizing and Applying Batteries for Stationary Applications*", es una recomendación práctica que proporciona orientación sobre el dimensionamiento y la aplicación de baterías para aplicaciones estacionarias. La norma cubre una amplia gama de temas, incluyendo:

- ✓ Tipos de baterías
- ✓ Características de las baterías
- ✓ Dimensionamiento de baterías
- ✓ Instalación de baterías

GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR EL DISEÑO DE SS/AA

- ✓ Mantenimiento de baterías

La norma IEEE Std 485-1997 proporciona una guía valiosa para garantizar que las baterías se dimensionen y apliquen correctamente para satisfacer las necesidades de la aplicación específica. Algunos de los aspectos más importantes de la norma IEEE Std 485 son:

- ✓ El dimensionamiento de la batería debe basarse en la carga prevista y el tiempo de autonomía requerido.
- ✓ La batería debe seleccionarse en función de sus características, como el tipo de batería, la tensión, la capacidad, la vida útil y el costo.
- ✓ La batería debe instalarse en un lugar adecuado, con la ventilación y la protección necesarias.
- ✓ La batería debe mantenerse de acuerdo con las instrucciones del fabricante.
- ✓ Tensión: La tensión de la batería debe ser compatible con el voltaje de funcionamiento de los servicios auxiliares.
- ✓ Factores de diseño: Los factores para considerar en el diseño de baterías para servicios auxiliares son los siguientes:
 - ✓ Capacidad: La capacidad de la batería debe ser suficiente para alimentar los servicios auxiliares durante el tiempo necesario.
 - ✓ Duración: La duración de la batería debe ser suficiente para cubrir el período de tiempo entre la falla del suministro eléctrico principal y la restauración de este suministro.

6.3.5 Protecciones

Los sistemas de protección están diseñados para minimizar el impacto de las fallas en los sistemas eléctricos. Esto se logra aislando la falla lo más rápido posible, lo que evita que se dañen los equipos y se pongan en peligro las personas. Los esquemas de protección y relés deben estar diseñados cuidadosamente para garantizar que detecten y respondan a las fallas de manera rápida y precisa.

Algunos de los beneficios de los sistemas de protección bien diseñados incluyen:

- ✓ Protección de los equipos y las personas de daños
- ✓ Continuidad del servicio eléctrico
- ✓ Reducción de los costos de mantenimiento
- ✓ Los sistemas de protección son un componente esencial de la seguridad y la confiabilidad de los sistemas eléctricos.

La coordinación de protecciones en servicios auxiliares es un proceso que consiste en ajustar los dispositivos de protección de forma que actúen de manera secuenciada y ordenada para aislar una falla, sin el funcionamiento de los servicios auxiliares que no están afectados.

Los dispositivos de protección utilizados en los servicios auxiliares son los siguientes:

- ✓ Interruptores automáticos: Son dispositivos que se utilizan para abrir y cerrar circuitos eléctricos. En caso de falla, los interruptores automáticos se disparan para aislar la falla del circuito.
- ✓ Relés de protección: Son dispositivos que detectan fallas y activan los interruptores automáticos.

Algunos beneficios de la coordinación de protecciones en servicios auxiliares son los siguientes:

GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR EL DISEÑO DE SS/AA

- ✓ Protección de los equipos y las personas: La coordinación de protecciones ayuda a proteger los equipos y las personas de daños en caso de falla.
- ✓ Continuidad del servicio eléctrico: La coordinación de protecciones ayuda a garantizar la continuidad del servicio eléctrico en caso de falla.
- ✓ Reducción de los costos de mantenimiento: La coordinación de protecciones ayuda a reducir los costos de mantenimiento al evitar daños a los equipos.

Interruptores termomagnéticos son dispositivos de protección que se utilizan para proteger los circuitos eléctricos de sobrecargas y cortocircuitos. En caso de sobrecarga, el interruptor termomagnético se disparará para aislar el circuito de la fuente de alimentación. En caso de cortocircuito, el interruptor termomagnético se disparará para interrumpir la corriente de falla y proteger los equipos y las personas de daños, se utilizan en la coordinación de protecciones para garantizar que los dispositivos de protección actúen de manera secuenciada y ordenada para aislar una falla, sin afectar al funcionamiento de los circuitos que no están afectados.

