



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

**ACTUALIZACIÓN DE HERRAMIENTA PARA
PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN Y
CÁLCULO DE SERVICIOS AUXILIARES EN
CORRIENTE ALTERNA**

Autor
Geraldine Correa González

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería
Eléctrica
Medellín, Colombia
2021



Actualización de Herramienta para Procesamiento de Información y Cálculo de Servicios
Auxiliares en Corriente Alterna

Geraldine Correa González

Informe de práctica académica presentado como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniera Electricista

Asesores:

Jaime Alejandro Valencia Velásquez, Ingeniero Electricista

Diego Alexander Becerra Buriticá, Ingeniero Electricista

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Eléctrica.
Medellín, Colombia
2021.

Tabla de contenido

1	Resumen.....	4
2	Introducción	4
3	Objetivos	5
3.1	General.....	5
3.2	Específicos.....	6
4	Marco Teórico	6
4.1	Sistema de Servicios Auxiliares	6
4.2	Selección del calibre de conductores de circuitos ramales y alimentadores.....	7
4.3	Regulación de tensión	8
4.3.1	Carga distribuida	8
4.3.2	Carga concentrada	9
4.4	Cálculo de mínima sección por cortocircuito.....	10
5	Metodología.....	11
6	Resultados y análisis.....	12
6.1	Memorias de cálculo y planos.....	12
6.2	Herramienta de cálculo CIRCUITAL_C.A.	15
6.2.1	Portada	15
6.2.2	Potencia.....	15
6.2.3	Regulación.....	15
6.2.4	Base de datos:	19
7	Conclusiones	20
8	Referencias Bibliográficas	21

Índice de figuras

Figura 1.	Ejemplo esquema circuital, cálculo de regulación de tensión.....	9
Figura 2.	Ejemplo esquema circuital, cálculo de regulación de tensión por carga concentrada	10
Figura 3.	Equivalente de esquema circuital, cálculo de regulación de tensión por carga concentrada	10
Figura 4.	Ciclo PHVA Responsabilidades del cargo	14
Figura 5.	Diagrama de flujo para selección de protección, CIRCUITAL_C.A. V1.0	18
Figura 6.	Vista sección "Regulación" CIRCUITAL_C.A. V 1.0	19

Índice de Tablas

Tabla 1.	Comparación porcentaje regulación de tensión	17
----------	--	----

ACTUALIZACIÓN DE HERRAMIENTA PARA PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN Y CÁLCULO DE SERVICIOS AUXILIARES EN CORRIENTE ALTERNA

1 Resumen

El presente trabajo se realizó con la finalidad de mejorar la herramienta con la que actualmente cuenta la compañía ieb - Ingeniería Especializada S.A., para el cálculo de los circuitos asociados a los servicios auxiliares en Corriente Alterna de una subestación. La herramienta actual, llamada CIRCUITAL_C.A. V00 ha tenido diferentes intervenciones no controladas, ni documentadas, donde se ha eliminado la funcionalidad de ciertas ayudas como el balanceo de carga automático, generación de un cuadro de cargas para anexar al informe, cuadro resumen, entre otras, que aumentan el tiempo de ejecución del entregable.

Se incluyó, además, una revisión y documentación de las formulas y cálculos implementadas en la herramienta, teniendo en cuenta el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE)[6], que actualmente dicta los requerimientos para las instalaciones eléctricas en Colombia, la Norma Técnica Colombiana 2050 (NTC 2050)[7] y los catálogos de donde se extraen las características de los diferentes elementos como cableados y tuberías presentes en la base de datos, esta documentación servirá como referente para futuras modificaciones. Finalmente, se implementaron los cambios con base en las oportunidades de mejora previamente identificadas haciendo la herramienta más práctica.

2 Introducción

Actualmente, la energía eléctrica se considera un insumo indispensable que facilita el constante cambio del entorno físico para el hombre moderno. Esta energía eléctrica se obtiene gracias a variadas fuentes y métodos de transformación presentes en las diferentes plantas (hidroeléctricas, nucleares, térmicas, solares etc.) y se concentra en los centros de control de flujo de potencia, conocidos como subestaciones eléctricas, para posteriormente abastecer la demanda [1] y [2]. En estas subestaciones se llevan a cabo ciertos procesos que buscan garantizar la calidad de la potencia y la continuidad de su suministro, mediante la operación de diversos equipos según el tipo: Subestaciones convencionales o Subestaciones Aisladas en Aire (AIS, por sus siglas en inglés), Subestaciones Aisladas en Gas (GIS, por sus siglas en inglés) o Híbridas, las cuales agrupan características de ambas tecnologías, donde en general, las barras se diseñan en tecnología AIS pero los equipos están integrados en módulos GIS.

Los equipos y subsistemas que intervienen en la operación de una subestación, tales como, motores asociados a mecanismos de maniobra, equipos de control, sistema de comunicación, equipos de mando, equipos de protección, sistema de iluminación, bombeo, calefacción y refrigeración, entre otros, requieren energía eléctrica para su

funcionamiento, por tanto, el diseño de una subestación eléctrica supone la implementación de un sistema de distribución de corriente alterna (C.A., en adelante) y corriente continua (C.C., en adelante), con ciertas condiciones de calidad y seguridad que garanticen la fiabilidad en la correcta operación de los equipos que intervienen. Dicho sistema es conocido como Sistema de Servicios Auxiliares, subdividido a su vez, en Sistema de Servicios Auxiliares de C.A. y Sistema de Servicios Auxiliares de C.C. en función al tipo de alimentación [3].

