



Actualización de la celda de conexión para el parque solar Urrá

Alejandro Rivera Pérez

Trabajo de grado correspondiente a semestre de industria, presentado para optar al título de
Ingeniero Electricista

Asesor

Jaime Alejandro Valencia Velásquez

Doctor PhD en área de ingeniería.

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Departamento de ingeniería eléctrica

Medellín, Antioquia, Colombia

2024

Cita	Rivera Pérez [1]
Referencia	[1] A. Rivera Pérez, “Actualización de la celda de conexión para el parque solar Urrá”, Trabajo de grado profesional, Ingeniería Eléctrica, Universidad de Antioquia, Medellín, Antioquia, Colombia, 2024.
Estilo IEEE (2020)	



Centro de documentación ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Céspedes.

Decano: Julio Cesar Saldarriaga Molina.

Jefe departamento: Noe Alejandro Mesa Quintero.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Dedicatoria

A mi madre, fuente inagotable de amor, apoyo incondicional y sabiduría. Gracias por ser el pilar no solo de mi hogar, sino de mis sueños en este arduo pero satisfactorio camino académico. Este logro también es tuyo. Te amo

Agradecimientos

Quiero expresar un profundo agradecimiento a mi familia, por su constante apoyo y amor incondicional que han sido el motor principal de todos mis esfuerzos en este hermoso viaje. A mis amigos de la universidad, por compartir risas, retos y triunfos a lo largo de esta etapa. A la Universidad de Antioquia, por brindarme las herramientas y conocimientos necesarios en mi crecimiento académico. Este logro es el resultado del apoyo incondicional de cada uno de ustedes. ¡Gracias!

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	10
ABSTRACT	11
I. INTRODUCCIÓN	12
II. OBJETIVOS	14
A. Objetivo general	14
B. Objetivos específicos	14
III. MARCO TEÓRICO	15
A. Sistema eléctrico.....	15
B. Clasificación de los niveles de tensión	15
C. Aparamenta de protección y distribución	16
a. Protección del sistema eléctrico de distribución	16
b. Aparamenta de distribución	16
c. Esquema de distribución de la aparamenta en media tensión	17
D. IEC 61869-1 – Requerimientos generales para transformadores de instrumentación	17
E. IEC 61869-2 – Transformadores de instrumentación parte 2: Requerimientos adicionales para transformadores de corriente.	18
F. IEC 61869-3 – Transformadores de instrumentación parte 3: Requerimientos adicionales para transformadores de tensión inductivos.	18
G. CREG 038 de 2014 – Código de medida.	18
H. RETIE-Anexo general de 2013 – Capitulo 12:	18
IV. METODOLOGÍA	19
A. Especificaciones técnicas de la celda de conexión.....	19
a. Características de la celda 60HA-005JD	19

b.	Características de transformadores de instrumentación	20
1.	Ruta de cableado	21
2.	Selección de núcleos de medida.....	22
3.	Selección de núcleos de protección.....	23
c.	Disyuntor SF6.....	24
d.	DPS.....	24
e.	Relé de protección	24
B.	Disposición mecánica de la celda de conexión	25
C.	Disposición mecánica del cubículo de control	27
D.	Diagrama de conexionado de la celda de conexión	27
E.	Actualización de diagrama unifilar de control y protección.....	28
V.	RESULTADOS	28
A.	Especificaciones técnicas de la celda de conexión.....	28
a.	Celda de conexión 60LHA005JD.....	28
b.	Transformador de potencial.....	30
c.	Transformador de corriente	33
d.	Disyuntor SF6.....	36
e.	DPS.....	38
f.	Relé de protección	39
B.	Disposición mecánica de la celda de conexión	41
a.	Plano mecánico de la celda de conexión	45
C.	Disposición mecánica de cubículo de control.....	50
D.	Diagrama de conexionado de la celda de conexión	54
E.	Actualización de diagrama unifilar de control y protección.....	57
VI.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	58

VII. CONCLUSIONES.....	59
REFERENCIAS.....	60

LISTA DE TABLAS

TABLA 1 RESUMEN DE DISTANCIAS PARA TRANSFORMADORES DE INSTRUMENTACIÓN.	21
TABLA 2 CLASIFICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MEDICIÓN.	22
TABLA 3 REQUISITOS DE EXACTITUD PARA MEDIDORES Y TRANSFORMADORES DE MEDIDA.....	23
TABLA 4 CLASIFICACIÓN DE LAS ZONAS DE INSTALACIÓN DE LOS EQUIPOS PARA LA CELDA 60LHA-005J.	26
TABLA 5 RESUMEN DE DIMENSIONES CELDA DE CONEXIÓN 60HLA005JD.....	30
TABLA 6 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS TRANSFORMADOR DE POTENCIAL.....	31
TABLA 7 DESCRIPCIÓN DE LAS PARTES CONSTRUCTIVAS DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIAL.	32
TABLA 8 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS TRANSFORMADOR DE CORRIENTE.	34
TABLA 9 DESCRIPCIÓN DE LAS PARTES CONSTRUCTIVAS DEL TRANSFORMADOR DE CORRIENTE.....	36
TABLA 10 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS TRANSFORMADOR DE CORRIENTE.....	38
TABLA 11 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS RELÉ DE PROTECCIÓN SEL-751.	39

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de procedimientos.	19
Figura 2. Ruta de cableado para los conductores de los transformadores de instrumentación.	21
Figura 3. Celda existente 60LHA005JD vista frontal.	28
Figura 4. Dimensiones en plano celda existente 60HLLA005JD.	29
Figura 5. Cubículo de control en planta vista frontal.	29
Figura 6. Celda 60HLA005JD con compartimiento de expansión.	30
Figura 7: Vista en plano frontal y lateral del transformador de potencial.	31
Figura 8: Vista superior de transformador de potencial.	32
Figura 9: Placa de especificaciones de transformador de potencial.	33
Figura 10: Transformador de corriente existente.	33
Figura 11: Especificaciones técnicas transformador de corriente existente.	34
Figura 12: Vista en plano lateral y superior del transformador de corriente.	35
Figura 13: Vista frontal de transformador de corriente.	36
Figura 14: Registro fotográfico de disyuntor existente.	37
Figura 15: Ficha de especificaciones técnicas de disyuntor existente.	38
Figura 16: Relé existente.	39
Figura 17: Dimensiones generales SEL-751.	40
Figura 18: Detalle frontal relé de protección SEL-751.	41
Figura 19. Zona 1: Espacio frontal de la celda de conexión con vista frontal del cubículo de control.	41
Figura 20. Zona 1: Detalle del espacio frontal de la celda.	42
Figura 21. Zona 2: Compartimiento de los transformadores de corriente.	43
Figura 22. Zona 2: Compartimiento de las terminales superiores del interruptor.	43
Figura 23. Zona 2: Detalle ampliado del compartimiento para los transformadores de corriente.	44
Figura 24. Zona 2: Detalle ampliado del compartimiento con las terminales superiores del interruptor.	44
Figura 25. Zona 2: Detalle de los terminales inferiores del interruptor en la zona de los transformadores de corriente.	45

Figura 26. Dimensiones de la celda de conexión y envolvente de expansión.	45
Figura 27. Envolvente de expansión instalada en la celda vecina 60LHA-001JD.	46
Figura 28. Plano mecánico de celda de conexión - vista lateral externa.....	47
Figura 29. Plano mecánico de celda de conexión – vista frontal externa.	47
Figura 30. Plano mecánico de celda de conexión – vista lateral interna.....	48
Figura 31. Plano mecánico de celda de conexión – vista lateral interna ampliada.	48
Figura 32. Plano mecánico de celda de conexión – vista posterior interna corte B-B’.	49
Figura 33. Plano mecánico de la celda de conexión – vista posterior interna corte C-C’.....	50
Figura 34. Reconocimiento de espacio disponible en cubículo de control.	51
Figura 35. Dimensiones generales del cubículo de control.....	51
Figura 36. Disposición de elementos dentro del cubículo de control.	52
Figura 37. Nuevos elementos del cubículo de control.	52
Figura 38. Vista posterior de las puertas del cubículo de control.	53
Figura 39. Lista de los códigos de los nuevos elementos del cubículo de control.....	53
Figura 40. Conexión de terminales para señales de corriente – núcleo de protección.....	54
Figura 41. Conexión de terminales para señales de corriente – núcleo de medida.....	55
Figura 42. Conexión de las señales de tensión – núcleo de protección.	55
Figura 43. Conexión de señales de tensión - núcleo de medida.....	56
Figura 44. Diagrama unifilar actualizado de control y protección.....	57

SIGLAS, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

AutoCAD	Diseño Asistido por computadora (Computer Assisted Design)
NTC 2050	Norma Técnica Colombiana
RETIE	Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas
DPS	Dispositivo de Protección de Sobretensión
AC	Corriente Alterna (Alternate Current, por sus siglas en inglés)
DC	Corriente Directa (Direct Current, por sus siglas en inglés)
ELCAD	Diseño Eléctrico Asistido por Ordenador (Electric Computer Aided Design)
CT	Transformador de Corriente (Current Transformer)
PT	Transformador de potencial (Potential Transformer)
EAT	Extra Alta Tensión
AT	Alta Tensión
MT	Media Tensión
BT	Baja Tensión
MBT	Muy Baja Tensión
IED	Dispositivo Electrónico Inteligente (Intelligent Electronic Device)

RESUMEN

La protección en los sistemas eléctricos es uno de los aspectos clave para una operación confiable y segura, ya que con esto se puede minimizar el impacto por fallas puntuales lo que se traduce en una mayor disponibilidad del sistema y menos tiempo fuera de servicio por fallas. Estos dispositivos de control y protección suelen ubicarse principalmente en gabinetes o celdas, los cuales son utilizados debido a que garantizan la seguridad y aislamiento de los dispositivos conectados al sistema. Por lo tanto, es crucial tener una visión clara y precisa de todos los equipos del sistema con el fin de planificar adecuadamente las actualizaciones de las celdas, gabinetes o los dispositivos a necesidad.

Es el propósito de este proyecto el desarrollo de la ingeniería necesaria para la actualización de la celda de conexión del parque solar URRÁ. Para esto, es indispensable comprender y analizar las especificaciones técnicas y mecánicas de la celda, identificando los requisitos técnicos de los equipos que deben ser instalados en ella. Posteriormente, se debe elaborar una disposición física detallada con todos los equipos y/o componentes ubicados en la celda. A medida que avanzan las instalaciones de los equipos, se debe diseñar y actualizar los diagramas de conexión eléctrica de todos los dispositivos. Por último, se debe realizar una revisión exhaustiva de todo el proceso con el fin de eliminar posibles inconsistencias en la información de los diferentes entregables del proyecto. El objetivo del proyecto es realizar la reestructuración de la celda de conexión con equipos de protección teniendo en cuenta la normativa y regulación local.

***Palabras clave* — Actualización de celda, equipos de protección, diagramas de conexionado, disposición física, especificaciones técnicas.**

ABSTRACT

Protection in electrical systems is one of the key aspects for a reliable and safe operation, since this can minimize the impact of specific failures, which translates into greater system availability and less downtime due to failures. These control and protection devices are usually located mainly in cabinets or cubicles, which are used because they guarantee the safety and isolation of the devices connected to the system. Therefore, it is crucial to have a clear and accurate view of all equipment in the system in order to properly plan the upgrades of the cells, cabinets or devices to need.

The purpose of this project is to develop the necessary engineering for the upgrade of the connection cell of the URRÁ solar park. For this, it is essential to understand and analyze the technical and mechanical specifications of the cell, identifying the technical requirements of the equipment to be installed in it. Subsequently, a detailed physical layout must be prepared with all the equipment and/or components located in the cell. As equipment installations progress, electrical connection diagrams for all devices should be designed and updated. Finally, a thorough review of the entire process must be performed in order to eliminate possible inconsistencies in the information of the different deliverables of the project. The objective of the project is to restructure the connection cubicle with protection equipment taking into account local regulations.

***Keywords* — Updating of switchgear, protection equipment, wiring diagrams, physical layout, technical specification**

I. INTRODUCCIÓN

URRÁ S.A E.S.P. es una empresa colombiana de servicios públicos de naturaleza mixta, la cual cuenta con una estructura de sociedad por acciones bajo la modalidad de compañía anónima. Está sujeta al régimen general de los servicios públicos domiciliarios y desempeña sus funciones dentro del marco legal del derecho privado, actuando como un actor destacado en el ámbito empresarial mercantil.