Para garantizar la selectividad, los interruptores termomagnéticos se deben seleccionar y ajustar adecuadamente. El ajuste del interruptor termomagnético se basa en la corriente de falla esperada en el circuito. Los interruptores termomagnéticos utilizados en la coordinación de protecciones deben cumplir con los siguientes requisitos:

- ✓ Capacidad de interrupción: La capacidad de interrupción es la máxima corriente que un interruptor termomagnético puede interrumpir de forma segura.
- ✓ Tiempo de disparo: El tiempo de disparo es el tiempo que tarda un interruptor termomagnético en dispararse en respuesta a una falla.

Relés de protección: Los relés de protección son dispositivos que se utilizan para detectar y aislar las fallas en los sistemas eléctricos, la función principal de los relés de protección es

GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR EL DISEÑO DE SS/AA

desconectar el equipo defectuoso lo más rápido posible. Esto ayuda a prevenir daños a los equipos y personas, y también ayuda a mantener la continuidad del servicio eléctrico. Los relés de protección trabajan en conjunto con los interruptores automáticos. Los interruptores automáticos son los dispositivos que realmente desconectan el equipo defectuoso. Una función secundaria de los relés de protección es proporcionar información sobre la ubicación y el tipo de falla. Esta información puede ser utilizada para analizar las causas de la falla y tomar medidas para prevenir futuras fallas.

Determinación del grado protección requerida. Cada instalación eléctrica en servicio puede estar expuesta a defectos eléctricos. Se trata en la mayoría de los casos de cortocircuito, pero también de sobrecargas, de sobretensiones etc. Estos defectos pueden poner en peligro parte de la instalación o reducir considerablemente su duración de vida. Un conocimiento exacto de estos riesgos es la condición previa para la concepción de un dispositivo de protección económicamente rentable y técnicamente óptimo.

Protección principal y de respaldo. La protección de un circuito a elemento de un sistema se puede dividir en dos partes, la protección principal y la protección de respaldo.

La protección principal es la primera línea de defensa contra los cortocircuitos y anomalías del sistema; debe operar instantáneamente por fallas dentro de la zona o elemento que le toca proteger.

La protección de respaldo es una protección sustitutiva de la protección principal en el evento de una falla o inhabilidad de la protección principal para efectuar una función.

Análisis de cortocircuito El análisis de cortocircuito es un proceso que se utiliza para determinar la magnitud y la forma de onda de la corriente de cortocircuito en un sistema eléctrico.

GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR EL DISEÑO DE SS/AA

Este análisis se utiliza para diseñar y seleccionar los dispositivos de protección que se utilizarán para aislar las fallas de manera segura y eficaz.

Los resultados del análisis de cortocircuito se utilizan para seleccionar los dispositivos de protección que se utilizarán para aislar las fallas. Los dispositivos de protección deben ser capaces de interrumpir la corriente de cortocircuito sin dañarse.

6.3.6 Tableros

Los tableros de servicios auxiliares (TSA) son equipos eléctricos que se utilizan para distribuir la energía eléctrica a los equipos y sistemas que son esenciales para el funcionamiento seguro y eficiente de una subestación eléctrica. Los diferentes circuitos eléctricos dentro de una subestación son equipos de patio, iluminación exterior, tomacorrientes, auxiliares de tableros de control y protección, tableros de telecomunicaciones, cargadores rectificadores, entre otros. Estos hacen posible que siga en operación, manteniendo las protecciones activas, y reportando al centro de control.

La cantidad de tableros dependerá de la complejidad de la subestación. Normalmente se utiliza un tablero principal y tableros secundarios, aunque esto podría variar dependiendo de lo anteriormente mencionado.