Existen diferentes configuraciones para un Sistema de Servicios Auxiliares (SSAA, en adelante), dependiendo de la importancia de la subestación en el sistema de potencia, el tipo de subestación, los costos asociados a la implementación, las consecuencias de la salida del SSAA, el nivel de tensión y el tipo de control (centralizado o distribuido), por ende, el análisis técnico- económico debe buscar el punto de equilibrio entre confiabilidad, flexibilidad y costo, evitando incluir complejidades en la operación del este [3].

El SSAA de una subestación eléctrica se diseña con base en lo establecido por el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETI) [6] y la Norma Técnica Colombiana (NTC 2050) [7]. Las empresas dedicadas al diseño eléctrico demandan la automatización de ciertos entregables – Memoria de cálculo de servicios auxiliares, por ejemplo - con el fin de reducir el tiempo de ejecución de un proyecto y los posibles errores humanos que desencadenan reprocesos, además, se hace necesario para el ingeniero de diseño el uso de guías actualizadas que contengan los conceptos asociados al diseño en ejecución y las variables estandarizadas.

La compañía **Ingeniería Especializada** cuenta actualmente con una herramienta para el dimensionamiento del SSAA en C.A. en subestaciones. Sin embargo, se requiera la herramienta se encuentra seccionada.

En consecuencia, se propone la actualización de esta herramienta para que arroje como resultado el cálculo circuital de los SSAA en C.A., según la normatividad vigente y respetando los criterios de estandarización establecidos por la compañía. Esta herramienta se actualizará utilizando Excel y Word, puesto que son programas de fácil acceso y de uso común en la rama ingenieril y afines.

3 Objetivos

3.1 General

Actualizar la herramienta que permite el cálculo de SSAA en C.A. en una subestación, con el objetivo de optimizar el tiempo de ejecución del entregable y aplicar los criterios de estandarización establecidos en la compañía.

3.2 Específicos

- Recopilación de información sobre criterios de cálculo según la normatividad colombiana vigente.
- Identificación e implementación de oportunidades de mejora para la herramienta CIRCUITAL_ C.A. V00.
- Elaboración de guía detallada sobre los criterios de diseño programados en la herramienta.
- Actualización la plantilla base del reporte de los cálculos del SSAA, mostrando la los pasos establecidos para el diseño, así como los resultados, de manera consecutiva.

4 Marco Teórico

4.1 Sistema de Servicios Auxiliares

El **Sistema de Servicios Auxiliares** es un conjunto de elementos propios del sistema de distribución de corriente alterna y corriente continua en baja tensión en una subestación, cuyo propósito es abastecer los diferentes equipos y elementos presentes en los esquemas de protección, control, telecomunicaciones, alumbrado, fuerza y seguridad. En general, esta conformador por fuentes de alimentación tanto principales como de emergencia, gabinetes, interruptores en baja y media tensión, cargadores y cableado. Este se divide en Servicios Auxiliares de corriente alterna y Servicios Auxiliares de corriente continua [4].

El **Sistema de Servicios Auxiliares de corriente alterna** es un sistema de distribución de energía utilizado para suplir las cargas de alumbrado y fuerza (bombas y ventilación), a las cuales se les atribuye los mayores consumos a nivel de baja tensión. Este sistema a su vez, sirve como fuente de alimentación del **Sistema de Servicios Auxiliares de corriente continua**, el cual suple la demanda energética de la ingeniería secundaria propia de la subestación, por tanto, se requiere un alto nivel de confiabilidad, ya que involucra los esquemas de control, protección, medida, telecomunicaciones y alarmas [4].

La **confiabilidad** se define como la probabilidad de que el suministro de energía no sea interrumpido tras una salida de un elemento de la subestación. Esta confiabilidad se ve aumentada al tener diversas fuentes de suministro energético para los servicios auxiliares, como circuitos de distribución cercanos a la subestación, devanados terciarios de los transformadores de potencia presentes en la subestación, grupos electrógenos y bancos de baterías [5].

Los **bancos de baterías** son arreglos de baterías en serie y/o paralelo según las necesidades en tensión y corriente de la instalación, que tienen la función de garantizar

la continuidad en el suministro para las cargas de corriente continua tras una salida de la fuente principal. Para su dimensionamiento se tienen presentes las cargas fijas y las cargas transitorias de cada dispositivo y el tiempo de respaldo requerido, por lo general 8 o 10 horas [4]. Los **Grupos Electr6genos o generadores**, son usados regularmente como fuentes de respaldo, a partir de la generaci6n de energa de combustibles f6siles, para cargas en corriente alterna de primera necesidad o esenciales que son las que garantizan la continuidad en el funcionamiento de la subestaci6n. Algunas cargas como iluminaci6n, tomacorrientes y aire acondicionado pueden ser parcialmente desatendidas tras una p6rdida en el suministro [5].

El c6lculo circuital de los SSAA en C.A. requiere el c6lculo previo de la carga de todos los subsistemas propios de la subestaci6n (carga de iluminaci6n, calefacci6n, cargadores de bateras, bombas, etc.). Luego, se procede a seleccionar el calibre de los conductores y el medio m6s apropiado para llevarlos hasta la carga final (bancos de tuberas, bandejas, ductos o c6rcamos) teniendo en cuenta las restricciones dictadas por la normatividad vigente.

4.2 Selecci6n del calibre de conductores de circuitos ramales y alimentadores

Para el c6lculo de la corriente en cada circuito ramal, se asume una carga igual a la suma de la totalidad de las cargas en el mismo. Para los circuitos que cuentan con cargas desbalanceadas se verifica que la corriente en la fase m6s cargada no superar6 la corriente nominal del conductor.