Teniendo en cuenta el crecimiento en el índice del calentamiento global a consecuencia de la generación de energía eléctrica derivados de combustibles fósiles, se ha hecho evidente la necesidad de implementar las llamadas “energías renovables”, entre estas, podemos encontrar la energía solar fotovoltaica, la cual viene siendo investigada desde el siglo XIX cuando se creó la primera célula solar por parte de Charles Fritts. En los últimos años, en Colombia se ha venido impulsando e incentivando el uso de este tipo de energías para la generación de energía eléctrica por medio de la Ley 1715 de 2014. Teniendo como objetivo principal brindar confiabilidad y estabilidad al Sistema Interconectado Nacional (SIN) con energías sostenibles. Como parte de esta iniciativa, la empresa Promoenergía quien es una empresa promotora de la actual compañía generadora Urrá S.A. E.S.P propone la integración de un proyecto de generación solar fotovoltaica ubicado a 30 kilómetros del municipio de Tierralta (Córdoba), con una máxima inyección de potencia al sistema de 19.9 MW [1].

La modernización de un sistema eléctrico comprende: el reemplazo de equipamientos tecnológicamente obsoletos de un sistema tratando de aprovechar los componentes y materiales reutilizables, tales como cableado, circuitos eléctricos, gabinetes o celdas; haciendo este proceso más eficaz y económico que la sustitución completa del sistema por lo cual es una alternativa muy accesible para modernizar los sistemas sin que se requiera una gran inversión. El equipamiento a ser reemplazado puede ser plenamente funcional, pero con sistemas electrónicos antiguos e integrados fuera del mercado, o pueden encontrarse discontinuados por parte de los fabricantes. Esto hace que las reparaciones sean más costosas y pueden generar múltiples problemas si se produce un daño en estos equipos.

En los retrofits se deben reemplazan equipamientos obsoletos como buses de conexiones seriales, convertidores propietarios o relés en tiempos inferiores a minutos por uso de tarjetas de conexiones adaptadas y preparadas para enlazar los circuitos existentes con los nuevos dispositivos

a integrar en el sistema. En los proyectos retrofit adicionalmente se busca migrar de las tecnologías de comunicación de los 80-90 basadas en protocolos seriales y propietarios a estándares modernos basados en TCP/IP y protocolos de comunicación abiertos [2].

La protección en los sistemas eléctricos es de los principales aspectos para tener una operación segura en los sistemas eléctricos, buscando minimizar los impactos de fallas puntuales y reducir la indisponibilidad por fallos. Teniendo en cuenta que es imposible evitar totalmente las fallas, el enfoque es tratar de mitigar sus efectos. Las medidas de protección, como relés, fusibles o relevadores, se instalan específicamente para salvaguardar partes esenciales o equipos del sistema eléctrico. La primera línea de defensa es la protección principal, seguida por la protección secundaria. En algunos casos, se incorporan protecciones de respaldo o redundantes que replican la función de la protección principal. Las zonas de protección de los relés se delimitan mediante elementos sensores como transformadores de corriente (TC), transformadores de tensión (PT) e interruptores. La protección de sistemas eléctricos ha experimentado un rápido desarrollo, destacando la aplicación a gran escala de relés estáticos, digitales y numéricos, mejorando así la confiabilidad y eficiencia de los sistemas eléctricos de potencia [3].

Los dispositivos de control y protección generalmente están ubicados en gabinetes o celdas, seleccionados por su seguridad y aislamiento. Estas ubicaciones se eligen para prevenir interferencias externas que podrían afectar su desempeño, asegurando su funcionamiento óptimo sin estar expuestos a eventos que puedan provocar fallos. Por lo tanto, es crucial tener una visión clara de todos los equipos presentes para planificar adecuadamente las actualizaciones, ya sea en celdas, gabinetes o los propios dispositivos según sea necesario.

La finalidad del proyecto consiste en el desarrollo de ingeniería para la actualización de la celda de conexión para el parque solar URRÁ. Este proyecto implica la revisión detallada de la celda de conexión, identificando áreas de mejora y modernización. La ingeniería del proyecto se enfocará en diseñar soluciones prácticas para optimizar el rendimiento y garantizar la integración fluida del parque solar con la red eléctrica. Las pruebas como el estudio de conexión al SIN serán fundamentales para brindar información sobre la efectividad de las actualizaciones propuestas, asegurando un funcionamiento óptimo y sostenible de la celda de conexión en el contexto del parque solar Urrá.

II. OBJETIVOS

A. Objetivo general

Actualizar la celda de conexión del parque solar Urrá, utilizando herramientas especializadas como AutoCAD y ELCAD.

B. Objetivos específicos

- Identificar y especificar los equipos requeridos para ejecutar la actualización de la celda de conexión.
- Emplear los programas de diseño Autocad y/o Eplan para crear la disposición física detallada de las actualizaciones que se implementarán en la celda de conexión.
- Utilizar el programa ELCAD para elaborar el diagrama de conexión que represente de manera precisa y detallada las interconexiones eléctricas de los diversos componentes ubicados en la celda de conexión.

III. MARCO TEÓRICO

A continuación, tendremos algunas definiciones y conceptos claves necesarios para la correcta interpretación y un claro entendimiento de la información que se presenta en este documento.

Seguidamente, se presenta una descripción de los términos más importantes asociados a un sistema de distribución y aparamenta eléctrica para equipos de media tensión vitales que permitirán la interconexión del parque solar con la subestación eléctrica del SIN.

A. Sistema eléctrico

El sistema eléctrico comprende todos los componentes necesarios para suministrar energía eléctrica a los consumidores. Estos componentes incluyen generadores, transformadores, líneas de transmisión, líneas de subtransmisión, cables y equipos de distribución. La primera parte es el sistema de generación, donde la electricidad se produce en centrales eléctricas pertenecientes a una compañía eléctrica o a un proveedor independiente. La energía generada inicialmente se encuentra en un nivel de tensión de generación, que posteriormente se eleva mediante transformadores para transmitirla a largas distancias. La segunda parte es el sistema de transmisión, cuya función es llevar la energía hacia los centros de carga mediante líneas aéreas o subterráneas de transmisión. La energía transmitida en esta etapa tiene un nivel de tensión muy alta (EHV) en el caso de la red de transmisión o alta tensión (HV) para la red de subtransmisión. La tercera parte del sistema es el sistema de distribución, donde la tensión se reduce en las subestaciones hasta alcanzar un nivel de media tensión (MT) antes de llegar a los consumidores finales [4].

B. Clasificación de los niveles de tensión

Para el sistema eléctrico colombiano se estandarizan 5 niveles de tensión para la conexión y operación de todos los sistemas de transmisión, subtransmisión, distribución y consumo de usuario final, tomados de la NTC 1340 [5].

EAT: Tensiones superiores a 230 kV. Tensión normalizada de 345 V y 500kV.

AT: Tensiones mayores o iguales a 57,5 kV. Tensiones normalizadas de 66 kV, 110 kV, 115 kV, 220kV y 230 kV.

MT: Tensión nominal superior a 1000 V e inferior a 57,5 kV. Tensiones normalizadas de 11,4 kV, 13,2 kV, 34,5 kV y 44 kV.

BT: Tensión nominal superior a 25 Vac o 60 Vcc e inferior a 1000 V.

MBT: Tensiones menores a 25 V.

C. Aparamenta de protección y distribución

a. Protección del sistema eléctrico de distribución

El sistema de distribución puede enfrentar diversos tipos de fallas, las cuales pueden ser causadas por factores internos o externos, estas pueden ser temporales o permanentes. Por esta razón, es esencial que la red de distribución esté equipada con dispositivos de protección que vigilen de manera constante el estado eléctrico de sus componentes y los desconecten en caso de detectar una falla grave.

La estrategia general para aplicar la protección en los sistemas de distribución implica la subdivisión del sistema en zonas independientes, como motores, cables, líneas, barras colectoras, transformadores y generadores. Cada zona se protege de forma individual (protección primaria) para aislarla del resto del sistema en caso de que ocurra una falla en esa zona, manteniendo así en funcionamiento las otras zonas. Es posible que algunas zonas se superpongan en ciertos puntos, y en estos casos, dichos puntos estarán protegidos por más de un conjunto de relés de protección [4].

b. Aparamenta de distribución

Los sistemas de distribución no sólo incluyen las líneas eléctricas que reciben la energía del sistema de transmisión o de cualquier otra fuente de energía para distribuirla a los clientes, sino también los equipos asociados de conmutación, medición, supervisión, control y protección. Para llevar a cabo estas funciones se necesitan componentes eléctricos, como disyuntores, interruptores-seccionadores, transformadores de instrumentación, y relés de protección. Estos componentes están interconectados eléctricamente e instalados físicamente en un recinto determinado conocido como "Aparamenta de distribución" o "Celda de media tensión" [4]

Estos dispositivos distribuyen la energía a diversas secciones de una instalación y a las cargas eléctricas dentro de esas secciones. Además, proporcionan protección tanto a las personas como a los equipos de la instalación al limitar el flujo de corriente a niveles seguros. La aparamenta de media tensión generalmente requiere acceso tanto a la parte delantera como a la trasera del

conjunto tanto para la instalación de los equipos como para el mantenimiento. La inclusión de dispositivos electrónicos inteligentes (IED), como relés y medidores basados en microprocesadores, puede transformar los cuadros de distribución en sistemas inteligentes. Esto se logra mediante la implementación de nuevos diseños de aparamenta o la actualización estratégica de componentes en sistemas existentes. Los conmutadores en red permiten al operador de la instalación aprovechar soluciones avanzadas de computación en la nube para analizar grandes volúmenes de datos y obtener información valiosa sobre el sistema de distribución de energía, lo que mejora la productividad, la seguridad y el rendimiento operativo [6].

Existen principalmente dos tipos de equipos de conmutación: los equipos de tipo exterior y los de tipo interior. Es habitual construir los equipos de conmutación de alto voltaje como tipo exterior, mientras que los de voltaje más bajo suelen ser del tipo interior.

c. Esquema de distribución de la aparamenta en media tensión

Las principales características y elementos de una celda son los siguientes [4]:

- Barras de alta y baja tensión.
- Enlaces de puesta a tierra.
- Interruptor.
- Transformadores de instrumentación (intensidad y tensión).
- Relé de protección.
- DPS.
- Alimentaciones auxiliares de la celda en MT.

Para la preparación de este documento, se realizaron consultas a diversas normativas de referencia con el fin de establecer los parámetros y especificaciones técnicas necesarios para la selección de los nuevos equipos que se instalarán en la celda de conexión. A continuación, se enumerarán las normas utilizadas como referencia, acompañadas de una breve descripción de su contenido.

D. IEC 61869-1 – Requerimientos generales para transformadores de instrumentación

Esta sección de la norma IEC 61869 se aplica a los transformadores de medida recién fabricados diseñados para aplicaciones con tensiones nominales superiores a 1 kV en corriente

alterna. Estos transformadores están equipados con una señal secundaria analógica o digital utilizada para fines de medida, protección y control, con frecuencias nominales que van desde 15 Hz hasta 400 Hz [7].

E. IEC 61869-2 – Transformadores de instrumentación parte 2: Requerimientos adicionales para transformadores de corriente.

IEC 61869-2:2012 se aplica a transformadores de corriente recién fabricados diseñados para su utilización con equipos de medición eléctrica y/o dispositivos de protección eléctrica en frecuencias nominales que oscilan entre 15 Hz y 100 Hz [8].

F. IEC 61869-3 – Transformadores de instrumentación parte 3: Requerimientos adicionales para transformadores de tensión inductivos.

IEC 61869-3:2011 se refiere a transformadores de tensión inductivos recién fabricados destinados a ser utilizados con equipos de medición eléctrica y dispositivos de protección eléctrica en frecuencias comprendidas entre 15 Hz y 100 Hz [9].

G. CREG 038 de 2014 – Código de medida.

En esta resolución se establecen las condiciones técnicas y procedimientos que se aplican a la medición de energía de los intercambios comerciales en el Sistema Interconectado Nacional (SIN), los intercambios con otros países, las transacciones entre agentes y las relaciones entre agentes y usuarios [10].

H. RETIE-Anexo general de 2013 – Capítulo 12:

En este capítulo se detalla la clasificación de los diferentes niveles de tensión [5].

