Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú. Decana de América
Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica
Escuela Profesional de Ingeniería Eléctrica

Gestión del proyecto de montaje y pruebas eléctricas de una subestación tipo skid para operación minera

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL
Para optar el Título Profesional de Ingeniero Electricista

AUTOR

Julio Cesar MIRANDA TAPIA

ASESOR

Mg. Edy Alberto ROMÁN CCORAHUA

Lima, Perú

2026



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Miranda, J. (2026). *Gestión del proyecto de montaje y pruebas eléctricas de una subestación tipo skid para operación minera*. [Trabajo de suficiencia profesional de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica, Escuela Profesional de Ingeniería Eléctrica]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	Julio Cesar Miranda Tapia
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	48164642
URL de ORCID	No Aplica
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Mg. Edy Alberto Román Ccorahua
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	06767696
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-0632-1134
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Dr. Hugo Avila Vargas
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	09295655
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Dr. Fernando Jose Oyanguren Ramirez
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	07566297
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	Mg. Alfredo Rocha Jara
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	08645523
Datos de investigación	
Línea de investigación	No Aplica
Grupo de investigación	No Aplica
Agencia de financiamiento	No Aplica

Ubicación geográfica de la investigación	Perú – Lima – Lima
Año o rango de años en que se realizó la investigación	2022-2023
URL de disciplinas OCDE	Ingeniería Eléctrica, Ingeniería Electrónica https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.02.01

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
(Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA)
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y ELÉCTRICA
Teléfono 619-7000 Anexo 4226
Calle Germán Amezaga 375 – Lima 1 – Perú

ACTA DE SUSTENTACIÓN
TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL
ACTA N°80/FIEE-PPP/2026

Los suscritos Miembros del Jurado, docentes permanentes de las Escuelas Profesionales de la Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica, reunidos en la fecha 29 de Octubre del 2026, como Presidente de Jurado el **DR. HUGO AVILA VARGAS,** integrado por el Miembro de Jurado el **DR. FERNANDO JOSE OYANGUREN RAMIREZ,** el Miembro de Jurado el **MG. ALFREDO ROCHA JARA y** Miembro Asesor el **MG. EDY ALBERTO ROMÁN CCORAHUA.**

Después de escuchar la Sustentación Presencial del Trabajo de Suficiencia Profesional del Bachiller **JULIO CESAR MIRANDA TAPIA** con código 11190247 que para optar el Título Profesional de Ingeniero Electricista sustentó el Trabajo de Suficiencia Profesional titulado **GESTIÓN DEL PROYECTO DE MONTAJE Y PRUEBAS ELÉCTRICAS DE UNA SUBESTACIÓN TIPO SKID PARA OPERACIÓN MINERA.**

El jurado examinador procedió a formular las preguntas reglamentarias y, luego de una deliberación en privado, decidió otorgarle el calificativo de 16 (DIECISÉIS).

Ciudad Universitaria, 29 de Octubre del 2026

DR. HUGO AVILA VARGAS
Presidente Jurado

DR. FERNANDO JOSE OYANGUREN RAMIREZ
Miembro Jurado

MG. ALFREDO ROCHA JARA
Miembro Jurado

MG. EDY ALBERTO ROMÁN CCORAHUA
Miembro Asesor

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE
SAN MARCOS
Universidad del Perú, Decana de América

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, **EDY ALBERTO ROMÁN CCORAHUA** en mi condición de asesor acreditado con el Dictamen N°81/FIEE-PPP/2026 del Trabajo de Suficiencia Profesional titulado **GESTIÓN DEL PROYECTO DE MONTAJE Y PRUEBAS ELÉCTRICAS DE UNA SUBESTACIÓN TIPO SKID PARA OPERACIÓN MINERA,** presentado por el bachiller JULIO CESAR MIRANDA TAPIA, para optar el título profesional de Ingeniero Electricista. CERTIFICO que se ha cumplido con lo establecido en la Directiva de Originalidad y de Similitud de Trabajos Académicos, de Investigación y Producción Intelectual. Según la revisión, análisis y evaluación mediante la plataforma PIDS, el documento evaluado cuenta con el 04% de similitud, nivel PERMITIDO para continuar con los trámites correspondientes y para su publicación en el repositorio institucional.

Se emite el presente certificado en cumplimiento de lo establecido en las normas vigentes, como uno de los requisitos para la obtención del título profesional de Ingeniero Electricista.

Lima, 29 de Octubre del 2026

Firma del Asesor

DNI: 06767696

Nombres y apellidos del asesor:
EDY ALBERTO ROMÁN CCORAHUA

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres Grimanesa y Gregorio, y a mi hermano Ronald; por todo el apoyo que me brindaron a lo largo de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la empresa Siemens por haberme brindado muchas oportunidades de desarrollo profesional.

También agradezco a la Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, por haberme otorgado el conocimiento necesario para desenvolverme de la mejor manera en mi carrera profesional.

RESUMEN

El presente trabajo de suficiencia profesional aborda la gestión del proyecto de montaje y pruebas eléctricas de una subestación unitaria tipo skid destinada a la alimentación eléctrica de la sala de autoclaves de oxidación a presión de una importante minera en el país. Esta solución compacta responde a la necesidad del sector, donde se prioriza una implementación rápida, alta confiabilidad operativa y adaptabilidad a posibles reubicaciones, teniendo en cuenta las limitadas ventanas de intervención y la criticidad de la continuidad del suministro eléctrico.

La subestación integra en una sola estructura una celda GIS Siemens 8DA10 de media tensión, un transformador de distribución y sus respectivos sistemas de protección y comunicación. Su fabricación en taller, pruebas previas (FAT) y pruebas en taller (workshop tests) permiten disminuir riesgos en campo y asegurar la calidad antes de la puesta en servicio.

Asimismo, este trabajo se centra en la gestión de las etapas del proyecto de acuerdo con la guía PM@SIEMENS (guía de gestión de proyectos de Siemens), la cual indica las directrices a seguir para la ejecución de este tipo de proyectos con un alto nivel de dificultad.

Palabras clave: subestación eléctrica, skid, media tensión, transformador de distribución, minería, PM@SIEMENS

ABSTRACT

This professional competency work addresses the management of the project for the assembly and electrical testing of a unitized skid-type substation, intended to supply power to the pressure oxidation autoclave room of a major mining operation in the country. This compact solution responds to the sector's requirements, where fast implementation, high operational reliability, and adaptability to potential relocations are prioritized, considering the limited intervention windows and the critical need for continuity of electrical supply.

The substation integrates, within a single structure, a Siemens 8DA10 medium-voltage GIS switchgear, a distribution transformer, and their corresponding protection and communication systems. Its workshop fabrication, factory acceptance tests (FAT), and workshop tests contribute to reducing on-site risks and ensuring quality prior to commissioning.

Furthermore, this work focuses on project management stages in accordance with the PM@SIEMENS guideline (Siemens project management framework), which establishes the directives for executing this type of high-complexity project.

Keywords: electrical substation, skid, medium voltage, distribution transformer, mining, PM@SIEMENS.

ÍNDICE GENERAL

CARÁTULA **i**
RESUMEN **iv**
ABSTRACT **v**
ÍNDICE GENERAL **vi**
LISTA DE FIGURAS **vii**
LISTA DE CUADROS **viii**
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN **1**
CAPÍTULO II: INFORMACIÓN DEL LUGAR DONDE SE DESARROLLÓ LA ACTIVIDAD **4**
2.1 Institución – Actividad que desarrolla 4
2.2 Periodo de duración de la actividad 4
2.3 Finalidad y objetivos de la entidad 4
2.4 Razón social 4
2.5 Dirección postal 4
2.6 Nombre y correo electrónico del profesional a cargo 5
CAPÍTULO III: DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD **6**
3.1 Organización de la Actividad 6
3.2 Finalidad y Objetivos de la Actividad 7
3.2.1 Finalidad 7
3.2.2 Objetivos 7
3.3 Problemática 8
3.3.1 Problema General 9
3.3.2 Problemas Específicos 9
3.3.3 Justificación e importancia de la investigación 9
3.4 Metodología 10
3.4.1 Bases Teóricas 10
3.4.2 Marco Conceptual 11
3.5 Procedimiento 16
3.6 Resultado de la actividad 49
3.6.1 Resultados de ingeniería y diseño 50
3.6.2 Resultado de fabricación e integración 50
3.6.3 Resultado de pruebas en taller 50
3.6.4 Condición final del sistema 50
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN DE RESULTADOS **52**
4.1 Descripción de la implementación 52
4.2 Evaluación económica 52
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES **55**
CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES **57**
CAPÍTULO VII: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS **58**
CAPÍTULO VIII: APÉNDICES **60**

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Organigrama del proyecto. 7
Figura 2 Esquema conceptual de solución tipo skid NEMA4. 12
Figura 3 Celda GIS de Media Tensión SIEMENS modelo 8DA10. 13
Figura 4 Transformador de Distribución marca Siemens. 13
Figura 5 Estructura Metalmecánica Tipo Skid (con envolvente para celda MT). 14
Figura 6 Configuración de Celdas GIS de Media Tensión en Software. . 20
Figura 7 Ejecución de pruebas de rutina en fábrica. 24
Figura 8 Transformador de distribución en línea de ensamblaje. 25
Figura 9 Proceso de fabricación de la estructura metalmecánica tipo skid. 29
Figura 10 Prueba de adherencia de pintura en skid. 30
Figura 11 Maniobra de izaje con grúa de celda GIS de Media Tensión. 31
Figura 12 Posicionamiento de celda GIS dentro de envolvente NEMA 4. 31
Figura 13 Verificación de las condiciones físicas del transformador. 32
Figura 14 Maniobra de izaje de Transformador de Distribución. 33
Figura 15 Recorrido de cable de media tensión entre celda MT y transformador de distribución (cable color verde). 34
Figura 16 Armado de terminaciones marca Pfisterer. 35
Figura 17 Terminaciones Pfisterer preparadas y listas para conexión en celda GIS. 35
Figura 18 Terminaciones Euromold 430TB conectadas al transformador. 36
Figura 19 Fotografía de placa de datos de transformador de distribución 2.5MVA. 42
Figura 20 Fotografía de proceso de izaje de subestación unitaria tipo skid. 49

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1 Equipos principales para la fabricación de la celda GIS de Media Tensión. 21
Cuadro 2 Equipos principales para la fabricación de la celda GIS de Media Tensión. 21
Cuadro 3 Equipos principales para la fabricación del Transformador de Distribución 25
Cuadro 4 Datos Generales de la celda GIS validados en taller. 37
Cuadro 5 Características técnicas de la celda GIS validadas en taller. 38
Cuadro 6 Prueba de Resistencia de aislamiento considerando el interruptor cerrado. 39
Cuadro 7 Prueba de Resistencia de aislamiento considerando el interruptor abierto. 39
Cuadro 8 Prueba de Resistencia de aislamiento considerando el interruptor cerrado. 40
Cuadro 9 Prueba de Resistencia de aislamiento considerando el interruptor cerrado. 40
Cuadro 10 Medición de corriente de motor de interruptor de potencia. 41
Cuadro 11 Medición de corriente de motor de interruptor de potencia. 41
Cuadro 12 Datos Generales de Transformador de Distribución. 42
Cuadro 13 Datos Generales de Transformador de Distribución. 42
Cuadro 14 Valores medidos para prueba de resistencia de aislamiento. 43
Cuadro 15 Valores medidos para prueba de aislamiento. 44
Cuadro 16 Valores medidos para la prueba de capacitancia y factor de potencia. 45
Cuadro 17 Valores medidos para prueba de corriente de excitación. 46
Cuadro 18 Valores medidos para prueba de relación de transformación. 47
Cuadro 19 Valores para prueba de relación de transformación (lado AT). 48
Cuadro 20 Valores para prueba de relación de transformación. 48
Cuadro 21 Valores para prueba de relación de transformación. 48
Cuadro 22 Comparación entre costos presupuestados y costos reales del proyecto. 53

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 Objetivos del informe

El sector minero representa uno de los pilares fundamentales de la economía nacional, siendo responsable del desarrollo de infraestructura en el país. En este marco, la confiabilidad del suministro eléctrico resulta esencial, ya que las plantas de procesamiento dependen de energía de manera continua y segura para garantizar la productividad de las operaciones.

Uno de los procesos más importantes de la minería aurífera es el de la oxidación a presión en autoclaves, en el cual la interrupción del suministro eléctrico puede generar retrasos en la producción y grandes riesgos operativos. Para alimentar la sala eléctrica de autoclave, se requiere de una solución que tenga robustez, rapidez en la implementación y seguridad eléctrica, en un contexto en el cual los espacios de tiempo para las intervenciones programadas son sumamente limitados y la flexibilidad para reubicar equipos en distintas áreas de la mina constituye una clara ventaja.

Frente a estas condiciones, la subestación unitaria tipo skid se presenta como una alternativa más eficiente a comparación de las soluciones tradicionales. Este tipo de solución modular integra en una sola estructura la celda GIS de media tensión, el transformador de distribución de 2.5MVA (22.9kV/480V) y sus respectivos sistemas de protección y comunicaciones. Su fabricación en un taller de Lima, las pruebas FAT de los equipos y las pruebas en taller de todo el sistema en conjunto permiten disminuir tiempos de montaje en campo, asegurar la calidad de los equipos antes de la puesta en servicio y reducir riesgos.

En el presente trabajo se ahonda en la gestión realizada para el desarrollo de ingeniería, fabricación, integración y pruebas (en fabrica, taller y sitio) de una subestación móvil tipo skid, la cual se empleará para la alimentación en 480V de la sala de autoclaves de

oxidación a presión en una operación minera. El alcance del proyecto incluyó:

- Procura de equipos principales, considerando especificaciones técnicas del cliente, normativas IEC, IEE y ANSI.
- Fabricación de celda de media Tensión GIS, Transformador de Distribución de 2.5MVA, estructura metalmecánica, entre otros.
- Integración de equipos y componentes en la estructura metalmecánica del skid, garantizando una disposición correcta de los equipos.
- Pruebas en fábricas internacionales y en taller de Lima: se realizó pruebas de los equipos y de la solución completa en fábricas y en el taller de integración, con la finalidad de garantizar la calidad de la solución.

1.2 Estructura de informe

El presente informe se encuentra estructurado en siete capítulos, los cuales nos ayudan a desarrollar de manera ordenada la gestión para la fabricación y pruebas de una subestación tipo skid de media tensión.

En el capítulo I se presenta la introducción, donde se menciona los objetivos y la estructura del informe. El capítulo II contiene la información del lugar donde se desarrolló la actividad, incluyendo las características de la institución y el contexto en el que se desarrolló el proyecto.

En el capítulo III se realiza la descripción a detalle de la actividad desarrollada, abarcando la organización del proyecto, la problemática identificada, la metodología aplicada y el procedimiento seguido para la fabricación, integración y pruebas de la subestación.

El capítulo IV presenta la discusión de resultados, incluyendo la descripción de la implementación y la evaluación económica del proyecto, donde se analizan los costos, desviaciones y desempeño económico.

En el capítulo V se exponen las conclusiones obtenidas a partir del desarrollo del proyecto, mientras que en el capítulo VI se plantean las recomendaciones orientadas a la optimización de futuros proyectos similares.

El capítulo VII contiene las referencias bibliográficas empleadas para el desarrollo del presente trabajo.

Finalmente, en el capítulo VIII se adjuntan los anexos, en los cuales se presentan múltiples documentos complementarios tales como el cronograma, planos eléctricos y mecánicos, plan de inspección y pruebas (ITP), matriz de riesgos

CAPÍTULO II:
INFORMACIÓN DEL LUGAR DONDE SE DESARROLLÓ LA ACTIVIDAD

2.1 Institución – Actividad que desarrolla

Las actividades del presente trabajo se desarrollaron en la empresa Siemens S.A.C.

2.2 Periodo de duración de la actividad

El periodo de duración de la actividad fue de 333 días, comprendidos desde el 30 de setiembre de 2022 hasta el 28 de agosto de 2023.

2.3 Finalidad y objetivos de la entidad

La misión de la empresa es transformar las industrias de una forma sostenible y así impactar la vida de millones de personas a través de tecnología con propósito.

Asimismo, apoyar a los clientes para que entreguen de manera segura una operación de red confiable, sostenible y asequible, optimizando la transición verde mediante la utilización de nuestro innovador servicio holístico y nuestra capacidad para convertir las ideas en realidad.

2.4 Razón social

La razón social de la empresa es Siemens S.A.C.

2.5 Dirección postal

Dirección legal: Av. Domingo Orué 971, Surquillo, Lima.

2.6 Nombre y correo electrónico del profesional a cargo

El encargado del proyecto es Julio Cesar Miranda Tapia (Project Manager) y tiene el siguiente correo electrónico: julio.miranda_tapia@siemens.

CAPÍTULO III:
DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD

3.1 Organización de la Actividad

La organización de las actividades para la gestión del proyecto de fabricación y pruebas de la subestación unitaria tipo skid se desarrolló de manera secuencial y ordenada, teniendo en cuenta las etapas de: ingeniería, fabricación, control de calidad, integración y despacho final de la solución. La ejecución del proyecto se realizó bajo las premisas y lineamientos del marco metodológico PM@SIEMENS.

A continuación, se mencionan las principales actividades:

- Elaboración de ingeniería básica.
- Fabricación de equipos principales.
- Pruebas de rutina y pruebas FAT en fábrica de los equipos principales.
- Importación de equipos.
- Montaje de equipos en estructura metalmecánica.
- Integración de equipos.
- Prueba de equipos en taller.
- Preparación del embajale.
- Despacho a cliente.

Todas estas actividades fueron desarrolladas por el equipo de proyectos a cargo, el cual fue liderado por el Project Manager, Julio Cesar Miranda Tapia, autor del presente trabajo. En la siguiente imagen se aprecia el organigrama completo del proyecto:

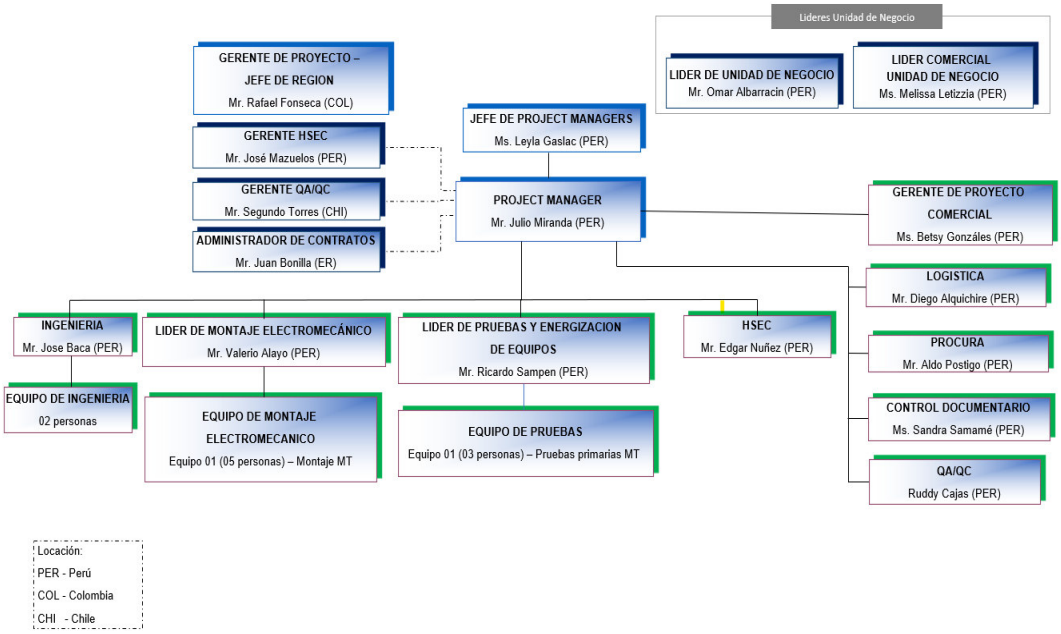


Figura 1 **Organigrama del proyecto.** Fuente. Elaboración propia.

3.2 Finalidad y Objetivos de la Actividad

3.2.1 Finalidad

La finalidad del proyecto es suministrar una subestación tipo skid para operación minera, de acuerdo con las especificaciones técnicas solicitadas por el cliente y cumpliendo las diferentes normativas internacionales.

3.2.2 Objetivos

3.2.2.1 Objetivo General.

Gestionar de manera integral el proyecto de fabricación y pruebas de una subestación tipo skid en base al marco metodológico PM@SIEMENS con la finalidad de garantizar el cumplimiento de los compromisos contractuales establecidos en términos de plazos y calidad.

3.2.2.2 Objetivos Específicos

Planificar y coordinar eficientemente las etapas de ingeniería, fabricación y pruebas de los equipos principales del proyecto, bajo el marco metodológico PM@SIEMENS,

con la finalidad de asegurar el cumplimiento de los plazos contractuales.

Verificar la conformidad técnica de los equipos principales mediante inspecciones periódicas de acuerdo con el plan de inspección de pruebas (ITP) aprobado por el cliente.

Garantizar la correcta integración eléctrica y mecánica de los equipos de media y baja tensión durante la etapa de ensamblaje, conforme a los planos aprobados y evitando reprocesos respecto al diseño aprobado por el cliente.

Monitorear el margen y los riesgos del proyecto de manera mensual, asegurando la rentabilidad dentro de los indicadores planificados.

3.3 Problemática

Una de las principales empresas mineras del país requiere una solución modular para la energización confiable de la sala eléctrica encargada de alimentar el proceso de oxidación a presión en autoclaves. Si bien hay una alternativa tradicional de construir una subestación fija tipo sala eléctrica, existen algunas limitaciones claves: tiempos extensos de ejecución, coordinación desgastante entre múltiples disciplinas, falta de flexibilidad para reubicación ante eventual cambio en los procesos de mina, entre otras.

Por otro lado, se debe tener en cuenta que, los tiempos de intervención en procesos mineros como el del autoclave son sumamente reducidos, lo que requiere de una solución que pueda implementarse en corto plazo para minimizar la afectación en la producción. Adicionalmente, es importante contar con equipos eléctricos que cumplan los estándares internacionales (IEEE, ANSI, IEC, NFPA 70, entre otros) y que permitan una estandarización simple y movilidad para ser reutilizados en otros procesos de la mina ante eventuales reestructuraciones.

Bajo este escenario, surge la necesidad de implementar una subestación unitaria tipo skid, la cual integre en un solo módulo una celda GIS de Media Tensión (22.9kV), un transformador de distribución de 2.5MVA (22.9kV / 480V) y sus respetivos sistemas auxiliares. Esta solución busca garantizar un suministro de energía confiable para la sala eléctrica del autoclave, reducir tiempos de instalación en campo y reducir costos a comparación de otra solución más compleja.

3.3.1 Problema General

¿Cómo gestionar de manera eficiente el proyecto de fabricación de una subestación tipo skid para operación minera, de manera que se pueda garantizar la confiabilidad del suministro eléctrico y la continuidad de los procesos?

3.3.2 Problemas Específicos

- ¿Cómo se gestiona adecuadamente las etapas de ingeniería, fabricación y pruebas de una subestación unitaria tipo skid, para garantizar el cumplimiento de los plazos contractuales?
- ¿Cómo controlar y supervisar la calidad de los equipos principales, tales como, celda GIS, transformador de distribución y estructura tipo skid, asegurando la trazabilidad documental y el cumplimiento de las especificaciones técnicas definidas por el cliente?
- ¿Cómo asegurar la correcta integración eléctrica y mecánica de los equipos de media y baja tensión durante la etapa de ensamblaje y pruebas, evitando reprocesos y desviaciones respeto al diseño aprobado?
- ¿Cómo hacer un seguimiento eficiente al margen del proyecto, garantizando la sostenibilidad técnica y financiera durante su ejecución y cierre?

3.3.3 Justificación e importancia de la investigación

La justificación del presente proyecto radica en la necesitad estratégica y operativa de contar con una solución eléctrica sumamente confiable y conforme a los estrictos requerimientos de la industria minera. Asimismo, el proceso de oxidación a presión en autoclaves exige una alimentación eléctrica continua, segura y muy confiable, ya que en el caso de que ocurra alguna interrupción, puede ocasionar pérdidas de producción, riesgos de seguridad y retrasos significativos en el plan de explotación de oro.

Se debe tener en cuenta que, las subestaciones tradicionales de subestaciones fijas, aunque son técnicamente válidas, presentan múltiples limitaciones, por ejemplo: extenso tiempo de implementación, flexibilidad y adaptabilidad a las reestructuraciones de una operación minera dinámica. En contraste, la subestación móvil tipo skid ofrece los siguientes beneficios adicionales:

Optimización de tiempo de instalación: al ser una unidad compacta con los equipos totalmente instalados sobre la estructura metalmecánica, en mina solo se tiene que fijar la base y la solución queda lista para realizar pruebas y puesta en marcha.

Estandarización tecnológica: esta solución es sumamente replicable en serie para múltiples procesos en mina, lo cual ahorra costo y tiempo en el desarrollo de ingeniería.

Modularidad y movilidad: permite trasladar la solución a otras áreas con la finalidad de alimentar nuevas cargas.

Desde el ámbito académico profesional, este proyecto también se justifica debido a que permite aplicar conocimientos y procesos de gestión de proyectos eléctricos en un entorno minero, el cual es sumamente demandante en temas de calidad y ejecución.

3.4 Metodología

3.4.1 Bases Teóricas

a) La gestión de proyectos está enfocada en la aplicación de conocimientos, habilidades, herramientas y técnicas orientadas al cumplimiento de los requisitos establecidos del proyecto (Project Management Institute [PMI], 2021). En proyectos relacionados a la ingeniería eléctrica, una gestión adecuada permite integrar ordenadamente las fases de inicio, planificación, ejecución, monitoreo y cierre, con lo cual se puede asegurar el cumplimiento de costos, plazos, alcance y calidad. Asimismo, la identificación temprana de riesgos técnicos y contractuales permiten la toma de decisiones oportunas durante la ejecución del proyecto.

b) Las subestaciones eléctricas funcionan de manera integrada dentro del sistema de potencia para garantizar el transporte y la distribución adecuada de la energía eléctrica (Glover et al., 2016). En sectores industriales de elevada demanda energética, como la actividad minera, esta infraestructura resulta esencial para conservar las condiciones adecuadas de regulación de tensión y coordinación de protecciones eléctricas. De esta manera, se favorece la confiabilidad del sistema en conjunto y la continuidad de las operaciones ante

condiciones severas o variaciones operativas.

c) La norma IEC-60076-1 establece los ensayos de rutina, tipo y especiales aplicables a transformadores eléctricos, incluyendo transformadores de distribución, los cuales son ejecutados en fábrica con la finalidad de verificar el cumplimiento de los requisitos técnicos y de desempeño del equipo antes de su puesta en servicio (International Electrotechnical Comission, 2018). Si bien esta norma no define explícitamente el término Factory Acceptance Test (FAT), estos ensayos constituyen el fundamento técnico de las pruebas de aceptación en fábrica empleadas en la industria para validar el buen funcionamiento del transformador previo a su entrega.

d) Las subestaciones tipo skid constituyen una solución prefabricada y modular dentro de los sistemas eléctricos de potencia, en el cual los equipos principales, tales como transformadores, celdas de media tensión, sistemas de protección y equipos auxiliares, son integrados sobre una estructura metalmecánica en forma de "patín" que permite su transporte e instalación como una unidad compacta. Este tipo de configuración es ensamblado, cableado y probado en taller, lo que permite reducir significativamente los tiempos de instalación en campo, así como la complejidad de las obras civiles y los riesgos asociados a la construcción convencional. Asimismo, su diseño compacto facilita su aplicación en entornos industriales, mineros y de generación distribuida, donde se requiere una rápida puesta en servicio y alta confiabilidad operativa (TGOOD Electric Co., Ltd., 2020).