Para la selecci6n de los conductores de cada circuito ramal se toma, en general, un factor de seguridad del 25 % por encima de la corriente nominal que demanda la carga; la corriente nominal est6 dada por la siguiente expresi6n:

$$I = \frac{P_{total}}{(\sqrt{3} * V_{LL} * fp)} \quad [A] \text{ Para circuitos trif6sicos} \quad (1)$$

$$I = \frac{P_{total}}{(V_f * fp)} \quad [A] \text{ Para circuitos monof6sicos} \quad (2)$$

Teniendo las potencias por circuito, se calculan las corrientes con la expresi6n anterior y se selecciona el conductor de cada circuito de acuerdo a las tablas de capacidad de corriente de los conductores dadas por el art6culo 310-16 de la NTC 2050 [7].

Se aplican los factores de correcci6n recomendados en la NTC 2050 [7] para obtener la capacidad de conducci6n del conductor dependiendo de la temperatura ambiente, la forma de instalaci6n de los conductores y sus canalizaciones.

Después de verificar que los conductores de los circuitos ramales seleccionados cumplen con la capacidad de corriente requerida, se comprueba que el conductor seleccionado cumpla con los requerimientos de regulación de tensión y cortocircuito.

4.3 Regulación de tensión

Los conductores eléctricos presentan una resistencia al paso de la corriente, esta resistencia varía en función al material, área y longitud del mismo, por ende, obedeciendo a la ley de ohm, se produce una caída de tensión en el conductor tras el paso de la corriente a través de este. El valor de caída de tensión respecto al valor de tensión en bornes de la fuente (transformador o tablero) en porcentaje, se conoce como **porcentaje de regulación de tensión** y se calcula según las ecuaciones (3) y (4).

$$Z_c = R \cos(\theta) + X \sin(\theta) \quad [\Omega]$$
$$\% \Delta V = \frac{\sqrt{3} * S * L * Z_c}{10 * kV^2} \quad \text{Para circuitos trifásicos} \quad (3)$$
$$\% \Delta V = \frac{2 * S * L * Z_c}{10 * kV^2} \quad \text{Para circuitos monofásicos} \quad (4)$$

Dónde:

Z_c : Impedancia del conductor a 75°C [Ω/m].

$\cos(\theta)$: Factor de potencia.

L : Longitud del circuito en [m].

S : Potencia del circuito [kVA].

kV : Tensión del circuito [kV].

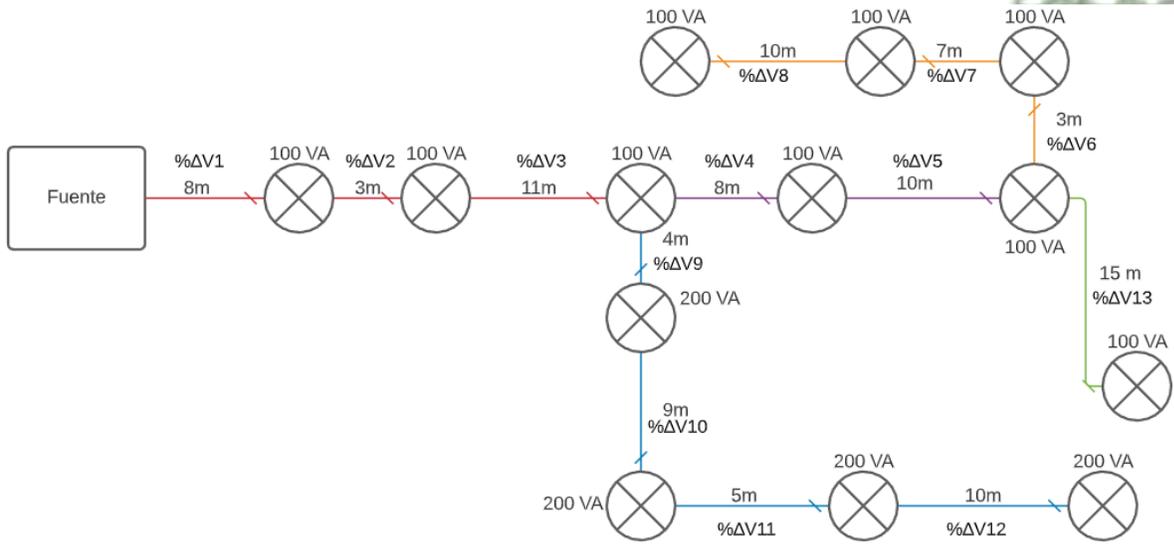
Para el cálculo de regulación en los circuitos eléctricos se tienen diferentes metodologías dependiendo de la exactitud que se desee en el cálculo. De modo general se presenta un método de carga concentrada y un método de carga distribuida.

4.3.1 Carga distribuida

Se basa en el cálculo de la caída de tensión que se presenta en cada tramo (conductor entre cargas o grupo de cargas). La caída de tensión total será la sumatoria de los diferentes valores de caída de tensión a través del ramal de mayor longitud. Este método ofrece un cálculo exacto, evitando el sobredimensionamiento del conductor.

En la Figura 1 se muestra el esquema de un circuito al que se le desea calcular la regulación por carga distribuida. La caída de tensión total se calcula según la ecuación (6).

Figura 1. Ejemplo esquema circuital, cálculo de regulación de tensión



$$\% \Delta V_{n, \text{total}} = \sum_1^n \% \Delta V_n \quad (5)$$

Dónde:

$\% \Delta V_n$, total: Porcentaje de regulación total desde la fuente hasta la carga n.