IV. METODOLOGÍA

Con el propósito de cumplir con los objetivos planteados para la ejecución satisfactoria de este proyecto, se plantea una serie de actividades donde se tendrá una descripción detallada sobre todos los procedimientos que se realizaron en cada etapa del proyecto con el fin de crear una base sólida de procesos y ejecuciones para la elaboración ordenada y eficiente del proyecto.

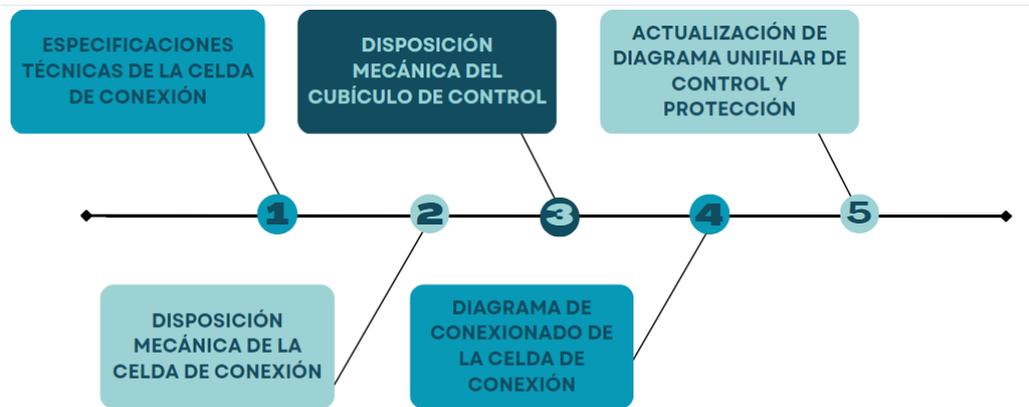


Figura 1. Esquema de procedimientos.

A continuación, se hará una profundización de cada uno de los procesos principales presentados en la Figura 1.

A. Especificaciones técnicas de la celda de conexión

Es el primer proceso que se debe realizar del proyecto, donde se proporcionan las especificaciones técnicas correspondientes a la celda 60LHA-005JD que hace parte del tren de celdas de 34.5 kV ubicadas en el cuarto de media tensión y la expansión de la misma necesaria para la realización de “La actualización de la celda de conexión”, con el objetivo de permitir la integración del parque solar Urrá 19.9MW a la subestación Urrá. Esto incluye las características mecánicas de la celda y demás aspectos relevantes para el proyecto.

Con base en la información obtenida en el levantamiento de campo, donde se obtuvo información detallada de los equipos existentes en la celda 60LHA-005JD, la cual será de vital importancia para la selección de los nuevos equipos que serán implementados o sustituidos.

a. Características de la celda 60HA-005JD

Como se trata de una actualización, esta se lleva a cabo para la celda existente cuyo fabricante es Schneider y cuya referencia es DNF7. Se tomará toda la información existente de

dicha celda con el objetivo de tener claro el dimensionamiento mecánico y eléctrico que se debe tener en cuenta en el momento de seleccionar los equipos y demás elementos necesarios para efectuar de manera correcta la actualización de dicha celda. Como datos básicos se conoce la siguiente información asociada a la celda de media tensión 60LHA-OO5JD:

- Altura total.
- Código de identificación.
- Altura gabinete de control, el cual está ubicado en el compartimiento superior de la celda.
- Ancho de la celda.
- Alto, largo y profundo de la expansión proyectada donde se ubicarán los transformadores de tensión.

b. Características de transformadores de instrumentación

Para los transformadores de instrumentación, se tienen dos actividades principales a realizar. La primera en base a los transformadores de corriente donde se reemplazarán los existentes por nuevos equipos, la segunda está relacionada con los transformadores de tensión los cuales se implementarán debido a que no hay equipos existentes para ser reemplazados. A continuación, se mencionan las características principales de estos equipos que serán especificadas en el apartado de resultados del presente documento.

- Tensión de conexión.
- Código de identificación.
- Corriente nominal.
- Relación de transformación - núcleo de medida.
- Relación de transformación - núcleo de protección.
- Clase de precisión - núcleo de medida
- Clase de precisión- núcleo de protección.
- Dimensiones mecánicas.

A continuación, se realizará el proceso de selección de los parámetros técnicos correspondiente a las clases de exactitud para los núcleos de medida y protección de los transformadores de instrumentación que serán ubicados en la celda de conexión 60LHA-OO5JD.

60LHA-55*TI	0,2S	Celda 60LHA-005JD – Tablero de medida y comunicaciones	16
60LHA-32*TU	3P5	Expansión de celda 60LHA-005JD – Cubículo de control	2,4
60LHA-31*TU	0,2	Expansión de celda 60LHA-005JD – Tablero de medida y comunicaciones	16

2. Selección de núcleos de medida.

La resolución CREG 038 es la encargada de definir las características técnicas que deben cumplir los sistemas de medición para que el registro de los flujos de energía se realice bajo condiciones que permitan determinar adecuadamente las transacciones entre los agentes que participan en el mercado mayorista y los usuarios finales [10]. Este aspecto es fundamental para asegurar que los sistemas de medición sean precisos y confiables, lo que es esencial para registrar correctamente el consumo y la generación de energía, evitando así errores en la facturación. La adherencia a la CREG 038 asegura que las empresas del sector eléctrico cumplan con la normativa vigente, evitando sanciones y asegurando que los procesos de medición y facturación de energía cumplan con los requisitos legales establecidos. Finalmente, esta resolución establece los criterios para la homologación de equipos de medición, asegurando que los núcleos de medida seleccionados sean compatibles con los estándares nacionales e internacionales, facilitando la integración de nuevos equipos en el sistema existente garantizando la interoperabilidad de todos los elementos conectados al sistema de medición.

La regulación 038 de la CREG establece la clasificación de los puntos de medición acorde al consumo o transferencia de energía por frontera, o por la capacidad instalada en el punto de conexión según la siguiente tabla [10]:

TABLA 2
CLASIFICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MEDICIÓN.

Tipos de puntos de medición	Consumo/transferencia de energía (MWh-mes)	Capacidad instalada (MVA)
1	$C \geq 15000$	$CI \geq 30$
2	$15000 > C \geq 500$	$30 > CI \geq 1$
3	$500 > C \geq 50$	$1 > CI \geq 0,1$
4	$50 > C \geq 5$	$0,1 > CI \geq 0,01$

5	C<0,01	CI<0,01
---	--------	---------

Como el proyecto correspondiente a la interconexión del parque solar con la subestación Urrá tendrá una capacidad instalada de 19.9 MW se determina en base a la tabla 2 que le corresponderá un punto de medición 2 el cual será importante para determinar en base a la tabla 3 los tipos de núcleos de medición para los transformadores de instrumentación [10].

TABLA 3
REQUISITOS DE EXACTITUD PARA MEDIDORES Y TRANSFORMADORES DE MEDIDA.

Tipos de puntos de medición	Clase para medidores de energía activa	Clase para medidores de energía reactiva	Clase para transformadores de corriente	Clase para transformadores de tensión
1	0,2S	2	0,2S	0,2
2 y 3	0,5s	2	0,5S	0,5
4	1	2	0,5	0,5
5	1 o 2	2 o 3	-	-

Para los puntos de medición de tipo 2 se debe seleccionar como mínimo un núcleo de 0.5S para los transformadores de corriente y de 0.5 para los transformadores de tensión. Por petición del cliente se seleccionaron núcleos de medida de 0,2S y 0,2 para los transformadores de corriente y tensión respectivamente que son una clase mucho más precisa y exacta con respecto a la mínima requerida en la regulación 038 de la CREG [10].

3. Selección de núcleos de protección.

La precisión de los transformadores de corriente de protección de acuerdo con la norma IEC 61869 – 2, se determina por el porcentaje de error compuesto en el límite de precisión nominal de la clase de precisión de corriente primaria correspondiente, seguido de la letra "P" que denota su función de protección. Dicha norma establece dos clases de precisión estándar 5P y 10P, para los transformadores de corriente de este proyecto se selecciona el 5P [8].

La precisión de los transformadores de tensión de protección de acuerdo con la norma IEC 61869 – 3, vendrá designada por el mayor porcentaje de error de tensión admisible prescrito para la clase de precisión de que se trate, desde el 5 % de la tensión asignada a una tensión

correspondiente al factor de tensión asignada, esta expresión va seguida de la letra P. Las clases de precisión estándar para los transformadores de tensión de protección son 3P y 6P. Para el proyecto correspondiente a la actualización de la celda de conexión de la subestación Urrá con el parque solar se seleccionó una precisión de 3P para los transformadores de tensión [9].

c. Disyuntor SF6

Este equipo es existente y no será objeto para una sustitución, por lo tanto, se describirán las características principales de dicho dispositivo donde sus especificaciones más detalladas se presentarán en el apartado de resultados del presente documento.

- Corriente nominal.
- Código de identificación.
- Tensión nominal.
- Poder de corte.
- Poder de cierre.
- Frecuencia.
- Voltaje nominal del impulso de rayo.

d. DPS

Este dispositivo será nuevo, debido a que la celda no cuenta con uno existente, por lo tanto, se describirán a continuación las principales características que se deben tener en cuenta en el proceso de selección.

- Tensión nominal del DPS.
- código de identificación.
- Tensión de operación continua.
- Tensión de impulso tipo maniobra.
- Tensión impulso tipo rayo.
- Corriente nominal de descarga.
- Dimensiones mecánicas.

e. Relé de protección

La celda cuenta con un relé de protección existente que será reemplazado por un nuevo relé que contará con una mayor cantidad de funciones de protección, adicionalmente tendrá una mayor

confiabilidad y eficiencia respecto a su operación continua. A continuación, se describirán las principales características que se deben tener en cuenta para la selección del relé de protección para que pueda implementarse en base a las condiciones impuestas por el sistema de media tensión del tren de celdas.

- Dimensiones generales.
- Funciones de protección.
- Corriente nominal.
- Categoría de medida.
- Corriente de saturación.
- Tensión de operación.
- Frecuencia.
- Burden nominal.

B. Disposición mecánica de la celda de conexión

La disposición mecánica de la celda de conexión 60LHA-OO5JD corresponde a los planos físicos de la celda con todos los componentes esenciales como disyuntores, transformadores de corriente y tensión, y sistemas de protección y control. Estos elementos deben estar dispuestos de manera que permitan un flujo de energía óptimo, minimizando las pérdidas y asegurando la robustez del sistema frente a posibles fallos. Se tienen 4 zonas principales en la celda de conexión, la primera zona corresponde a la parte frontal de la celda en la cual se instalará el interruptor de potencia y en la que se encuentran los terminales frontales para la conexión del interruptor, la zona 2 equivale a la parte posterior de la celda en donde se instalarán los transformadores de corriente, así como también los DPS y además en esta se encuentran los terminales posteriores de conexión del interruptor junto con sus aisladores para anclarlos a la estructura de la celda. La tercera zona corresponde al cubículo de control en el que se ubicara el relé de protección y las borneras correspondientes para la recepción de todas las señales necesarias para su garantizar una correcta operación. La zona 4 es la envolvente de expansión ubicada en la parte posterior de la celda en la cual se instalarán los nuevos transformadores de tensión.

Lo primero que se realizó antes de proceder con la definición de la disposición mecánica de la celda fue un reconocimiento sobre el espacio disponible para la ubicación de todos los elementos, ya que se debe tener presente que los nuevos equipos que se vayan a instalar tendrán unas

dimensiones diferentes a los equipos existentes, por lo que se debe conocer el detalle del espacio disponible que se tendrá para la instalación de los nuevos equipos.

En la tabla 4 se presenta la clasificación de los espacios de la celda junto con los respectivos equipos que se implementarán en cada uno con el fin de proporcionar una visualización más detallada de la distribución de los equipos dentro de la celda de conexión 60LHA-OO5J.

TABLA 4
CLASIFICACIÓN DE LAS ZONAS DE INSTALACIÓN DE LOS EQUIPOS PARA LA CELDA 60LHA-OO5J.

Zonas	Equipos existentes y/o reemplazados	Equipos nuevos
1	Interruptor de potencia	-
2	Transformador de corriente	DPS
3	Relé de protección	-
4	-	Transformadores de tensión

El procedimiento que se utilizó para realizar los planos mecánicos de la celda de conexión fueron los siguientes.