3.4.2 Marco Conceptual

3.4.2.1 Gestión de Proyectos.

La gestión de proyectos se puede definir como la aplicación de habilidades, herramientas, conocimientos y diferentes técnicas para cumplir con los objetivos de un proyecto. En proyectos del sector eléctrico, la gestión adquiere una relevancia especial debido a la interacción entre múltiples disciplinas, equipos técnicos, proveedores y normativas. En el presente trabajo, la gestión del proyecto se realiza mediante la metodología PM@SIEMENS, la cual garantiza un enfoque estructurado, considerando fases claramente definidas desde la ingeniería hasta las pruebas en taller.

3.4.2.2 PM@SIEMENS.

Es la metodología corporativa de gestión de proyectos empleada y regulada por Siemens a nivel mundial para la ejecución de proyectos de minería, energía, automatización, infraestructura, entre otros. Esta metodología establece una estructura sólida de procesos, roles, entregables y puntos de control que permiten gestionar de manera adecuada el cronograma, el alcance, los costos, la calidad y la comunicación a lo largo de los proyectos.

3.4.2.3 Subestación Eléctrica Tipo Skid.

Es una solución modular en la que los principales equipos eléctricos son: celda de media tensión, transformador de distribución, y sistemas auxiliares; los cuales se integran sobre una estructura metalmecánica especialmente diseñada para el transporte, montaje rápido y eficiente, y posible reubicación. Este tipo de soluciones permite reducir los trabajos en campo, mejorar el control de calidad mediante integración en taller y disminuir los tiempos de implementación.

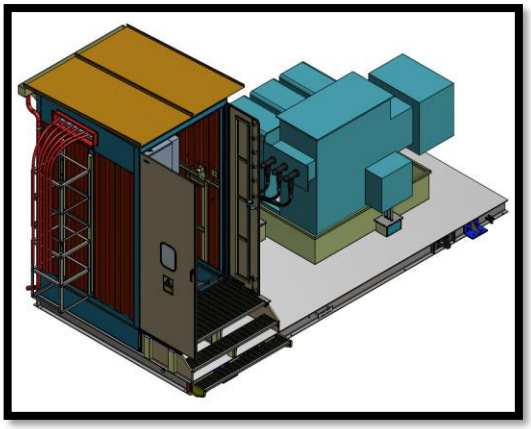


Figura 2 **Esquema conceptual de solución tipo skid NEMA4.** Fuente. Imagen extraída de los planos mecánicos del proyecto.

3.4.2.4 Celda GIS de Media Tensión.

Las celdas GIS (Gas Insulated Switchgear) de media tensión son equipos de maniobra y protección eléctrica que contienen gas hexafluoruro de azufre (SF6) como medio aislante. Se caracterizan por tener un diseño sumamente compacto, muy alta confiabilidad y bajo mantenimiento; lo cual las hace idóneas para aplicaciones de alta demanda industrial. En el presente proyecto, la celda GIS de media tensión cumple la función de seccionamiento, protección y control de la alimentación eléctrica hacia el transformador de distribución, siendo un elemento de suma importancia para la

seguridad y continuidad del sistema.



Figura 3 **Celda GIS de Media Tensión SIEMENS modelo 8DA10.** Fuente. Esta imagen se extrajo del manual de montaje de la celda 8DA10.

3.4.2.5 Transformado de Distribución.

Es el equipo encargado de reducir el nivel de tensión desde media tensión a baja tensión, con la finalidad de alimentar de manera segura a las cargas finales del proceso minero. En este tipo de proyectos, su selección y correcta integración resultan fundamentales para garantizar la continuidad del suministro eléctrico, la confiabilidad del sistema y la protección de los equipos de baja tensión.



Figura 4 **Transformador de Distribución marca Siemens.** Fuente. Esta fotografía fue capturada por el autor de este trabajo en taller.

3.4.2.6 Estructura Metalmecánica Tipo Skid (con envolvente para celda MT).

Es una estructura diseñada para integrar y soportar los equipos de media y baja tensión dentro de una solución modular. Su función principal es proporcionar una base rígida y estable que permita albergar los equipos eléctricos para una correcta operación en campo.

Este tipo de estructuras generalmente se fabrican de acero estructural de alta resistencia y se dimensionan considerando cargas estáticas y dinámicas. Asimismo, el diseño estructural se sustenta en memorias de cálculo que evalúan esfuerzos, factores de seguridad, deformaciones, entre otros; asegurando la integridad mecánica de la solución durante su ciclo de vida.



Figura 5 **Estructura Metalmecánica Tipo Skid (con envolvente para celda MT).** Fuente. Esta fotografía fue capturada por el autor de este trabajo en taller.

3.4.2.7 Plan de Inspección y Pruebas (ITP – Inspection Test Plan).

Es un documento de control de calidad que enumera y define de manera estructurada todas las actividades de inspección y ensayos que deben ejecutarse durante las diferentes etapas del proyecto. El ITP establece los puntos de control, criterios de aceptación, responsabilidades y niveles de participación de las partes involucradas, tales como el fabricante, el contratista y el cliente.

3.4.2.8 Pruebas de rutina en fábrica.

Son las pruebas ejecutadas en fábrica de acuerdo con las diferentes normas vigentes. Habitualmente estas pruebas forman parte de una directriz mandatoria de cada norma,

con la finalidad de garantizar que los equipos estén completamente operativos antes de ser despachados por las diferentes fábricas.

3.4.2.9 Pruebas FAT (Factory Acceptance Tests).

Son pruebas adicionales ejecutadas en fábrica a solicitud de los clientes. Estas pruebas adicionales sirven para que el cliente pueda inspeccionar las celdas y dar la conformidad a su correcto funcionamiento previo al despacho de las celdas en fábrica.

3.4.2.10 Fabricación e integración en taller.

La fabricación e integración en taller consiste en el ensamblaje total de los equipos eléctricos principales sobre la estructura metalmecánica antes de la entrega al cliente. Esta etapa permite realizar verificaciones y pruebas tanto mecánicas, como eléctricas, en un entorno controlado.

3.4.2.11 Seguridad y Salud en el Trabajo.

Los trabajos asociados a la fabricación y pruebas del skid de media tensión se desarrollaron en la planta de uno de los contratistas estratégicos de Siemens en Lima, bajo condiciones controladas de trabajo. En tal contexto, se consideraron los lineamientos de seguridad y salud en el trabajo conforme a la normativa peruana vigente, con la finalidad de mitigar riesgos durante las actividades correspondientes.

Se tomó como referencia la Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo N° 29783 y su reglamento aprobado mediante D.S. N° 005-2012-TR, en los cuales se establece la obligación de identificar los peligros, evaluar los riesgos y aplicar las medidas de control respectivas en las actividades laborales.

Asimismo, durante la etapa de fabricación y pruebas se implementaron múltiples medidas de seguridad orientadas a mitigar riesgos mecánicos y eléctricos, tales como el uso de EPPs (casco de seguridad, guantes dieléctricos, lentes de seguridad, ropa de trabajo adecuada y calzado de seguridad dieléctrico), control de trabajos eléctricos mediante procedimientos de bloqueo y etiquetado (LOTO), señalización de áreas de trabajo y supervisión de actividades críticas.

Estas medidas permitieron ejecutar las actividades del proyecto bajo condiciones óptimas y seguras, garantizando la integridad del personal y el cumplimiento de buenas prácticas de seguridad.

3.5 Procedimiento

De forma general, el proyecto se desarrolló conforme a la siguiente estructura sugerida por la guía PM@SIEMENS:

- PM100 - Apertura y Clarificación: en esta etapa se realiza el levantamiento de la información a partir de la revisión de los pliegos y especificaciones técnicas del cliente, documentos con los cuales podemos definir las bases del diseño de los distintos equipos y establecer criterios de confiabilidad y seguridad.
- PM200 – Planeación Detallada: etapa en la cual se realizan múltiples actividades asociadas a la planeación del proyecto, por ejemplo: planos de ingeniería, cronograma, matriz de comunicaciones, listado de entregables, plan de calidad, entre otros.
- PM300 – Fabricación de equipos principales: en esta etapa se realiza fabricación de los equipos de mayor relevancia, tales como la celda de media tensión, el transformador de distribución y la estructura metalmecánica.
- PM400 – Montaje e integración de equipos: en esta etapa se realizó el montaje de los equipos principales en la estructura tipo skid y también se realizó la integración eléctrica y mecánica de todos los equipos.
- PM500 – Prueba en taller: en esta etapa se realizaron las pruebas en taller a la solución de manera conjunta, es decir, con todos los equipos principales debidamente montados e integrados.
- PM600 – Despacho Final: proceso mediante el cual, luego de las pruebas en taller y la inspección final del cliente, se procede a realizar la entrega de la solución.

3.5.1 PM100 – Apertura y Clarificación

Esta etapa constituye el punto de partida formal del proyecto desde el área de operaciones y tiene como objetivo principal alinear ideas entre todas las áreas involucradas, con la finalidad de aterrizar expectativas, y responsabilidades para poder

cumplir con las metas del proyecto.

Por otro lado, en esta etapa se realizar una extensa revisión de toda la documentación proveniente de la etapa de licitación del contrato. El Project Manager es el encargado de liderar la revisión de pliegos técnicos, calculación inicial de presupuesto (Order Entry Calculation), listados de entregables, definición de hitos clave para la posterior elaboración del cronograma del proyecto, reunión de arranque con el cliente (Kick-off Meeting) entre otras partidas críticas para el proyecto.

La revisión de pliegos técnicos la realiza un Technical Project Manager (TPM), quien es el encargado de validar que los equipos de la subestación móvil tipo skid cumplan a cabalidad los pliegos técnicos del cliente y las normativas correspondientes. Como productor de esta validación, el encargado de ingeniería realiza las siguientes actividades generales:

- Listado de entregables de ingeniería.
- Listado de equipos de la subestación unitaria tipo skid.
- Distribución de equipos en subestación unitaria tipo skid.
- Validar la especificación técnica de todos los equipos de manera general.

Luego, la calculación inicial del proyecto la realiza el Commercial Project Manager en estrecha colaboración con el Project Manager, y constituye el punto de partida económico del proyecto. En esta etapa se define el margen inicial, el cual sirve como referencia para la evaluación del desempeño financiero a lo largo del ciclo de vida del proyecto.

Finalmente, como parte de la apertura del proyecto, se celebra la reunión de arranque (kick-off meeting) con participación del cliente y de los principales stakeholders. En esta reunión se abordan múltiples puntos del alcance contractual, con el objetivo de alinear las expectativas de ambas empresas y mitigar riesgos asociados a interpretaciones ambiguas, reduciendo así la probabilidad de reclamaciones futuras.

3.5.2 PM200 - Planeación Detallada

En esta fase se elaboró el cronograma línea base del proyecto (véase Apéndice A), el cual fue revisado por ambas partes y finalmente aprobado por el cliente final. En dicho

cronograma se estipuló que el plazo de entrega sería de 333 días calendario contados a partir de la emisión de la orden de compra por parte del cliente (30 de setiembre de 2022).

Otra de las actividades de suma importancia en esta etapa fue la de la elaboración de la ingeniería básica mediante un listado extenso de planos y documentación técnica:

- Diagramas Unifilares y Trifilares mostrados en el Apéndice B.
- Diagramas Mecánicos de Celda GIS de media tensión mostrados en el Apéndice C.
- Diagramas Mecánicos de Transformador de Distribución mostrados en el Anexo C.
- Diagrama Mecánico de la subestación tipo skid mostrados en el Anexo C.

Una vez culminada la elaboración de la ingeniería básica por parte de Siemens, se procede con el envío de los entregable respectivos para la revisión y aprobación del cliente. Para este proceso de revisión, se establece un plazo de una (01) semana, el cual es crítico respetar, ya que cualquier demora podría generar impactos en el cronograma general del proyecto y en la entrega oportuna de la solución.

Posterior a la aprobación de la ingeniería básica por parte del cliente, se realiza la elaboración de la ingeniería de detalle, la cual está constituida por los siguientes entregables:

- Diagramas esquemáticos de control de Celda GIS de media tensión.
- Diagramas esquemáticos de control de Transformador de Distribución.
- Diagramas de interconexión entre Celda GIS y Transformador de Distribución.
- Listados de cables.
- Diagramas de bornes.
- Detalle mecánico de entrada y salida de cables de media tensión.

Para este proceso de ingeniería de detalle, el cliente también tiene un plazo de una (01)

semana para la revisión y aprobación de los documentos. Sin embargo, esta ingeniería de detalle no forma parte de la ruta crítica para la fabricación de los equipos y/o estructura metalmecánica.

Adicionalmente, en esta etapa también se elaboró uno de los documentos más relevantes del proyecto, el ITP (Inspection Test Plan), véase Apéndice D. Este documento detalla todos los puntos de inspección a ser considerados a lo largo de toda la fabricación de la subestación tipo skid, lo cual es crítico para asegurar que las pruebas se ejecuten en su totalidad y según los requerimientos del cliente.

En el ITP también se detalló los criterios de aceptación para las pruebas, los registros de control y los puntos de inspección.

Respecto a los puntos de inspección del ITP, se categorizaron en 03 tipos:

- Revisión de documentos: para cumplir con el punto de inspección solo se requiere la revisión de los diferentes documentos utilizados para las pruebas, como por ejemplo, los protocolos debidamente firmados y aprobados.
- Witness point: para cumplir con el punto de inspección, se notifica al cliente la fecha y hora programadas para su asistencia presencial a la prueba correspondiente. Con ello se garantiza que el cliente esté presente y valide físicamente el cumplimiento de los estándares de calidad para las pruebas donde aplique. Cabe precisar que la presencia del cliente no es obligatoria para la ejecución de la prueba; en caso de no asistir, la prueba se realiza igualmente y se notificará al cliente sobre los resultados.
- Hold Point: este punto de inspección debe ser obligatoriamente presenciado y aprobado por el cliente para poder dar continuidad a la fabricación.

Finalmente, otra de las actividades de suma importancia para esta etapa fue la elaboración de una matriz de riesgos (véase Apéndice E), en los cuales se incluyó todos los riegos que el Project Manager y todo el equipo del proyecto consideraron necesarios.

3.5.3 PM300 - Fabricación de equipos principales

Con los planos de ingeniería básica debidamente aprobados por el cliente, se da apertura a la etapa de fabricación de equipos principales, considerada como la etapa más crítica del proyecto, ya que es en la que se presenta la mayor cantidad de procesos relevantes para una correcta ejecución, garantizando la fabricación bajo estándares internacionales de calidad y que las pruebas en fábrica se realicen de manera satisfactoria.

A continuación, explicaremos a mayor detalle el proceso de fabricación y pruebas en fábrica de los equipos principales (celda GIS de Media Tensión, Transformador de Distribución, estructura metalmecánica Skid):

3.5.3.1 Fabricación de Celda GIS de Media Tensión

Mediante un software especializado para las celdas GIS de media tensión modelo 8DA10, se realiza la configuración de las celdas conforme a las especificaciones técnicas del cliente y a los documentos de ingeniería básica aprobados.

En la siguiente figura se puede visualizar una ventana del software con los datos básicos de la celda GIS de media tensión marca Siemens, modelo 8DA10, empleada para este proyecto:

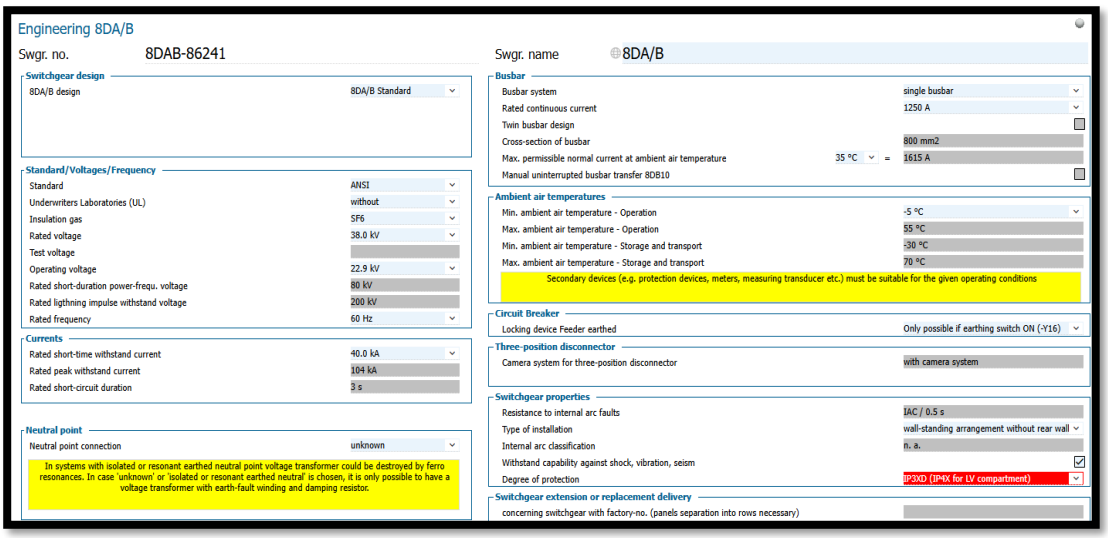


Figura 6 **Configuración de Celdas GIS de Media Tensión en Software especializado.**
Fuente. Esta imagen es atribuida al Software NxTools.

Posterior a ello, la fábrica genera el listado de equipos y dispositivos, que no forman parte del stock habitual de la fábrica, para realizar la procura respectiva. Estos materiales dependen de las características definidas en el configurador conforme a las especificaciones técnicas del cliente y a la ingeniería básica aprobada. A continuación,

se muestra una tabla con los equipos y dispositivos incluidos en la procura de la fábrica:

Cuadro 1 **Equipos principales para la fabricación de la celda GIS de Media Tensión.**

Item	Descripción	Número de parte	Cantidad
1	Interruptor de Media Tensión	3AH4945	1
2	Bobinas de Disparo 125VDC	3AY1510	2
3	Bobina de Cierre 125VDC	3AX1420	1
4	Bobina de interbloqueo 125VDC	3AY2515	1
5	Transformadores de corriente 150A/5A	4MC4_90	3
8	Transformador de corriente de secuencia cero	4MC9672	1
7	Pararrayos Ur=30kV, Uc=24kV	3EH4300-1BC14	3
9	Detector Capacitivo VOIS R+	2502063	1

Fuente. Elaboración propia

Cuadro 2 **Equipos principales para la fabricación de la celda GIS de Media Tensión (BT).**

Item	Descripción	Número de parte	Cant.
1	Interruptor de posición en miniatura	3AX4206	1
2	Relé de control, 4NO, DC125V	3RH2140-1BG40	1
3	Accesorio de contactores SIRIUS NG	3RT2916-1DG00	1
4	Pulsador iluminado, rojo	3SU1001-0AB20-0AA0	1
5	Pulsador iluminado, verde	3SU1001-0AB40-0AA0	1
6	Pulsador iluminado, azul	3SU1001-0AB50-0AA0	1
7	Módulo de contacto 1NA+1NC	3SU1400-1AA10-1FA0	3
8	Módulo LED, rojo	3SU1401-1BH20-1AA0	1
9	Módulo LED, verde	3SU1401-1BH40-1AA0	1
10	Módulo LED, azul	3SU1401-1BH50-1AA0	1
11	Soporte	3SU1500-0AA10-0AA0	3
12	Portaetiquetas	3SU1900-0AG10-0AA0	1
13	Interruptor auxiliar 1S10E	5ST3010	5
14	Bloqueo para manija	5ST3801	5
15	Abrazadera de bloqueo para barrera	5ST3802	5
16	Interruptor automático UC 10KA 2P C02	5SY5202-7	3
17	Interruptor automático UC 10KA 2P C04	5SY5204-7	1
18	Interruptor automático UC 10KA 2P C10	5SY5210-7	1
19	Termostato	8MR2170-1BA	1
20	Base de prueba para corriente empotrada con tapa	ABB:1SNA166625R2000	1
21	Base de prueba para voltaje empotrada con tapa	ABB:1SNA166627R2200	1
22	Base de prueba para polaridad, empotrada, PC-E-VA	ABB:1SNA166630R0100	1
23	Calefactor de gabinete 20W	FQB:010001102-SE01	1
24	Relé de protección de alimentador GE Multilin 850	GNX:850-E-P5-NN-GT1	1

25	Conmutador de 3 polos, con posición 0	KNS:CH10A216-600FT6	1
26	Selector de 4 polos sin posición de apagado, 60 grados	KNS:CH10A223-600FT2	1
27	Placa Print-3SU	PRINT-3SU-27-12-01-04	1

Fuente. Elaboración propia.

Luego, el ensamblaje de la celda GIS de Media Tensión se realiza en la planta de Siemens en Frankfurt, Alemania, bajo estrictos controles de calidad conforme a la norma IEC 62271-200. Durante este proceso también se utilizaron tecnologías de aislamiento en gas y diseños "arc-proof" para garantizar la seguridad operativa en ambientes de alta demanda, como el de la minería.

Una vez concluido el ensamblaje, se procede con el desarrollo de las pruebas de rutina en fábrica, las cuales fueron desarrolladas de acuerdo con la norma IEC 62271-200:

a) Prueba dieléctrica en el circuito principal: consiste en aplicar una tensión en frecuencia de red superior al valor nominal, durante un tiempo determinado, con la finalidad de verificar que el aislamiento del circuito principal soporte las tensiones sin producir daños o averías. Según la normativa IEC 62271-200, la tensión adecuada para realizar las pruebas de la celda de media tensión del presente trabajo es 80kV durante 1 minuto.

b) Prueba en circuitos auxiliares y de control: verificación que los circuitos de control y auxiliares (tensión de control, alarma, lógica) funcionan correctamente y cumplen con los esquemas de conexionado. Incluye mediciones de aislamiento, continuidad y funcionalidad frente a la tensión auxiliar aplicada.

c) Inspección de circuitos auxiliares y de control: revisión visual y técnica de que los esquemas de control, los planos de conexión y los cables instalados coinciden con los documentos de ingeniería. Es una actividad de aseguramiento previo a pruebas funcionales.

d) Pruebas funcionales: comprenden la verificación del correcto funcionamiento de dispositivos tales como interruptores, seccionadores, mecanismos de operación, bloqueos, alarmas y comandos. Se simulan condiciones de operación para asegurar que el equipo responde como se espera.

e) Prueba dieléctrica en los circuitos auxiliares: se aplica una tensión auxiliar

a los circuitos auxiliares para comprobar su capacidad de aislamiento frente a tensiones extras, de acuerdo con los valores que habitualmente especifican los fabricantes. En el caso de este proyecto, se aplicó una tensión de 1kV por el tiempo de 1s.

f) Medición de resistencia del circuito principal: evaluación de la resistencia de los conductores del circuito principal (por ejemplo, las barras, conductores, conexiones) para verificar que la instalación cumple con los valores de referencia, lo cual permite detectar conexiones flojas, corrosión o defectos mecánicos.

g) Prueba de hermeticidad en los compartimientos presurizados con gas: en equipos donde el aislamiento es mediante gas (por ejemplo SF_6 o similar), esta prueba verifica que no haya fugas y que el compartimiento mantenga la presión o densidad de gas requerida. Normas como IEC 62271-200 contemplan la prueba de presión en compartimientos con gas.

h) Inspección visual y verificación del diseño: revisión del montaje físico, pintura, etiquetado, unión mecánica, tornillería, limpieza, embalaje, etc., para asegurar que el equipo fue suministrado e instalado de acuerdo al diseño, sin defectos visibles que puedan afectar su funcionamiento.

i) Medición de descargas parciales: se realiza un análisis de pequeñas descargas eléctricas internas en el aislamiento que no conducen a un fallo inmediato. Esta prueba de rutina permite detectar huecos, partículas o deterioros del aislamiento que no se verían con una simple prueba dieléctrica.

Posterior a las pruebas de rutina en fábrica y en el caso de que todos los resultados cumplan satisfactoriamente con lo indicado en la norma de referencia, la fábrica emite el Certificado de Pruebas de Rutina según se puede apreciar en el Apéndice F, con lo cual se garantiza el correcto funcionamiento de la celda MT al ser despachadas de fábrica.

Luego de culminar las pruebas de rutina, se ejecutan las pruebas FAT (factory acceptance tests), las cuales corresponden a un alcance adicional solicitado por el cliente a inicios del proyecto. Estas pruebas FAT son unas pruebas relativamente básicas, a las cuales el cliente puede asistir para presenciar y validar el correcto

funcionamiento de la celda MT previo a su despacho en origen.

Las pruebas FAT están comprendidas de las siguientes actividades: inspección visual, pruebas mecánicas de funcionamiento y pruebas eléctricas de funcionamiento; y al culminar dichas pruebas también se emite un Acta de Pruebas FAT firmada por el representante de fábrica, el cliente y el Project Manager de Siemens Perú.



Figura 7 **Ejecución de pruebas de rutina en fábrica.** Fuente. Fotografía capturada por el autor de este trabajo en la fábrica de Siemens Alemania

Una vez que se realizan las pruebas FAT y el cliente queda satisfecho con los resultados, se procede a realizar el embalaje de la celda de media tensión para luego proceder con el despacho y posterior envío a Perú.

3.5.3.2 Transformador de Distribución

Este equipo es diseñado y fabricado por la fábrica de Siemens en Colombia y a continuación mencionaremos el proceso de fabricación de manera general:

De manera similar a la celda MT, primero se realizó la designación y adquisición de los principales equipos y dispositivos, los cuales no forman parte del stock común de la fábrica. Esta etapa de designación y adquisición duró aproximadamente 161 días en total, lo cual significó una mejora de 32 días respecto a lo inicialmente planificado. Esto ayudó significativamente a cumplir con la fecha de entrega contractual de la solución.

A continuación, un listado de estos equipos y dispositivos adquiridos por la fábrica de Siemens Colombia para la fabricación del transformador de distribución:

Cuadro 3 **Equipos principales para la fabricación del Transformador de Distribución**

Item	Descripción	Part Number	Cant.
1	Bushing AT	600ABIL200EPC12	3
2	Bushing BT	PBPA-63412	3
3	Cambiador de Derivaciones sin Carga	090.04.10.365	1
4	Indicador de Nivel de Líquido del Transformador	0132A	1
5	Indicador de Temperatura de Aceite	0297 2A8PT	1
6	Indicador de Temperatura de Bobinados	02914A8PT	1
7	Dispositivo de Alivio de Presión	0510 2TC	1
8	Manómetro de Presión-Vacío	148-015-02 CS-40075	1
9	Relé de Presión Súbita	910-010-03	1
10	Relé de Sellado	0950 U	1
11	Vacuum Gauge (Manómetro de Vacío)	VTI-131	1
12	Registrador de Impactos	N/A	1
13	Interruptor automático AC 16A, 10kA, 1 polo	5SJ4116-7HG42	2
14	Interruptor automático DC 2A, 14kA, 2 polo	5SJ4202-7HG41	2
15	Switch Auxiliar	5ST3-010-0HG	4
16	Termostato para gabinete	KTO-01146.9-00	1

Fuente. Elaboración propia

Posterior a la designación y procura de los principales equipos y dispositivos, se procede con el ensamblaje en la fábrica de Siemens Colombia, proceso mediante el cual los dispositivos y materiales principales pasan a la línea de ensamblaje. Este proceso de ensamblaje duró aproximadamente 35 días calendario, duración que estuvo acorde a lo planificado.