$\% \Delta V_n$: Porcentaje de regulación desde la carga n-1 hasta la carga n.

4.3.2 Carga concentrada

Consiste en modelar toda la carga de un circuito al final del ramal más largo despreciando las diferentes derivaciones que se dan en la trayectoria. Este método ofrece una ventaja para circuitos con diferentes cargas distribuidas, donde la estimación de la longitud de cada tramo puede incrementar considerablemente el tiempo de ejecución de un entregable. En la Figura 2 se muestra el unifilar de un circuito al que se le desea calcular la regulación, el equivalente por carga concentrada se muestra en la Figura 3.

Lo ideal es adoptar un solo método como criterio para el cálculo de regulación. Sin embargo se pueden combinar buscando una relación entre tiempo de ejecución y precisión óptima que no genere sobredimensionamientos considerables en el diseño.

Figura 2. Ejemplo esquema circuital, cálculo de regulación de tensión por carga concentrada

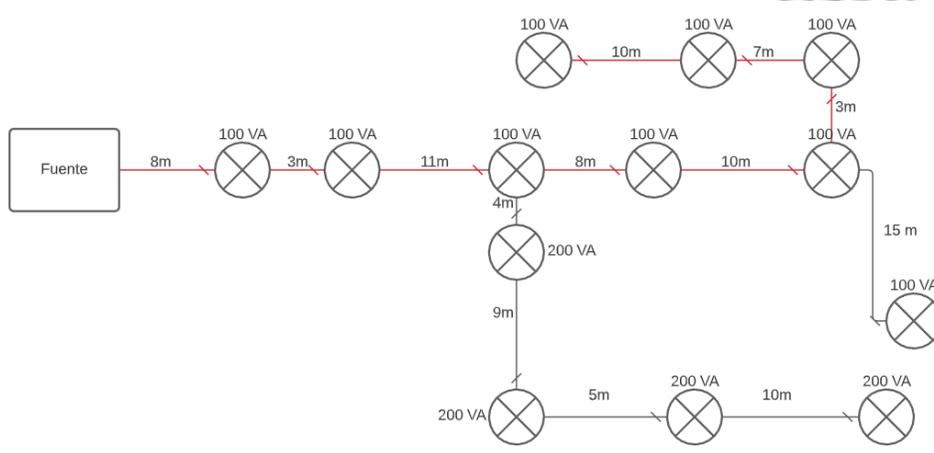


Figura 3. Equivalente de esquema circuital, cálculo de regulación de tensión por carga concentrada



4.4 Cálculo de mínima sección por cortocircuito

El conductor debe estar en capacidad de soportar los efectos térmicos producidos por la corriente de cortocircuito sin que se supere el valor máximo admisible por el aislamiento en el tiempo máximo supuesto para la actuación de las protecciones o del elemento de interrupción de falla. La sección mínima que soporta una corriente de corto I durante un tiempo t, está dada por la siguiente expresión sugerida en la norma IEC-60865-1 [10].

$$s = \frac{I * \sqrt{t}}{k} \quad (7)$$

$$k = \sqrt{\frac{\kappa_{20} * C * \rho}{\alpha_{20}} * \ln \frac{1 + \alpha_{20}(\theta_e - 20)}{1 + \alpha_{20}(\theta_b - 20)}} \quad (8)$$

Dónde:

S: Sección de conductor [m²].

I: Corriente de cortocircuito [A].

t: Tensión del circuito [kV].

k: factor para el cálculo de s [As^{0.5}/m²].

κ_{20} : Conductividad específica a 20°C, en [1/Ωm]

C: Capacidad térmica específica, en [J/(kg°C)]

ρ : Masa específica, en [kg/m³]

α_{20} : Coeficiente de temperatura, en [1/°C]

θ_b : Temperatura del conductor al inicio del cortocircuito, en [°C]

θ_e : Temperatura del conductor al final del cortocircuito, en [°C]

Es importante resaltar que la corriente de corto depende del punto supuesto de falla. Tomar el valor de esta corriente en bornes del transformador o en el tablero alimentador es una condición conservadora que resulta en la elección de conductores de un mayor calibre. En consecuencia, se recomienda considerar el valor de resistencia de los conductores en el cálculo de la corriente de falla ya que la probabilidad de ocurrencia es mayor al final del circuito ramal.

Si el conductor seleccionado cumple los requerimientos de regulación y corriente se selecciona la protección adecuada con base en los criterios expuestos en la referencia [7].

5 Metodología

Este proyecto se ejecutará como sigue:

- Apoyo en la ejecución de entregables que permitan la familiarización con los elementos de una subestación en 34.5 kV, 115 kV, 115 kV, 220 kV y 500 kV, en tecnología AIS y GIS.
- Introducción al material del cual dispone la compañía para la elaboración del entregable “*Memoria de cálculo de Servicios Auxiliares*”.
- Ejecución del entregable “*Instalaciones Eléctricas Exteriores*” en diferentes niveles de tensión y “*Memoria de cálculo de Servicios Auxiliares*” para la Subestación Eléctrica A 34,5 kV/13,2 kV, cuyos cálculos están apoyados en la herramienta CIRCUITAL C.A. V00, con el fin de identificar oportunidades de mejora en la herramienta y el material de apoyo para la elaboración del entregable.

- Documentación de los criterios de estandarización establecidos para el cálculo circuital en C.A.
- Actualización de herramienta en los entornos disponibles, para facilitar el acceso de los ingenieros de diseño.
- Difusión y validación del funcionamiento de la herramienta con el fin de participar en la mejora y ajustes de la misma.
- Documentación la herramienta para que los usuarios tengan conocimiento de los criterios y normatividad utilizados para obtener los resultados.