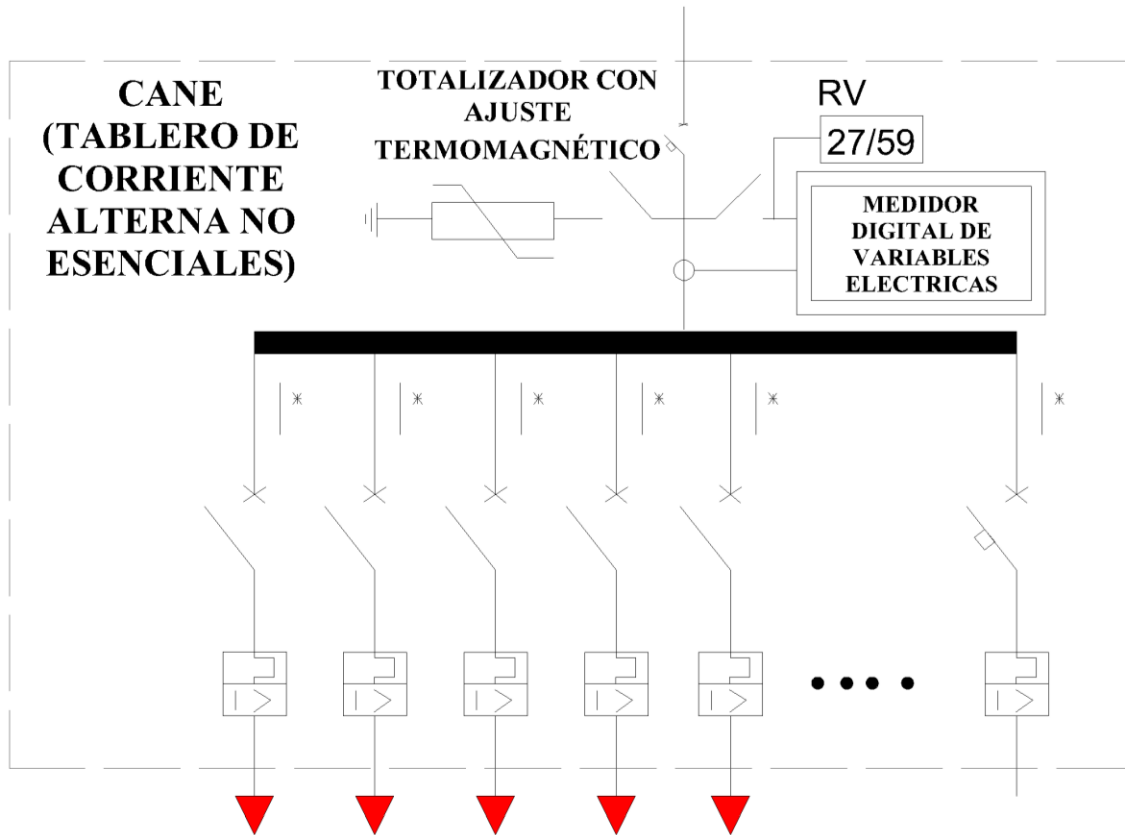
Tablero principal: Este tablero se utiliza para el control y protección de los servicios de corriente alterna. Está formado por cuatro barras, o sea, tres fases que deben soportar hasta 800 amperes continuos y un cortocircuito entre fases de 17 kA y una barra que es el neutro. Las barras deben de soportar una tensión nominal de 220 V_{CA} a 60 Hz. En uno de sus extremos tendrá la alimentación proveniente de el o los transformadores, que ira directamente al interruptor principal, adema contará con interruptores secundarios y salidas a otros tableros si hubiera esa necesidad.

Tableros secundarios: La alimentación de estos tableros viene del tablero principal con una alimentación de 220 volts de corriente alterna al igual que el tablero principal debe de contar con sus 4 barras con una función igual que en la del tablero principal y debe de soportar un cortocircuito entre fases de 15 kA. En el interior de este tablero se alojan interruptores electromagnéticos de diferentes capacidades.

Tableros típicos en un servicio auxiliar de una subestación

Figura9

Diagrama unifilar del CANE (tablero de corriente alterna no esenciales).