Figura 8 **Transformador de distribución en línea de ensamblaje**. Fuente. Fotografía capturada por el autor de este trabajo en la fábrica de Siemens Colombia

Luego de haber pasado por todo el proceso en la línea de ensamblaje, el transformador debe pasar por una serie de pruebas de rutina definidas en las especificaciones técnicas del cliente. A continuación, el detalle de las pruebas de rutina consideradas para este equipo:

a. Prueba de resistencia de aislamiento: evalúa la integridad del aislamiento del transformador aplicando una tensión continua entre los devanados y tierra. Si se obtiene un valor alto de resistencia, se confirma que el aislamiento está en óptimas condiciones y libre de contaminantes y humedad.

   Norma de referencia: IEEE C57.12.90.

   Equipo de prueba utilizado: Medidor de resistencia de aislamiento MIT1025, marca Megger.

b. Factor de disipación y capacitancia: Determina las pérdidas dieléctricas y el estado del aislamiento mediante la medición del factor de potencia o ángulo de pérdidas. Valores bajos indican un aislamiento en buen estado.

   Norma de referencia: IEEE C57.12.90.

   Equipo de prueba utilizado: CPC100, marca Omicron.

c. Prueba de relación de transformación: verifica que la relación entre las tensiones de los devanados primario y secundario sea conforme al diseño. Cualquier desviación puede indicar espiras en cortocircuito o errores de conexión interna.

   Norma de referencia: IEEE C57.12.90.

   Equipo de prueba utilizado: Analizador de relación trifásica y resistencia de devanado MWA330, marca Megger.

d. Prueba de pérdidas sin carga (No-Load Loss Test): Cuantifica las pérdidas en el núcleo magnético cuando el transformador opera en vacío. Permite evaluar la calidad del acero y la correcta laminación del núcleo.

   Norma de referencia: IEEE C57.12.90.

   Equipo de prueba utilizado: Analizador de potencia, marca: Hioki.

e. Prueba de pérdidas con carga (Load Loss Test): Determina las pérdidas

debidas a la resistencia de los devanados y corrientes de Foucault bajo condiciones de carga nominal. Es fundamental para el cálculo de eficiencia térmica.

Norma de referencia: IEEE C57.12.90.

Equipo de prueba utilizado: Analizador de potencia, marca: Hioki.

f. Prueba de impulso (Impulse Test): Simula sobretensiones de rayo o maniobra mediante impulsos normalizados. Garantiza la resistencia del aislamiento principal frente a esfuerzos transitorios de alta energía.

   Norma de referencia: IEEE C57.12.90.

   Equipo de prueba utilizado: Sistema de medición de alto voltaje para impulsos de rayo de 1800kV, marca: Megger.

g. Prueba de aislamiento: Se aplica una tensión alterna superior a la nominal entre los devanados y tierra para verificar que el aislamiento soporte esfuerzos dieléctricos sin producir descargas o perforaciones.

   Norma de referencia: IEEE C57.12.90

   Equipo de prueba utilizado: Sistema de medición de voltaje de 500kV, marca: Megger.

h. Prueba de aumento de temperatura: Evalúa la capacidad del transformador para disipar calor bajo condiciones nominales de carga. Se determina el incremento máximo de temperatura permitido en aceite y devanados.

   Norma de referencia: IEEE C57.12.90

   Equipo de prueba utilizado: Medidor de resistencia Tettex

i. Análisis de compuestos furánicos (Furan Analysis): Evalúa el envejecimiento del aislamiento sólido (papel Kraft) mediante la detección de derivados furánicos en el aceite. Altas concentraciones indican degradación térmica del papel.

   Norma de referencia: IEEE C57.140-2017.

j. Prueba de aceite dieléctrico: Analiza las propiedades fisicoquímicas del aceite aislante (rigidez dieléctrica, humedad, acidez y contenido de gas disuelto). Permite evaluar su capacidad de aislamiento y enfriamiento.

Norma de referencia: ASTM D3

La ejecución de estas pruebas de rutina asegura que el transformador tenga un correcto desempeño eléctrico y mecánico según lo exigido para una operación minera. Pruebas como la de resistencia de aislamiento, pérdidas en vacío y con carga, así como la prueba de impulso, permiten validar la integridad del equipo. Asimismo, las pruebas de aumento de temperatura y de corriente de excitación confirman la confiabilidad térmica y magnética del transformador durante su operación.

Adicionalmente, el análisis de compuestos furánicos y de aceite dieléctrico constituye un indicador clave de la condición del aislamiento sólido y líquido del transformador. A su vez, ensayos especializados como el SFRA (Sweep Frequency Response Analysis (SFRA) y la verificación del relé de presión súbita resultan determinantes para detectar desplazamientos en el bobinado o eventos anómalos en el interior del transformador. Estas pruebas, ejecutadas bajo las normativas internacionales IEEE, IEC e ISO, proporcionan trazabilidad en la calidad de los resultados y aseguran que el equipo cumplirá con los niveles de confiabilidad y seguridad requeridos en instalaciones críticas, como lo es la alimentación de la sala eléctrica de autoclaves de oxidación a presión en minería.

En el Apéndice F se adjuntan los protocolos de pruebas de rutina firmados por los representantes de calidad de la fábrica de Siemens Colombia. Estos protocolos firmados son entregados al cliente en señal de que el equipo pasó satisfactoriamente todas las pruebas de rutina de acuerdo con las normas correspondientes.

3.5.3.3 Estructura Metalmecánica Skid

La fabricación de la estructura metalmecánica tipo skid se realizó en un taller especializado en este tipo de proyectos, con un enfoque muy direccionado al aseguramiento de la calidad, robustez estructural y precisión dimensional de la solución. La estructura fue concebida como la base portante de la subestación tipo skid, considerando cargas estáticas y dinámicas asociadas a los equipos principales y secundarios, así como las condiciones de transporte, izaje e instalación en mina.

Durante esta etapa, se ejecutaron las actividades de fabricación y ensamblaje de acuerdo con los planos mecánicos aprobados, aplicando los respectivos controles de inspección, conforme al plan de inspección de pruebas, que permitieron verificar la correcta ejecución de soldaduras, alineamientos y tolerancias dimensionales. Estos

controles fueron fundamentales para garantizar la compatibilidad mecánica con los equipos eléctricos de media y baja tensión a integrar posteriormente y evitar desviaciones respecto a la ingeniería aprobada por el cliente.

Adicionalmente, la estructura fue sometida a procesos de preparación superficial y aplicación de recubrimientos anticorrosivos, con la finalidad de garantizar su durabilidad en las condiciones ambientales propias de una mina. El resultado de esta etapa fue una estructura tipo skid con su respectiva envolvente completamente terminada, validada dimensionalmente, con pruebas satisfactorias y lista para el montaje y la integración de los equipos eléctricos.

Por otro lado, cabe señalar que la estructura metalmecánica contó con los siguientes accesorios, los cuales fueron elaborados e instalados en este mismo proceso de fabricación de la estructura:

- Cáncamos de fijación y orejas de izaje, los cuales facilitan las maniobras de transporte y posicionamiento en mina.
- Tina de derrame de aceite, dimensionada para contener al menos el 120% del volumen del aceite del transformador.
- Bandeja robusta para el ingreso de cable de media tensión.
- Sistema de drenaje y evacuación de agua de lluvia, lo cual garantiza la operación en ambientes mineros.

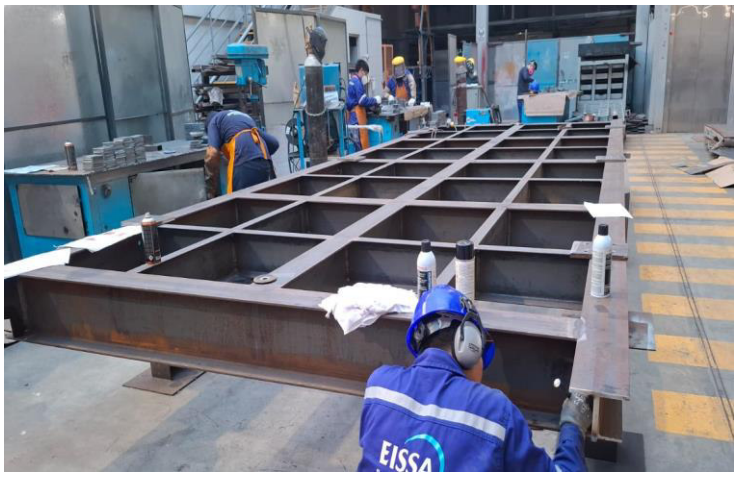


Figura 9 **Proceso de fabricación de la estructura metalmecánica tipo skid.** Fuente. Fotografía capturada por el autor de este trabajo en el taller correspondiente



Figura 10 **Prueba de adherencia de pintura en skid.** Fuente. Fotografía capturada por el autor de este trabajo en el taller correspondiente

3.5.4 PM400 – Montaje e Integración de Equipos

Con la finalización de la etapa de fabricación de equipos principales (PM300), y cuando la celda de media tensión y el transformador arribaron a Perú, se procedió a gestionar el montaje y la integración electromecánica de todos los equipos encima de la estructura metalmecánica tipo skid. Esta fase fue realizada en las instalaciones del taller de integración designado por Siemens Perú, bajo condiciones controladas de seguridad, limpieza y conforme a los procedimientos internos de gestión de calidad.

3.5.4.1 Montaje de Celda GIS de Media Tensión.

Representó una de las actividades más críticas del proyecto, ya que se requirió extrema precisión para garantizar el alineamiento de los compartimientos y el correcto acoplamiento con las conexiones de media tensión hacia el transformador.

Mediante una maniobra de izaje con grúa, la celda de media tensión Siemens 8DA10 fue posicionada dentro una envolvente mecánica con protección NEMA 4, la cual garantiza una alta hermeticidad contra las condiciones ambientales de mina.



Figura 11 **Maniobra de izaje con grúa de celda GIS de Media Tensión.** Fuente. Fotografía capturada por el autor de este trabajo en el taller correspondiente.

Una vez ubicada en su posición final, se verificó la nivelación de la base, los puntos de anclaje y la conexión del sistema de puesta a tierra mediante conductores de cobre.



Figura 12 **Posicionamiento de celda GIS dentro de envolvente NEMA 4.** Fuente. Fotografía capturada por el autor de este trabajo en el taller correspondiente.

Cabe señalar que, todo el proceso de montaje de la celda Siemens 8DA10 fue realizado bajo la estricta supervisión de un especialista certificado por la fábrica de Siemens Alemania, con la finalidad de garantizar el correcto procedimiento de montaje y para mantener la garantía internacional de la celda de media tensión.

3.5.4.2 Montaje del Transformador de Distribución 22.9/0.480 kV, 2.5MVA.

Una vez completado el montaje de la celda GIS de media tensión, se procedió a realizar el montaje del transformador de distribución de 2.5MVA siguiendo una secuencia planificada que permitió asegurar su correcta integración mecánica con la estructura tipo skid.

Antes del montaje, se realizó la recepción técnica del equipo, verificando su estado general y las condiciones físicas con las que llegó a taller; con la finalidad de descartar daños en el transporte y asegurar su perfecto estado previo al montaje.

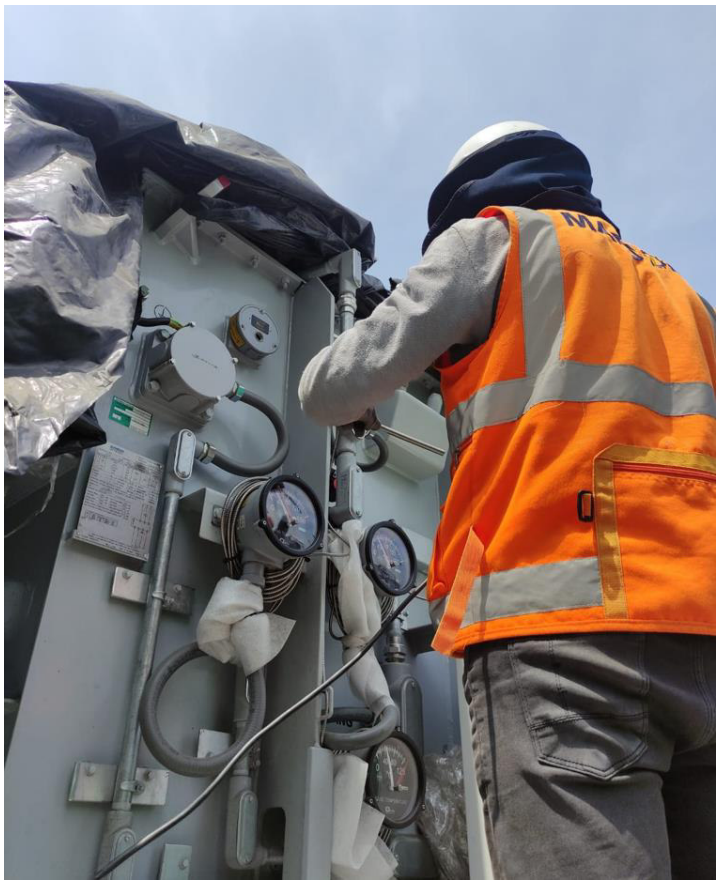


Figura 13 **Verificación de las condiciones físicas del transformador y sus accesorios.**
Fuente. Fotografía capturada por el autor de este trabajo en el taller correspondiente

Una vez que se valida la condición del equipo, se procedió a preparar la plataforma estructural, verificando la nivelación y correcta disposición de los puntos de anclaje.

El izaje y posicionamiento del transformador se ejecutaron utilizando los puntos de izaje definidos por el fabricante, bajo la permanente supervisión de un especialista de Siemens Perú y en coordinación con un especialista de transformadores de la fábrica de Siemens Colombia.

Posteriormente, el transformador fue fijado en la estructura empleando pernos estructurales y aplicando valores de torque especificados por el fabricante.

Desde el enfoque de gestión de proyectos, el montaje del transformador requirió una permanente coordinación entre las áreas de ingeniería, especialistas mecánicos, calidad; asegurando que cada actividad se ejecute conforme a los procedimientos y estándares de proyecto.



Figura 14 **Maniobra de izaje de Transformador de Distribución.** Fuente. Fotografía capturada por el autor de este trabajo en el taller correspondiente

3.5.4.3 Integración de Equipos Principales en Media y Baja Tensión.

La integración eléctrica de los equipos principales en media y baja tensión es una etapa determinante dentro del montaje del skid, ya que en esta fase se realiza la interconexión funcional entre la celda de media tensión, transformador de distribución y los sistemas auxiliares correspondientes. Esta actividad se ejecutó siguiente estrictamente los diagramas unifilares y el diagrama de interconexiones, con lo cual se garantizó la coherencia entre el diseño de ingeniería y la implementación física en taller.

En el lado de media tensión (22.9kV). la integración se realizó mediante el tendido y el conexionado de cables de potencia que enlaza la celda GIS de 22.9kV con el

transformador de distribución. Para esta interconexión se utilizó cable de media tensión tipo XLPE, marca Centelsa, calibre 1/0 AWG, tensión nominal de 35kV, adecuado para aplicaciones mineras. Asimismo, el cable fue seleccionado respetando los radios mínimos de curvatura y fijado mediante soportes adecuados, con la finalidad de evitar esfuerzos mecánicos indebidos y garantizando una adecuada instalación.

A continuación, se presenta una imagen del recorrido del cable de media tensión (cable de color verde) desde la celda GIS hasta el transformador de distribución:

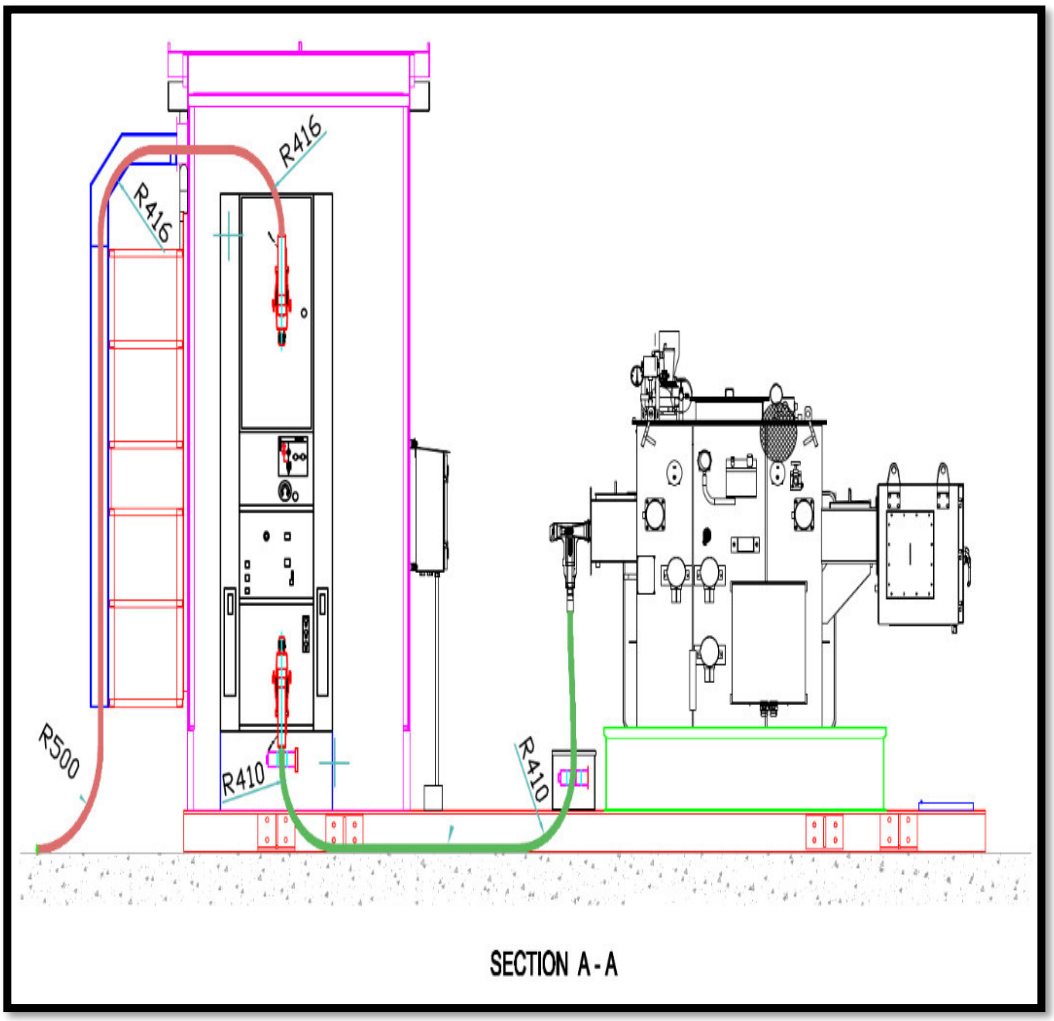


Figura 15 **Recorrido de cable de media tensión entre celda MT y transformador de distribución (cable color verde).** Fuente. Imagen obtenida de plano 26280-220-V1A-ETP2-00436 (Apéndice H)

En el lado de la celda de media tensión, los cables fueron conexionados utilizando terminaciones premoldeadas marca Pfisterer, de acuerdo con lo recomendado por el manual de las celdas 8DA10. Estas terminaciones permiten una conexión muy segura y confiable, asegurando el aislamiento eléctrico, la adecuada distribución de esfuerzos eléctricos y mecánicos, así como la compatibilidad con el diseño del equipo.



Figura 16 **Armado de terminaciones marca Pfisterer.** Fuente. Fotografía capturada por el autor de este trabajo en el taller correspondiente

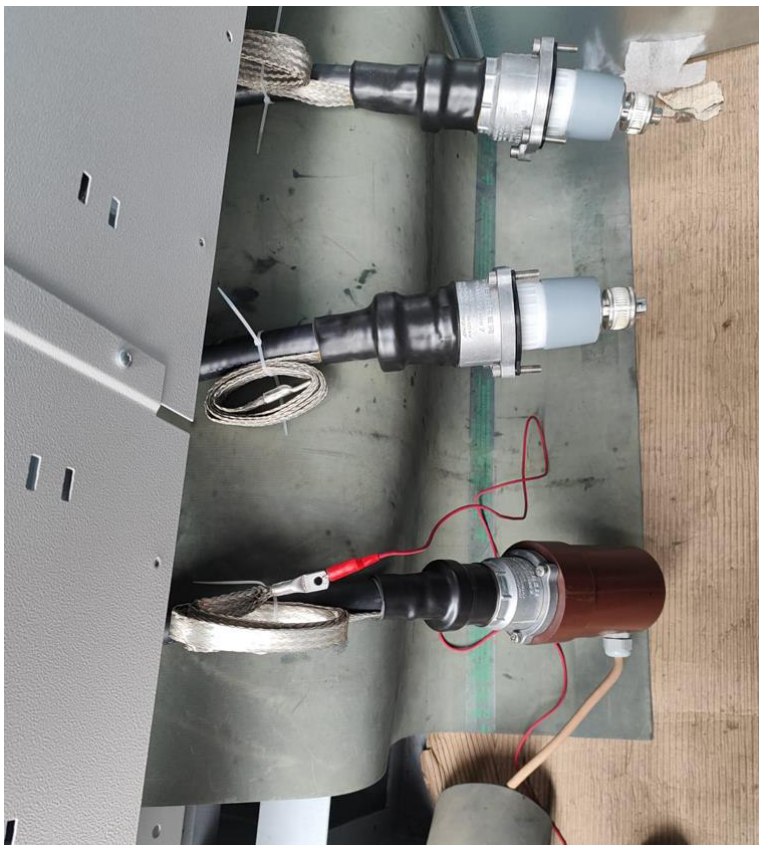


Figura 17 **Terminaciones Pfisterer preparadas y listas para conexión en celda GIS.** Fuente. Fotografía capturada por el autor de este trabajo en el taller correspondiente

Por su parte, en el lado del transformador de distribución, la conexión de cables de media tensión se realizó mediante terminaciones premoldeadas tipo codo, marca Euromold modelo 430TB; las cuales se instalaron sobre el bushing del transformador.



Figura 18 **Terminaciones Euromold 430TB conectadas al transformador de distribución.** Fuente. Fotografía capturada por el autor de este trabajo en el taller correspondiente.

Luego, la integración de los sistemas de baja tensión y servicios auxiliares constituyó un tema fundamental para asegurar la correcta operación y protección de la solución. Esta integración se realizó de acuerdo con el plano de interconexiones eléctricas identificado con el código 26280-220-V1A-ETP2-00428 (véase Apéndice G), el cual define a detalle las alimentaciones, señales de control, alarmas y disparos entre los equipos principales del sistema.

La alimentación en 230VAC fue designada a los servicios auxiliares de la celda de media tensión y del transformador de distribución, incluyendo los sistemas de calefacción, iluminación, tomacorrientes y circuitos auxiliares requeridos para la correcta operación de los equipos. Estas alimentaciones fueron derivadas desde el tablero de servicios auxiliares AC del skid, asegurando la protección mediante interruptores termomagnéticos dedicados y el correcto seccionamiento de cada circuito, de acuerdo con los criterios de selectividad y seguridad establecidos en la ingeniería.

Por otro lado, la alimentación 125VDC fue empleada para los circuitos de protección y control, garantizando la operación confiable del sistema. Esta alimentación fue distribuida desde el tablero de servicios auxiliares DC hacia la celda de media tensión y su respectivo relé de protección (marca General Electric, modelo Multilin 850) y los dispositivos asociados al transformador de distribución, asegurando la continuidad operativa de las funciones críticas del sistema.

Para la integración funcional entre el transformador de distribución y la celda de media tensión, se realizó el cableado de señales de alarma, estado y disparo prevenientes de los dispositivos de protección del transformador, tales como relés de presión, temperatura y nivel, hacia el relé de protección de la celda MT. Estas señales permiten la supervisión continua del estado operativo del transformador y la ejecución de disparos automáticos del interruptor de media tensión ante condiciones anómalas, lo cual asegura la protección integral de la solución.

3.5.5 PM500 – Pruebas en taller

Tras completar el montaje y la integración de los diferentes equipos principales y secundarios que conforman la subestación unitaria tipos skid, se desarrolló la etapa de pruebas en taller, la cual consiste en realizar una serie de verificaciones mecánicas y pruebas eléctricas con la finalidad de verificar que la solución se encuentre en condiciones adecuadas para su operación antes de la entrega al cliente. Asimismo, esta etapa permitió corroborar que el cliente recibe una solución totalmente funcional, reduciendo el riesgo de posibles incidencias o reclamaciones posteriores.

3.5.5.1 Pruebas en Taller de Celda GIS de Media Tensión

En el caso de la celda GIS de media tensión Siemens 8DA10, se realizaron las siguientes verificaciones y pruebas en taller:

a) **Verificación de datos generales y características técnicas**: Esta verificación consiste en validar los datos más relevantes de la celda (tensión nominal, corriente nominal, frecuenta, corriente de corto circuito, tag, fabricante, país de origen, entre otros) comparando lo que figura en la ingeniería con la placa de datos en físico.

Cuadro 4 **Datos Generales de la celda GIS validados en taller.**

DATOS GENERALES	
Fabricante:	SIEMENS
Modelo:	8DA10
Pais de Origen:	Alemania
Número de Serie:	CV 534191-000240/001
Tag:	+J01

Fuente. Elaboración propia.

Cuadro 5 **Características técnicas de la celda GIS validadas en taller.**

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS	
Tensión Nominal:	38kV
Corriente Nominal:	1200A
Frecuencia Nominal:	60Hz
Corriente de Cortocircuito:	50kA

Fuente. Elaboración propia.

b) Resistencia de aislamiento: Es un ensayo eléctrico que se ejecuta para verificar la integridad del aislamiento de los componentes energizados y la puesta a tierra. El objetivo principal es que no existan defectos, contaminación o humedad que comprometan la operación segura.

Para este caso en particular, se realizó la prueba bajo dos condiciones operativas: interruptor cerrado e interruptor abierto, aplicando una tensión continua de 5000 VDC durante el periodo de un (01) minuto, conforme a los procedimientos de pruebas establecidos por el especialista de Siemens.

En la condición de interruptor cerrado, la medición se efectuó entre cada fase y tierra, permitiendo evaluar el estado del aislamiento de los polos respecto a masa. Los valores obtenidos, del orden de los gigaohmios (GΩ), comprueban un adecuado comportamiento dieléctrico del interruptor, sin síntomas de humedad, deterioro o contaminación interna.