6 Resultados y análisis

6.1 Memorias de cálculo y planos

La primera parte de la práctica académica estuvo orientada a la familiarización con los diferentes elementos que intervienen en el diseño de una subestación desde el apoyo en la ejecución de los documentos base para el estudio, análisis, identificación y validación de equipos, configuraciones, distancias eléctricas, estándares, normatividad vigente, criterios de diseño, requerimientos por parte del cliente y optimización de recursos, siguiendo un procedimiento sistemático y organizado a través de diferentes actividades partiendo de una información de entrada.

El desarrollo de las actividades implicó el trabajo con un equipo interdisciplinario compuesto por: Líder de área, Líder de proyecto, Ingeniero civil (diseñador), Ingeniero Electromecánico (diseñador), Ingeniero Electromecánico (revisor), Auxiliar de ingeniería, Modelador, Analista del proyecto y Cliente, donde se logró el fortalecimiento de habilidades de comunicación y escucha, gestión de tiempo, manejo del estrés, flexibilidad y toma de decisiones.

- Memoria de cálculo de distancias mínimas y de seguridad
- Memoria de cálculo conductores y barrajes
- Disposición Física - Vista en Planta y Cortes
- Selección de conductores y barrajes
- Memoria de cálculo malla de tierra
- Malla de Tierra - Planta, Detalles y Lista de Materiales
- Plano de Cárcamos y ductos, Planta general y detalles
- Diagrama Unifilar
- Estudio técnico económico de instalaciones de iluminación

- Memoria de cálculo de Apantallamiento
- Apantallamiento - Planta, Detalles y Lista de Materiales

En la Figura 4 se presenta el ciclo PHVA que resume las responsabilidades del cargo asignado.

Con el fin de entender el funcionamiento de la herramienta CIRCUITAL_C.A. se apoyó el desarrollo de ciertos entregables, cuyos cálculos están soportados por dicha herramienta. Los entregables trabajados se nombran a continuación:

- Memoria de Servicios Auxiliares Subestación A 34.5/13.2 kV¹ (AIS).
- Diagrama unifilar SSAA Auxiliares AC Subestación A¹ 34.5/13.2 kV¹ (AIS).
- Diagrama unifilar SSAA Auxiliares DC Subestación A 34.5/13.2 kV¹ (AIS).
- Memoria de instalaciones eléctricas exteriores Subestación B 115/34,5 kV¹ (AIS).
- Plano de instalaciones eléctricas exteriores Subestación B 115/34,5 kV¹.
- Memoria de instalaciones eléctricas exteriores Subestación C 500 kV¹ (GIS).
- Plano de instalaciones eléctricas exteriores Subestación C 500 kV¹ (GIS).
- Memoria de instalaciones eléctricas exteriores Subestación D 500 kV¹ (AIS).
- Plano de instalaciones eléctricas exteriores Subestación D 500 kV¹ (AIS).

Entre las actividades que se ejecutaron para la elaboración de cada entregable están:

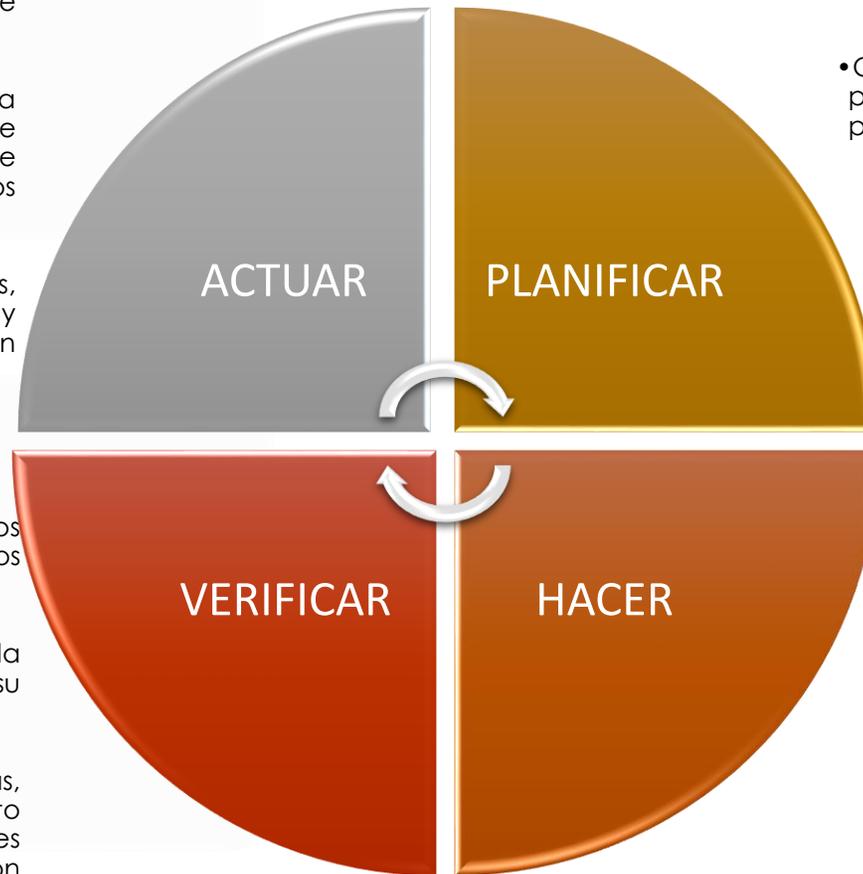
Revisión de información de entrada: Se llevó a cabo el cruce de información entre planos de infraestructura existente (Civil- Electromecánico), criterios de diseño y estudio técnico- económico.