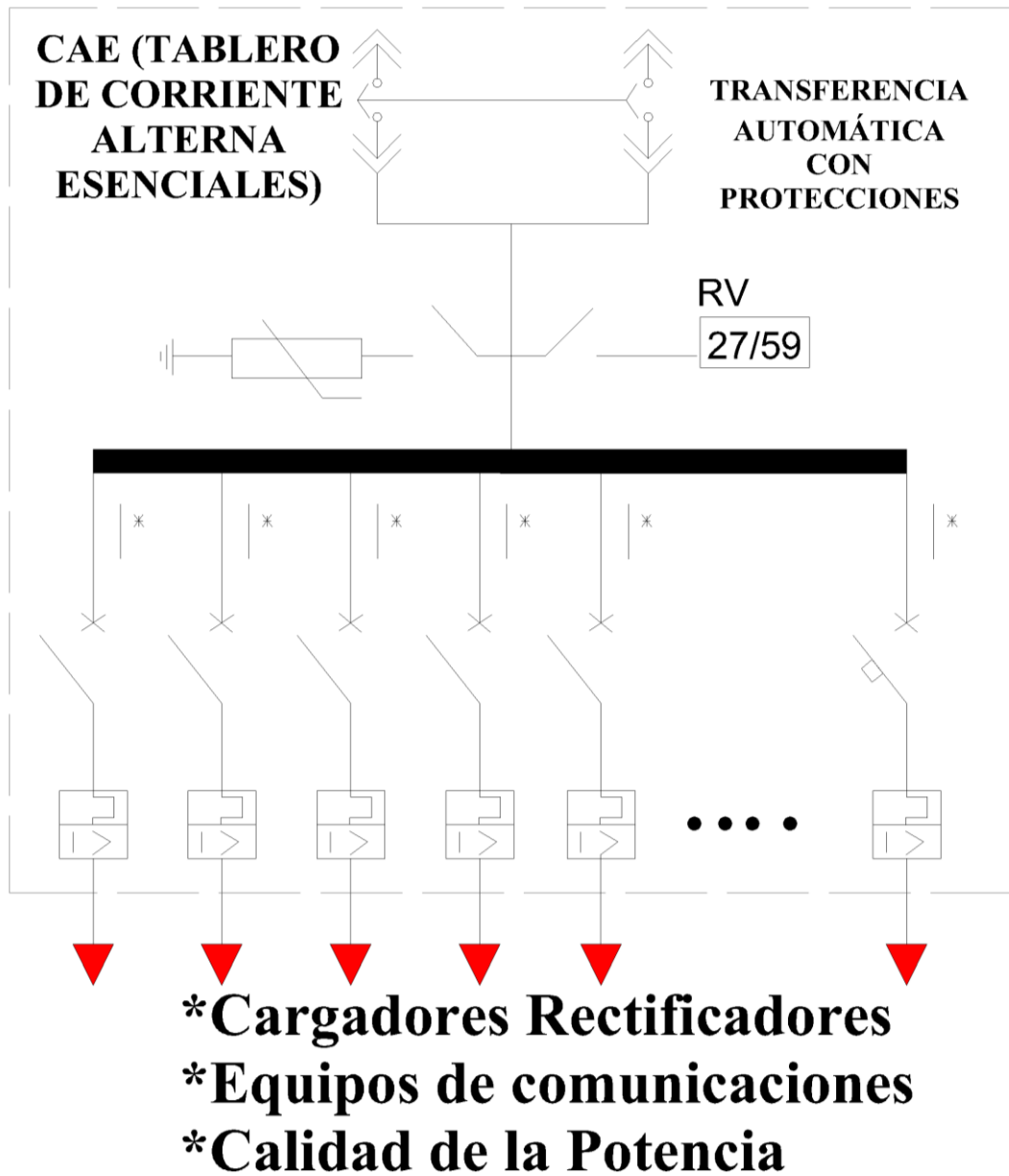


- * Alumbrado**
- * Servicios Generales**
- * Tomas y Calefacciones Tableros de Control**
- * Ventiladores Transformadores**

Nota. Imagen tomada del programa de AutoCAD.

Figura10

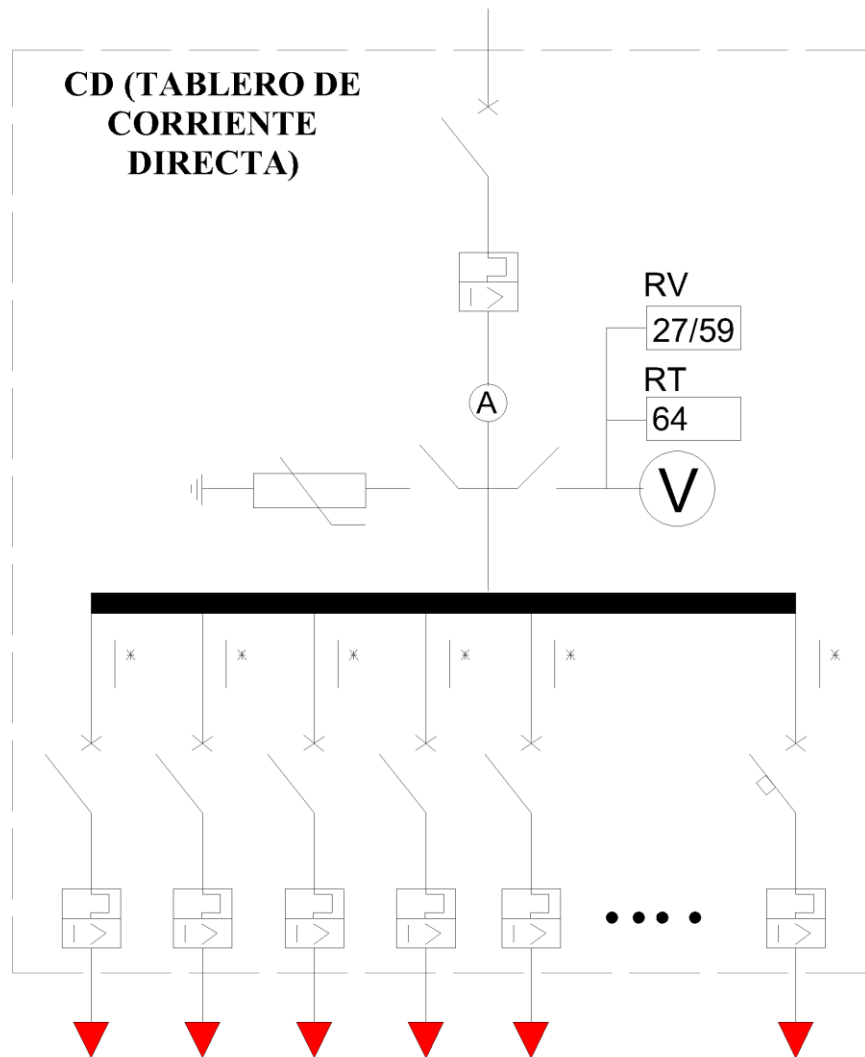
Diagrama unifilar del CAE (tablero de corriente alterna esenciales).