- Definición de las cotas con las dimensiones de las longitudes más representativas de la celda.
- Remover los equipos existentes que serán reemplazados y proceder con la implementación de los nuevos equipos en el interior de la celda, así como también su respectiva conexión con los demás elementos instalados.
- Representación esquemática de todos los elementos ubicados en el interior de la celda como los aisladores encargados de sostener el barraje principal de la celda.
- Ubicación de los equipos nuevos que no existen en la celda, en este caso se debe tener en cuenta que la celda contará con una envolvente de expansión en la cual se instalarán los transformadores de tensión, por lo tanto, es indispensable definir las dimensiones de esta envolvente con el objetivo de garantizar una instalación segura de los equipos en su interior.

Para el caso de los equipos que se instalarán y que no existen actualmente en la celda como el caso de los DPS y los transformadores de tensión, se presentará el esquema con la ubicación final de estos en el interior de la celda, así como también de cómo se realizó su respectiva conexión. En el apartado de resultados se presenta el reconocimiento de los espacios descritos anteriormente en la celda de conexión, así como también el plano final de la celda con todos los equipos implementados.

C. Disposición mecánica del cubículo de control

Para la diseñar la disposición mecánica del cubículo de control se realizó un reconocimiento de los elementos existentes en dicho compartimiento para analizar el espacio disponible o las reconfiguraciones necesarias de las borneras y los equipos para garantizar la correcta conexión de todos los equipos que serán instalados en la celda de conexión junto con los equipos ya existentes en la misma. Es indispensable instalar un nuevo grupo de borneras para la recepción de las señales de tensión provenientes de los transformadores de tensión nuevos que serán instalados. Así como también la recepción de las nuevas señales que necesita el nuevo relé de protección SEL-751 para tener un correcto funcionamiento.

D. Diagrama de conexionado de la celda de conexión

Un diagrama de conexionado de una celda es una representación gráfica que detalla cómo se interconectan los diversos componentes eléctricos dentro de esta. Este diagrama muestra de manera precisa las conexiones eléctricas entre los dispositivos, incluyendo disyuntores, transformadores, seccionadores, interruptores y otros equipos. El diagrama de conexionado correspondiente a la celda 60LHA-OO5J presentará todas las borneras necesarias para acoplar todas las señales proporcionadas o recibidas de los diferentes equipos instalados en el interior de la celda. El diagrama de conexionado presenta 2 grupos principales de borneras:

- Borneras cortocircuitables/seccionables XI002, destinadas para las señales proporcionadas por los núcleos de protección de los transformadores de corriente.
- Borneras cortocircuitables/seccionables XI004, destinadas para las señales proporcionadas por los núcleos de medida de los transformadores de corriente.
- Borneras cortocircuitables/seccionables XV002, destinadas para las señales proporcionadas por los núcleos de protección de los transformadores de tensión.
- Borneras cortocircuitables/seccionables XV004, destinadas para las señales proporcionadas por los núcleos de medida de los transformadores de tensión.

E. Actualización de diagrama unifilar de control y protección

En esta sección el objetivo final es implementar en el diagrama unifilar existente de la subestación Urrá, los transformadores de medida tanto de tensión como de corriente, así como también el equipo de protección. Esta implementación implica representar las conexiones de los elementos mencionados anteriormente dentro de la celda de conexión 60LHA-005J, así como también las funciones de protección con las que esta equipado el relé de protección.

V. RESULTADOS

En esta sección se presentará la información más detallada y precisa del resultado al realizar cada una de las etapas de la metodología implementada en el capítulo IV. Las actividades se detallarán ya sea en primera instancia de manera cualitativa a través de Figuras, registros fotográficos, planos o diagramas de conexionado. En segunda instancia se representará de forma cuantitativa por medio de tablas o listados de información.

A. Especificaciones técnicas de la celda de conexión

a. Celda de conexión 60LHA005JD

En primera instancia, se procederá a presentar información sobre la disposición mecánica de la celda de conexión 60LHA005JD.



Figura 3. Celda existente 60LHA005JD vista frontal.

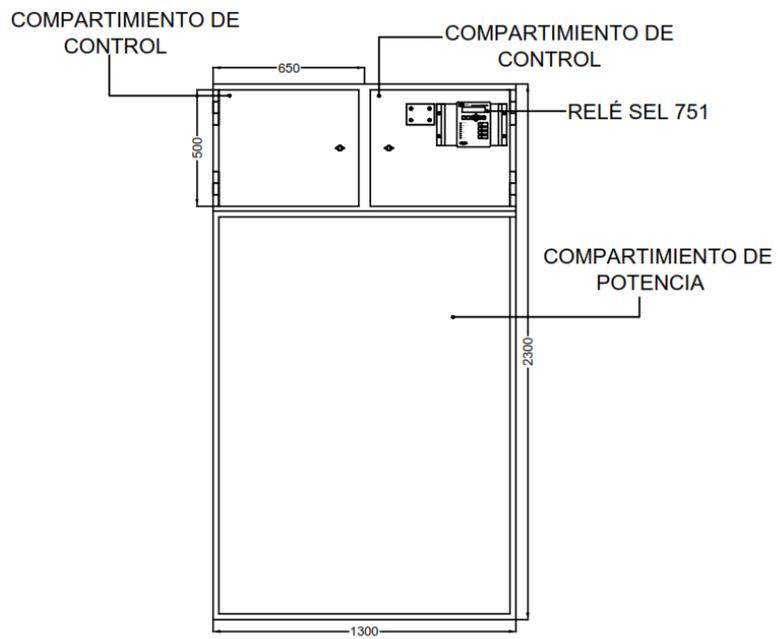


Figura 4. Dimensiones en plano celda existente 60HLLA005JD.



Figura 5. Cubículo de control en planta vista frontal.

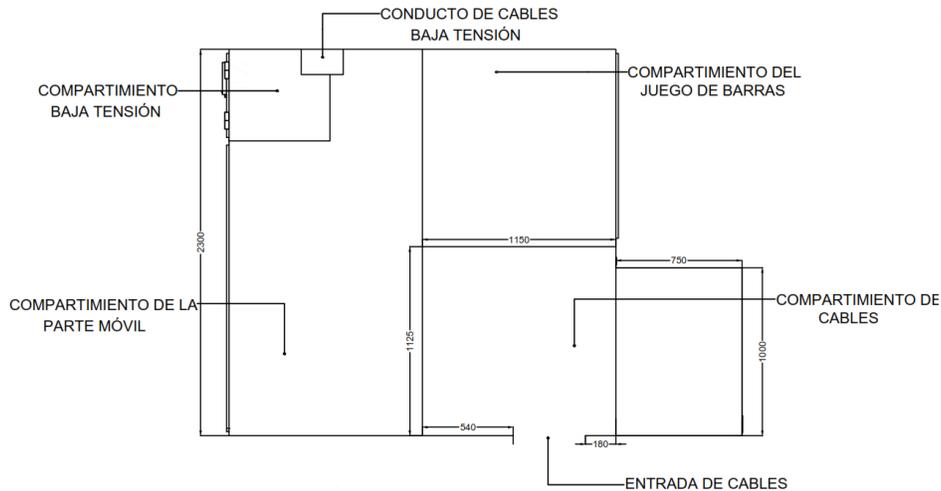


Figura 6. Celda 60HLA005JD con compartimiento de expansión.

TABLA 5
RESUMEN DE DIMENSIONES CELDA DE CONEXIÓN 60HLA005JD

Dimensiones	Valor (mm)
Altura celda	2300
Altura Cubículo de control	500
Ancho	1300
Profundidad	2250
Altura compartimiento de expansión	1000
Profundidad compartimiento de expansión	750

En segunda instancia se presentarán las especificaciones generales de los transformadores de instrumentación que se instalarán en la celda de conexión.

b. Transformador de potencial

El transformador de potencial será un equipo nuevo que se implementará debido a que la celda existente no contaba con un TP instalado previamente. A continuación, se presentarán las especificaciones mencionadas en el capítulo IV.

TABLA 6
 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS TRANSFORMADOR DE POTENCIAL

Descripción	Especificación requerida
Fabricante	Brasformer Brasfer
Modelo	BPS331
Temperatura ambiente	-10°C – 45°C
Norma	IEC 61869-3
Uso	Interior
Tensión nominal	34.5 kV
Corriente de cortocircuito	25 kA
BIL	170 kV
Relación de transformación núcleo de medida	$\frac{34500}{\sqrt{3}} - \frac{115}{\sqrt{3}} \text{ kV}$
Relación de transformación núcleo de protección	$\frac{34500}{\sqrt{3}} - \frac{115}{\sqrt{3}} \text{ kV}$
Clase núcleo de medida	0.2
Clase núcleo de protección	3P
Burden núcleo de medida	10 VA
Burden núcleo de protección	5 VA
Certificado RETIE	SI
Certificado de calibración	SI

A continuación, se presentará el plano correspondiente al transformador de potencial que se implementará en la celda de conexión.

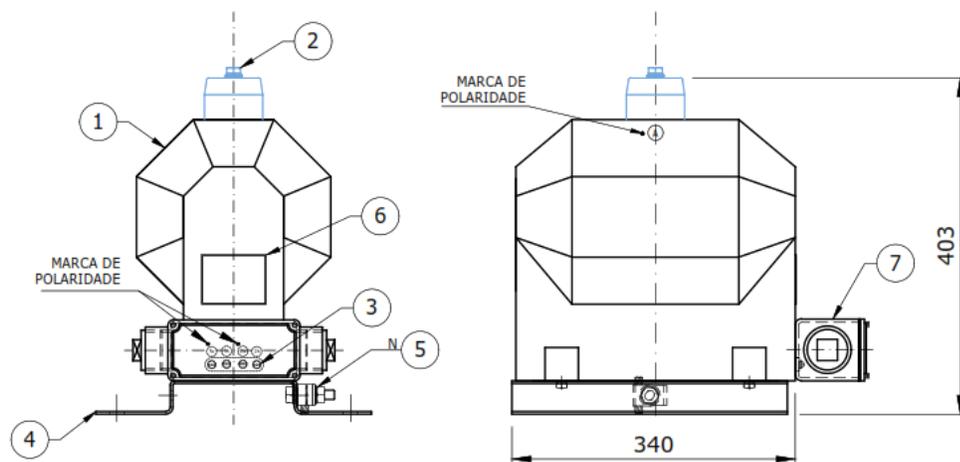


Figura 7: Vista en plano frontal y lateral del transformador de potencial.

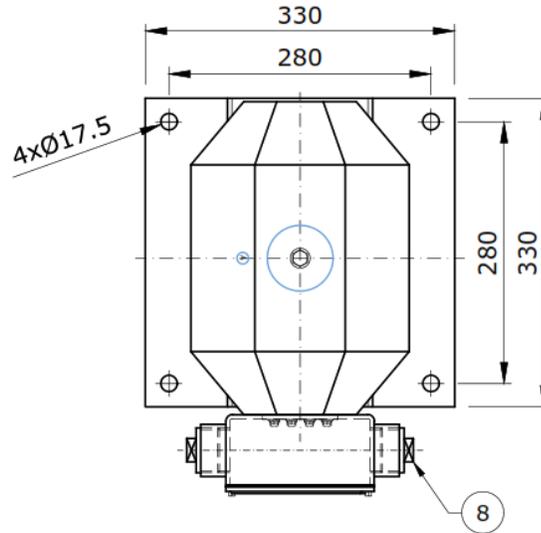


Figura 8: Vista superior de transformador de potencial.

En la siguiente tabla se detalla la descripción de los tags presentados en las Figuras anteriores:

TABLA 7
DESCRIPCIÓN DE LAS PARTES CONSTRUCTIVAS DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIAL.

Tag	Descripción	Material
1	Carcaza	Resina ciclo alifático
2	Terminal de conexión primario	Acero bicromatizado
3	Terminal de conexión secundario	Acero bicromatizado
4	Base de fijación	Acero galvanizado
5	Conector de tierra	Bronce estañado
6	Placa de identificación	Policarbonato
7	Terminal tipo C 1.1/2" BSP	Aluminio
8	Tapón 1.1/2"	PVC

Todas las medidas presentadas en las Figuras anteriores se encuentran en milímetros.