Simulación: En el diseño del sistema de iluminación se utilizó el programa DIALux 4.13, el cual permite recrear efectos luminosos reales y verificar en forma detallada todos los parámetros luminotécnicos tanto en espacios interiores como exteriores. Actualmente este software es ampliamente utilizado en este tipo de simulaciones.

¹ Los nombres de las subestaciones se omiten por acuerdos de confidencialidad firmados con los diferentes clientes.

Figura 4. Ciclo PHVA Responsabilidades del cargo

- Proponer medidas de mitigación de acuerdo al proyecto.
- Proponer acciones encaminadas a solucionar cualquier tipo de inconveniente que se presente durante la ejecución de los proyectos en campo.
- Cumplir con las funciones, procedimientos, instructivos, metas y programas del sistema de gestión integrado de la empresa
- Realizar el seguimiento de los trabajos que tenga a su cargo atendiendo los comentarios y/o correcciones.
- Realimentar al Líder del Área sobre la evolución de su trabajo y sobre su propio desempeño.
- Reportar las acciones correctivas, preventivas y de mejoramiento (hallazgos); y las quejas de los clientes internos o externos, relacionadas con su trabajo.



- Coordinar con el Líder de proyecto el plan de trabajo a seguir y la programación del SIG+.
- Realizar las visitas técnicas y los informes correspondientes relacionados con su trabajo.
- Responder por los equipos y herramientas de trabajo que maneja para su labor.
- Cumplir con el sistema de gestión de calidad del proyecto.
- Gestionar el proyecto con el software de la empresa SIG+

Normatividad: Se realizó la validación de criterios de diseño citados en los documentos referencia con las restricciones de los requerimientos de la normatividad colombiana vigente y de requisitos del cliente.

Aplicación de criterios de subestaciones: se realizó la selección de materiales de fácil adquisición comercial y buena relación costo- beneficio con base en criterios de operación, criterios de mantenimiento y criterios de montaje.

6.2 Herramienta de cálculo CIRCUITAL_C.A.

La herramienta CIRCUITAL_C.A. en su versión 0.0, desarrollada en Excel en el año 2011, no disponía de una documentación que permitiese intervenir el algoritmo fácilmente. Durante la práctica se comentó el código en cuestión, construyendo paralelamente el documento CIRCUITAL_C.A. Teoría, que contiene un compilado de las formulas y procedimientos de cálculo dentro de las macros. Igualmente se identificaron algunas oportunidades de mejora que se implementaron en la versión 1.0. Los antecedentes y las mejoras que se implementaron en cada sección se exponen a continuación.

6.2.1 Portada

La nueva versión de CIRCUITAL_C.A. presenta una sección para el registro de información de entrada donde se ingresan los siguientes datos:

Nombre del proyecto
Nombre de la subestación
Nombre del entregable
Número de circuitos
Tablero
Ubicación del tablero

6.2.2 Potencia

La potencia total se presenta en la primera fila para permitir al usuario mover las cargas según el orden deseado omitiendo la opción *Ingresar Carga*. Se añadió, además, la opción de cálculo de regulación de tensión por carga distribuida, permitiendo el ingreso del número de tramos en los circuitos donde se requiera un cálculo más exacto. El cálculo por carga concentrada se obtiene al considerar un solo tramo.

6.2.3 Regulación

6.2.3.1 Número de conductores portadores de corriente:

En la nueva versión, la columna de número de conductores portadores de corriente se completa con valor de 1 de forma automática para evitar el error que se presenta al tener una celda vacía en dicha columna.

6.2.3.2 Potencia

Se introdujo una nueva columna para presentar el valor de potencia aparente en voltio-amperios [VA], al igual que la opción para ingresar el número de circuitos de reserva para tener una disposición pareja en el cuadro de cargas.

6.2.3.3 Cálculo de regulación de tensión

Se implementó una nueva fórmula para obtener este valor, con base en las formulas expuestas en el numeral 4 del presente informe. La Tabla 1 muestra un comparativo del porcentaje de regulación de tensión que se obtiene con Circuital_C.A. V0.0, Circuital_C.A. V1.0 y la herramienta del fabricante PROCABLES S.A.S.[8] disponible en línea, donde se observa una mayor aproximación de los valores arrojados por la versión 1.0 con los resultados que arroja el software de PROCABLES S.A.S. La versión 0.0 presenta un método de cálculo más conservador, siendo los porcentajes de cálculo arrojados por esta macro los más altos.

En general, los porcentajes de regulación se limitan en un 2% para el alimentador del tablero de distribución y un 3% para el tramo desde el tablero de distribución hasta la carga más lejana del circuito ramal. Sin embargo, este porcentaje solo es referencial y el único límite establecido por el reglamento es un total del 5% desde los bornes del transformador hasta la carga más lejana del circuito ramal [6]. La nueva versión incluye la opción de considerar el porcentaje de regulación real del alimentador buscando que la sumatoria de los porcentajes (alimentador-circuito ramal) esté por debajo del 5% y se puedan tener porcentajes de regulación mayores al 3%.