Nota. Imagen tomada del programa AutoCAD.

Figura11

Diagrama unifilar del CD (tablero de corriente directa).



- *Equipo de Patio**
- *Equipos de Protección y Control**
- *Equipos de Comunicaciones**
- *Calidad de la Potencia**
- *Alumbrado de Emergencia**

Nota. Imagen tomada del programa AutoCAD.

GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR EL DISEÑO DE SS/AA

Los TSA se componen de los siguientes componentes principales:

- ✓ Interruptores automáticos: Son dispositivos que se utilizan para abrir y cerrar circuitos eléctricos. En caso de falla, los interruptores automáticos se disparan para aislar la falla del circuito.
- ✓ Relés de protección: Son dispositivos que detectan fallas y activan los interruptores automáticos.
- ✓ Dispositivos de medición: Son dispositivos que miden la corriente, el voltaje y otros parámetros eléctricos.
- ✓ Dispositivos de control: Son dispositivos que se utilizan para controlar el funcionamiento de los TSA.

Las funciones de los TSA se pueden resumir en los siguientes puntos:

- ✓ Proporcionar energía eléctrica a los equipos y sistemas esenciales de la subestación.
- ✓ Proteger los equipos y sistemas esenciales de la subestación de daños en caso de falla.
- ✓ Garantizar la continuidad del servicio eléctrico en caso de falla.
- ✓ Optimizar el uso de la energía eléctrica.

Certificación tableros de fabricación única: Según el RETIE los fabricantes o comercializadores de tableros de fabricación única pueden reemplazar el certificado de tercera parte por una declaración de fabricante, siempre que cumplan con los requisitos de la norma ISO-IEC-NTC 17050.

Para cumplir con estos requisitos, los fabricantes o comercializadores deben utilizar productos de calidad debidamente certificados y realizar pruebas para verificar los parámetros del tablero.

GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR EL DISEÑO DE SS/AA

Explicación:

- ✓ Un tablero de fabricación única es un tablero que no se repite su construcción bajo el mismo diseño.
- ✓ La norma ISO-IEC-NTC 17050 establece los requisitos para la certificación de primera parte.
- ✓ Los productos de calidad debidamente certificados son aquellos que cumplen con las normas y especificaciones aplicables.
- ✓ Las pruebas para verificar los parámetros del tablero son pruebas que se realizan para garantizar que el tablero cumple con los requisitos establecidos en el reglamento.

La declaración del fabricante debe ser validada y suscrita por un ingeniero electricista o electromecánico con matrícula profesional vigente. Esta condición debe ser revisada por el inspector de la instalación y dejará constancia de esto en el dictamen de inspección.

Diseño y construcción de los TSA: Los TSA deben ser diseñados y construidos por personal calificado. Los TSA deben cumplir con las normas y regulaciones aplicables.

El diseño de los TSA debe tener en cuenta los siguientes factores:

- ✓ El tipo de servicio que proporcionarán.
- ✓ La carga eléctrica que soportarán.
- ✓ Las condiciones ambientales en las que operarán.

La construcción de los TSA debe cumplir con los estándares de seguridad y confiabilidad.