Luego, con el interruptor abierto, se realizaron mediciones de resistencia de aislamiento entre los bornes de entrada y salida de cada fase. Esta prueba permitió verificar el aislamiento longitudinal del interruptor entre contactos abiertos, obteniéndose valores en el orden de los teraohmios (TΩ), lo cual confirma una correcta separación dieléctrica entre polos y la integridad del aislamiento interno del equipo.

Las mediciones fueron realizadas bajo condiciones ambientales controladas, registrándose la temperatura y la humedad relativa al momento de la prueba, con el fin de asegurar la trazabilidad y correcta interpretación de los resultados. En conjunto, los valores obtenidos en ambas configuraciones confirman que el interruptor de media tensión cumple satisfactoriamente con los criterios de aceptación establecidos para aplicaciones críticas en entornos mineros,

garantizando su confiabilidad antes de la puesta en servicio.

Para esta prueba se utilizó los siguientes equipos: megóhmetro marca Megger y Termohigrómetro marca Fluke. Asimismo, la norma de referencia para la ejecución de esta prueba fue la IEC 62271-200.

A continuación, se muestran unos cuadros resumen con los valores de las pruebas en las dos condiciones mencionadas previamente:

Cuadro 6 **Prueba de Resistencia de aislamiento considerando el interruptor cerrado.**

ENTRE	RESISTENCIA	TEMPERATURA (°C)	HUMEDAD (%)
R - TIERRA	785 GΩ	27	64.9
S - TIERRA	390 GΩ	27	64.9
T - TIERRA	816 GΩ	27	64.9

Fuente. Elaboración propia.

Cuadro 7 **Prueba de Resistencia de aislamiento considerando el interruptor abierto.**

ENTRE	RESISTENCIA	TEMPERATURA (°C)	HUMEDAD (%)
R entrada – R salida	2.31 TΩ	27	64.9
S entrada – S salida	2.66 TΩ	27	64.9
T entrada – T salida	3.14 TΩ	27	64.9

Fuente. Elaboración propia.

c) Resistencia de Contactos: La prueba de resistencia de contactos se ejecutó con el interruptor cerrado y el seccionador de barra cerrado, con el fin de verificar la continuidad eléctrica y el adecuado estado de los contactos principales del equipo. Para la ejecución de esta prueba se utilizó un equipo de pruebas primarias OMICRON CPC100, aplicando una corriente de 100A DC y midiendo la resistencia en microhmios (μΩ) por fase.

Los valores obtenidos para las fases R, S y T fueron uniformes y consistentes entre sí, encontrándose dentro de los rangos aceptables para equipos de media tensión, lo que evidencia un correcto ajuste mecánico de los contactos, ausencia de puntos de alta resistencia y una adecuada condición de las superficies de contacto. Estos resultados confirman que el interruptor se encuentra apto para su operación, minimizando pérdidas por calentamiento y garantizando un desempeño confiable durante el servicio.

Cabe señalar que la norma de referencia para esta prueba es: IEC 612271-100.

A continuación, se muestra una tabla con el resultado de la prueba de resistencia de contactos para la celda GIS de media tensión:

Cuadro 8 **Prueba de Resistencia de aislamiento considerando el interruptor cerrado.**

ENTRE	RESISTENCIA
R entrada – R salida	2.31 TΩ
S entrada – S salida	2.66 TΩ
T entrada – T salida	3.14 TΩ

Fuente. Elaboración propia.

d) Tiempos de operación del interruptor: Esta prueba se realizó con la finalidad de verificar que el mecanismo de accionamiento del interruptor de potencia ubicado dentro de la celda GIS 8DA10 tenga un correcto desempeño mecánico y eléctrico, previo a la entrega del skid al cliente. Por ende, esta prueba es sumamente importante para asegurar una operación confiable del sistema de protección, especialmente considerando la criticidad del proceso de autoclave de oxidación a presión.

La prueba fue ejecutada utilizando un analizador de interruptores marca Megger, modelo TM1760, el cual es sumamente conocido en el rubro por su confiabilidad y precisión para este tipo de pruebas. Asimismo, el equipo estuvo totalmente calibrado al momento de la ejecución.

Las maniobras de apertura y cierre fueron realizadas de manera individual, probando las dos bobinas de apertura y la bobina de cierre. Estas maniobras figuran en la siguiente tabla (tabla 5), donde se muestran los valores de los tiempos de operación (en milisegundos) de cada bobina en particular.

Adicionalmente, también se midieron las corrientes de consumo del motor de accionamiento, registrándose valores correctos de acuerdo con el manual del equipo, en el cual se indica que la potencia de estos motores es de 350W.

Cuadro 9 **Prueba de Resistencia de aislamiento considerando el interruptor cerrado.**

MANIOBRA	FASE R	FASE S	FASE T	DISCORDANCIA
Cierre	59.600	60.475	60.925	1.325
Apertura 1	41.425	40.650	40.275	1.150
Apertura 2	53.275	52.500	52.000	1.275

Fuente. Elaboración propia.

Cuadro 10 **Medición de corriente de motor de interruptor de potencia.**

MANIOBRA	CIERRE	APERTURA 1	APERTURA 2
Corriente de motor (A)	1.900	4.600	0.300

Fuente. Elaboración propia.

e) **Calidad del gas SF6**: La prueba de calidad de gas SF6 de la celda GIS de media tensión, se ejecutó empleando un analizador de gas correctamente calibrado, con el objetivo de verificar el estado del gas SF6, el cual es el medio de aislamiento y extinción de arco de la celda.

   Los parámetros de la prueba fueron el porcentaje de SF6, punto rocío, contenido de humedad, concentración de subproductos de descomposición (SO2) y presión del gas.

   Los resultados obtenidos en la prueba reflejan un porcentaje de 98.7% de SF6, lo cual confirma una muy alta pureza del gas y ausencia de contaminación. El punto rocío medido de -49.4 °C, en conjunto con el contenido de humedad inferior a 20 ppmv / 2.5 ppmw, se encuentra dentro de los límites aceptables según las normas IEC 60376:2018 e IEC 60480:2019.

Cuadro 11 **Medición de corriente de motor de interruptor de potencia.**

CALIDAD DE GAS SF6						
Porcentaje SF6 (%)	Punto Rocío			SO2 (ppmv)	Presión (bar Abs)	Temperatura
	(°Cp)	ppmv	ppmw			
98.7	-49.4	<20	<2.5	0	1.38	32.8°C/ 53.1%

Fuente. Elaboración propia.

3.5.5.2 Pruebas en Taller de Transformador de Distribución

Respecto al transformador de distribución, también se le hizo una serie de pruebas en taller para validar su correcto funcionamiento una vez instalado e integrado en la solución. A continuación, se detallan las pruebas realizadas en este equipo:

a) **Verificación de datos generales y características técnicas**: Similar a lo realizado con la celda GIS de media tensión, en esta fase de pruebas se realiza una verificación visual de los datos generales y características técnicas del transformador de distribución. En esta verificación se validaron los datos expuestos en las siguientes tablas:

Cuadro 12 **Datos Generales de Transformador de Distribución.**

DATOS GENERALES	
Fabricante:	SIEMENS
Pais de Origen:	Colombia
Año de fabricación	2022
Número de Serie:	457183
Tag:	1440-US-002-TL

Fuente. Elaboración propia.

Cuadro 13 **Datos Generales de Transformador de Distribución.**

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	
Potencia Nominal:	2.5 MVA
Cantidad de Fases	3
Grupo de Conexión:	Dyn1
Voltaje Nominal AT:	22.9kV
Voltaje Nominal BT:	0.48kV
Frecuencia Nominal:	60Hz
Corriente Nominal AT:	63
Corriente Nominal BT:	3007
Modo de Refrigeración	ONAN
Tipo de Aislamiento:	Aceite Mineral

Fuente. Laboración propia.

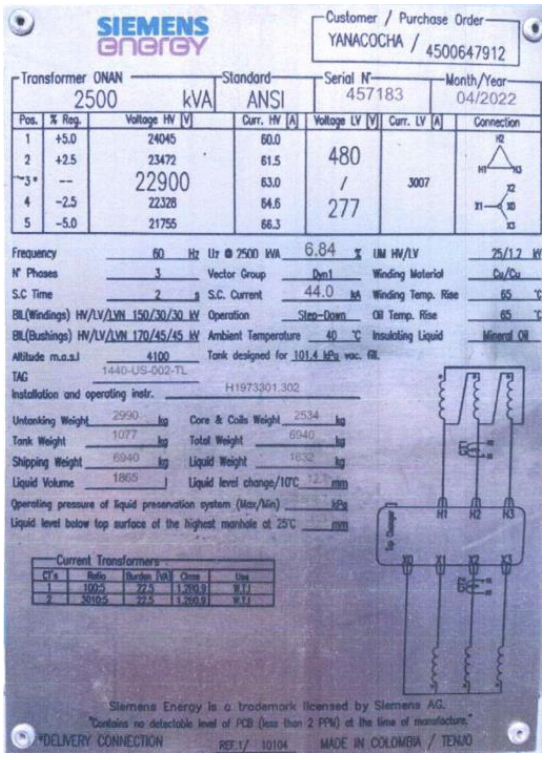


Figura 19 **Fotografía de placa de datos de transformador de distribución 2.5MVA.**
Fuente. Fotografía capturada por el autor de este trabajo en el taller correspondiente.

b) **Resistencia de Aislamiento de núcleo, yugo y tierra**: Esta prueba fue realizada para verificar que el aislamiento eléctrico de las partes magnéticas internas del transformador respecto al tanque y al sistema de puesta a tierra sea correcto. Asimismo, también sirve para asegurar la ausencia de contactos no intencionales que puedan generar corrientes parásitas durante la operación.

   La medición se ejecutó utilizando un megóhmetro con una tensión de prueba de 1000VDC durante un (01) minuto, registrándose simultáneamente las condiciones ambientales de temperatura y humedad. Asimismo, la prueba se realizó bajo condiciones climáticas estables, con una temperatura ambiente de 23.7 °C y una humedad relativa de 56.7 %.

   Cabe señalar que, en este transformador, el yugo forma parte del núcleo magnético, por lo que ambos se encuentran eléctricamente unidos con un único punto de puesta a tierra definido por el fabricante. Por este motivo, la medición relevante corresponde a núcleo tierra, la cual evalúa el aislamiento del conjunto completo respecto al tanque y al sistema de puesta a tierra.

   Norma de referencia: IEC 60076-1.

   En la siguiente tabla se muestra el resumen de los valores obtenidos en esta prueba:

Cuadro 14 **Valores medidos para prueba de resistencia de aislamiento.**

Resistencia de Aislamiento (medida en GΩ, inyección de 1000VDC por 1 minuto)		
Núcleo - Tierra	Yugo - Tierra	Núcleo - Yugo
8.94	N/A	N/A

Fuente. Elaboración propia.

c) **Resistencia de Aislamiento de Devanados del Transformador:** Esta prueba se realizó con la finalidad de evaluar el estado del sistema de aislamiento entre los devanados de alta tensión, baja tensión y tierra, así como entre los devanados, verificando que no existan caminos de fuga, deterioro de aislamiento sólido o presencia de humedad que pueda condicionar la confiabilidad del transformador.

   En este caso empleamos un megóhmetro calibrado, aplicando una tensión de prueba de 1000VDC en el lado de baja tensión y 5000VDC en el lado de alta

tensión, conforme a las prácticas recomendadas por las diferentes normas internacionales. Las mediciones se registraron de manera progresiva desde los 15 segundos hasta los 10 minutos, permitiendo analizar el comportamiento dieléctrico del aislamiento en función del tiempo.

Los valores obtenidos reflejan un incremento sostenido de la resistencia de aislamiento durante el periodo de medición en las configuraciones Alta – Tierra, Baja – Tierra y Alta – Baja, lo cual es síntoma de un aislamiento en buen estado y sin presencia significativa de humedad.

Luego, el índice de polarización (IP) y el índice de absorción (IA) son parámetros empleados para evaluar la condición del aislamiento del transformador. El IP corresponde a la relación entre la resistencia de aislamiento medida a los 10 minutos y la medida a 1 minuto. Por otro lado, el IA se obtiene como la relación entre la resistencia medida al minuto y a los 03 segundos, permitiendo la evaluación rápida del comportamiento dieléctrico inicial.

Norma de referencia: IEC 60076-1.

Cuadro 15 **Valores medidos para prueba de aislamiento.**

Resistencia de Aislamiento (Inyección de 1000VDC en BT, 5000VDC en AT hasta 10 mins)			
Tiempo	**Alta - Tierra (GΩ)**	**Baja - Tierra (GΩ)**	**Alta - Baja (GΩ)**
15 s	3.9	2.78	6.3
30 s	6.17	5.4	12.43
1 min	8.86	7.6	18.6
2 min	12.8	10.55	26.6
3 min	15.81	12.16	32.7
4 min	18.3	13.48	38.1
5 min	20.5	14.5	42.3
6 min	22.3	15.36	46.5
7 min	24	15.9	49.8
8 min	25.8	16.5	52.6
9 min	27.3	17.14	55.3
10 min	28.8	17.4	56.1
Ip (10/1)	3.25	2.28	3.01
Ia (1/30)	1.43	1.4	1.49

Fuente. Elaboración propia.

d) **Prueba de Capacitancia y Factor de Potencia de Devanados:** Esta prueba se realizó con la finalidad de evaluar la condición del aislamiento eléctrico del transformador de distribución, identificando posibles pérdidas dieléctricas, contaminación, humedad o defectos en el sistema aislante. Para este fin se empleó un equipo de pruebas marca OMICRON, modelo CPC100; aplicando una tensión de ensayo de 10kV en el lado de alta tensión y 0.5kV en el lado de baja tensión, a una frecuencia de 60Hz, de acuerdo con la normativa IEC 60247.

   Las mediciones se realizaron en diferentes configuraciones de prueba (CH, CL , CH + CL), tanto con inyección por el devanado de alta tensión como por el de baja tensión, permitiendo evaluar la capacitancia y el factor de potencia asociados a cada sistema de aislamiento. Los valores obtenidos de factor de potencia se mantienen dentro de los rangos esperados para un transformador nuevo, evidenciando un aislamiento sin presencia de humedad y en buen estado.

   Norma de referencia: IEC 60076-1.

   A continuación, en la *tabla 15*, se muestran los resultados de las pruebas de capacitancia y factor de potencia de devanados:

Cuadro 16 **Valores medidos para la prueba de capacitancia y factor de potencia.**

Prueba de Capacitancia y Factor de Potencia				
Medida (modo)	**Tensión de Prueba (kV)**	**Corriente (mA)**	**F. Potencia (%)**	**Capacitancia (pF)**
CH (GSTgA)	10	20.061	0.3344	5315.8
CHL (UST-g A)	10	0.498	0.4083	132.26
CH+CHL (GST)	10	20.556	0.3337	5448.3
CL (GSTgA)	10	7.0564	0.6635	37447
CLH (UST-g A)	10	0.024	0.4055	132.25
CL+CLH (GST)	10	7.0781	0.663	37580

Fuente. Elaboración propia.

e) **Prueba de Corriente de Excitación del Transformador:** La prueba de corriente se realizó con el fin de verificar el comportamiento magnético del núcleo del transformador de distribución de 2.5MVA, 22.9kV / 480V, identificando posibles anomalías tales como cortocircuitos entre espiras,

problemas en el núcleo magnético o errores de ensamblaje interno.

La prueba se ejecutó energizando el lado de alta tensión con una tensión de prueba de 10kV, manteniendo el lado de baja tensión a tierra y midiendo la corriente de excitación en cada fase (H1-H3, H2-H1 y H3-H2) para diferentes posiciones de TAP del transformador.

Los resultados obtenidos en esta prueba muestran un incremento progresivo de la corriente de excitación conforme se varía la posición del TAP, así como una simetría adecuada entre fases, lo cual es consistente con un núcleo en buen estado y sin indicios de saturación anómala o defectos internos. Las corrientes medidas se encuentran dentro de los rangos esperados para transformadores de estas características.

Equipo de prueba: maleta de prueba marca OMICRON modelo CPC-100.

Normal de referencia: IEE C57.12.90.

A continuación, una tabla resumen con los valores obtenidos en la prueba:

Cuadro 17 **Valores medidos para prueba de corriente de excitación.**

TAP	Tensión de prueba (kV)	Corriente (mA)		
		H1-H3 (H2-GND) mA	H2-H1 (H3-GND) mA	H3-H2 (H1-GND) mA
1	10	23.084	8.6485	22.996
2	10	24.255	9.2154	23.914
3	10	25.469	9.8103	25.185
4	10	26.729	10.428	26.523
5	10	28.043	11.068	27.926

Fuente. Elaboración propia.

f) Prueba de Relación de Transformación: Con la finalidad de verificar la correspondencia entre la relación de transformación de diseño y la relación real del transformador 2.5MVA – 22.9kV/480V, se realizó la prueba de relación de transformación en los cinco (05) taps (tap 1 al tap 5), empleando un equipo de pruebas primarias marca OMICRON modelo CPC-100. Para cada tap se comparó la relación teórica indicada por placa/diseño con la relación práctica medida en las tres combinaciones de fases: H1-H2/X0-X2, H2-H3/X0-X3 y H3-H1/X0-X1.

Los resultados mostraron una alta consistencia entre fases y taps: en Tap 1 la relación práctica se ubicó alrededor de 86.51–86.52 frente a la teórica 86.7849, con un error aproximado de 0.29%; en Tap 2, valores cercanos a 84.461–84.462 (teórica 84.6973, error 0.28%); en Tap 3, 82.459–82.461 (teórica 82.6333, error 0.21%); en Tap 4, 80.472–80.474 (teórica 80.5692, error 0.12%); y en Tap 5, 78.480–78.482 (teórica 78.5016, error 0.02–0.03%). Bajo condiciones ambientales registradas de 24.5 °C y 65% de humedad relariva, estos valores evidencian que el transformador mantiene la relación esperada y no presenta desviaciones relevantes entre fases, por lo que el resultado se considera conforme respecto a los criterios de aceptación del fabricante y la norma IEEE C57.12.90.

Cuadro 18 **Valores medidos para prueba de relación de transformación.**

TAP	Relacion Teórica	Relación practica			% de error		
		H1-H2/X0-X2	H2-H3/X0-X3	H3-H1/X0-X1	H1-H2/X0-X2	H2-H3/X0-X3	H3-H1/X0-X1
1	86.7849	86.5146	86.517	86.5165	0.29	0.29	0.29
2	84.6973	84.4616	84.4614	84.4616	0.28	0.28	0.28
3	82.6333	82.4589	82.46	82.4613	0.21	0.21	0.21
4	80.5692	80.4721	80.4725	80.4735	0.12	0.12	0.12
5	78.5016	78.4800	78.4816	78.4821	0.03	0.03	0.02

Fuente. Elaboración propia.

g) Prueba de Resistencia de Devanados: La prueba de resistencia de devanados se realizó con la finalidad de verificar la continuidad eléctrica, la uniformidad de los conductores y la correcta condición de las conexiones internas del transformador de distribución, tanto en el lado de Alta Tensión (AT) como en el lado de Baja Tensión (BT). Esta prueba permite detectar posibles defectos como conexiones flojas, contactos defectuosos, soldaduras deficientes o variaciones anómalas en los conductores.

Para la ejecución de la prueba se empleó un equipo de pruebas primarias marca OMICRON, modelo CPC100, el cual permite la inyección de corriente continua estabilizada y la medición precisa de resistencias de muy bajo valor. Adicionalmente, se utilizó un termohigrómetro FLUKE para el registro de las condiciones ambientales durante la medición, considerando que la resistencia

eléctrica de los devanados es sensible a la temperatura.

En el lado de Alta Tensión, la prueba se efectuó en cada posición de Tap, midiendo la resistencia entre los pares de bornes H1–H2, H2–H3 y H3–H1, con una corriente de prueba de 9A DC. Los valores obtenidos muestran una adecuada simetría entre fases y una tendencia coherente con las variaciones de Tap, lo que evidencia una correcta condición de los devanados y conexiones internas.

Para el lado de Baja Tensión, la prueba se realizó con una corriente de 45 A DC, midiendo las resistencias entre X1–X0, X2–X0 y X3–X0, así como entre X1–X2, X2–X3 y X3–X1, obteniéndose valores consistentes y balanceados entre fases. Estos resultados confirman la integridad eléctrica del devanado de BT y la ausencia de irregularidades en las conexiones.

Cuadro 19 **Valores para prueba de relación de transformación (lado AT).**

TAP	Corriente de prueba (A)	H1-H2 (Ω)	H2-H3 (Ω)	H3-H1 (Ω)
1	9	1.7858	1.7791	1.7724
2	9	1.7406	1.7345	1.7272
3	9	1.6971	1.6911	1.6808
4	9	1.6524	1.4836	1.6371
5	9	1.6093	1.6000	1.6019

Fuente. Elaboración propia.

Cuadro 20 **Valores para prueba de relación de transformación (lado BT, fases - neutro).**

TAP	Corriente de prueba (A)	Resistencia Medida (mΩ)		
		X1-X0 (mΩ)	X2-X0 (mΩ)	X3-X0 (mΩ)
1	45	0.292	0.273	0.250

Fuente. Elaboración propia.

Cuadro 21 **Valores para prueba de relación de transformación (lado BT, fases - neutro).**

TAP	Corriente de prueba (A)	Resistencia Medida (mΩ)		
		X1-X2 (mΩ)	X2-X3 (mΩ)	X3-X1 (mΩ)
1	45	0.292	0.273	0.250

Fuente. Elaboración propia.

3.5.6 PM600 – Despacho final

Luego de haberse ejecutado la totalidad de pruebas en taller y verificado el cumplimiento de las especificaciones técnicas del cliente, se procedió con el despacho final de la subestación unitaria tipo skid.

Cabe señalar que, el alcance contractual del proyecto incluye únicamente la entrega del skid sobre la plataforma del camión del cliente. Es decir, se incluyó la correcta preparación mécanico y logística de la solución integrada, contemplando el embalaje de los equipos, fijación en el vehículo de transporte y señalización correspondiente.

En la siguiente *figura 19*, se puede apreciar la maniobra de izaje empleando una grúa modelo Grove TMS870 de 40 toneladas y eslingas Crosby Slingmax Twin-Path sujetadas a las orejas de izaje de la estructura:



Figura 20 **Fotografía de proceso de izaje de subestación unitaria tipo skid.** Fuente. Fotografía capturada por el autor de este trabajo en el taller correspondiente.

3.6 Resultado de la actividad

Como resultado del presente proyecto, se logró la fabricación, integración y validación

en taller de una subestación tipo skid de media tensión (22.9 kV), cumpliendo con los requerimientos técnicos solicitados por el cliente para su operación en un entorno minero.

3.6.1 Resultados de ingeniería y diseño

Teniendo en consideración las bases técnicas del cliente, se consolidó la ingeniería de la solución, incluyendo la definición del diagrama unifilar, selección de equipos principales y criterios de integración. Toda esta información permitió establecer una solución técnica compatible con los estándares del cliente y las condiciones de operación requeridas

Los documentos de ingeniería, tales como diagramas eléctricos y mecánicos, así como ITP, protocolos y demás documentación técnica relevante, se presentan en los anexos correspondientes.

3.6.2 Resultado de fabricación e integración

La fabricación e integración de la subestación se realizó conforme a los planos de ingeniería, logrando una implementación limpia de los equipos principales, tales como celda GIS de media tensión, transformador de distribución y los sistemas auxiliares.

Asimismo, se obtuvo una integración adecuada entre los sistemas eléctricos y mecánicos, asegurando la compatibilidad funcional y la disposición física requerida para su operación.

3.6.3 Resultado de pruebas en taller

Durante la etapa de pruebas en taller, se ejecutaron múltiples verificaciones eléctricas, mecánicas y funcionales según lo establecido en el plan de inspección y pruebas (ITP), lo cual permitió validar el correcto funcionamiento de los equipos de manera individual y del sistema en manera general.

3.6.4 Condición final del sistema

Como resultado final de la actividad, la subestación tipo skid de media tensión 22.9kV fue liberada para su despacho, cumpliendo con todos los requisitos técnicos del proyecto.

El sistema se encuentra en condiciones adecuadas para su instalación en campo,

pruebas en sitio (SAT) y puesta en servicio; garantizando su correcto funcionamiento dentro de los parámetros de diseño establecidos.

CAPÍTULO IV:
DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 Descripción de la implementación

La implementación del skid de media tensión 22.9kV se realizó bajo un enfoque muy propio de la gestión de proyectos según el marco metodológico de la guía PM@SIEMENS (sexta edición) elaborada por la organización para proyectos de alta envergadura. Este enfoque permitió ejecutar las actividades de acuerdo a una correcta planificación y designación de recursos.

Durante la ejecución se gestionó de manera coordinada todas las fases del proyecto según lo descrito en la sección 3.5 (elaboración ingeniería, fabricación de equipos principales, pruebas de rutina y FAT, montaje, integración, pruebas finales y despacho), de tal modo que se logró cumplir con la fecha contractual pactada con el cliente.

4.2 Evaluación económica

Desde la etapa inicial del proyecto, es decir, desde la etapa PM100 - Apertura y Clarificación, se realizó una evaluación económica del proyecto con la finalidad de controlar el desempeño financiero.

Para este proyecto se elaboró un presupuesto inicial y se hizo un control mensual de los costos considerando proyecciones de costos futuros, hasta finalmente obtener los costos finales de acuerdo con las variaciones de costos incurridas a lo largo del proyecto.

Cabe señalar que, para proyectos de esta envergadura, la guía PM@SIEMENS exige que se realice el control mensual de los costos, con la finalidad de anticiparnos a fluctuaciones muy considerables en los costos y mitigar riesgos de disminución del

margen en los proyectos.

A continuación, una tabla donde se pueda apreciar las diferentes partidas del proyecto, sus costos presupuestados y los costos reales al final del proyecto:

Cuadro 22 **Comparación entre costos presupuestados y costos reales del proyecto.**

Categoría de costo	Partida del proyecto	Costos presupuestados (USD)	Costos reales (USD)	Variación de costos (USD)
Manpower	Ingeniería	7,500.00	9,500.00	2,000.00
	Gestión	9,500.00	9,500.00	-
Equipos Principales	Transformador	65,000.00	62,000.00	- 3,000.00
	Celda MT	30,000.00	25,000.00	- 5,000.00
	Estructura Skid	26,500.00	28,000.00	1,500.00
	Tablero SSAA AC	1,300.00	1,300.00	-
	Tablero SSAA DC	1,300.00	1,300.00	-
Componentes	Terminaciones Pfisterer	1,600.00	1,400.00	- 200.00
	Terminaciones Euromold	1,500.00	1,200.00	- 300.00
	Transporte internacional	6,000.00	5,000.00	- 1,000.00
	Cable de Media Tensión	2,000.00	1,500.00	- 500.00
	Suministros menores	3,500.00	4,000.00	500.00
Servicios	Montaje y pruebas Celdas MT	4,500.00	3,800.00	- 700.00
	Montaje y pruebas Transformador	5,500.00	4,500.00	- 1,000.00
	Integración	4,000.00	4,000.00	-
Otros	Fianzas bancarias	500.00	500.00	-
	Riesgos	5,000.00	-	- 5,000.00
Totales (USD)		**175,200.00**	**162,500.00**	**- 12,700.00**

Fuente. Elaboración propia.