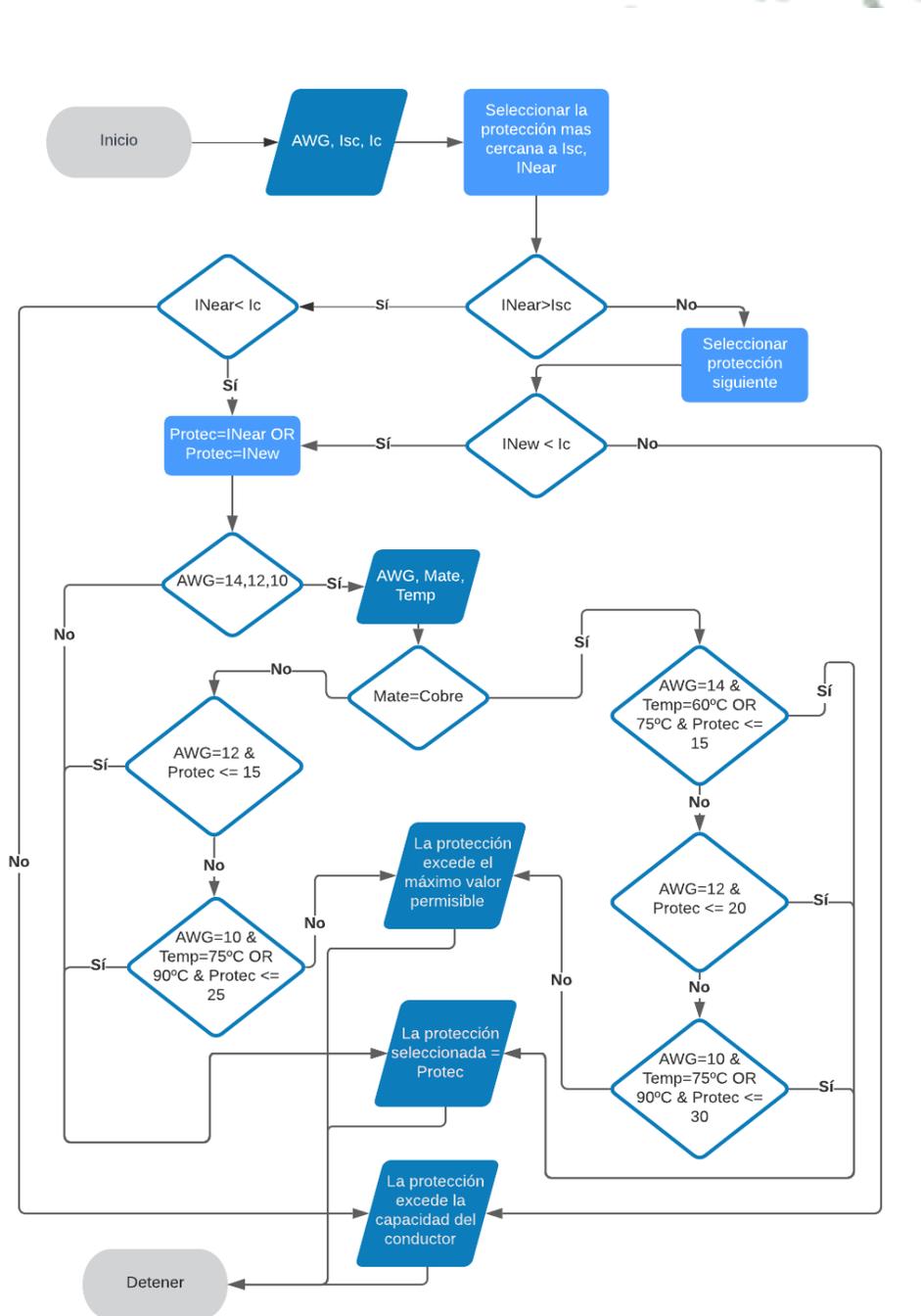
Tabla 1. Comparación porcentaje regulación de tensión

MATERIAL	CALIBRE [AWG]	SISTEMA	FACTOR DE POTENCIA	POTENCIA [VA]	CORRIENTE [A]	DISTANCI A [m]	TENSIÓN [V]	Regulación CIRCITAL C. A. V00 [%]	Regulación CIRCITAL C. A. V01 [%]	Regulación PROCABLES [%]
Cobre	14	Monofásico	1	500	4,17	10	120	0,80	0,643	0,6
Cobre	12	Monofásico	0,9	1000	8,33	50	208	5,22	4,179	4,2
Cobre	10	Trifásico	0,8	3000	8,33	70	208	2,17	1,738	1,8
Cobre	8	Trifásico	0,7	3000	8,33	150	208	3,09	2,474	2,5
Cobre	6	Monofásico	0,6	5000	41,67	200	120	26,42	21,136	21,1
Cobre	4	Trifásico	0,5	15000	41,64	3000	208	12,82	10,260	10,2

6.2.3.4 Cálculo de interruptor y protección:

La versión 1.0 del programa se modifica para obtener como resultado la mínima protección que cumple los criterios establecidos según la referencia [7]. El diagrama de flujo para la selección del interruptor y la protección se muestra en la Figura 5.

Figura 5. Diagrama de flujo para selección de protección, CIRCUITAL_C.A. V1.0



Donde:

AWG: Calibre del conductor [AWG]

Isc: Corriente para la selección del conductor

Ic: Corriente máxima admisible para el conductor

INear: Protección estándar más cercana al valor de Isc

INew: Protección estándar más cercana por encima al valor de INear

6.2.3.5 Hoja Cuadro de cargas

Se actualizó el método de cálculo para esta sección en modo automático utilizando la herramienta Solver de Excel, ya que presenta un tiempo de ejecución menor y mayor exactitud en el resultado en comparación a la distribución por ordenamiento aleatorio que se tenía implementada. Se modifica además, el método de cálculo de desbalance de carga con base en lo establecido por la norma NTC 5001 [9] . Adicionalmente, se añade una hoja para la presentación del cuadro de regulación que se anexa al informe. Se habilita la opción de cálculo manual

6.2.4 Base de datos:

Se actualizó y complemento la base de datos de cableado y tubería que contenía la herramienta.