Grado de protección IP: El código IP indica el grado de protección proporcionado por la envolvente contra el acceso a partes peligrosas, contra la introducción de objetos sólidos extraños y contra la entrada de agua. El código IP es el sistema de identificación de los grados de protección conforme a los requisitos de la norma IEC 60529.

Tabla3

Cuadro de grado de protección IP

Letras de código	Protección internacional
primera cifra característica	Cifra 0...6 o letra X
Segunda cifra característica	Cifra 0...8 o letra X
Letras adicionales (opcional)	Letras A, B, C, D
Letras suplementarias (opcional)	Letras H, M, S, W
Ejemplo	IP 6 5 C H

Notas. Información tomada de la Guía para la construcción de un cuadro eléctrico de baja tensión conforme a las normas IEC 61439.

La letra adicional indica el grado de protección para las personas contra el acceso a partes peligrosas.

Las letras adicionales solo se utilizan:

- ✓ si la protección efectiva contra el acceso a partes peligrosas es superior a la indicada por la primera cifra característica;
- ✓ si se indica sólo la protección contra el acceso a partes peligrosas, la primera cifra característica es entonces sustituida por una X.

Esta protección superior puede deberse, por ejemplo, a la dotación de barreras, de aberturas de forma adecuada o de distancias internas en el interior de la envolvente.

6.3.7 Sistema de Transferencia

Existen dos tipos de interruptores de transferencia, el tipo manual y el tipo automático. En el primero de ellos, la selección de una u otra fuente de alimentación de energía se hace de una manera manual, o sea que al faltar el servicio en la fuente que está seleccionada se necesita de una persona que efectúe el cambio manualmente a la otra fuente y, en esta última posición permanecerá hasta que vuelva a ser cambiado. Generalmente una de las fuentes se llama de servicio normal y a la otra fuente se le llama, servicio de emergencia, lo cual es una planta de generación que tiene la propia industria.

El equipo de transferencia automática, mediante los dispositivos adecuados, transfiere la carga del sistema normal de los transformadores al sistema de la planta de emergencia en un tiempo no mayor de 50 milisegundos, por medio de relevadores que detectan la falla de tensión. Al restablecerse el suministro normal de energía, el equipo de transferencia conectade nuevo la carga al servicio normal, en un tiempo variable entre cero y cinco minutos, para dar oportunidad a que el sistema de suministro de energía se estabilice. El equipo de transferencia automática contiene las siguientes partes importantes:

1. Protecciones eléctricas y mecánicas que evitan que los contactos del lado normal y de emergencia puedan quedar conectados simultáneamente.

2. Un dispositivo de tiempo ajustable, para retardar de cero a cinco minutos la operación del equipo de transferencia al servicio normal, y otro para retardar de cero a quince minutos el paro del motor, después de continuar su operación sin carga, por haberse reestablecido el suministro normal de energía eléctrica.

3. Reloj programador que en forma automática arranca y para la planta de emergencia en forma diaria o semanal, a la hora y durante el tiempo deseado. Estos arranques se efectúan con la

GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR EL DISEÑO DE SS/AA

planta trabajando en vacío, para que la unidad se encuentre en perfectas condiciones de operación y con sus dos baterías de arranque a plena carga eléctrica.

4. Cargador automático de las baterías.

5. Equipo de arranque y paro automático que controla el arranque, paro, funcionamiento y protección de la unidad. En el caso de que, al fallar la alimentación normal, no arranque, un control deberá provocar que se inicien, tres intentos de arranque y paro, con intervalos de 30 segundos, durante un periodo de 90 segundos y en caso de persistir la negativa al arranque, el circuito deberá encender una lámpara de alerta y activar una alarma sonora. En el caso de que en el primer intento de arranque el motor de combustión interna tenga éxito, el control deberá desconectar el circuito de arranque automático.

6. El motor de la planta deberá de incluir señalización y alarma para las siguientes fallas, señales que a su vez deben parar inmediatamente la unidad hasta que llegue el personal adecuado:

- ✓ Alta temperatura del agua de enfriamiento.
- ✓ Baja presión en el circuito de aceite lubricante.
- ✓ Sobre velocidad