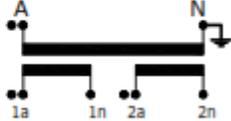
TRANSFORMADOR DE TENSIÓN			
Tipo: BPS33I	Mes/Año: * / *	f: 60 Hz	Nº *
Uso: Interior	Aislam: Epoxi	Fst: 1,9(cont.)/1,9 (30s)	
Pterm: 2X200VA	Umáx: 36 kV	NA: 70/170/- kV	
Norma: IEC 61869-3	Mtotal: 48 kg	Manual: B-128	
Us (V)	115/√3	115/√3	Up (V): 34500/√3
Terminales	1a-1n	2a-2n	Rn: 300:1-1
Precisión	10VA 0,2	5VA 3P	O.C.: *
			
<small>C.N.P.J. 43.830.504/0001.41 IND. BRAS. SÃO PAULO FONE:(0511) 2969-2244</small>			

Figura 9: Placa de especificaciones de transformador de potencial.

c. Transformador de corriente

En la celda de conexión se encuentra un transformador de corriente existente el cual en primera instancia se presentará un registro fotográfico de su instalación en la celda y en una segunda instancia se brindarán los detalles técnicos del nuevo transformador de corriente que será implementado.



Figura 10: Transformador de corriente existente.



Figura 11: Especificaciones técnicas transformador de corriente existente.

A continuación, se presentarán las especificaciones del transformador de corriente nuevo que será implementado en la celda de conexión.

TABLE 8
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS TRANSFORMADOR DE CORRIENTE.

Descripción	Especificación requerida
Fabricante	Brasformer Brasfer
Modelo	BCS32
Temperatura ambiente	-5°C – 40°C
Norma	IEC 61869-2

Uso	Interior
Tensión nominal	34.5 kV
Corriente de cortocircuito	25 kA
BIL	170 kV
Relación de transformación núcleo de medida	400 – 5 A
Relación de transformación núcleo de protección	400 – 5 A
Clase núcleo de medida	0.2S
Clase núcleo de protección	5P20
Burden núcleo de medida	10 VA
Burden núcleo de protección	2.5 VA
Certificado RETIE	SI
Certificado de calibración	SI

A continuación, se presentará el plano correspondiente al transformador de corriente que se implementará en la celda de conexión.

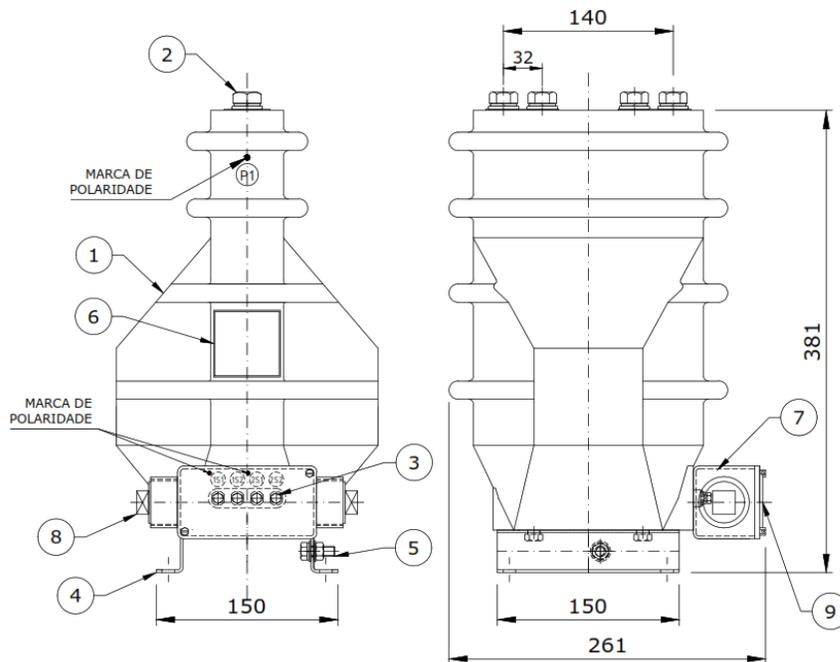


Figura 12: Vista en plano lateral y superior del transformador de corriente.

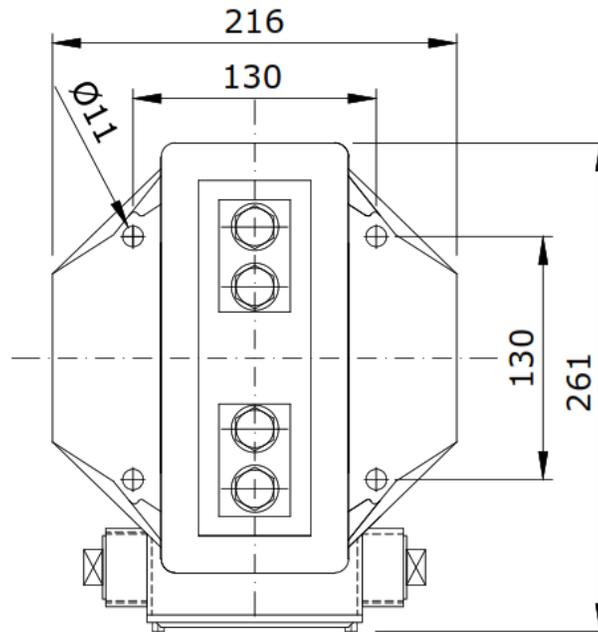


Figura 13: Vista frontal de transformador de corriente.

En la siguiente tabla se detalla la descripción de los tags presentados en las Figuras anteriores:

TABLA 9
DESCRIPCIÓN DE LAS PARTES CONSTRUCTIVAS DEL TRANSFORMADOR DE CORRIENTE

Tag	Descripción	Material
1	Carcaza	Resina EPOXI
2	Terminal de conexión primario	Acero bicromatizado
3	Terminal de conexión secundario	Acero bicromatizado
4	Base de fijación	Acero bicromatizado
5	Conector de tierra	Acero bicromatizado
6	Placa de identificación	Policarbonato
7	Terminal tipo C 1" BSP	Aluminio
8	Tapón 1" BSP	PVC
9	Tapa de caja de derivación	Acrílico

d. Disyuntor SF6

En esta parte se presentará en una primera instancia el registro fotográfico del interruptor existente en la celda de conexión, el cual no será reemplazado. En una segunda instancia se

visualizará la ficha técnica del interruptor con el objetivo de saber en detalle las características principales de dicho equipo que seguirá operando en conjunto con los demás elementos nuevos o existentes instalados en la celda de conexión.



Figura 14: Registro fotográfico de disyuntor existente.

A continuación, se presentará la placa de especificaciones del interruptor existente en la celda de conexión, este interruptor se encuentra ubicado en la parte frontal de la celda, mientras que los dispositivos de instrumentación, y el DPS se instalarán en la parte posterior de la misma.



Figura 15: Ficha de especificaciones técnicas de disyuntor existente.

e. DPS

En esta sección se presentará el detalle de las características y especificaciones técnicas del dispositivo de protección contra sobretensiones nuevo que será instalado.

TABLA 10
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS TRANSFORMADOR DE CORRIENTE.

Descripción	Especificación requerida
Fabricante	-
Modelo	-
Tensión de impulso tipo rayo	80 kV
Tensión de impulso tipo maniobra	62.4 kV
Tensión de operación continua	24 kV
Tensión nominal	30 kV
Corriente nominal de descarga	10 kA
Altura	254 mm
Frecuencia	60 Hz

f. Relé de protección

En esta sección se presentará en primera instancia el registro fotográfico del relé existente en la celda de conexión. Seguidamente se presentarán las características técnicas del nuevo relé de protección que será instalado para reemplazar el existente.



Figura 16: Relé existente.

El relé existente este compuesto por las funciones de protección básicas necesarias para garantizar la protección de la celda de conexión y todos los elementos instalados dentro de ella. El nuevo relé tendrá como objetivo cumplir con todas las funciones requeridas de una forma más segura y eficiente debido a contar con tecnología más reciente que será indispensable para que la actualización de la celda pueda llevarse a cabo de forma exitosa. A continuación, se presentarán las características técnicas del nuevo relé de protección que será instalado en la celda.

TABLA 11
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS RELÉ DE PROTECCIÓN SEL-751.

Descripción	Especificación requerida
Número de parte	7510S1A3A0X0X851F10
Dimensiones generales	144x192x147 mm
Corriente nominal	5A
Categoría de medida	2
Capacidad continua	3*Inom a 85°C 4*Inom a 55°C
Burden (por fase)	0.1 – 5 VA

tensión de operación	110/240 AC 24-48 DC
Frecuencia	60 Hz
Entradas analógicas de corriente	4
Entradas analógicas de voltaje	3
Entradas digitales	8
Salidas digitales	2

A continuación, se presentan las dimensiones generales del rele de protección SEL 751.

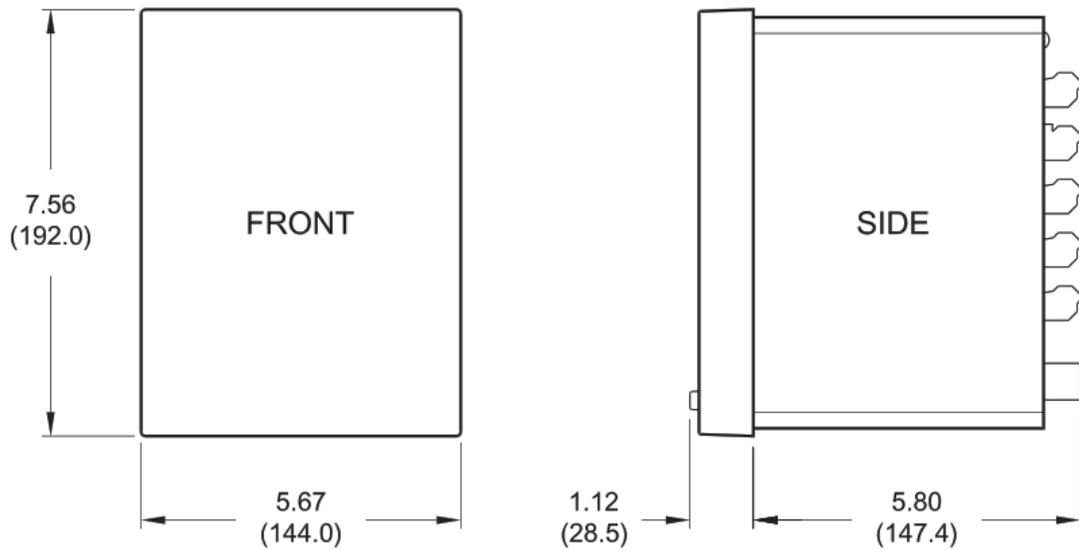


Figura 17: Dimensiones generales SEL-751.

Las dimensiones encerradas en paréntesis de las Figuras anteriores se encuentran en milímetros.



Figura 18: Detalle frontal relé de protección SEL-751.

B. Disposición mecánica de la celda de conexión

En primer lugar, se presentará un registro fotográfico indicando las condiciones actuales de los equipos existentes en el interior de la celda con el fin de tener un reconocimiento del espacio disponible u ocupado.



Figura 19. Zona 1: Espacio frontal de la celda de conexión con vista frontal del cubículo de control.



Figura 20. Zona 1: Detalle del espacio frontal de la celda.

En las figuras 19 y 20 se puede observar el espacio en el interior de la celda que corresponde a la zona de instalación del interruptor de potencia, en la base de la celda se tiene el sistema de guía y fijación del interruptor. En la parte de la pared interna se evidencian las terminales del interruptor que están protegidas por una canaleta de color rojo. Como en esta zona no se realizó ninguna intervención solo se presenta la distribución con el objetivo de brindar un panorama más detallada sobre las dimensiones físicas de la celda.



Figura 21. Zona 2: Compartimiento de los transformadores de corriente.



Figura 22. Zona 2: Compartimiento de las terminales superiores del interruptor.

En las Figuras 21 y 22 podemos observar el espacio en la parte posterior de la celda de conexión, donde en la primera Figura se visualiza de forma general la ubicación de las terminales del interruptor, así como también de la ubicación en donde se encuentran instalados los transformadores de corriente existentes. En la segunda Figura se presenta el espacio en el que se encuentran las terminales superiores de conexión del interruptor de potencia.



Figura 23. Zona 2: Detalle ampliado del compartimiento para los transformadores de corriente.

En la Figura 23 podemos observar el detalle ampliado de la instalación de los transformadores de corriente existentes, esta zona será una de las más críticas debido a que en ella se realizará el proceso de desmonte de los transformadores existentes para proceder a la instalación de los nuevos transformadores de corriente. Adicionalmente, en esta parte de la celda es donde se realizará la envolvente de expansión.



Figura 24. Zona 2: Detalle ampliado del compartimiento con las terminales superiores del interruptor.

En la Figura 24 se puede observar el detalle de la zona donde se encuentran las terminales superiores del interruptor, en la cual podemos observar los aisladores que sostienen los barrajes tubulares principales de la celda.