Se incluyeron, además, modificaciones en el formato de celdas y texto para un mejor presentación de la información y datos. En la Figura 6 se presenta una vista de una sección de la herramienta CIRCUITAL_C.A. V1.0.

Figura 6. Vista sección "Regulación" CIRCUITAL_C.A. V 1.0

INFORMACIÓN DE ENTRADA										
Calcular	Vlinea:	208	Fp:	0,9	Perdidas balastro:	0%	Temperatura de Conductores	75°C	Máximo corto Icc [kA]	1,4
	Vfase:	120	F sobre carga:	25%	Tipo Conductor:	Cobre	Temp. Ambiente°C	26-30		
Tipo	sistema	Potencia Nominal [W]	Corriente Nominal [A]	Corriente para selección del conductor [A]	Tensión [V]	Calibre Seleccionado	Número de conductores portadores de corriente	Número de conductores por fase	Capacidad de corriente del conductor seleccionado	
Fuerza	Trifásico	8750	26,99	33,73	208	6 AWG	1 a 3	1	65	
Fuerza	Monofásico	3200	29,63	37,04	120	8 AWG	1 a 3	1	50	
Fuerza	Bifásico	3200	17,09	21,37	208	8 AWG	1 a 3	1	50	

7 Conclusiones

Se apoyó la ejecución de los entregables base para cinco subestaciones en diferentes niveles de tensión, tanto en tecnología AIS como GIS, donde se logró identificar los equipos, validar distribuciones y distancias, criterios de diseño, estándares, configuraciones típicas y elementos que intervienen en el diseño desde el trabajo interdisciplinario con el equipo asignado.

Se realizó la actualización de la herramienta CIRCUTIAL_C.A., empleada para la selección de los conductores de los circuitos de servicios auxiliares en corriente alterna de una subestación. La nueva versión de la herramienta ofrece la opción de cálculos más exactos evitando el sobredimensionamiento de los conductores. En la actualización realizada se verificó el cumplimiento de los requisitos de selección descritos en la normatividad vigente en Colombia, referencias [6], [7] y [9].

Los complementos agregados en la herramienta permiten reducir los tiempos de ejecución de las memorias de cálculo con la automatización de la búsqueda de información en las bases de datos y catálogos referenciales, presentando ordenadamente la información de salida bajo formatos previamente establecidos.

La documentación de los métodos de cálculo y lógicas de funcionamiento de la herramienta facilitan la revisión y la verificación de su validez según la normatividad vigente, los criterios de diseño establecidos por la compañía y las plantillas utilizadas en cada entregable. Además, favorece futuras intervenciones con el fin de aplicar nuevos métodos y mejoras.

8 Referencias Bibliográficas

- [1] J. Flechas Villamil, "Recomendaciones para mantenimiento eléctrico de subestaciones de media y baja tensión", ISAGEN, Abril, 2013. [en línea]. Disponible: <https://www.isagen.com.co/SitioWeb/delegate/documentos/publicaciones-tecnicas/2013/boletin-abril.pdf>
- [2] ABC rural, (2011, Septiembre 14). "abc color". Disponible: <http://www.abc.com.py/articulos/importancia-de-la-energia-electrica-307738.html>
- [3] "SERVICIOS AUXILIARES DE SUBESTACIONES ET/4001". Hc Energía, Departamento de Subestaciones y Líneas/ Proyecto de Redes, Especificación Técnica, 2013.
- [4] B. Iglesias, "ESTUDIO DE LOS SISTEMAS DE SERVICIOS AUXILIARES EN SUBESTACIONES DE POTENCIA. CASO SUBESTACION TIPO NODAL 230T DE CADAFE.", Tesis de pregrado, Dpto. de ing. eléctrica, Universidad Central de Venezuela, Caracas, Ven, 2010. Disponible: <http://190.169.30.62/bitstream/123456789/14092/1/T.E.G.%20Completo%20Iglesias%20R.%20Leonor%20A..pdf>
- [5] C. Soto, "METODOLOGÍA DE COBRO PARA LOS SERVICIOS AUXILIARES BRINDADOS POR LA SUBESTACIÓN GARITA.", Informe Práctica de Especialidad, Dpto. de ing. electromecánica, Tecnológico de Costa Rica, Cartago, C. Rica, 2018. Disponible: https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/10464/metodologia_cobro_servicios_auxiliares_brindados_subestacion_garita.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [6] REGLAMENTO TÉCNICO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS (RETIE) [RESOLUCIÓN No. 9 0708]", www.minenergia.gov.co. Disponible en: https://www.minenergia.gov.co/documents/10180//23517//1410864239410100Anexo_General_RETIE_Res_9_0708_30_de_agosto_2013_corregido_Resolucion_9_0907_25_de_octubre_de_2013.pdf. Consultado: 15 de diciembre de 2020.
- [7] "NORMA TÉCNICA COLOMBIANA 2050", www.idrd.gov.co. Disponible en: <https://www.idrd.gov.co/sitio/idrd/sites/default/files/imagenes/ntc%2020500.pdf>. Consultado: 15 de diciembre de 2020.
- [8] procables.com.co/programa-para-calculo-de-caida-de-tension.html
- [9] "NORMA TÉCNICA COLOMBIANA 5001", Calidad de la Potencia eléctrica. Límites y Metodología de Evaluación en Punto de Conexión Común, 2008.
- [10] IEC 60865-1, "*Short-circuit currents - calculation of effects - part 1: definitions and calculation methods*", ed. 3.0, 2011.