Las principales desviaciones financieras fueron las siguientes:

Ingeniería: Se tuvo un sobre costo de 2,000.00 USD debido a que se emplearon 40 horas adicionales del especialista de diseño para ultimar detalles eléctricos del proyecto.

Transformador: Luego de una excelente negociación con la fábrica de Siemens Colombia, se pudo optimizar en 3,000.00 USD el costo del transformador.

Montaje y pruebas de celda y transformador: Se negoció correctamente con un subcontratista para que realice el alcance de montaje y pruebas de manera integral, con lo cual se logró un descuento de 2,000.00 USD.

Riesgos: Al iniciar el proyecto, se tuvo una partida de riesgos de 5,000.00 por conceptos como: penalidades por retraso en el envío de documentos contractuales, aumento en costos de materias primas, retraso en la entrega de

la solución, daño leve en equipos importados; los cuales finalmente no se materializaron y se convirtieron en un ahorro para el proyecto.

Como resultado del control financiero realizado a lo largo del proyecto, se obtuvo una variación entre el margen de la etapa de licitación y el margen final del proyecto.

El margen de la etapa de licitación fue de 20.4 %, definido por el área de ofertas bajo supuestos de disponibilidad de recursos, precios de fábricas, costo de horas hombre de especialistas, ausencia de desviaciones significativas e inclusión de la partida de riesgos.

Al culminar el proyecto, el margen final fue de 26.1 %, reflejando el impacto económico de los ahorros obtenidos según las partidas analizadas previamente.

Adicionalmente, la diferencia entre ambos valores se explica principalmente por el sobre costo en horas hombre de ingeniería y en los ahorros obtenidos en la compra del transformador y la adjudicación de los servicios de montaje y pruebas. Asimismo, el seguimiento económico mensual y aplicación de medidas preventivas permitieron mitigar riesgos de incurrir en sobre costos, lo cual fue determinante para incrementar el margen final del proyecto.

En ese sentido, el incremento del margen en 5.7 % evidencia la importancia de una buena gestión y seguimiento continuo de los costos del proyecto para evitar la materialización de riesgos que puedan afectar la rentabilidad.

CAPÍTULO V:
CONCLUSIONES

1. La gestión del proyecto de montaje y pruebas de una subestación tipo skid de 2.5MVA fue realizada correctamente según los lineamientos de la guía PM@SIEMENS, asegurando el cumplimiento de los requisitos contractuales de tiempo y calidad. Este tipo de metodología de gestión basada en lineamientos corporativos permitió mantener un adecuado control del avance
2. La correcta planificación y coordinación del proyecto, desde la etapa de apertura y clarificación hasta el despacho final, fue un factor determinante para asegurar el cumplimiento de los compromisos contractuales en relación a los plazos de entrega, reduciendo riesgos asociados a reprocesos y retrasos.
3. El hecho de haber ejecutado una buena ingeniería y de haber obtenido una pronta aprobación por parte del cliente, garantizó que las etapas de montaje y pruebas se realicen de manera efectiva y con tiempos holgados para su correcta ejecución.
4. Las pruebas en taller realizadas a la solución fueron sumamente importantes para garantizar el correcto funcionamiento de los equipos al momento de la entrega al cliente. Con la ejecución de estas pruebas se mitigaron riesgos y posibles reclamaciones futuras, asociadas al mal funcionamiento de los equipos, por parte del cliente.
5. La supervisión constante de un especialista nacional y certificado por Siemens para el montaje y pruebas de las celdas de media tensión, fue sumamente importante para el proyecto, ya que nos permitió ejecutar sin los inconvenientes que resultarían a raíz de involucrar a un personal certificado del extranjero. Cabe señalar que este tipo de especialistas certificados son muy escasos en la región y en Perú solo se cuenta con uno de ellos.
6. El involucramiento del Project Manager en todo el proyecto, no solo en la etapa de ingeniería, sino también asistiendo presencialmente al taller donde se ejecutan las

actividades de montaje y pruebas, es sumamente importante para el correcto desarrollo del proyecto, ya que genera un ambiente de confianza y compromiso en taller, lo cual se traduce en una mayor eficiencia del personal.

CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES

1. En la ejecución de futuros proyectos de similares características, se recomienda involucrar de manera temprana a las múltiples áreas encargadas, tales como: ingeniería, calidad, logística, finanzas, entre otras. Esto con la finalidad de mejorar los tiempos de coordinación y reducir posibles interferencias durante las etapas de fabricación e integración.
2. Se recomienda estandarizar el uso de las subestaciones tipo skid en operaciones mineras en los cuales los tiempos de intervención sean críticos, ya que este tipo de soluciones permite que la instalación se ejecute de una manera más rápida y también permite una mayor flexibilidad frente a cambios operativos.
3. Es sumamente recomendable reforzar la planificación de pruebas FAT y pruebas en taller, con el fin de asegurar la participación de todos los involucrados (proveedor, supervisión y cliente) y realizar la correcta documentación de procedimientos y protocolos. De esta manera se minimiza el riesgo de tener disconformidades por parte del cliente.
4. Es recomendable actualizar periódicamente la matriz de riesgos del proyecto para poder tomar acciones preventivas oportunas que aseguren el cumplimiento de los compromisos contractuales.
5. Para mejorar el nivel de calidad de los equipos, es recomendable hacer una trazabilidad de los resultados de las pruebas en cada uno de ellos, desde las pruebas de rutina en fábrica, pasando por las pruebas en taller y culminando con las pruebas en sitio.
6. Finalmente, es recomendable realizar una sesión de lecciones aprendidas con todas las complicaciones presentadas a lo largo del proyecto para que los errores no se repitan y se garantice una mejora continua en la calidad de los proyectos.

CAPÍTULO VII:
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Project Management Institute. (2021). A guide to the project management body of knowledge (PMBOK® Guide) (7th ed.). Project Management Institute.

Glover, J. D., Sarma, M. S., & Overbye, T. J. (2016). Power system analysis and design (6th ed.). Cengage Learning.

IEEE Power & Energy Society. (2018). IEEE guide for acceptance and maintenance testing of liquid-immersed power transformers. IEEE Standard C57.152-2013 (Revision reaffirmed 2018). Institute of Electrical and Electronics Engineers.

Brown, R. E. (2017). Electric power distribution reliability (2nd ed.). CRC Press / Taylor & Francis Group.

International Electrotechnical Commission. (2021). High-voltage switchgear and controlgear – Part 200: AC metal-enclosed switchgear and controlgear for rated voltages above 1 kV and up to and including 52 kV (IEC 62271-200:2021). IEC.

International Electrotechnical Commission. (2019). Guidelines for the checking and treatment of sulfur hexafluoride (SF_6) taken from electrical equipment and specification for its reuse (IEC 60480:2019). IEC.

International Electrotechnical Commission. (2017). High-voltage switchgear and controlgear – Part 100: Alternating-current circuit-breakers (IEC 62271-100:2017). IEC.

Institute of Electrical and Electronics Engineers. (2015). IEEE standard test code for

liquid-immersed distribution, power, and regulating transformers (IEEE Std C57.12.90-2015). IEEE.

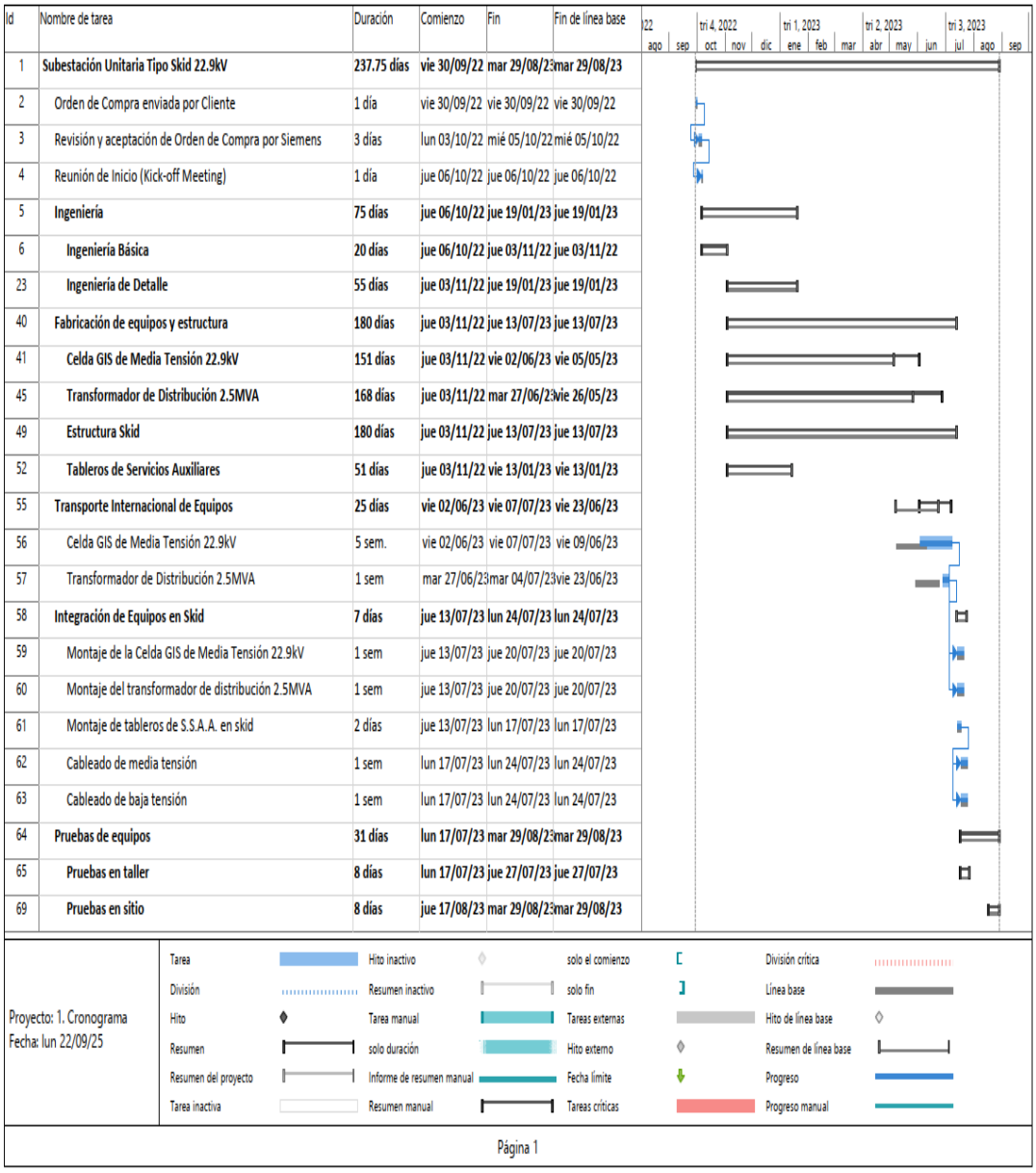
International Electrotechnical Commission. (2011). Power transformers – Part 1: General (IEC 60076-1:2011). IEC.

International Electrotechnical Commission. (2018). Specification of technical grade sulfur hexafluoride (SF_6) for use in electrical equipment (IEC 60376:2018). IEC.

International Electrotechnical Commission. (2019). Guidelines for the checking and treatment of sulfur hexafluoride (SF_6) taken from electrical equipment and specification for its reuse (IEC 60480:2019). IEC.

CAPÍTULO VIII:
APÉNDICES

APÉNDICE A: CRONOGRAMA



Id	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Fin de línea base
1	**Subestación Unitaria Tipo Skid 22.9kV**	**237.75 días**	**vie 30/09/22**	**mar 29/08/23**	**mar 29/08/23**
2	Orden de Compra enviada por Cliente	1 día	vie 30/09/22	vie 30/09/22	vie 30/09/22
3	Revisión y aceptación de Orden de Compra por Siemens	3 días	lun 03/10/22	mié 05/10/22	mié 05/10/22
4	Reunión de Inicio (Kick-off Meeting)	1 día	jue 06/10/22	jue 06/10/22	jue 06/10/22
5	**Ingeniería**	**75 días**	**jue 06/10/22**	**jue 19/01/23**	**jue 19/01/23**
6	**Ingeniería Básica**	**20 días**	**jue 06/10/22**	**jue 03/11/22**	**jue 03/11/22**
23	**Ingeniería de Detalle**	**55 días**	**jue 03/11/22**	**jue 19/01/23**	**jue 19/01/23**
40	**Fabricación de equipos y estructura**	**180 días**	**jue 03/11/22**	**jue 13/07/23**	**jue 13/07/23**
41	**Celda GIS de Media Tensión 22.9kV**	**151 días**	**jue 03/11/22**	**vie 02/06/23**	**vie 05/05/23**
45	**Transformador de Distribución 2.5MVA**	**168 días**	**jue 03/11/22**	**mar 27/06/23**	**vie 26/05/23**
49	**Estructura Skid**	**180 días**	**jue 03/11/22**	**jue 13/07/23**	**jue 13/07/23**
52	**Tableros de Servicios Auxiliares**	**51 días**	**jue 03/11/22**	**vie 13/01/23**	**vie 13/01/23**
55	**Transporte Internacional de Equipos**	**25 días**	**vie 02/06/23**	**vie 07/07/23**	**vie 23/06/23**
56	Celda GIS de Media Tensión 22.9kV	5 sem.	vie 02/06/23	vie 07/07/23	vie 09/06/23
57	Transformador de Distribución 2.5MVA	1 sem	mar 27/06/23	mar 04/07/23	vie 23/06/23
58	**Integración de Equipos en Skid**	**7 días**	**jue 13/07/23**	**lun 24/07/23**	**lun 24/07/23**
59	Montaje de la Celda GIS de Media Tensión 22.9kV	1 sem	jue 13/07/23	jue 20/07/23	jue 20/07/23
60	Montaje del transformador de distribución 2.5MVA	1 sem	jue 13/07/23	jue 20/07/23	jue 20/07/23
61	Montaje de tableros de S.S.A.A. en skid	2 días	jue 13/07/23	lun 17/07/23	lun 17/07/23
62	Cableado de media tensión	1 sem	lun 17/07/23	lun 24/07/23	lun 24/07/23
63	Cableado de baja tensión	1 sem	lun 17/07/23	lun 24/07/23	lun 24/07/23
64	**Pruebas de equipos**	**31 días**	**lun 17/07/23**	**mar 29/08/23**	**mar 29/08/23**
65	**Pruebas en taller**	**8 días**	**lun 17/07/23**	**jue 27/07/23**	**jue 27/07/23**
69	**Pruebas en sitio**	**8 días**	**jue 17/08/23**	**mar 29/08/23**	**mar 29/08/23**

Figura A1 **Cronograma contractual del proyecto.** Fuente. Elaboración propia.}

APÉNDICE B: DIAGRAMA UNIFILAR Y TRIFILAR

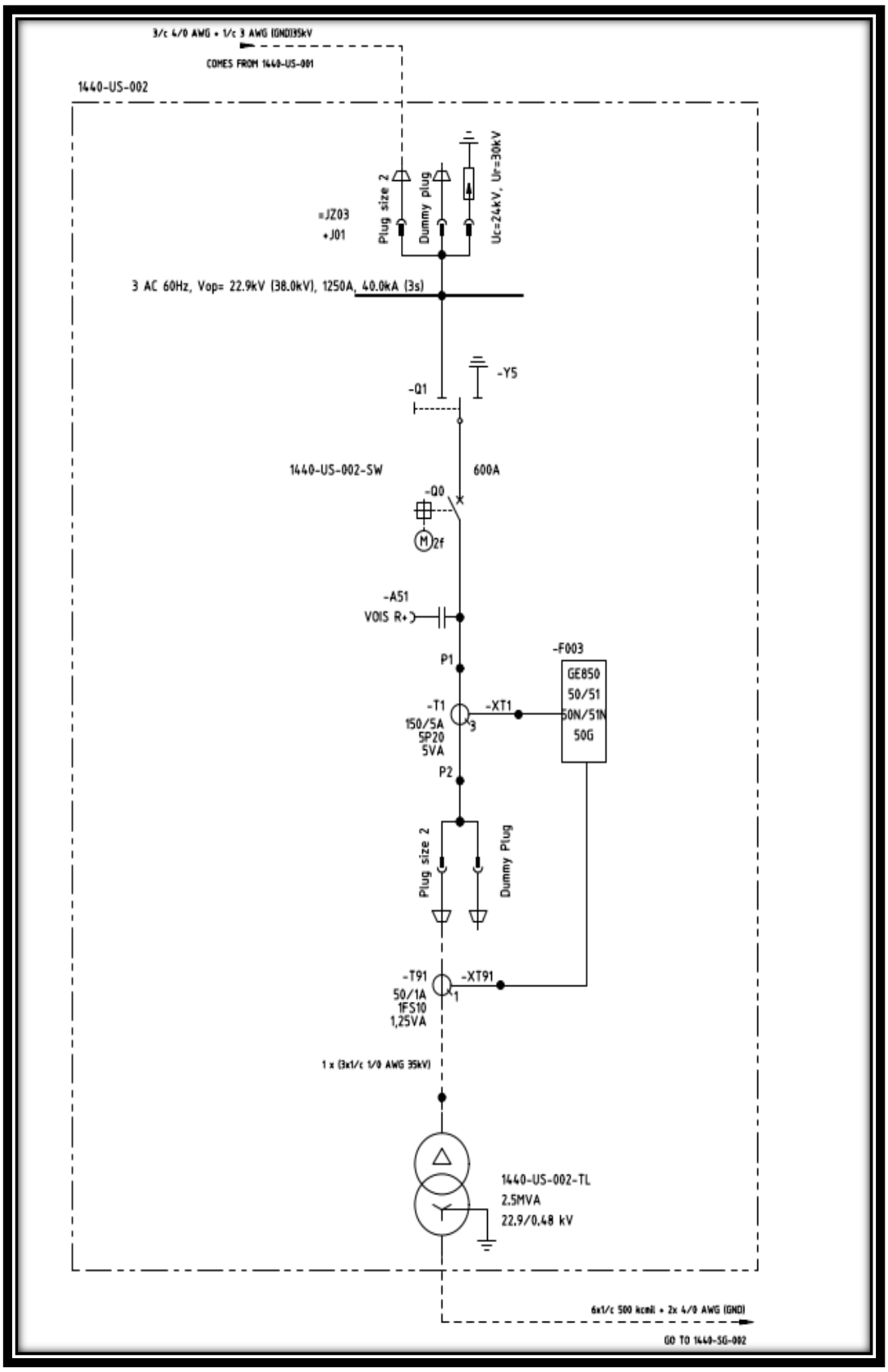


Figura B1 **Diagrama unifilar**. Fuente. Planos del proyecto (documentación técnica interna).

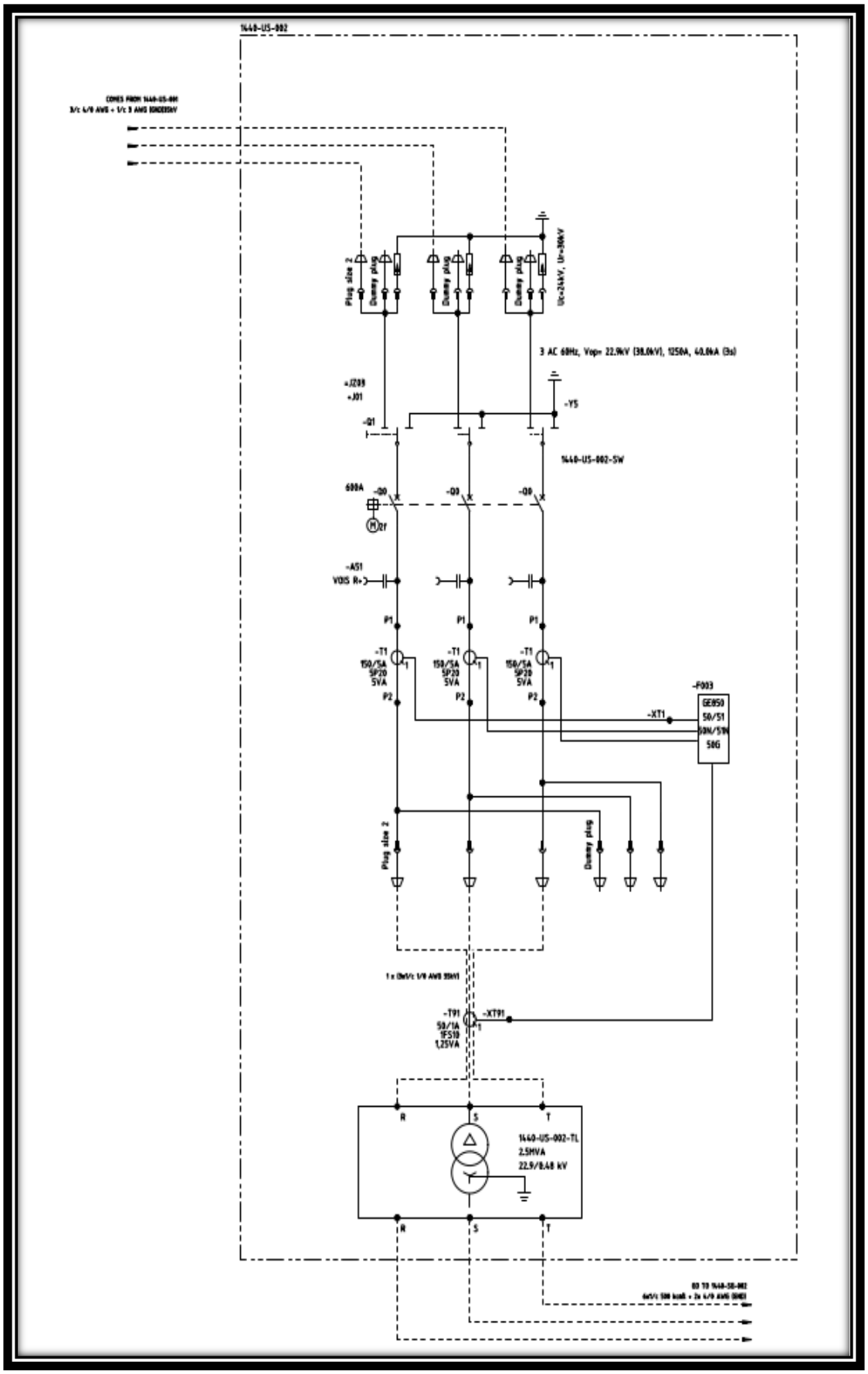


Figura B2 **Diagrama trifilar.** Fuente. Planos del proyecto (documentación técnica interna).

APÉNDICE C: DIAGRAMAS MECÁNICOS

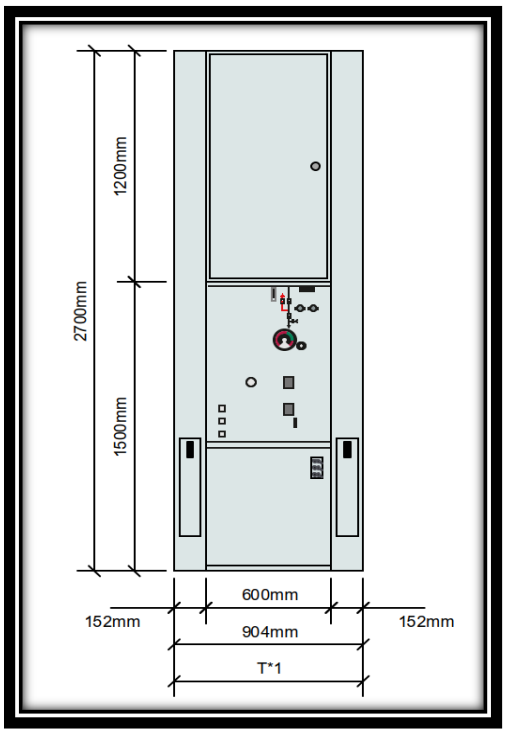


Figura C1 **Vista frontal de celda de media tensión**. Fuente. Planos del proyecto (documentación técnica interna).

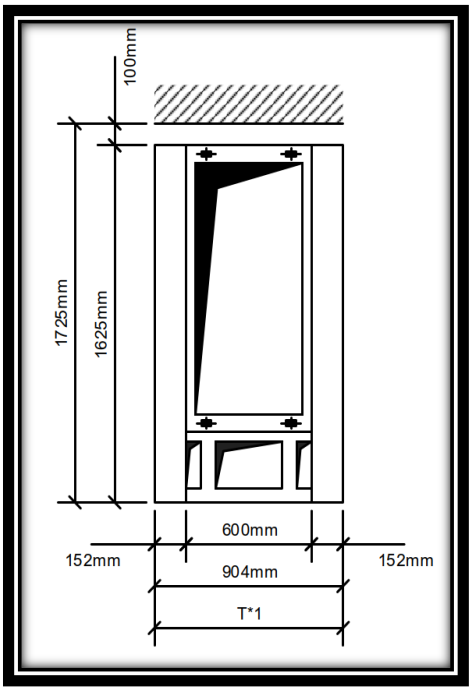


Figura C2 **Vista de planta de celda de media tensión**. Fuente. Planos del proyecto (documentación técnica interna).

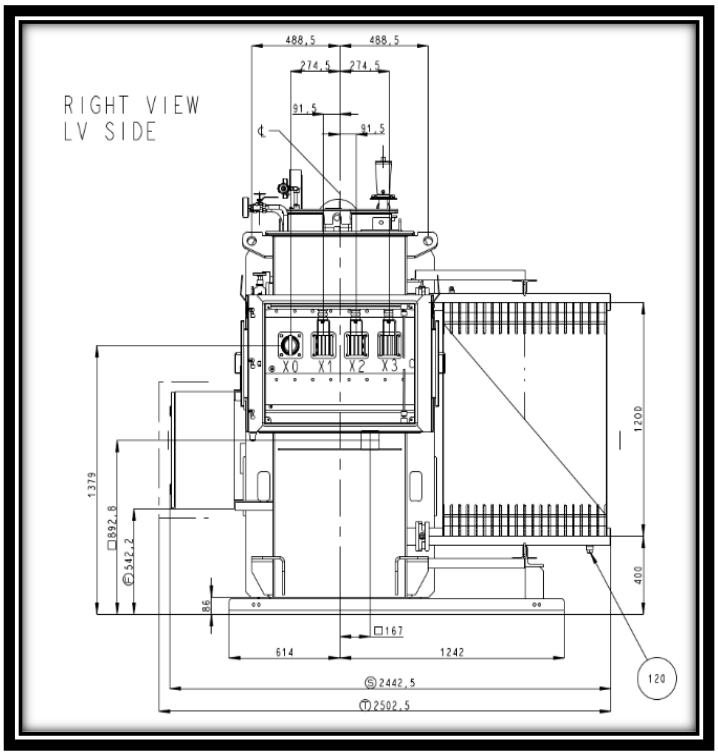


Figura C3 **Vista de lado de baja tensión de transformador de distribución**.
Fuente. Planos del proyecto (documentación técnica interna).