Figura 25. Zona 2: Detalle de los terminales inferiores del interruptor en la zona de los transformadores de corriente.

Finalmente, en la Figura 25, se visualiza la ubicación de los conectores inferiores del interruptor de potencia donde además podemos observar el barraje de cobre existente que será utilizado como soporte para la posterior instalación de los DPS, así como también de la ubicación de los aisladores encargados de soportar dichos barrajes.

a. Plano mecánico de la celda de conexión

En este apartado se presenta el resultado de la elaboración de la disposición física de la celda con todos los equipos nuevos que serán implementados. Se presentarán varias vistas con cortes de la celda para tener mayor claridad de la distribución interna de todos los elementos y equipos.

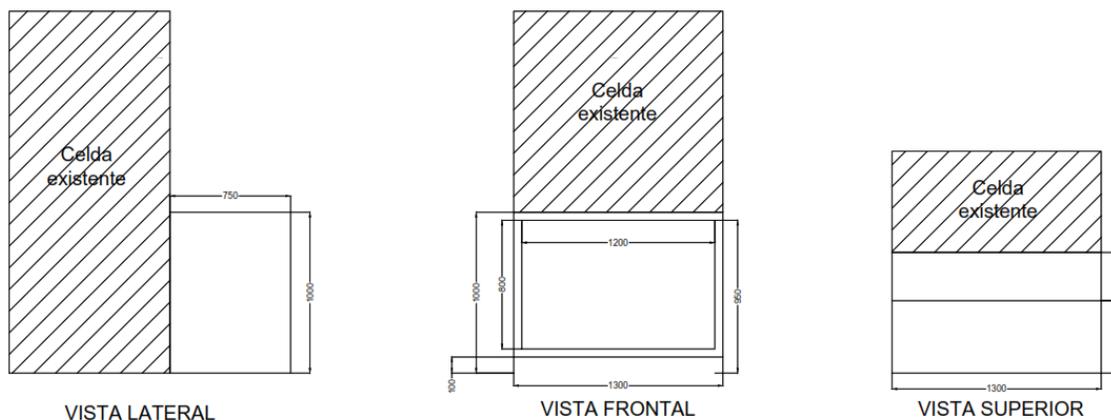


Figura 26. Dimensiones de la celda de conexión y envoltente de expansión.

En la Figura 26 se presentan las dimensiones que tendrá la envoltente de expansión que se instalará en la parte posterior de la celda de conexión. Las dimensiones de la envoltente se obtuvieron en base a la celda vecina 60LHA-001JD que ya tiene dicha expansión para mantener la

uniformidad en las dimensiones de la celda que tendrá la actualización con respecto a las celdas ya existentes en el cuarto de control de la subestación Urrá.



Figura 27. Envoltorio de expansión instalado en la celda vecina 60LHA-001JD.

En la Figura 27 podemos observar la expansión que se implementó en una celda cercana a la celda 60HLA005JD a la cual se le realizara el proceso de actualización. En base a este proceso de expansión ya realizado se tomaron las dimensiones para la fabricación de la envoltorio, así como también la ubicación ideal para los transformadores de tensión.

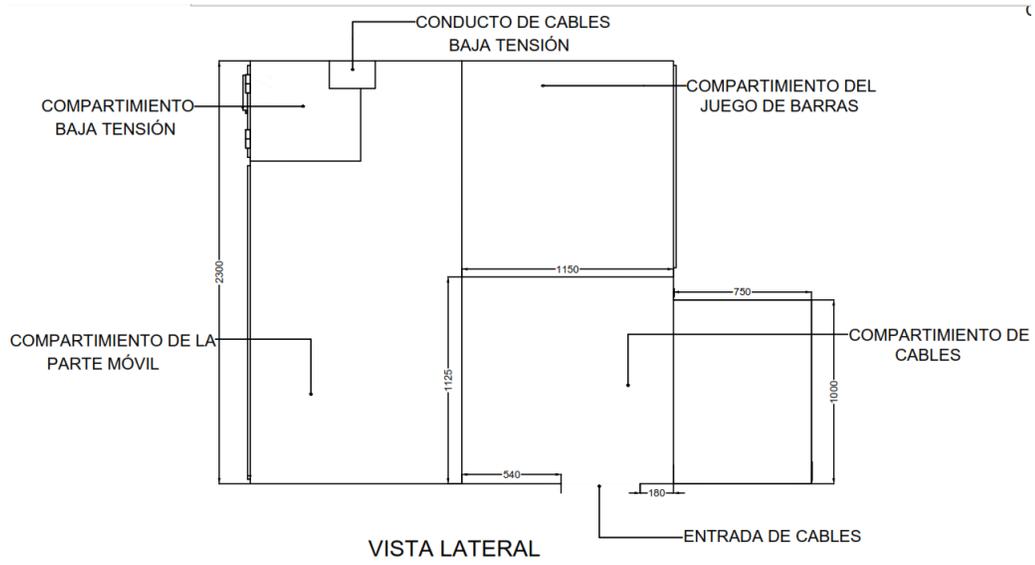


Figura 28. Plano mecánico de celda de conexión - vista lateral externa.

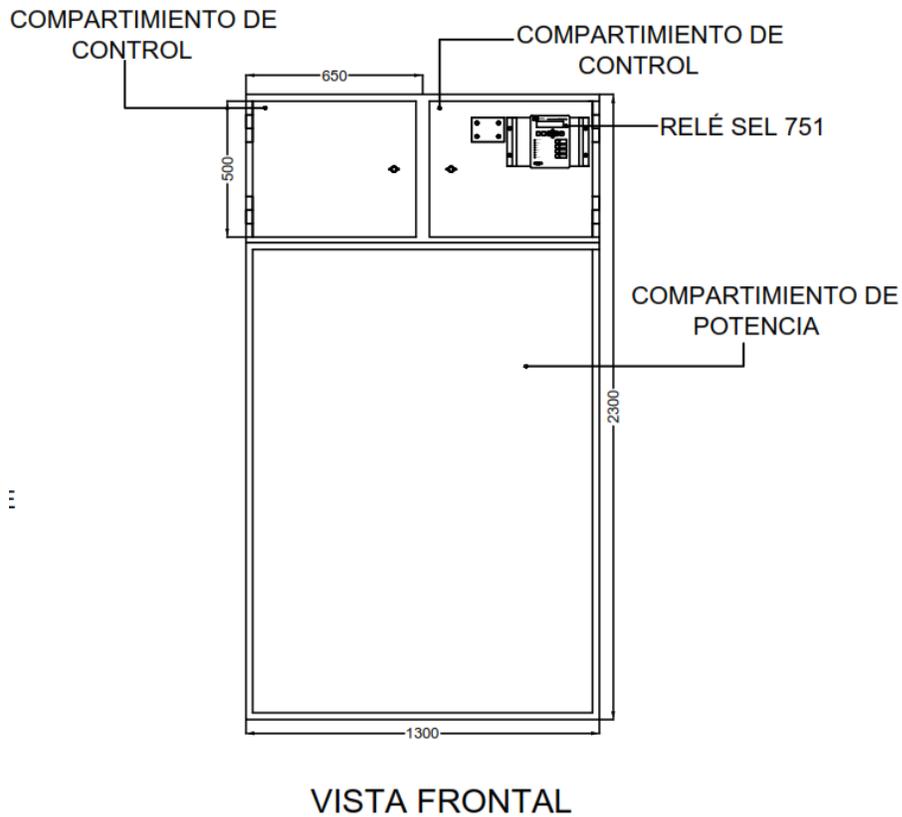


Figura 29. Plano mecánico de celda de conexión – vista frontal externa.

En las Figuras 28 y 29 se puede observar las diferentes partes que conforman la celda de conexión desde todos los compartimientos internos que posee la celda hasta las dimensiones frontales y laterales de la misma.

respecto a la instalación final en la planta debido a ajustes que se deban realizar en el sitio de instalación para garantizar un acople correcto y firme entre todos los componentes y/o equipos.

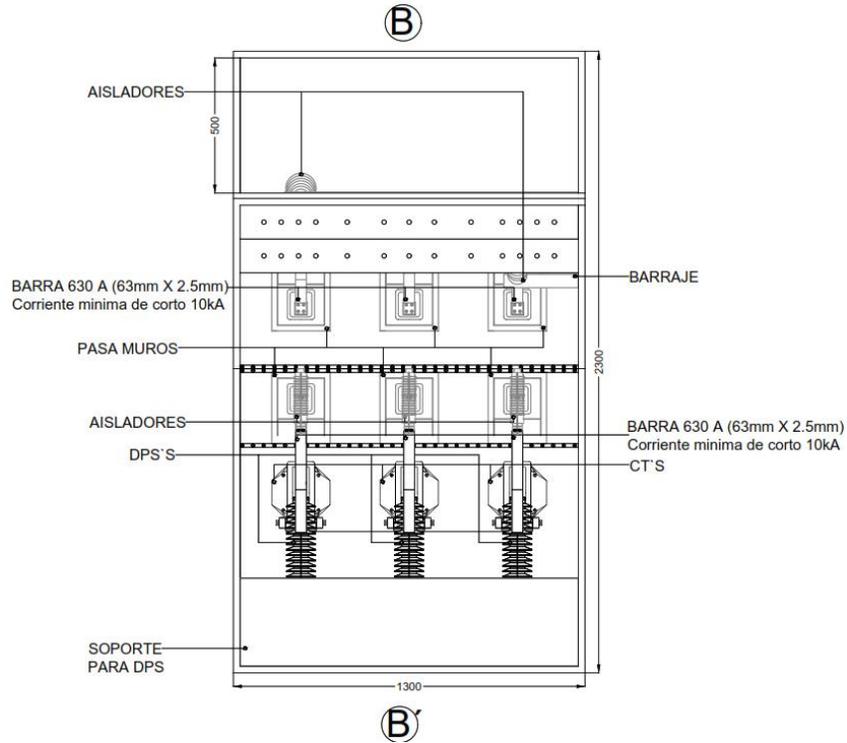


Figura 32. Plano mecánico de celda de conexión – vista posterior interna corte B-B’.

La Figura 32 corresponde a la vista posterior de la celda de conexión sin la envolvente de expansión con el objetivo de visualizar la distribución interna de los transformadores de corriente y demás elementos ubicados detrás de la envolvente.

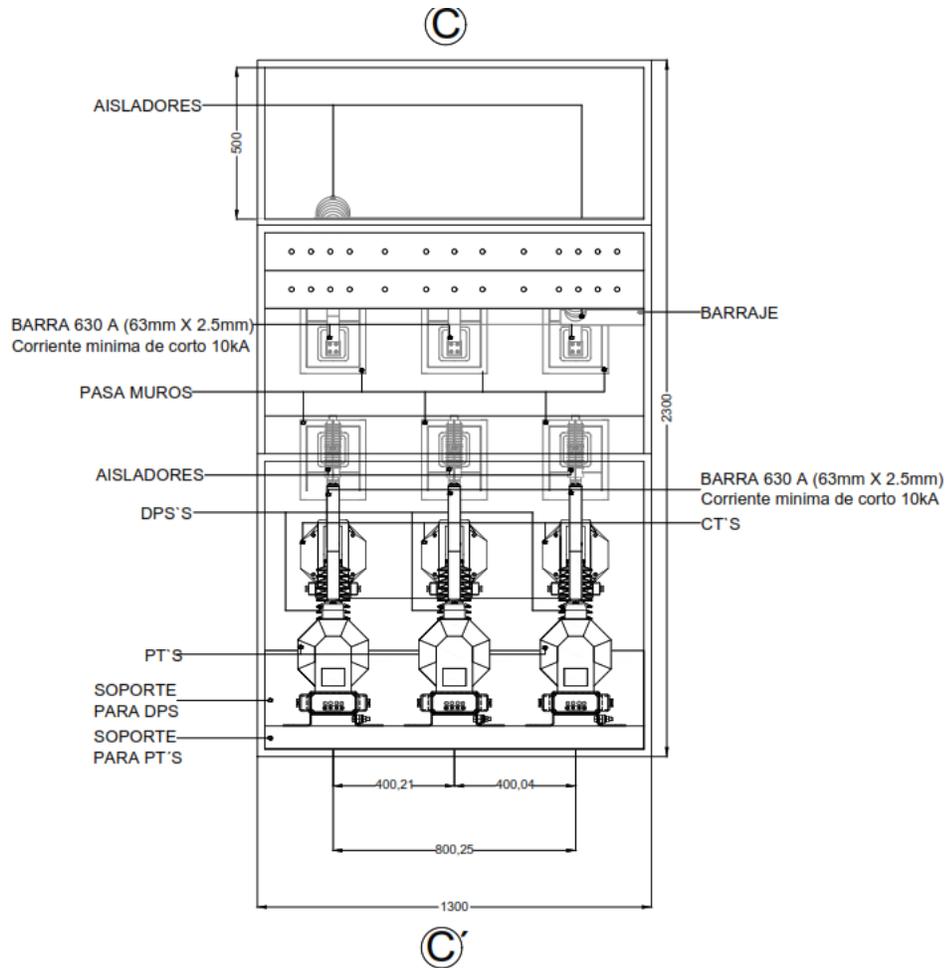


Figura 33. Plano mecánico de la celda de conexión – vista posterior interna corte C-C’.