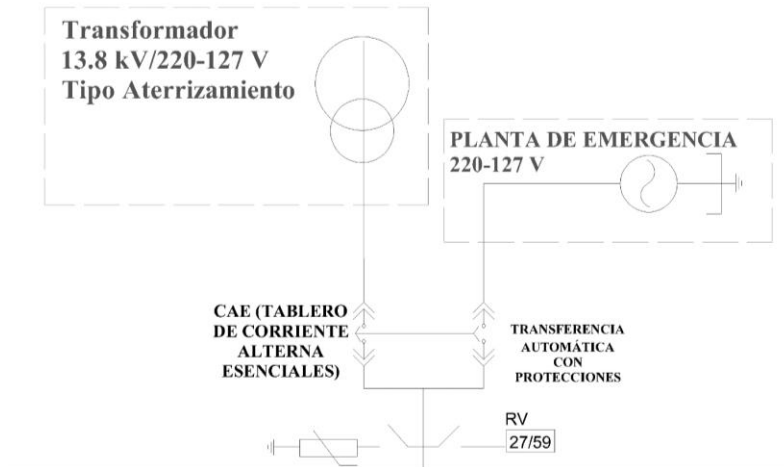
Según la norma NTC 2050 “Las transferencias utilizadas en sistemas de emergencia, suplencias de circuitos, deben cumplir una norma técnica internacional, de reconocimiento internacional o NTC aplicable a este tipo de producto.”

Diagrama unifilar de una transferencia automática

Figura12

Diagrama unifilar de la transferencia automática

GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR EL DISEÑO DE SS/AA



Nota. Imagen tomada del programa de AutoCAD.

7. Conclusiones

Trabajar en colaboración con el personal especializado de un operador de red permite definir con éxito las características esenciales y el contenido general de una guía metodológica de diseño. Esta colaboración es fundamental para asegurar que la guía sea precisa de acuerdo con las necesidades específicas de un operador de red.

Aprovechar la experiencia y conocimiento del personal especializado, permite identificar los temas clave a abordar, así como las mejores prácticas y recomendaciones que deben incluirse en la guía, lo que garantizará que la guía sea una herramienta valiosa para el equipo, además, esta colaboración refuerza la importancia de trabajar en conjunto con expertos para lograr resultados de alta calidad en proyectos.

El proceso de documentación del contenido de la guía, alineado de manera coherente con los requisitos acordados en colaboración con el operador de red y en estricto cumplimiento de las exigencias normativas y estándares aplicables, ha sido esencial para garantizar la precisión y conformidad de la guía. Este proceso se ha basado en un análisis de ingeniería riguroso que ha permitido la toma de decisiones respaldadas por cálculos y criterios técnicos sólidos, en total conformidad con las directrices establecidas tanto a nivel nacional como internacional.

Al incluir las recomendaciones del personal de campo y seguimientos del operador de red en la guía, se facilitará el proceso de diseño de los equipos de servicios auxiliares de una forma precisa y flexible para adaptarse a los cambios en las necesidades del operador de red. Se reconoce que la experiencia en campo es un recurso invaluable, y estos aportes contribuyen al progreso constante y a la mejora de la guía en desarrollo.

Este proyecto sobresalta la necesidad de fortalecer la relación entre el conocimiento teórico y la aplicación práctica en la ingeniería eléctrica, debido a que evidenciamos que la industria valora

GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR EL DISEÑO DE SS/AA

en gran medida la aplicabilidad práctica y la capacidad de encontrar soluciones eficaces a problemas complejos. Esta integración es esencial para garantizar que como futuros ingenieros eléctricos estemos adecuadamente preparados para enfrentar las situaciones del mundo real y podamos contribuir de manera efectiva a la evolución y mejora continua de los sistemas eléctricos

Finalmente, la guía está alineada con las exigencias de la regulación y normativa aplicable, y ha sido validada con el personal especializado del operador de red, la guía destaca la importancia de estrechar el vínculo entre el enfoque académico y las aplicaciones prácticas en campo. A lo largo de la formación académica se adquieren una sólida comprensión de los principios eléctricos y se desarrollan habilidades de resolución de problemas y diseño de sistemas. Sin embargo, la realidad en campo presenta desafíos y complejidades que a menudo no se abordan de manera exhaustiva en el currículo académico.