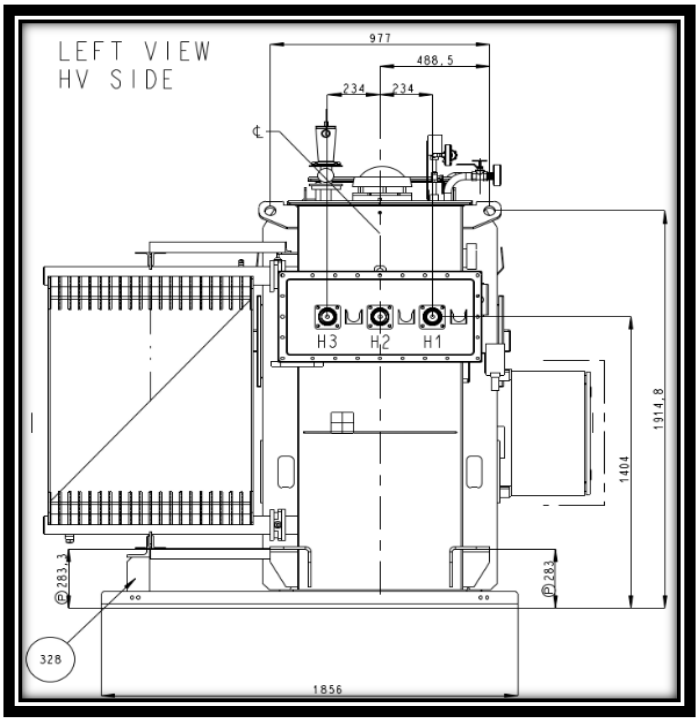


Figura C4 **Vista de lado de alta tensión de transformador de distribución**.
Fuente. Planos del proyecto (documentación técnica interna).

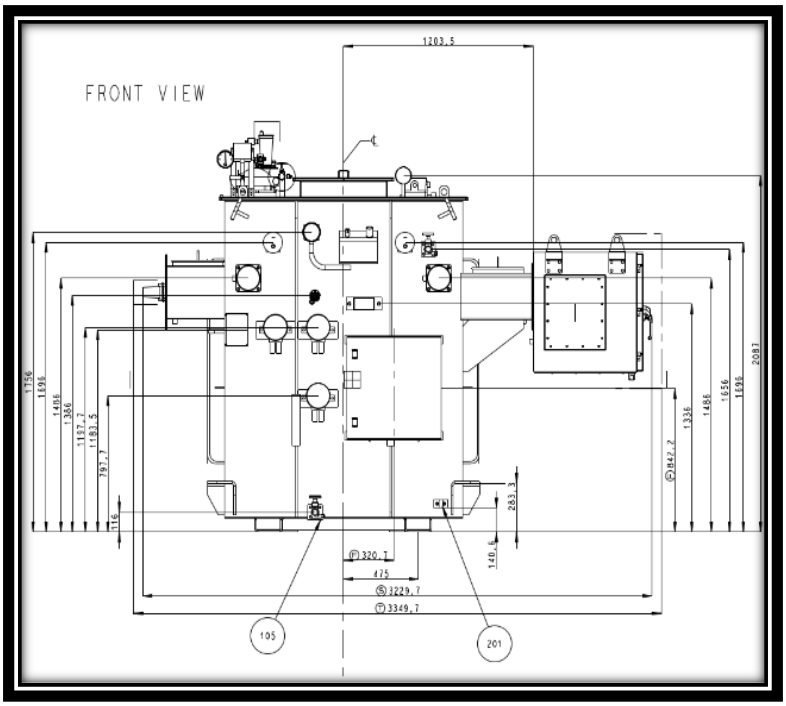


Figura C5 **Vista frontal de transformador de distribución**. Fuente. Planos del proyecto (documentación técnica interna).

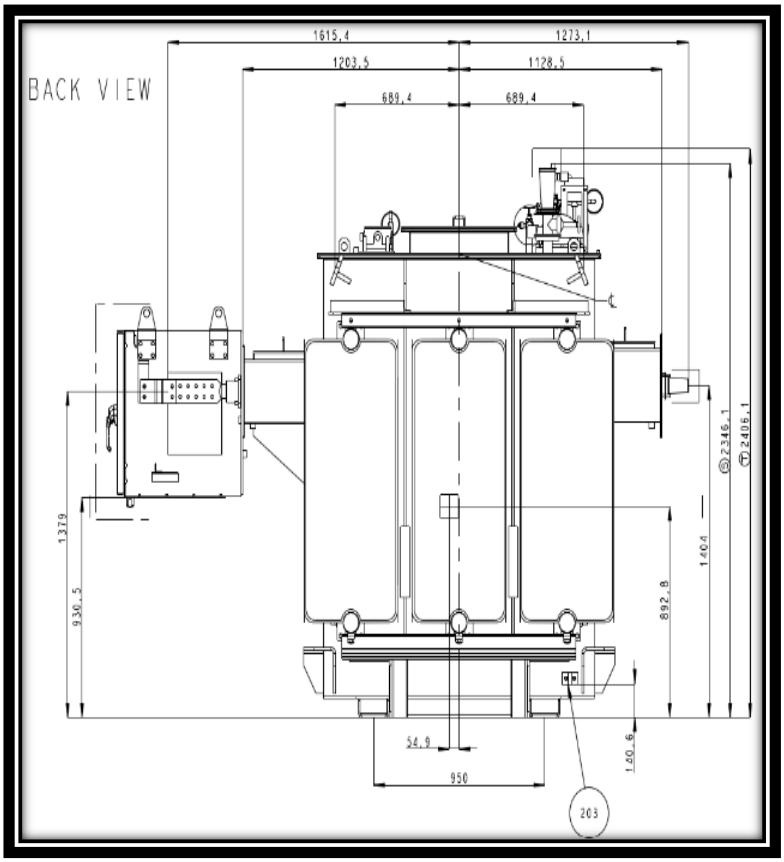


Figura C6 **Vista posterior de transformador de distribución**. Fuente. Planos del proyecto (documentación técnica interna).

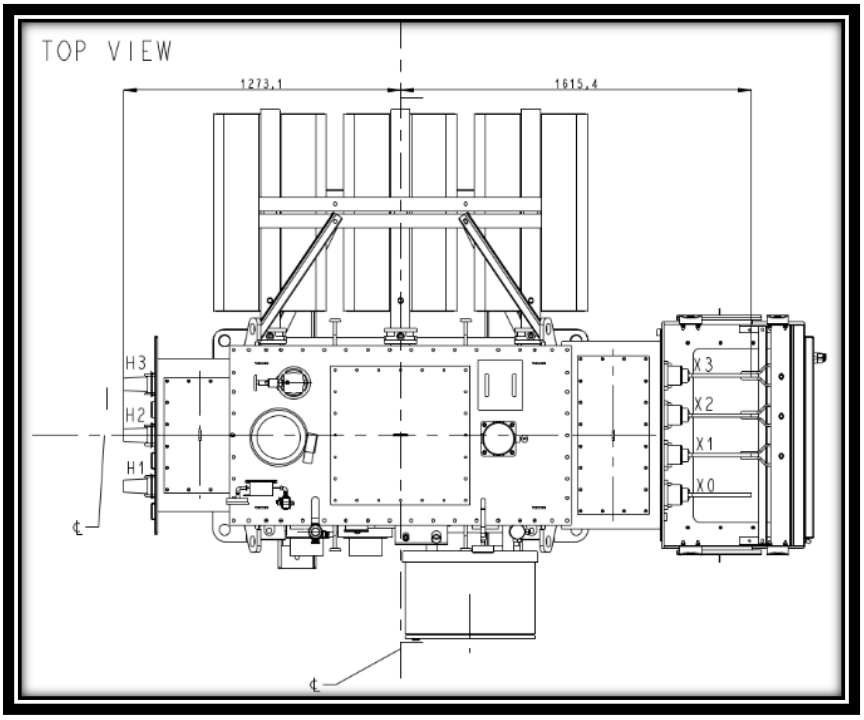


Figura C7 **Vista superior de transformador de distribución**. Fuente. Planos del proyecto (documentación técnica interna).

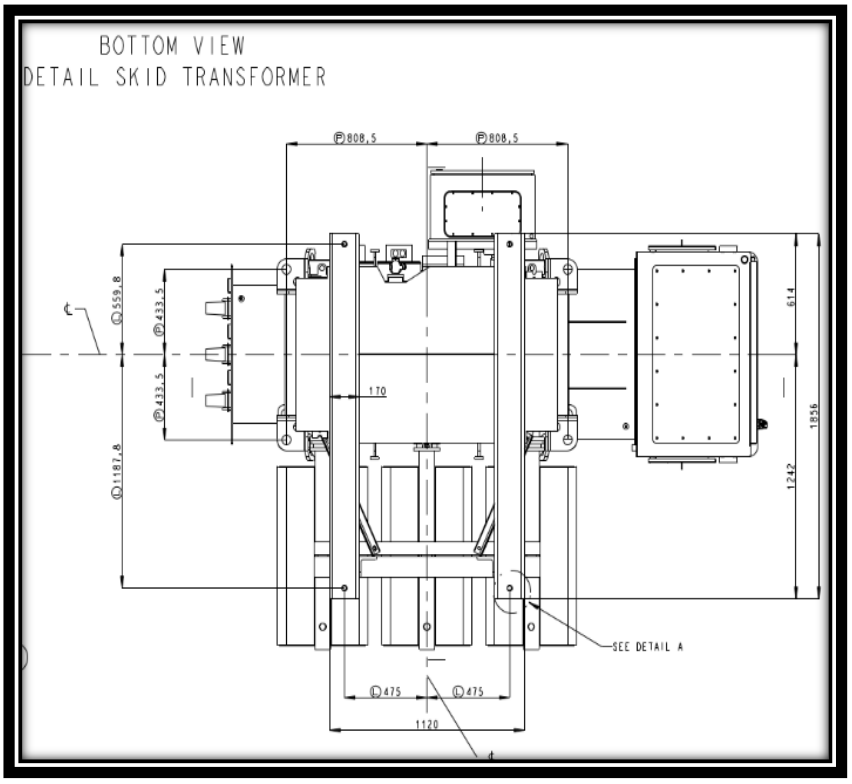


Figura C8 **Vista inferior de transformador de distribución**. Fuente. Planos del proyecto (documentación técnica interna).

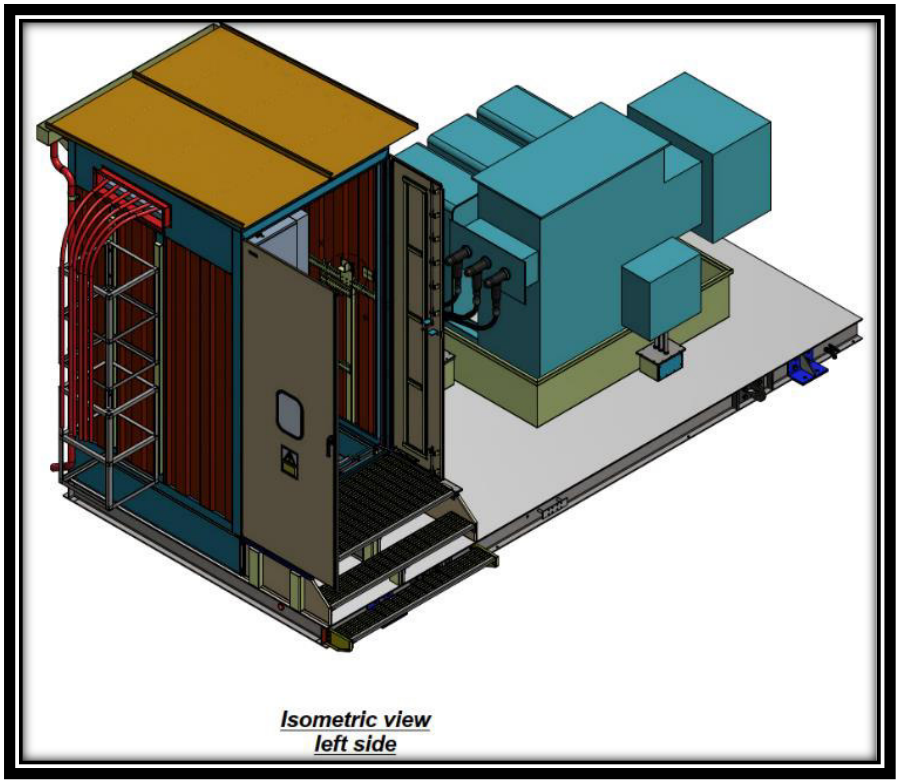


Figura C9 **Vista isométrica de subestación tipo skid**. Fuente. Planos del proyecto (documentación técnica interna).

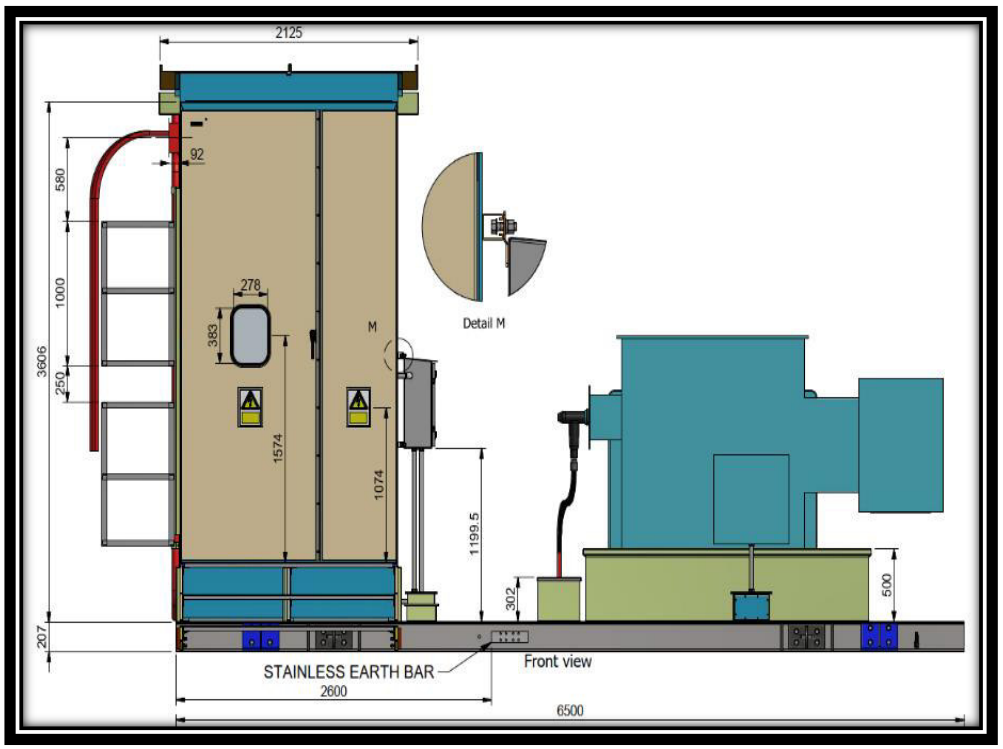


Figura C10 **Vista frontal de subestación tipo skid**. Fuente. Planos del proyecto (documentación técnica interna).

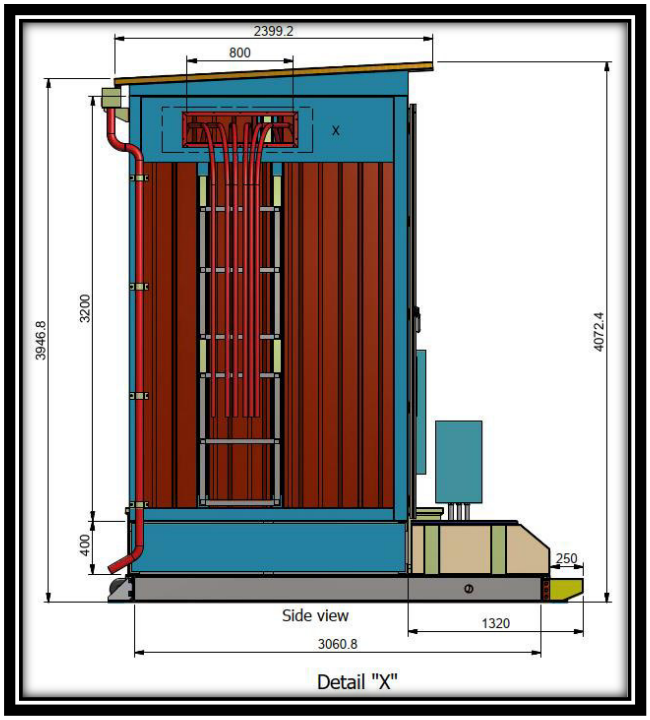


Figura C11 **Vista lateral de subestación tipo skid**. Fuente. Planos del proyecto (documentación técnica interna).



Figura C12 **Vista superior de subestación tipo skid**. Fuente. Planos del proyecto (documentación técnica interna).

APÉNDICE D: ITP (INSPECTION TEST PLAN)

YANACOCHA SULFIDES PROJECT PROJECT No.:192802				SIEMENS PROPOSAL			APPROVAL CUSTOMER / AUDITOR		
ÍTEM	DESCRIPTION								
NÚMERO	Variable to Control Inspection and Test Point	Reference Document / Acceptance Criteria (Request)	Control Registers	INSPECTION POINTS			INSPECTION POINTS		
				R	W	H	R	W	H
1	SKID								
1.1	PRIOR DOCUMENTATION AND RECEPTION OF MATERIALS								
1.1.1	Receipt and inspection of materials	Technical specifications / Material lists	Registration of inspection and receipt of materials	X			X		
1.1.2	Steel Certification (Visual and dimensional inspection)	Technical specifications	Quality certificate / Supplier quality protocol	X			X		
1.1.3	Painting Certification (manufacturing batch, Expiration Date)	According to the manufacturer's recommendation / technical data sheet / customer specification	Quality certificate / Supplier quality protocol	X			X		
1.1.4	Welding filler material certificate (Electrodes, Wire, manufacturing batch)	AWS ER70S-6	Quality certificate / Supplier quality protocol	X			X		
1.1.5	Qualification of welding procedures (WPS-PQR-WPQ)	AWS D.1.3 / AWS D.1.1	Welders Qualification, Procedure Qualification Record (PQR) According AWS D1.1/1.3 /WPS.	X			X		
1.1.6	Welders Qualification	AWS D.1.1 ASME IX	Welder Qualification WPQR	X			X		
1.1.7	Sandblasting or Shot Certification	SSPC- ABI / SSPC AB2	Quality certificate / Supplier quality protocol	X			X		
1.1.8	Qualification of Non-Destructive Testing Personnel	Current Certification Level II SNT-TC-1A	NDT Personnel Qualification Certificates Level II current	X			X		
1.1.9	Qualification of personnel NACE/SSPC	Current Certification	Current qualification certificate	X			X		
1.2	INSTRUMENTATION AND EQUIPMENT								
1.2.1	Clamp Meter Calibration	Calibration Plan / Calibrated Equipment	Current calibration certificate	X			X		
1.2.2	Contact Thermometer Calibration	Calibration Plan / Calibrated Equipment	Current calibration certificate	X			X		
1.2.3	Thermohygrometer Calibration	Calibration Plan / Calibrated Equipment	Current calibration certificate	X			X		
1.2.4	Welding Equipment Calibration	Calibration Plan / Calibrated Equipment	Current calibration certificate	X			X		
1.2.5	Dry Film Thickness Gauge Calibration	Calibration Plan / Calibrated Equipment	Current calibration certificate	X			X		
1.2.6	Roughness Calibration	Calibration Plan / Calibrated Equipment	Current calibration certificate	X			X		
1.2.7	Ultrasound Calibration	Calibration Plan / Calibrated Equipment	Current calibration certificate	X			X		
1.2.8	Adhesion Meter Calibration	Calibration Plan / Calibrated Equipment	Current calibration certificate	X			X		
1.2.9	Micrometer Calibration	Calibration Plan / Calibrated Equipment	Current calibration certificate	X			X		
1.2.10	Optical Level / Laser / Topographic Station Calibration	Calibration Plan / Calibrated Equipment	Current calibration certificate	X			X		
1.3	SKID MANUFACTURING								
1.3.1	Pre-inspection meeting	N/A	Record of meeting	X					X
1.3.2	Control of Drawings Last Review	Manufacturing drawings	Reception of approved plans for construction, Minutes / e-mail	X				X	
1.3.3	First coat of paint application	Supplier procedure	Supplier thickness protocol / Painting Quality Certificate	X				X	
1.3.4	Assembling the floor platform structure	Manufacturing drawings	Dimensional and Visual Inspection of the Structured	X				X	
1.3.5	Dimensional Control Base Structure before Welding	Manufacturing drawings	Supplier protocol		X			X	
1.3.6	Leveling Control Base Structure before Welding	Manufacturing drawings	Supplier protocol		X			X	
1.3.7	Welding of the floor deck structure according to WPS	WPS	Weld map and weld stamp	X				X	
1.3.8	Nondestructive testing	Supplier procedure	Inspection record and/or test report	X				X	
1.3.9	Assembling and propping floor plates	Manufacturing drawings	Supplier protocol	X				X	
1.3.10	Welding of the floor plates according to WPS	WPS	Supplier protocol	X				X	
1.3.11	Dimensional Control Base Structure after welding (Flatness)	Manufacturing drawings	Supplier protocol	X				X	
1.3.12	Assembly and welding of lateral structures (Stands)	Manufacturing drawings	N/A	X				X	
1.3.13	Leveling lateral structures (Stands)	Manufacturing drawings	Supplier protocol	X				X	
1.3.14	Roof assembly and welding	Manufacturing drawings / WPS	Supplier protocol	X				X	
1.3.15	Non-destructive test on roof assembly (colored inks)	Supplier procedure	Supplier protocol		X			X	
1.3.16	Ceiling position control and coupling with screws	Manufacturing drawings	Supplier protocol	X				X	
1.3.17	Armed door frame	Manufacturing drawings	Supplier protocol	X				X	
1.3.18	Dimensional control of doors and walls frame	Manufacturing drawings	Supplier protocol	X				X	
1.3.19	Arming and welding of doors and walls (Mesh included)	Manufacturing drawings / WPS	Supplier protocol	X				X	
1.3.20	Installation of doors and walls	Manufacturing drawings	Supplier protocol	X				X	
1.3.21	Dimensional release before coating application	Manufacturing drawings	Supplier protocol / Check list release before coating application			X		X	
1.3.22	Cutting, assembly and welding of lifting supports	Manufacturing drawings / WPS	Supplier protocol	X				X	
1.3.23	Non-destructive test (Ultrasound and / or Penetrating inks) to lifting supports	Supplier procedure	Supplier protocol			X		X	
1.3.24	Tightness test	Supplier procedure	Supplier protocol		X			X	
1.4	SURFACE TREATMENT AND PAINT APPLICATION								
1.4.1	Measurement of environmental conditions	Supplier procedure	Environmental conditions protocol	X				X	
1.4.2	Surface preparation	Supplier procedure / Customer requirement	Surface cleaning protocol, sand or shot certificate.		X			X	
1.4.3	Roughness check	Technical data sheet painting / ASTMD 4477/ Supplier procedure	Supplier roughness protocol		X			X	
1.4.4	Dew point record	Technical data sheet painting / ASTMD 3276/ E337 / Supplier procedure	Supplier's environmental conditions protocol		X			X	
1.4.5	Painting application	Supplier procedure	Supplier thickness protocol / Painting Quality Certificate		X			X	
1.4.6	Dry paint thickness measurement	SSPC-PA2	Supplier thickness protocol		X			X	
1.4.7	Adhesion Control	ASTMD 4541 / Supplier procedurer	Supplier adherence test protocol		X			X	
1.4.8	Final test report	Technical specifications	Vendor test protocol		X			X	
1.4.9	Release for Dispatch	Technical specifications, checklists, engineering	Supplier release protocol / Siemens			X			X
1.5	EQUIPMENT ASSEMBLY								
1.5.1	8DA cell assembly	8DA Cell Mounting Instructions	Skid manufacturing checklist	X			X		
1.5.2	Transformer assembly	Transformer Mounting Instructions	Skid manufacturing checklist	X			X		
1.5.3	Pipe mounting	Electromechanical drawings	Skid manufacturing checklist	X			X		
1.5.4	Assembly of Luminaires	Mechanical arrangements	Skid manufacturing checklist	X			X		
1.5.5	Assembly of Emergency Luminaires	Mechanical arrangements	Skid manufacturing checklist	X			X		
2	MEDIUM VOLTAGE CELLS								
2.1	CELLS 8DA								
2.1.1	MATERIALS CONTROL								
2.1.1.1	Cell reception	Technical specifications / Purchase order	Receipt report	X			X		
2.1.1.2	Cell type test certificates	International standards	Type test reports	X			X		
2.1.2	ROUTINE TESTS (FACTORY)								
2.1.2.1	Integrity of protection components	IEC62271-200 / Test procedure	Test protocols	X				X	
2.1.2.2	Isolation to auxiliary and control circuits	IEC62271-200 / Test procedure	Test protocols	X				X	
2.1.2.3	Visual inspection	IEC62271-200 / Test procedure	Test protocols	X				X	
2.1.2.4	Mechanical operation test	IEC62271-200 / Test procedure	Test protocols	X				X	
2.1.2.5	Voltage applied test to main circuit	IEC62271-200 / Test procedure	Test protocols	X				X	
2.1.2.6	Electrical functional tests of auxiliary equipment	IEC62271-200 / Test procedure	Test protocols	X				X	
2.1.2.7	Visual inspection of final equipment	IEC62271-200 / Test procedure	Test protocols	X				X	

Figura D1 **Inspection test plan en formato del cliente (parte 1)**. Fuente. Dossier de calidad del proyecto (documentación técnica interna).