La Figura 33 corresponde a la vista posterior de la celda de conexión con la envolvente de expansión para visualizar finalmente la distribución completa de todos los elementos que se encuentran en el interior de la celda.

C. Disposición mecánica de cubículo de control

En primera instancia, se presenta el registro fotográfico asociado al reconocimiento del espacio disponible y los elementos existentes en el cubículo de control con el objetivo de determinar la cantidad de borneras existentes libres o que se deben redistribuir para la correcta recepción y conexión de las diferentes señales proporcionadas por los equipos que serán instalados en la celda de conexión.



Figura 34. Reconocimiento de espacio disponible en cubículo de control.

En la Figura 34 se señaló con un rectángulo rojo la zona disponible para la implementación de los nuevos elementos necesarios para realizar con éxito la actualización de la celda. Los demás elementos corresponden a conexiones de elementos existentes que no se modificaran debido a que no es alcance de la actualización que se llevara a cabo.

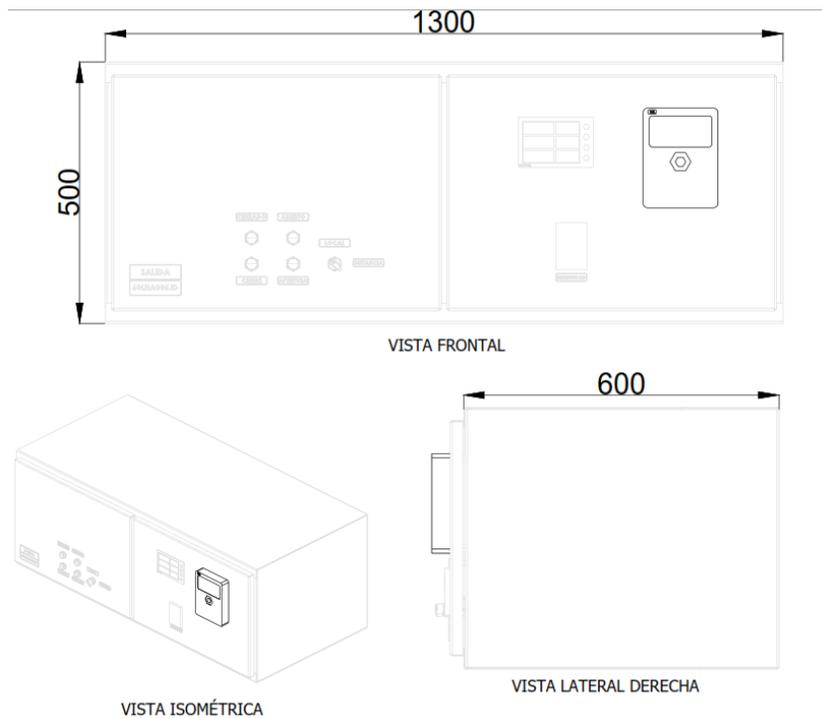
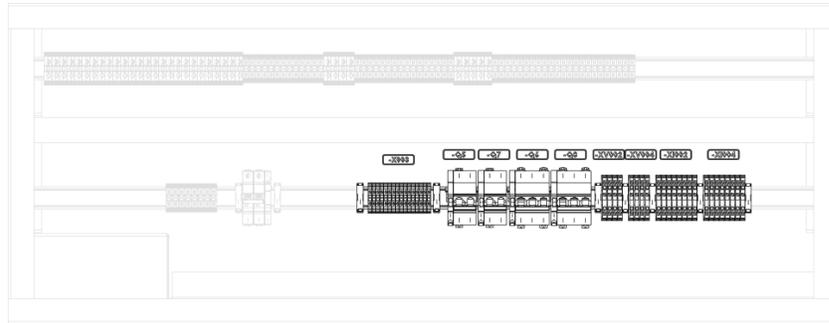


Figura 35. Dimensiones generales del cubículo de control.

En la Figura 35 se resaltan las dimensiones del cubículo de control y se señala la ubicación en donde se instalará el nuevo relé de protección en la puerta del cubículo.



VISTA FRONTAL SIN PUERTA

Figura 36. Disposición de elementos dentro del cubículo de control.

En la Figura 36 se presentan todos los elementos que se ubicaran en el cubículo de control. Con un tono gris claro se representan los elementos existentes y que no sufrirán modificaciones y con un color negro oscuro se resaltan los nuevos elementos que serán instalados en consecuencia de la actualización que se realizará en la celda de conexión.

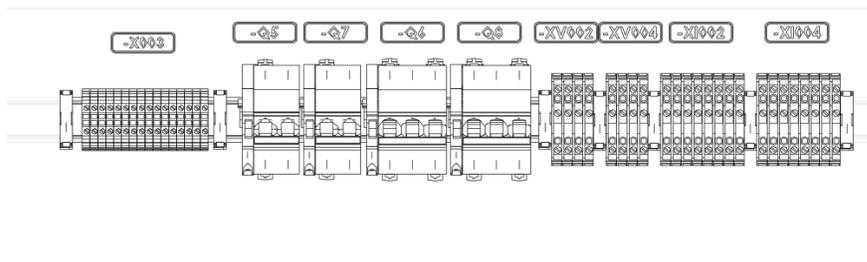


Figura 37. Nuevos elementos del cubículo de control.

La Figura 37 presenta una vista más amplia de los códigos de identificación de los elementos nuevos que serán instalados en la celda de conexión con el fin de relacionarlos fácilmente cuando se presente el diagrama de conexión de la celda de conexión.



VISTA TRASERA DE LAS PUERTAS

Figura 38. Vista posterior de las puertas del cubículo de control.

1	-F003	Relé de protección de alimentador
2	-Q5	Señalización de defecto iSD Acti9 para iC60/iID
3	-Q5	Interruptor Termomagnético Riel Acti9 iC60N 2P 2A curva C
4	-Q6	Señalización de defecto iSD Acti9 para iC60/iID
5	-Q6	Interruptor Termomagnético Riel Acti9 iC60N 3P 6A curva C
6	-Q7	Señalización de defecto iSD Acti9 para iC60/iID
7	-Q7	Interruptor Termomagnético Riel Acti9 iC60N 2P 2A curva C
8	-Q8	Señalización de defecto iSD Acti9 para iC60/iID
9	-Q8	Interruptor Termomagnético Riel Acti9 iC60N 3P 1A curva C
10	-X009	Borne de paso
11	-XI002	Borne interrump. para circ. medida
12	-XI004	Borne interrump. para circ. medida
13	-XV002	Borne interrump. para circ. medida
14	-XV004	Borne interrump. para circ. medida

Figura 39. Lista de los códigos de los nuevos elementos del cubículo de control.

Finalmente, en la Figura 39 se presenta la lista donde se relaciona el código de cada elemento con su respectiva descripción para indicar a que hace referencia cada código.

D. Diagrama de conexión de la celda de conexión

En esta sección se presentará el diagrama de conexión de la celda de conexión, pero debido a que en la celda se encuentran muchas conexiones que no fueron modificadas en el proceso de actualización solo se presentarán las conexiones pertenecientes a los elementos propios del proceso de actualización de la celda de conexión.

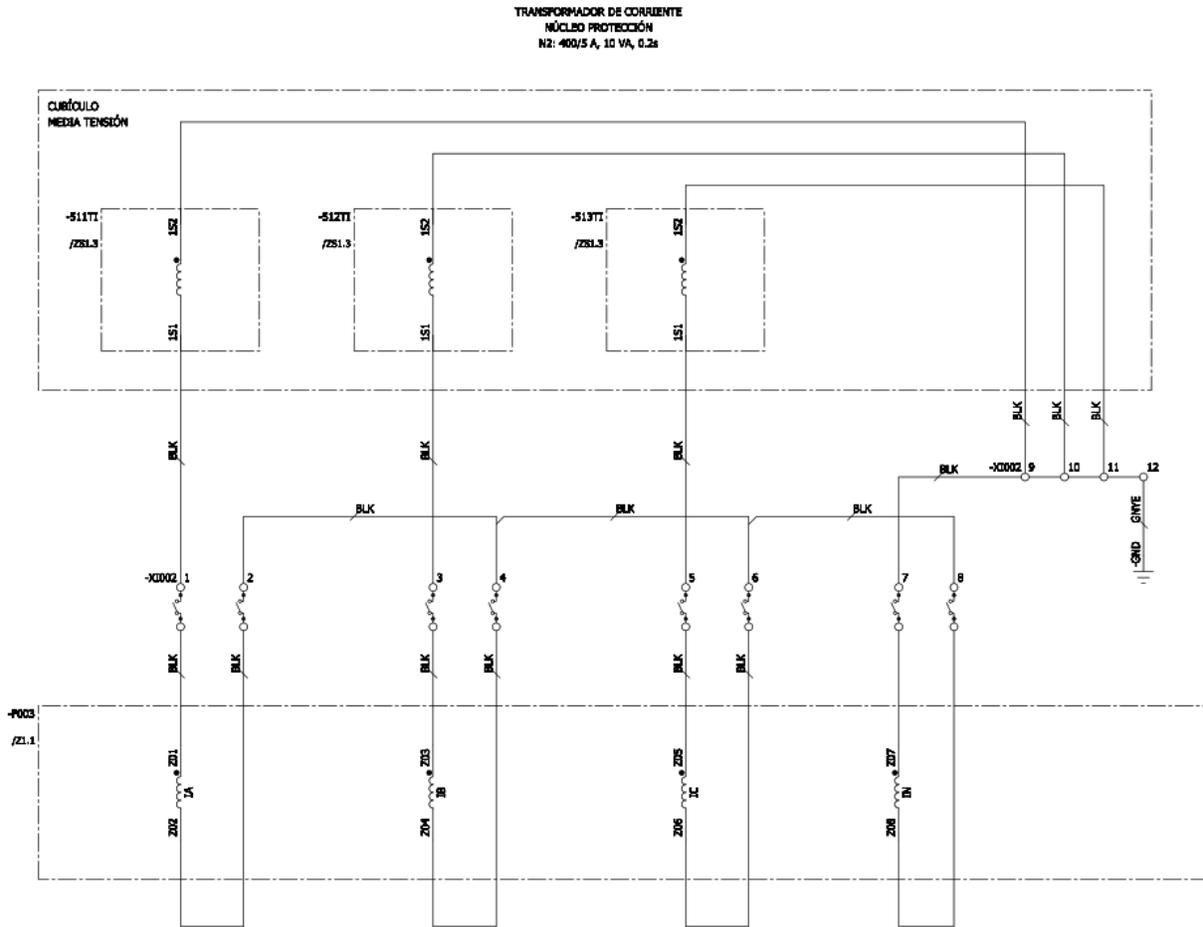


Figura 40. Conexión de terminales para señales de corriente – núcleo de protección.