8. Recomendaciones

Realizar un análisis de cargas: El primer paso es realizar un análisis de cargas para determinar la demanda de energía y los servicios necesarios para los equipos principales de la subestación. Este análisis debe considerar los siguientes factores:

- ✓ La potencia nominal de los equipos principales
- ✓ El factor de potencia de los equipos principales
- ✓ Las condiciones de funcionamiento de los equipos principales
- ✓ Los requisitos de seguridad y confiabilidad

Seleccionar los equipos y sistemas adecuados: Una vez realizado el análisis de cargas, se pueden seleccionar los equipos y sistemas adecuados para satisfacer las necesidades de la subestación. Al seleccionar los equipos, es importante considerar los siguientes factores:

- ✓ La potencia y la capacidad de los equipos
- ✓ La confiabilidad y la durabilidad de los equipos
- ✓ La seguridad de los equipos
- ✓ El costo de los equipos
- ✓ Especificaciones contextuales y ambientales

Implementar un sistema de gestión de energía: Un sistema de gestión de energía puede ayudar a optimizar el consumo de energía de los servicios auxiliares de la subestación. Este sistema puede incluir las siguientes funciones:

- ✓ Monitoreo del consumo de energía
- ✓ Detección de anomalías
- ✓ Generación de informes

GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR EL DISEÑO DE SS/AA

Establecer rutinas de mantenimiento preventivo: El mantenimiento preventivo es esencial para garantizar la confiabilidad de los servicios auxiliares de la subestación. El mantenimiento preventivo debe realizarse de acuerdo con los intervalos recomendados por el fabricante de los equipos.

Seguir las normas aplicables: El diseño y la construcción de los servicios auxiliares de una subestación deben cumplir con las normas aplicables. Estas normas garantizan la seguridad y la confiabilidad de los sistemas.

Referencias Bibliográficas

(R2005), I. S.-1. (s.f.). IEEE Guide for Loading Dry-Type Distribution and Power Transformers.

Estándar.

485TM-2010, I. S. (15 de April de 2010). IEEE Recommended Practice For Sizing Lead-Acid

Batteries for Stationary Applications. *Norma.* New York.

Atehortúa, S. S. (2022). Diseño de servicios auxiliares en subestaciones eléctricas de alta tensión.

Informe de práctica . Universidad de Antioquia, Medellin, Colombia.

C57.96TM-1999, I. S. (27 de enero de 2014). IEEE Guide for Loading Dry-Type Distribution and

Power Transformers. *Norma.*

S.A, M. V. (s.f.). Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensión . HWV Ingenieros.

Sanchez, C. E. (2019). Subestación de Servicios auxiliares. *tesis de pregrado.* Instituto

Politécnico Nacional, Ciudad de México.

Grupo de Investigación Orca Semillero de Investigación Barión. (2020). Caracterización de

Subestaciones Eléctricas. <https://regioncentralrape.gov.co/wp-content/uploads/2020/04/Subestaciones-El%C3%A9ctricas.pdf>

Enrique, C., et al. (2019). Subestación de Servicios Auxiliares. Instituto Politécnico Nacional

Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica unidad profesional “Adolfo López Mateos” Zacatenco, Ciudad de México.

<https://tesis.ipn.mx/xmlui/handle/123456789/29095>

Equipos y Laboratorio de Colombia. (2021). Baterías.

[https://www.equiposylaboratorio.com/portal/articulo-ampliado/baterias-\(electricidad\)](https://www.equiposylaboratorio.com/portal/articulo-ampliado/baterias-(electricidad))

GUÍA METODOLÓGICA PARA ORIENTAR EL DISEÑO DE SS/AA

Mera González, R. I. (1994). Selección de fuentes de alimentación para los servicios auxiliares.

Escuela Pólitécnica Nacional.

<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/5932/1/T100.pdf>

Ingeniero Torres Quevedo. (2018). Cargadores de batería - Rectificadores. Convertidores.

Sistemas de alimentación ininterrumpida. <https://cargadores-de-baterias.com/>

Espinoza, J., Pablo, G., & Segura, E. (2010). Guía de selección de protecciones para

subestaciones. Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil.

ENEL Green Power and Engineering and Construction. (2020). Technical Standard AIS HV

Substations wind and solar plants (vol. 00, pp. 1–246).

IEC publications. (2003). Communication networks and systems in substations - IEC TR 61850.

www.iec.ch

EnsoTest. (s.f.). Introducción a la norma IEC 61850. [https://www.ensotest.com/es/iec-](https://www.ensotest.com/es/iec-61850/introduccion-a-la-norma-iec-61850/)

[61850/introduccion-a-la-norma-iec-61850/](https://www.ensotest.com/es/iec-61850/introduccion-a-la-norma-iec-61850/)

Commission électrotechnique internationale. (2002). Norme internationale CEI IEC international

standard - 60694 Edition 2.2 Spécifications communes aux normes de l'appareillage à

haute tension Common specifications for high-voltage switchgear and controlgear

standards. www.iec.ch/catlg-f.htm

American National Standard for Electric Power Systems and Equipment. (2020). ANSI C84.1-

2020- Voltage Ratings (60 Hz).