YANACOCHA SULFIDES PROJECT PROJECT No.:192802				SIEMENS PROPOSAL			APPROVAL CUSTOMER / AUDITOR		
ITEM	DESCRIPTION								
NÚMERO	Variable to Control Inspection and Test Point	Reference Document / Acceptance Criteria (Request)	Control Registers	INSPECTION POINTS			INSPECTION POINTS		
				R	W	H	R	W	H
2.1.2.8	Verification of wiring functionality	IEC62271-200 / Test procedure	Test protocols	X				X	
2.1.2.9	Relay test	IEC62271-200 / Test procedure	Test protocols	X				X	
2.1.2.10	Contact resistance test to main circuit	IEC62271-200 / Test procedure	Test protocols	X				X	
2.1.2.11	Test certificate	IEC62271-200 / Test procedure	Test certificate	X				X	
2.1.3	**Factory Acceptance Test (10% of total equipment)**								
2.1.3.1	Mechanical function test	IEC62271-200 / Test procedure	Test protocols		X			X	
2.1.3.2	Electrical function test	IEC62271-200 / Test procedure	Test protocols		X			X	
2.1.4	**WORKSHOP TESTS**								
2.1.4.1	Insulation resistance	ANSI/NETA ATS-2017 Standard for Acceptance Testing Specifications for Electrical Power Equipment and Systems	Test protocols		X			X	
2.1.4.2	Contact resistance test to main circuit	ANSI/NETA ATS-2011 Standard for Acceptance Testing Specifications for. Electrical Power Equipment and Systems	Test protocols		X			X	
2.1.4.3	Circuit Breaker operation times	Siemens Standard for 8DA10 MV GIS Switchgears	Test protocols		X			X	
2.1.4.4	SF6 gas quality	IEC 62271-4	Test protocols		X			X	
2.1.4.5	Current Transformer Tests	Siemens Standard for 8DA10 MV GIS Switchgears	Test protocols		X			X	
2.1.4.6	Relay test	Siemens Standard for 8DA10 MV GIS Switchgears	Test protocols		X			X	
2.1.4.7	Insulation resistance of medium voltage cables	Test procedure	Test protocols		X			X	
2.1.4.8	Hi-pot test for medium voltage cables	Test procedure	Test protocols		X			X	
3	**TRANSFORMER**								
3.1	**Approval and submittals**								
3.1.1	Nameplate Details	Manufacturer's Procedure	N/A	X			X		
3.1.2	Outline Drawing	Manufacturer's Procedure	N/A	X			X		
3.2	**Manufacturing**								
3.2.1	Winding	BSCF430I25.3 – Winding fabrication instruction	Test protocols	X			X		
3.2.2	Core & Coil Assembly	BSCF430I29.3 – Core fabrication instruction	Test protocols	X			X		
3.2.3	Tank Fabrication Inspection	Technical conditions for welding	Test protocols	X			X		
3.2.4	Pressing drying and vacuum	BSCF143I29.301 – Drying process instruction	Test protocols	X			X		
3.2.5	Vacuum test	BSCF450F30.3 – Vacuum process instruction	Test protocols	X			X		
3.3	**ROUTINE TESTS (FACTORY)**								
3.3.1	Resistance measurements of all windings	IEEE Std C57.12.90-2015 clause 5	Test protocols	X			X		
3.3.2	Ratio tests	IEEE Std C57.12.90-2015 clause 7 – Tolerances see IEEE Std C57.12.00-2015 clause	Test protocols	X			X		
3.3.3	Polarity and phase relation test	IEEE Std C57.12.90-2015 Table 17	Test protocols	X			X		
3.3.4	No-load loss at rated voltage	IEEE Std C57.12.90-2015 clause 8 – Tolerances see IEEE Std C57.12.00-2015 clause 9.3	Test protocols	X			X		
3.3.5	Excitation current at rated voltage	Manufacturer's Procedure	Test protocols	X			X		
3.3.6	No-load loss at 110% of rated voltage	Manufacturer's Procedure	Test protocols	X			X		
3.3.7	Excitation current at 110% of rated voltage	Manufacturer's Procedure	Test protocols	X			X		
3.3.8	Operation test of all devices	IEEE Std C57.12.90-2015 Table 17	Test protocols	X			X		
3.3.9	Applied Potential test	IEEE Std C57.12.90-2015 clause 10.6	Test protocols	X			X		
3.3.10	Induced Potential test	IEEE Std C57.12.90-2015 clause 10.7 – Tolerances see IEEE Std C57.12.00-2015 clause 9.3	Test protocols	X			X		
3.3.11	Mechanical Leak test	Manufacturer's Procedure	Test protocols	X			X		
3.3.12	Polarity and ratio test of curent transf	Manufacturer's Procedure	Test protocols	X			X		
3.3.13	Control wiring test	Manufacturer's Procedure	Test protocols	X			X		
3.3.14	Impedance Tests	Manufacturer's Procedure	Test protocols	X			X		
3.4	**SPECIAL TESTS (FACTORY)**								
3.4.1	Dielectric frequency response analyzer (DFRA)	Manufacturer's Procedure	Test protocols	X			X		
3.4.2	Short Circuit. IEEE C57.12.90 (Only for large purchase lots)	IEEE C57.12.90	Test protocols	X			X		
3.4.3	ANSI Lightning Impulse Tests For Each Transformer. IEEE C57.12.90	IEEE C57.12.90	Test protocols	X			X		
3.4.4	ANSI Temperature Rise Test For One Transformer. IEEE C57.12.90	IEEE C57.12.90	Test protocols	X			X		
3.4.5	Insulation Power Factor and Capacitance. According ANSI C57.12.90. (The value must be less than 0.5 at 20 C according to IEEE 62-1995 R2005)	IEEE C57.12.90	Test protocols	X			X		
3.5	**OIL TESTS (FACTORY)**								
3.5.1	Test Method For Corrosive Sulfur In Electrical Insulating Oils (ASTM D1275)	ASTM D1275	Test protocols	X			X		
3.5.2	Dielectric breakdown kV ASTM D-1816	ASTM D-1816	Test protocols	X			X		
3.5.3	Acid neutralization number ANSI/ASTM D-974	ASTM D-974	Test protocols	X			X		
3.5.4	Specific gravity	ASTM D-3487 and IEEE C 57.106	Test protocols	X			X		
3.5.5	Interfacial tension ANSI/ASTM D-971 or [o] ANSI/ASTMD-2285	ASTM D-3487 and IEEE C 57.106	Test protocols	X			X		
3.5.6	Color ANSI/ASTM D-1500	ASTM D-1500 R(2017)	Test protocols	X			X		
3.5.7	Visual Condition ASTM D-1524	ASTM D-1524	Test protocols	X			X		
3.5.8	Water in insulating liquids ASTM D-1533	ASTM D-1533	Test protocols	X			X		
3.5.9	Measure dissipation factor or power factor ASTM D-924	ASTM D-924	Test protocols	X			X		
3.5.10	Dissolved gas analysis (DGA) / IEEE C57.104 or ASTM D-3612	ASTM D 3612-02	Test protocols	X			X		
3.5.11	PCBs analysis by Gas Chromatography (The value must be less than 0.5ppm)	ASTM D-4059-00	Test protocols	X			X		
3.5.12	Viscosity ASTM D-445	ASTM D-445	Test protocols	X			X		
3.5.13	Test Method for flash and fire point ASTM D-92	ASTM D-92	Test protocols	X			X		
3.5.14	Test Method for Pour Point ASTM D-97	ASTM D-97	Test protocols	X			X		
3.5.15	Furans analisys by Gas Chromatography	Manufacturer's Procedure	Test protocols	X			X		
3.5.16	Contents of Oxidation Inhibitors ASTM D-4768	ASTM D-4768	Test protocols	X			X		
3.6	**Factory Acceptance Test (10% of total equipment)**								
3.6.1	Operation Test of auxiliary devices	Manufacturer's Procedure	Test protocols / test certificate		X			X	
3.6.2	Ratio tests on the rated voltage connection and on all tap positions as listed on the nameplate - Polarity and phase relation tests at the rated voltage connection	IEEE Std C57.12.90-2015 clause 7 – Tolerances see IEEE Std C57.12.00-2015 clause	Test protocols / test certificate		X			X	
3.6.3	Insulation power factor and capacitance	IEEE C57.12.90	Test protocols / test certificate		X			X	
3.6.4	Single phase excitation tests	IEEE Std C57.12.90-2015 Table 17	Test protocols / test certificate		X			X	
3.6.5	Resistance measurements of all windings on all tap positions.	Manufacturer's Procedure	Test protocols / test certificate		X			X	
3.6.6	Winding insulation resistance & Core insulation resistance with oil and without oil prior to shipping	IEEE Std C57.12.90-2015 clause 5	Test protocols / test certificate		X			X	
3.6.7	Lightning impulse	IEEE C57.12.90	Test protocols / test certificate		X			X	
3.6.8	Low Frequency Test - Applied-voltage tests	Manufacturer's Procedure	Test protocols / test certificate		X			X	
3.6.9	No-load losses and excitation current at 100% -110 % of rated voltage and at rated power frequency on the rated voltage tap connection(s)	Manufacturer's Procedure	Test protocols / test certificate		X			X	
3.6.10	Audible Sound emissions	Manufacturer's Procedure	Test protocols / test certificate		X			X	
3.6.11	Low Frequency Test - Induced-voltage tests	Manufacturer's Procedure	Test protocols / test certificate		X			X	
3.6.12	impedance voltage and load loss at rated current and rated frequency on the rated voltage connection, and at the tap extremes	Manufacturer's Procedure	Test protocols / test certificate		X			X	
3.6.13	Temperature Rise 65	IEEE C57.12.90	Test protocols / test certificate		X			X	
3.6.14	Sweep Frequency Response Analysis	Manufacturer's Procedure	Test protocols / test certificate		X			X	
3.6.15	Dielectric Frequency Response Analyzer	Manufacturer's Procedure	Test protocols / test certificate		X			X	

Figura D2 **Inspection test plan en formato del cliente (parte 2)**. Fuente. Dossier de calidad del proyecto (documentación técnica interna).

YANACOCHA SULFIDES PROJECT PROJECT No.:192802				SIEMENS PROPOSAL			APPROVAL CUSTOMER / AUDITOR		
ITEM	DESCRIPTION								
NÚMERO	Variable to Control Inspection and Test Point	Reference Document / Acceptance Criteria (Request)	Control Registers	INSPECTION POINTS			INSPECTION POINTS		
				R	W	H	R	W	H
3.6.16	Physical and chemical analysis of Dielectric Oil	Manufacturer's Procedure	Test protocols / test certificate		X			X	
3.6.17	DGA - Dissolved Gas Analysis of Dielectric Oil	ASTM D 3612-02	Test protocols / test certificate		X			X	
3.7	WORKSHOP TESTS								
3.7.1	Transformer protection operability tests	IEEE Std C57.152-™2013 IEEE Guide for Diagnostic Field Testing of Fluid-Filled Power Transformers, Regulators, and Reactors	Test protocols		X			X	
3.7.2	SFRA Test	IEEE Std C57.152-™2013 IEEE Guide for Diagnostic Field Testing of Fluid-Filled Power Transformers, Regulators, and Reactors	Test protocols		X			X	
3.7.3	Insulation resistance	IEEE Std C57.152-™2013 Standard test code for liquid-immersed distribution, power, and regulating Transformers	Test protocols		X			X	
3.7.4	Winding power factory test	ANSI/NETA ATS-2017 Standard for Acceptance Testing Specifications for. Electrical Power Equipment and Systems	Test protocols		X			X	
3.7.5	Excitation Current Test	IEEE Std C57.152™2013 Standard test code for liquid immersed distribution, power, and regulating Transformers	Test protocols		X			X	
3.7.6	Transformation Ratio Test	IEEE Std C57.152™2013 Standard test code for liquid immersed distribution, power, and regulating Transformers	Test protocols		X			X	
3.7.7	Winding Resistance Test	IEEE Std C57.152™2013 Standard test code for liquid immersed distribution, power, and regulating Transformers	Test protocols		X			X	
3.7.8	insulation resistance in current transformer	IEEE Std C57.13.1-2017 Guide for Field Testing of Relaying Current Transformers	Test protocols		X			X	
3.7.9	Saturation curve in current transformer	IEEE Std C57.13.1-2017 Guide for Field Testing of Relaying Current Transformers	Test protocols		X			X	
3.7.10	Transformation ratio in current transformer	IEEE Std C57.13.1-2017 Guide for Field Testing of Relaying Current Transformers	Test protocols		X			X	
3.7.11	Current transformer winding resistance test	IEEE Std C57.13.1-2017 Guide for Field Testing of Relaying Current Transformers	Test protocols		X			X	
4	LIGHTING SYSTEM								
4.1	Reception of materials and equipment	Manufacturing drawings	Yellow engineering	X				X	
4.2	Checking the wiring	Manufacturing drawings	Yellow engineering	X				X	
4.3	Internal testing	Manufacturing drawings	Supplier protocol		X			X	
4.4	Final visual inspection	Manufacturing drawings	Supplier protocol		X			X	
5	FINAL INSTALLATION INSPECTION								
5.1	Verification of compliance with customer specifications	Customer requirements	Skid manufacturing check list			X			X
6	DISPATCH								
6.1	Packaging	Standard packaging condition	Photographic record		X			X	
6.2	Load	Loading and transportation procedure	Photographic record		X			X	
6.3	Transport	Loading and transportation procedure	Photographic record		X			X	
7	QUALITY AND MANUFACTURING DOSSIER								
7.1	Cover, indexes and formalization letter	N/A	Label, Engineering Index for Field, Index by volume and cover, Letter of formalization of documentation	X			X		
7.2	Electric engineering	N/A	Control diagrams, One-line diagram, Technical specifications, Equipment list	X			X		
7.3	Mechanical Engineering	N/A	Structural calculation report, General and equipment layout	X			X		
7.4	Auxiliary Services Engineering	N/A	Typical electrical diagrams	X			X		
7.5	Lifting planes	N/A	Lifting Plan and Lifting Plate	X			X		
7.6	Cell Engineering	N/A	Control diagrams, One-line diagram, Technical specifications, Equipment list	X			X		
7.7	Transformer Engineering	N/A	Control diagrams, One-line diagram, Technical specifications, Equipment list	X			X		
7.8	FAT test protocols	N/A	Covers and procedures, Material traceability, Material quality certificates, Hardware quality certificates, Painting certificates, Quality controls, WPS, PQR, WPQR, Equipment calibration certificates, Protocols, Welding book, Penetrating ink tests , Paint tests, Ultrasound, Paint tests certificate, Paint technical data sheet	X			X		
7.9	FAT certificates	N/A	Certificates of Conformity, Test Certificates, Certificates and Test Protocols	X			X		
7.10	Catalogs and manuals	N/A	Technical condition for loading, transportation and unloading; Instructions sivacon S, Manual 3WL, Manual SIVACON S8	X			X		

Figura D3 **Inspection test plan en formato del cliente (parte 3)**. Fuente. Dossier de calidad del proyecto (documentación técnica interna).

APÉNDICE E: MATRIZ DE RIESGOS

Cuadro E1 **Matriz de riesgos**.

Celda No **MATRIZ DE RIESGOS**

Nombre del Proyecto / Oferta	Montaje y Pruebas Eléctricas de una subestación tipo skid para operación minera
Project Manager / Bid Manager	Julio Miranda Tapia

1. Gestión de Riesgos y Oportunidades

a. Riesgos

Descripción Causa + Efecto	Probabilidad %	Impacto	Nivel de Riesgo	Acciones	Responsable	Impacto (Después de las acciones)	Probabilidad Desp de Acciones %	Riesgo Residual	Estado
Retrasos en la emisión de documentos contractuales, por ende, se tiene un riesgo de penalidad por cada documento en retraso (300 USD por día de retraso)	30%	15,000.00	4,500.00	Tener a 02 personas de calidad que se encarguen de atender el envío de la documentación en el tiempo correcto.	Julio Miranda	15,000.00	11%	1,620.00	Activo
Aumento del costo de materias primas en el transurso de la ejecución del proyecto, por ende se podría tener sobre costos asociados.	30%	13,300.00	3,990.00	Realizar las gestiones con las fábricas y los proveedores para tener vigente las ofertas de los equipos y materiales el mayor tiempo posible.	Julio Miranda	13,300.00	10%	1,330.00	Activo
A raíz del retraso en la entrega de la solución, se podría tener un riesgo de penalidad asociado.	30%	11,000.00	3,300.00	Gestionar la actualización de las fechas en la OC con el cliente.	Julio Miranda	11,000.00	10%	1,100.00	Activo
Riesgo de que algún equipos se dañe en el transporte internacional y nacional, debido a ello, se podrían asumir costos para la reposición de dichos equipos (relés, medidores)	30%	9,500.00	2,850.00	Solicitar a las fábricas que consideren un embalaje más robusto para mitigar riesgos de daño en el transporte de los equipos.	Julio Miranda	9,500.00	10%	950.00	Activo
						Total Riesgos Residuales		5,000.00	

Fuente. Elaboración propia.

APÉNDICE F: PROTOCOLOS DE PRUEBAS DE RUTINA

SIEMENS Smart Infrastructure

Prüfbescheinigung / Test Certificate

	Auftrags-Nr. / Fact.ref.no.:	HptPos. / Main item:
	534191	**000010**

BZ-Nr. / PO number:	Stück / Quantity:	Stück / Quantity:
	1	**8DA10** **01 Feld(er)/panel(s)**

Die Schaltanlage entspricht gemäß IEC 62271-200 folgender IAC Klassifikation /
The switchgear conforms to the following IAC classification in accordance with IEC 62271-200:

Die Schaltanlage entspricht nachstehenden Bestimmungen und wurde erfolgreich in unserem Prüffeld stückgeprüft:	The switchgear meets the specifications stated below and has been successfully routine-tested at our test field:

IEC 62271-200

§ 8.2	Dielektrische Prüfung der Hauptstrombahn mit 80 kV, 1 min	Dielectric test on the main circuit with 80 kV, 1 min
§ 8.3	Prüfungen an Hilfs- und Steuerstromkreisen	Test on auxiliary and control circuits
§ 8.3.1	Inspektion der Hilfs- und Steuerstromkreisen und Nachweis der Konformität mit den Schaltplänen und Verdrahtungsplänen	Inspection of auxiliary and control circuits, and verification of conformity to the circuit diagrams and wiring diagrams
§ 8.3.2	Funktionsprüfungen	Functional tests
§ 8.3.3	Nachweis des Schutzes gegen elektrischen Schlag	Verification of protection against electrical shock
§ 8.3.4	Spannungsprüfung an Hilfsstromkreisen mit 1 kV, 1 s	Dielectric test of auxiliary circuits with 1 kV, 1 s
§ 8.4	Widerstandsmessung der Hauptstromkreise	Measurement of the resistance of the main circuit
§ 8.5	Dichtheitsprüfung gasgefüllter Schotträume	Tightness test of gas-filled compartments
§ 8.6	Konstruktions- und Sichtkontrollen	Design and visual checks
§ 8.101	Teilentladungsmessung	Partial discharge measurement
§ 8.102	Mechanische Funktionsprüfungen	Mechanical operation tests
§ 8.103	Druckprüfung gasgefüllter Schotträume	Pressure tests of gas-filled compartments
§ 8.105	Messung des Gaszustandes nach Füllung	Measurement of gas condition after filling

Datum / Date: 2022-09-21	Hr. / Mr.: Fr. / Mrs.: Frank Armand Djantio Noutche
	Gültig ohne Unterschrift / Valid without signature

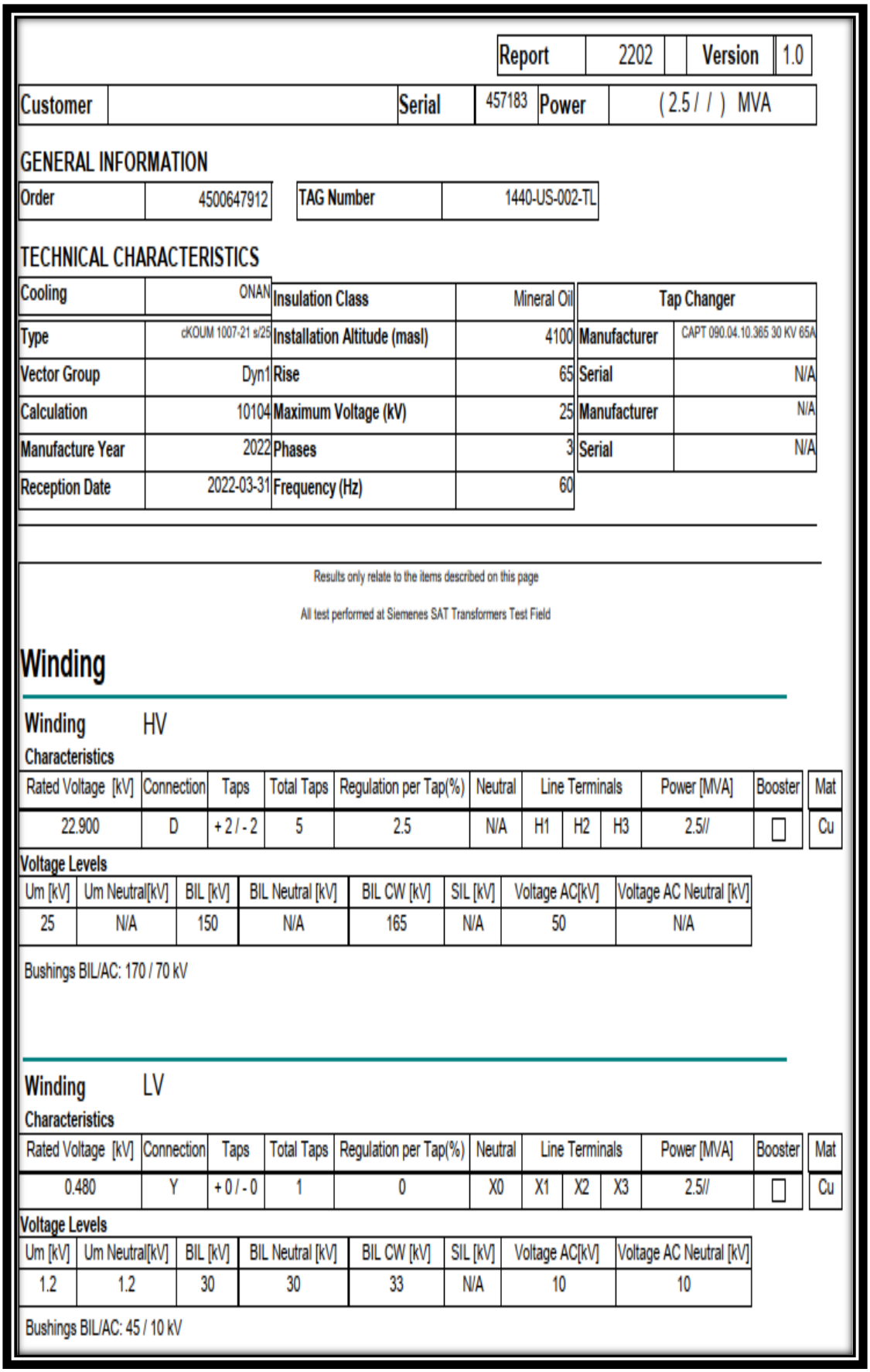
* Je nach Feldvariante sind einzelne Prüfungen nicht erforderlich
* Depending on the type of panel, some of these tests are not applicable

Siemens AG
Smart Infrastructure
Distribution Systems

Postal address:
Siemens AG
Carl-Benz-Str. 22
60386 Frankfurt am Main

Office address:
Carl-Benz-Str. 22
60386 Frankfurt am Main
Tel.: +49 (69) 4008-0
Fax: +49 (69) 4008-2411

Figura F1 **Certificado de pruebas de rutina**. Fuente. Dossier de calidad del proyecto (documentación técnica interna).



Report	2202	Version	1.0

Customer		Serial	457183	Power	(2.5 / /) MVA

GENERAL INFORMATION

Order	4500647912	TAG Number	1440-US-002-TL

TECHNICAL CHARACTERISTICS

Cooling	ONAN	Insulation Class	Mineral Oil	Tap Changer	
Type	cKOUM 1007-21 s/25	Installation Altitude (masl)	4100	Manufacturer	CAPT 090.04.10.365 30 KV 65A
Vector Group	Dyn1	Rise	65	Serial	N/A
Calculation	10104	Maximum Voltage (kV)	25	Manufacturer	N/A
Manufacture Year	2022	Phases	3	Serial	N/A
Reception Date	2022-03-31	Frequency (Hz)	60		

Results only relate to the items described on this page

All test performed at Siemenes SAT Transformers Test Field

Winding

Winding HV

Characteristics

Rated Voltage [kV]	Connection	Taps	Total Taps	Regulation per Tap(%)	Neutral	Line Terminals			Power [MVA]	Booster	Mat
22.900	D	+ 2 / - 2	5	2.5	N/A	H1	H2	H3	2.5//	☐	Cu

Voltage Levels

Um [kV]	Um Neutral[kV]	BIL [kV]	BIL Neutral [kV]	BIL CW [kV]	SIL [kV]	Voltage AC[kV]	Voltage AC Neutral [kV]
25	N/A	150	N/A	165	N/A	50	N/A

Bushings BIL/AC: 170 / 70 kV

Winding LV

Characteristics

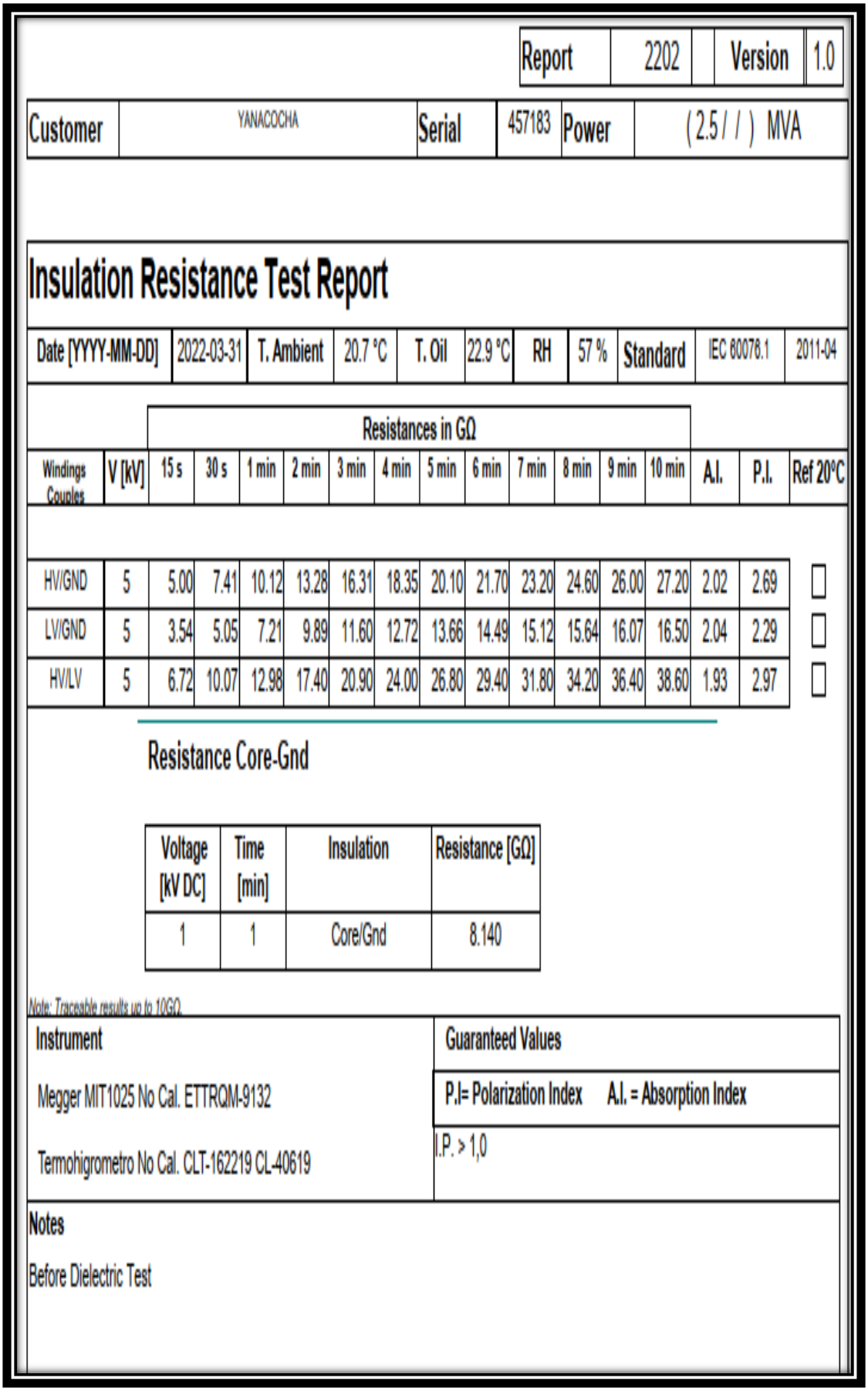
Rated Voltage [kV]	Connection	Taps	Total Taps	Regulation per Tap(%)	Neutral	Line Terminals			Power [MVA]	Booster	Mat
0.480	Y	+ 0 / - 0	1	0	X0	X1	X2	X3	2.5//	☐	Cu

Voltage Levels

Um [kV]	Um Neutral[kV]	BIL [kV]	BIL Neutral [kV]	BIL CW [kV]	SIL [kV]	Voltage AC[kV]	Voltage AC Neutral [kV]
1.2	1.2	30	30	33	N/A	10	10

Bushings BIL/AC: 45 / 10 kV

Figura F2 **Características técnicas del transformador de distribución**. Fuente. Dossier de calidad del proyecto (documentación técnica interna).