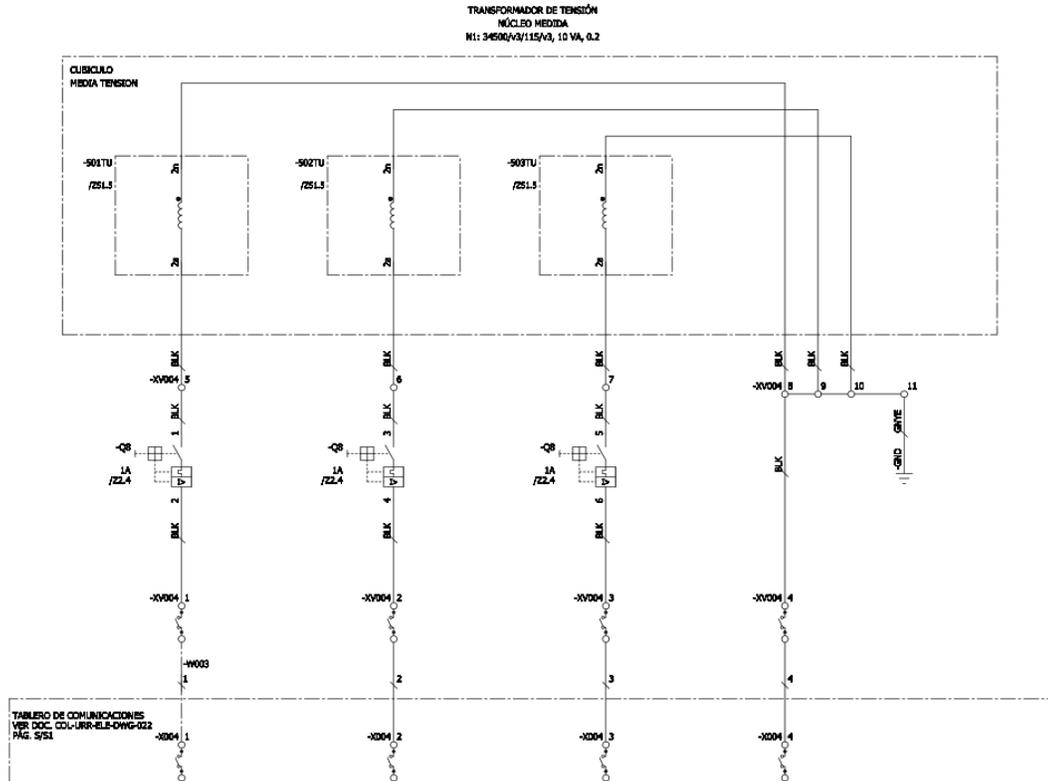


Figura 43. Conexión de señales de tensión - núcleo de medida.

En las Figuras 40 y 41, se observa la conexión de las señales de corriente desde los núcleos de protección y medida de los transformadores de corriente hasta el relé de protección o el medidor de energía. Todas las señales tienen una conexión en estrella debido a que tanto el medidor de energía como el relé de protección disponen de 4 entradas de corriente para las 3 fases y el neutro que agrupa los neutros provenientes de cada uno de los transformadores de corriente en un neutro común.

En las Figuras 42 y 43, se observa la conexión de las señales de tensión desde los núcleos de protección y medida de los transformadores de tensión hasta el relé de protección o el medidor de energía. En las entradas que llegan a los equipos de medida se conectan dispositivos de protección para evitar que una posible falla en el circuito pueda producir un daño en la alimentación de los relés de protección o el medidor de energía, así como también para tener un corte visible en la alimentación de los dispositivos por si se requiere realizar algún mantenimiento o una extracción de los equipos.

E. Actualización de diagrama unifilar de control y protección

A continuación, se presentará el diagrama unifilar actualizado de control y protección de la subestación Urrá.

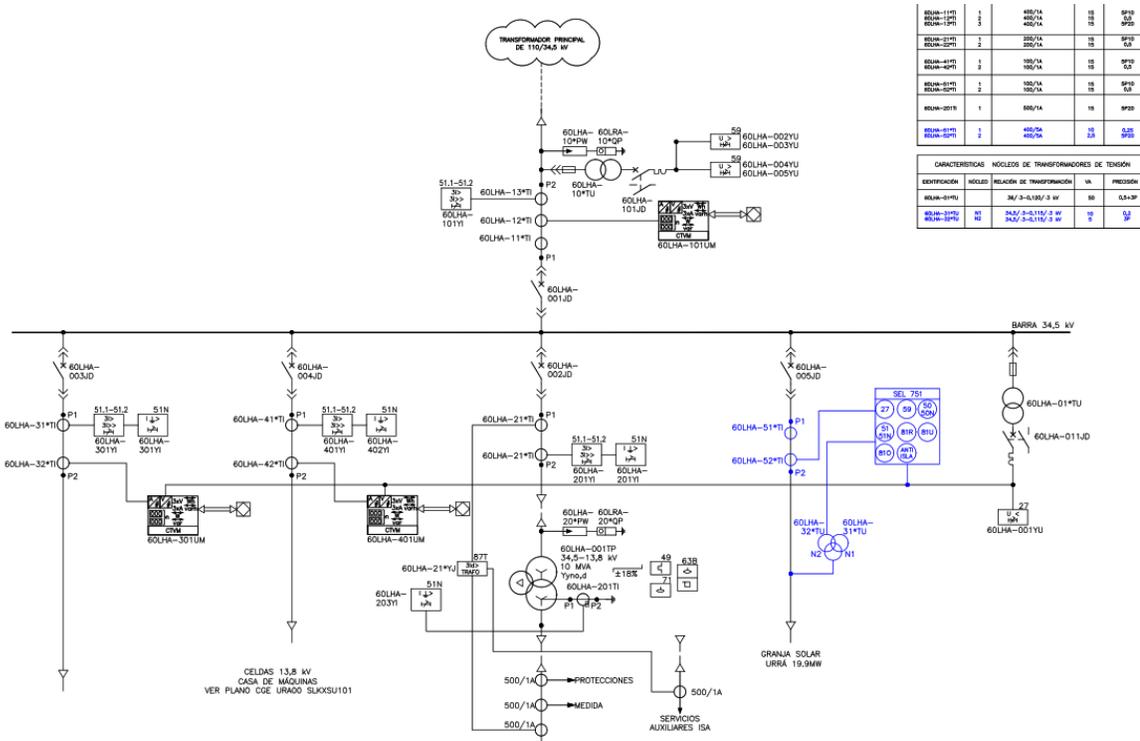


Figura 44. Diagrama unifilar actualizado de control y protección.

En la Figura 44, se puede observar los núcleos de medida y de protección tanto de los transformadores de corriente como de los transformadores de tensión, así como también de las conexiones hacia el relé de protección SEL-751. El relé de protección está conectado a su vez con una unidad integrada de medida de toda la subestación con el fin de tener una verificación constante de todas las señales de la celda.

VI. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Después de la culminación del periodo de las practicas académicas realizadas en la empresa ACEMA INGENIERÍA, se realizaron diferentes procesos de aprendizaje con el objetivo de resolver los retos presentados en la realización del proyecto. Para el proyecto se pudieron realizar los procesos de diseño, sin embargo, la implementación queda pendiente de ser llevada a cabo por la empresa, por tal motivo no fue posible tener el registro fotográfico con la implementación final en la subestación.

Uno de los temas principales que llevo al éxito del proyecto fue el diseño de la celda de conexión, ya que en la búsqueda constante de información acerca de celdas se pudo evidenciar que estas tienen múltiples componentes importantes para brindar un buen funcionamiento del sistema como lo son los sistemas de ventilación y calefacción ya que sin estos sistemas, los equipos en el interior de la celda pueden verse sometidos a condiciones ambientales extremas y por lo tanto, se reduce su tiempo de vida útil, así como también de una operación ineficiente por no trabajar bajo las condiciones óptimas para las que fueron diseñados. Para el caso de la actualización de la celda de conexión de la granja solar solo fue necesario con verificar que el sistema de calefacción existente en la misma estuviera operando correctamente, lo cual después de la visita en campo, se pudo verificar exitosamente.

En el transcurso del proyecto se pudo ampliar y reforzar conocimientos sobre la metodología para seleccionar los núcleos de protección y medida de los transformadores de corriente y tensión, un factor clave para la conexión segura del parque solar al sistema interconectado nacional ya que la selección adecuada de estos núcleos asegura una medición confiable y rápida de cualquier perturbación que se pueda presentar en el sistema, permitiendo una reacción segura de los equipos de protección conectados a los núcleos de protección y una medición de la calidad de la energía óptima para el caso de los equipos conectados a los núcleos de medida.

Es indispensable cumplir con la normativa nacional para asegurar que la instalación tendrá un funcionamiento seguro y confiable de todos sus componentes. La normativa referente a la selección de los equipos de medida más específicamente la regulación 038 expedida por la CREG, fue de suma importancia ya que nos dio lineamientos claros sobre los parámetros mínimos que se deben cumplir en la selección de las precisiones para los núcleos de medida tanto de los transformadores de tensión como de los transformadores de corriente. Esta resolución es crucial para garantizar una lectura precisa de la señal recibida por los medidores, ya que establece las

especificaciones técnicas y los procedimientos necesarios para asegurar que los sistemas de medición registren los flujos de energía con exactitud y confiabilidad, aspecto esencial para garantizar la transparencia y equidad en las transacciones entre el mercado mayorista y entre usuarios finales.

Los aspectos de la academia fueron de suma importancia para partir de una idea clara y concisa y determinar en base a estos aspectos los requerimientos de información y recursos necesarios para completar con éxito el proyecto. Estos aspectos fueron reforzados en la realización de este proyecto, conceptos como el conocimiento y manejo previo de las normativas y estándares nacionales e internacionales, así como también el diseño de diagramas unifilares fueron de suma importancia para llevar a cabo con éxito los diseños presentados a lo largo de este documento.

El aspecto más enriquecedor que se obtuvo tras la realización del proyecto fue la capacidad de diseñar disposiciones físicas y diagramas de conexiones referentes a celdas o tableros eléctricos. Se pudo conocer no solo los conceptos básicos necesarios como equipos, espacio disponible, elementos de conexión, conductores requeridos entre otros, sino también el manejo de los programas especializados como ELCAD y una mayor profundización en el manejo que se tenía del programa AutoCAD para poder llevar a cabo los diseños.

VII. CONCLUSIONES

La selección de los núcleos de protección y medida de los transformadores de instrumentación son el aspecto más fundamental en la actualización de la celda de conexión de la subestación Urrá. Un mal dimensionamiento en estos núcleos puede desencadenar una serie catastrófica de eventos que pueden provocar un daño permanente de los equipos.

Lo primordial para realizar cualquier proceso de actualización de una celda eléctrica es determinar las especificaciones técnicas propias de la celda y de los equipos que serán implementados en su interior. Para este aspecto una buena inspección en la visita es fundamental para identificar con éxito todos los elementos, conexiones, equipos y alimentaciones que se deben tener en cuenta en el proceso de diseño, ya que con un buen diseño se garantiza en gran medida una correcta implementación.

La implementación de los diseños eléctricos debe alinearse rigurosamente con normativas como RETIE, el Código Eléctrico Nacional, y regulaciones específicas para selección de equipos de medida. En aspectos donde la normativa nacional no tiene muchas especificaciones es

importante buscar un referente internacional con el objetivo de tener un referente calificado que nos garantice un diseño confiable y seguro. Estos cumplimientos normativos son esenciales para garantizar la seguridad y calidad en el diseño del proyecto.

Las practicas académicas son el complemento más importante de la formación académica, ya que en estas se tuvo la oportunidad se aterrizar todos los conceptos abstractos en implementaciones y diseños reales lo que nos proporciona un nuevo abanico de nuevas oportunidades de crecimiento técnico y personal.

REFERENCIAS

- [1] Urra Generación sostenible, «URRA – Hidroeléctrica». Accedido: 5 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://urra.com.co/>
- [2] Ingenieros Emetres SLP, «Retrofit – la solución coste-eficiente para la modernización de sistemas | LinkedIn». Accedido: 5 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://bit.ly/3J6KA9l>
- [3] C. M. Piña Valverde y J. A. Moreno Ávila, «Estudio para la modernización de los sistemas de protección de los grupos de generación y transmisión de la Central Hidroeléctrica Paute», 2010, Accedido: 5 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/5158>
- [4] Abdelhay A. Sallam y Om P. Malik, «Sistemas de distribución eléctrica». Accedido: 6 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3JaBsQO>
- [5] Ministerio de Minas y Energía, «Anexo General Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas - RETIE», n.º 90708, ago. 2013, Accedido: 6 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/4cMX2bB>
- [6] Eaton, «Fundamentos de la aparamenta de media tensión». Accedido: 6 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3PRocV4>
- [7] International Electrotechnical Commission (IEC), «IEC 61869-1 Instrument transformers- Part 1: General requirements», 2023.
- [8] International Electrotechnical Commission (IEC), «IEC 61869-2 Instrument transformers- Part 2: Additional requirements for current transformers», 2012.
- [9] International Electrotechnical Commission (IEC), «IEC 61869-3 Instrument transformers- Part 3: Additional requirements for inductive voltage transformers».

- [10] Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), «Resolución 38 de 2014 CREG». Accedido: 6 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/49xnzXI>