Report	2202		Version	1.0

Customer	YANACOCHA	Serial	457183	Power	(2.5 / /) MVA

Insulation Resistance Test Report

Date [YYYY-MM-DD]	2022-03-31	T. Ambient	20.7 °C	T. Oil	22.9 °C	RH	57 %	Standard	IEC 60078.1	2011-04

		Resistances in GΩ														
Windings Couples	V [kV]	15 s	30 s	1 min	2 min	3 min	4 min	5 min	6 min	7 min	8 min	9 min	10 min	A.I.	P.I.	Ref 20°C
HV/GND	5	5.00	7.41	10.12	13.28	16.31	18.35	20.10	21.70	23.20	24.60	26.00	27.20	2.02	2.69	☐
LV/GND	5	3.54	5.05	7.21	9.89	11.60	12.72	13.66	14.49	15.12	15.64	16.07	16.50	2.04	2.29	☐
HV/LV	5	6.72	10.07	12.98	17.40	20.90	24.00	26.80	29.40	31.80	34.20	36.40	38.60	1.93	2.97	☐

Resistance Core-Gnd

Voltage [kV DC]	Time [min]	Insulation	Resistance [GΩ]
1	1	Core/Gnd	8.140

Note: Traceable results up to 10GΩ

Instrument	Guaranteed Values
Megger MIT1025 No Cal. ETTRQM-9132	P.I= Polarization Index A.I. = Absorption Index
Termohigrometro No Cal. CLT-162219 CL-40619	I.P. > 1,0

Notes

Before Dielectric Test

Figura F3 **Protocolo de prueba de resistencia de aislamiento**. Fuente. Dossier de calidad del proyecto (documentación técnica interna).

Report	2202		Version	1.0

Customer		Serial	457183	Power	(2.5 / /) MVA

Dissipation Factor and Capacitance Test Report

Date [YYYY-MM-DD]	2022-03-31	T. Ambient	20.7 °C	T. Oil	23 °C	RH	58 %	Standard	IEEE C57.12.90 2015-12-05

Winding 1:	HV
Winding 2:	LV

Test	Voltage (kV)	TEST CONECTION				MEASURED VALUES		Ref 20°C
		Energize	Ground	Test Mode	Measure	CAP(pF)	TANG(%)	
1	10	HV	LV	USTA	CHVLV	133.265	0.4005	☐
2	10	HV	LV	GSTgA	CHV	5339.6	0.3285	☐
3	10	HV	LV	GST	CHV+CHVLV	5473.23	0.3298	☐
4	5	LV	HV	USTA	CLVHV	133.263	0.3963	☐
5	5	LV	HV	GSTgA	CLV	37934.1	0.7208	☐
6	5	LV	HV	GST	CLV+CLVHV	38067.6	0.7191	☐

Instrument	Guaranteed Values
CPC100+TD1 OMICRON No Cal. ETTRQM-8811/9106 Termohigrometro No Cal. CLT-162219 CL-40619	

Notes

Before Dielectric Test

Figura F4 **Protocolo de prueba de factor de disipación y capacitancia**. Fuente. Dossier de calidad del proyecto (documentación técnica interna).

Report	2202		Version	1.0

Customer		Serial	457183	Power	(2.5 / /) MVA

Turns Ratio Test Report

Date [YYYY-MM-DD]	2022-03-31	T. Ambient	20.7 °C	T. Oil	23.1 °C	RH	58 %	Standard	IEEE C57.12.90 2015-12-05

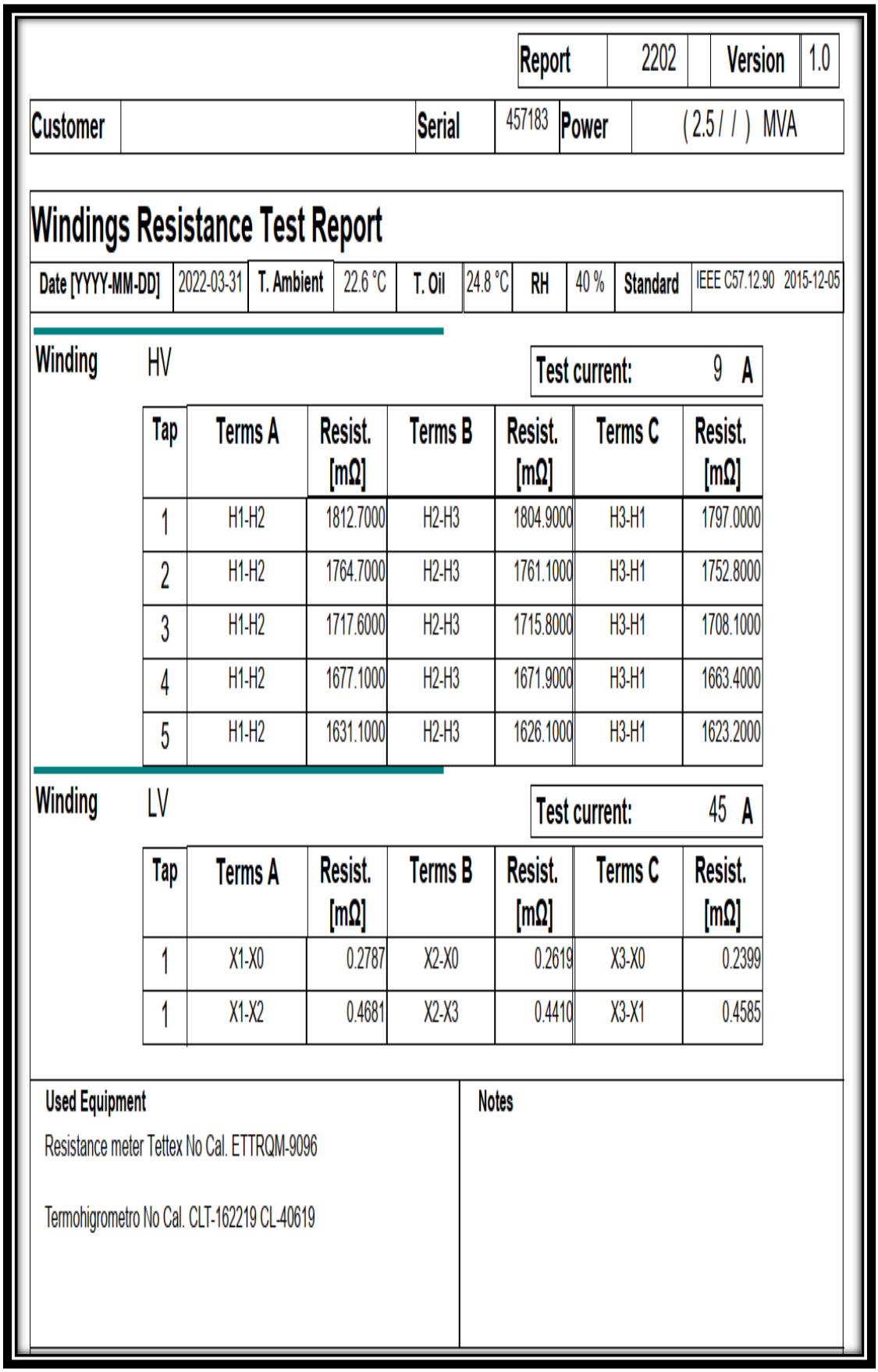
Windings	Taps		Voltages [V]		Nominal Ratio	Terms A	TTR	Terms B	TTR	Terms C	TTR
HV / LV	1	1	24045	480	86.7649	H1-H2/X0-X2	86.5200	H2-H3/X0-X3	86.5110	H3-H1/X0-X1	86.5130
HV / LV	2	1	23473	480	84.7009	H1-H2/X0-X2	84.5020	H2-H3/X0-X3	84.5110	H3-H1/X0-X1	84.5220
HV / LV	3	1	22900	480	82.6333	H1-H2/X0-X2	82.5170	H2-H3/X0-X3	82.5080	H3-H1/X0-X1	82.5070
HV / LV	4	1	22327	480	80.5656	H1-H2/X0-X2	80.5050	H2-H3/X0-X3	80.5080	H3-H1/X0-X1	80.5160
HV / LV	5	1	21755	480	78.5016	H1-H2/X0-X2	78.5270	H2-H3/X0-X3	78.5140	H3-H1/X0-X1	78.5140

Instrument	Guaranteed Values
MWA330 No Cal. ETTRQM-9274 Termohigrometro CLT-162219 CL-40619 2019-04-08	Deviation ± 0,5%

Notes

Couples	Vector Group
HV/LV	Dyn1

Figura F5 **Protocolo de prueba de relación de transformación**. Fuente. Dossier de calidad del proyecto (documentación técnica interna).



Report	2202	Version	1.0

Customer		Serial	457183	Power	(2.5 / /) MVA

Windings Resistance Test Report

Date [YYYY-MM-DD]	2022-03-31	T. Ambient	22.6 °C	T. Oil	24.8 °C	RH	40 %	Standard	IEEE C57.12.90 2015-12-05

Winding HV — Test current: 9 A

Tap	Terms A	Resist. [mΩ]	Terms B	Resist. [mΩ]	Terms C	Resist. [mΩ]
1	H1-H2	1812.7000	H2-H3	1804.9000	H3-H1	1797.0000
2	H1-H2	1764.7000	H2-H3	1761.1000	H3-H1	1752.8000
3	H1-H2	1717.6000	H2-H3	1715.8000	H3-H1	1708.1000
4	H1-H2	1677.1000	H2-H3	1671.9000	H3-H1	1663.4000
5	H1-H2	1631.1000	H2-H3	1626.1000	H3-H1	1623.2000

Winding LV — Test current: 45 A

Tap	Terms A	Resist. [mΩ]	Terms B	Resist. [mΩ]	Terms C	Resist. [mΩ]
1	X1-X0	0.2787	X2-X0	0.2619	X3-X0	0.2399
1	X1-X2	0.4681	X2-X3	0.4410	X3-X1	0.4585

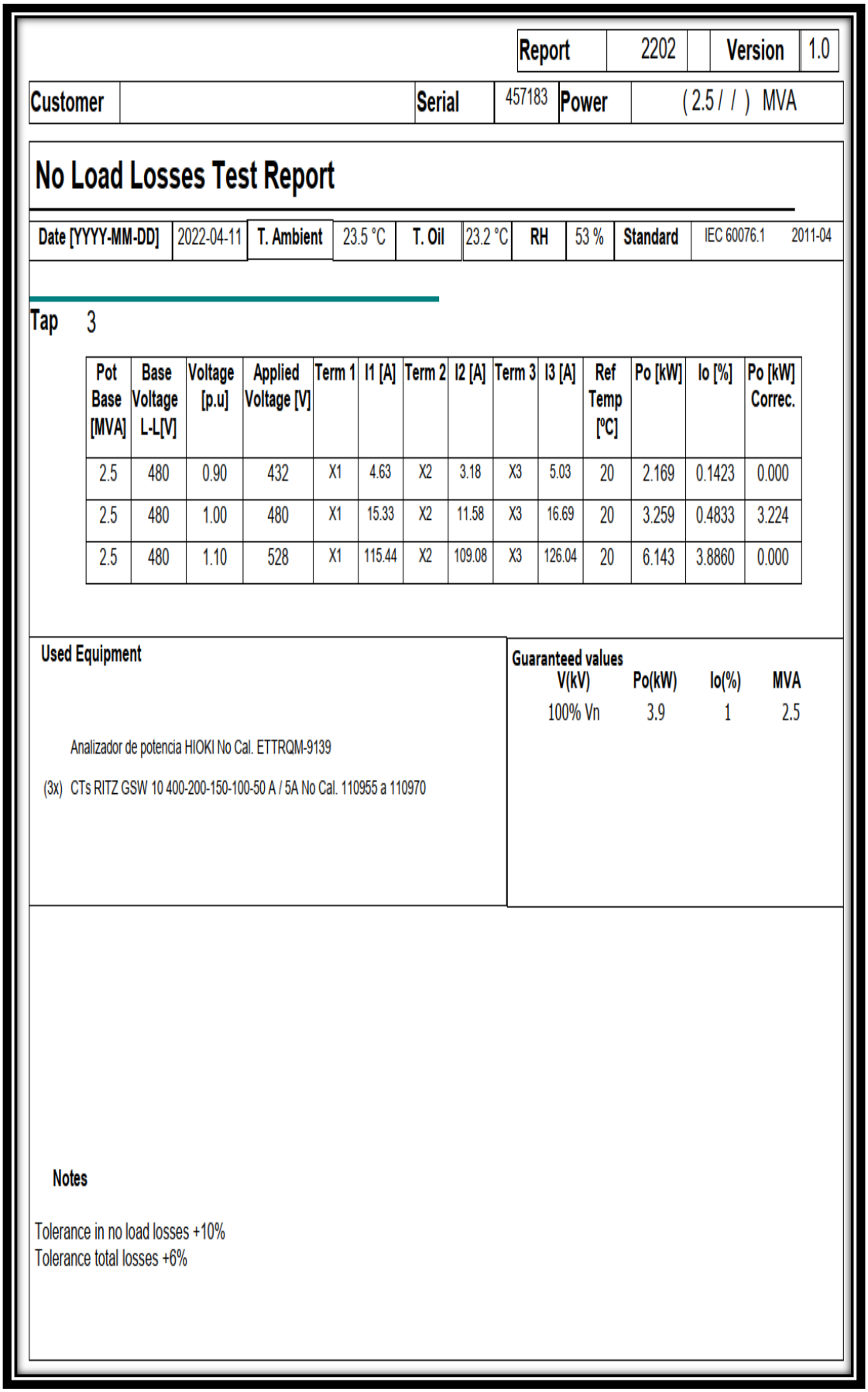
Used Equipment

Resistance meter Tettex No Cal. ETTRQM-9096

Termohigrometro No Cal. CLT-162219 CL-40619

Notes

Figura F6 **Protocolo de prueba de resistencia de devanados**. Fuente. Dossier de calidad del proyecto (documentación técnica interna).



Report	2202		Version	1.0

Customer		Serial	457183	Power	(2.5 / /) MVA

No Load Losses Test Report

Date [YYYY-MM-DD]	2022-04-11	T. Ambient	23.5 °C	T. Oil	23.2 °C	RH	53 %	Standard	IEC 60076.1 2011-04

Tap 3

Pot Base [MVA]	Base Voltage L-L[V]	Voltage [p.u]	Applied Voltage [V]	Term 1	I1 [A]	Term 2	I2 [A]	Term 3	I3 [A]	Ref Temp [ºC]	Po [kW]	Io [%]	Po [kW] Correc.
2.5	480	0.90	432	X1	4.63	X2	3.18	X3	5.03	20	2.169	0.1423	0.000
2.5	480	1.00	480	X1	15.33	X2	11.58	X3	16.69	20	3.259	0.4833	3.224
2.5	480	1.10	528	X1	115.44	X2	109.08	X3	126.04	20	6.143	3.8860	0.000

Used Equipment

Analizador de potencia HIOKI No Cal. ETTRQM-9139

(3x) CTs RITZ GSW 10 400-200-150-100-50 A / 5A No Cal. 110955 a 110970

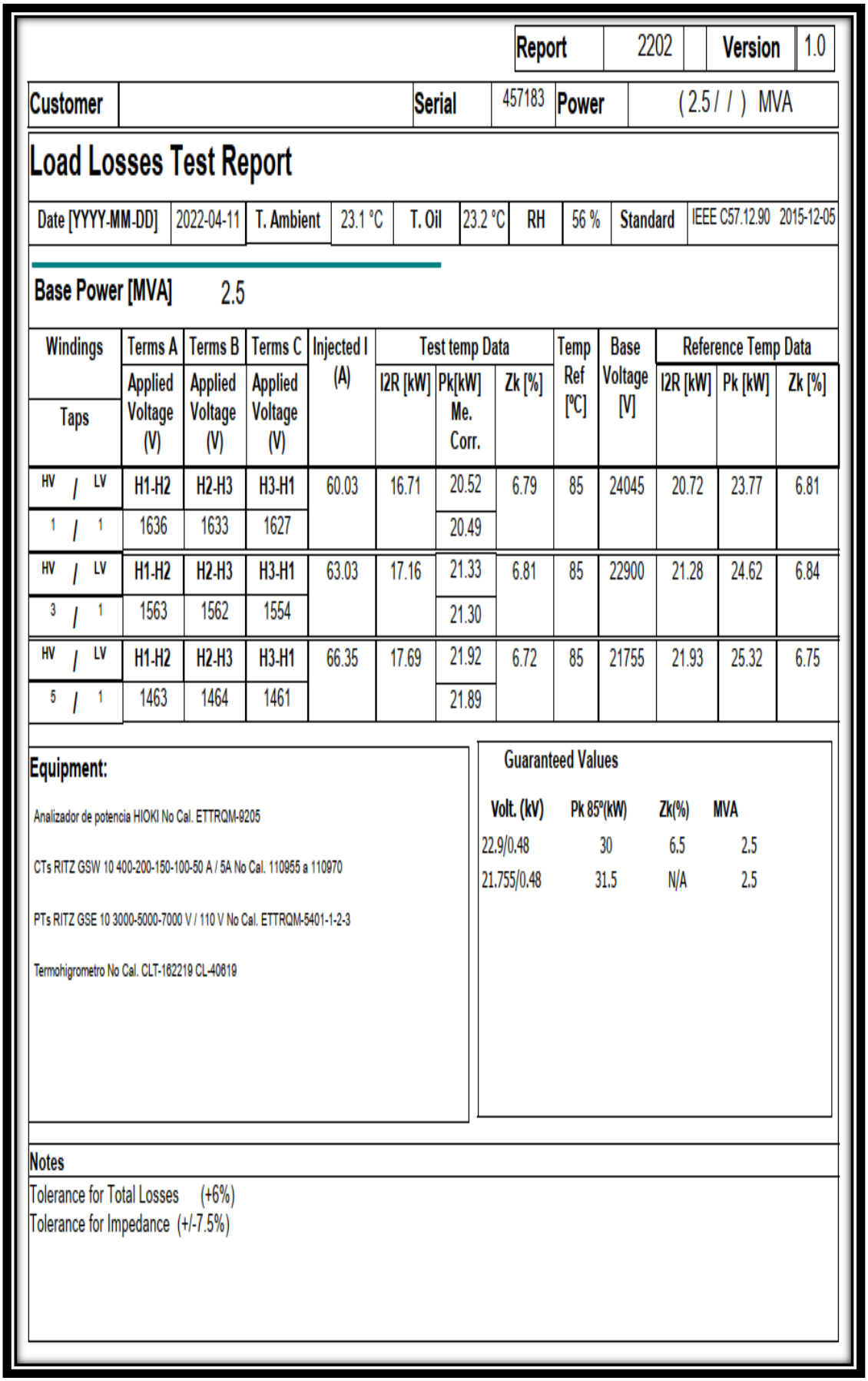
Guaranteed values

V(kV)	Po(kW)	Io(%)	MVA
100% Vn	3.9	1	2.5

Notes

Tolerance in no load losses +10%
Tolerance total losses +6%

Figura F7 **Protocolo de prueba de pérdidas sin carga**. Fuente. Dossier de calidad del proyecto (documentación técnica interna).



Report	2202	Version	1.0

Customer		Serial	457183	Power	(2.5 / /) MVA

Load Losses Test Report

Date [YYYY-MM-DD]	2022-04-11	T. Ambient	23.1 °C	T. Oil	23.2 °C	RH	56 %	Standard	IEEE C57.12.90 2015-12-05

Base Power [MVA] 2.5

Windings	Terms A	Terms B	Terms C	Injected I (A)	Test temp Data			Temp Ref [ºC]	Base Voltage [V]	Reference Temp Data		
Taps	Applied Voltage (V)	Applied Voltage (V)	Applied Voltage (V)		I2R [kW]	Pk[kW] Me. Corr.	Zk [%]			I2R [kW]	Pk [kW]	Zk [%]
HV / LV	H1-H2	H2-H3	H3-H1	60.03	16.71	20.52	6.79	85	24045	20.72	23.77	6.81
1 / 1	1636	1633	1627			20.49						
HV / LV	H1-H2	H2-H3	H3-H1	63.03	17.16	21.33	6.81	85	22900	21.28	24.62	6.84
3 / 1	1563	1562	1554			21.30						
HV / LV	H1-H2	H2-H3	H3-H1	66.35	17.69	21.92	6.72	85	21755	21.93	25.32	6.75
5 / 1	1463	1464	1461			21.89						

Equipment:

Analizador de potencia HIOKI No Cal. ETTRQM-9205

CTs RITZ GSW 10 400-200-150-100-50 A / 5A No Cal. 110955 a 110970

PTs RITZ GSE 10 3000-5000-7000 V / 110 V No Cal. ETTRQM-5401-1-2-3

Termohigrometro No Cal. CLT-162219 CL-40619

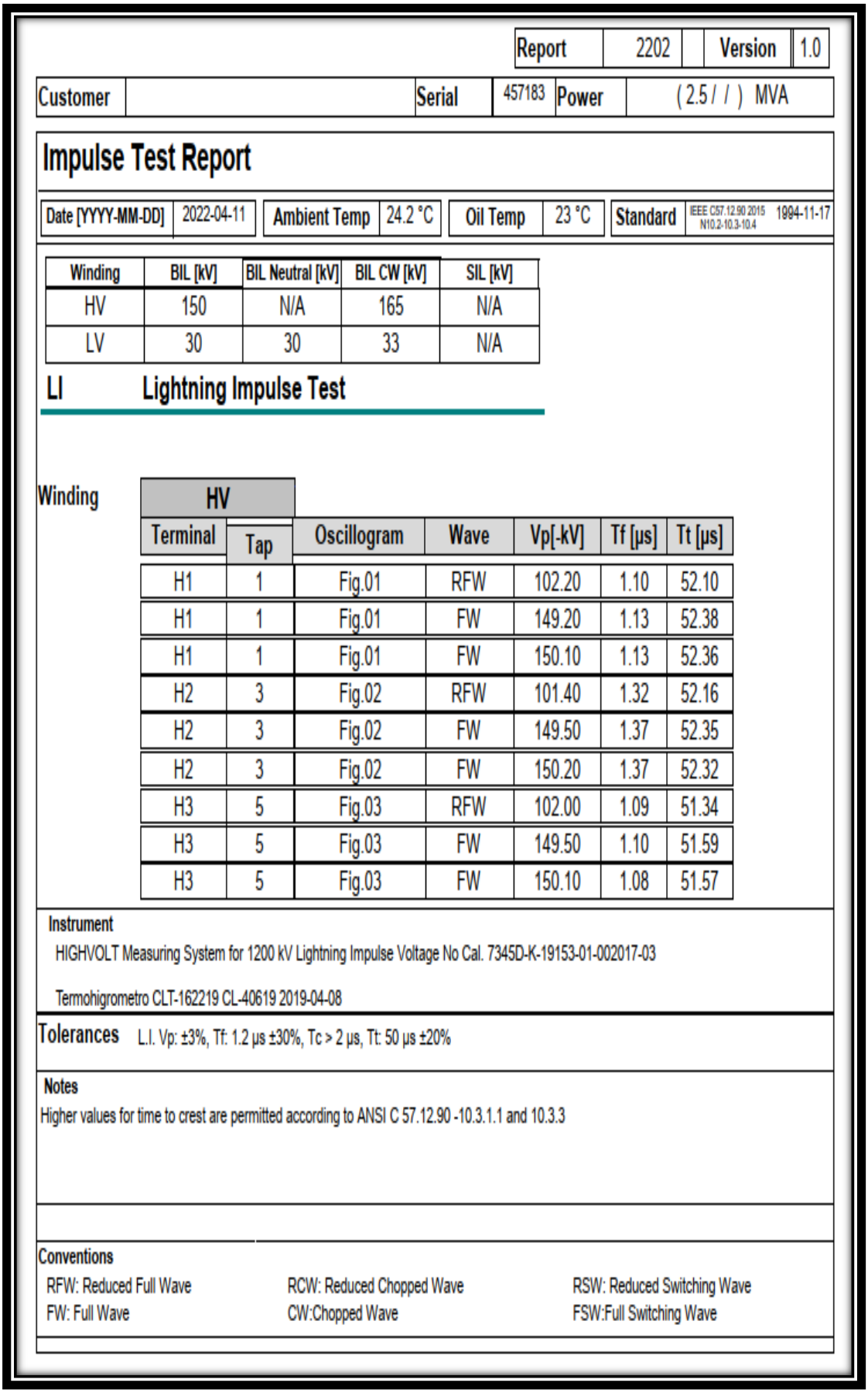
Guaranteed Values

Volt. (kV)	Pk 85°(kW)	Zk(%)	MVA
22.9/0.48	30	6.5	2.5
21.755/0.48	31.5	N/A	2.5

Notes

Tolerance for Total Losses (+6%)
Tolerance for Impedance (+/-7.5%)

Figura F8 **Protocolo de prueba de pérdidas con carga**. Fuente. Dossier de calidad del proyecto (documentación técnica interna).



Report	2202		Version	1.0

Customer		Serial	457183	Power	(2.5 / /) MVA

Impulse Test Report

Date [YYYY-MM-DD]	2022-04-11	Ambient Temp	24.2 °C	Oil Temp	23 °C	Standard	IEEE C57.12.90 2015 N10.2-10.3-10.4 1994-11-17

Winding	BIL [kV]	BIL Neutral [kV]	BIL CW [kV]	SIL [kV]
HV	150	N/A	165	N/A
LV	30	30	33	N/A

LI Lightning Impulse Test

Winding: HV

Terminal	Tap	Oscillogram	Wave	Vp[-kV]	Tf [µs]	Tt [µs]
H1	1	Fig.01	RFW	102.20	1.10	52.10
H1	1	Fig.01	FW	149.20	1.13	52.38
H1	1	Fig.01	FW	150.10	1.13	52.36
H2	3	Fig.02	RFW	101.40	1.32	52.16
H2	3	Fig.02	FW	149.50	1.37	52.35
H2	3	Fig.02	FW	150.20	1.37	52.32
H3	5	Fig.03	RFW	102.00	1.09	51.34
H3	5	Fig.03	FW	149.50	1.10	51.59
H3	5	Fig.03	FW	150.10	1.08	51.57

Instrument

HIGHVOLT Measuring System for 1200 kV Lightning Impulse Voltage No Cal. 7345D-K-19153-01-002017-03

Termohigrometro CLT-162219 CL-40619 2019-04-08

Tolerances L.I. Vp: ±3%, Tf: 1.2 µs ±30%, Tc > 2 µs, Tt: 50 µs ±20%

Notes

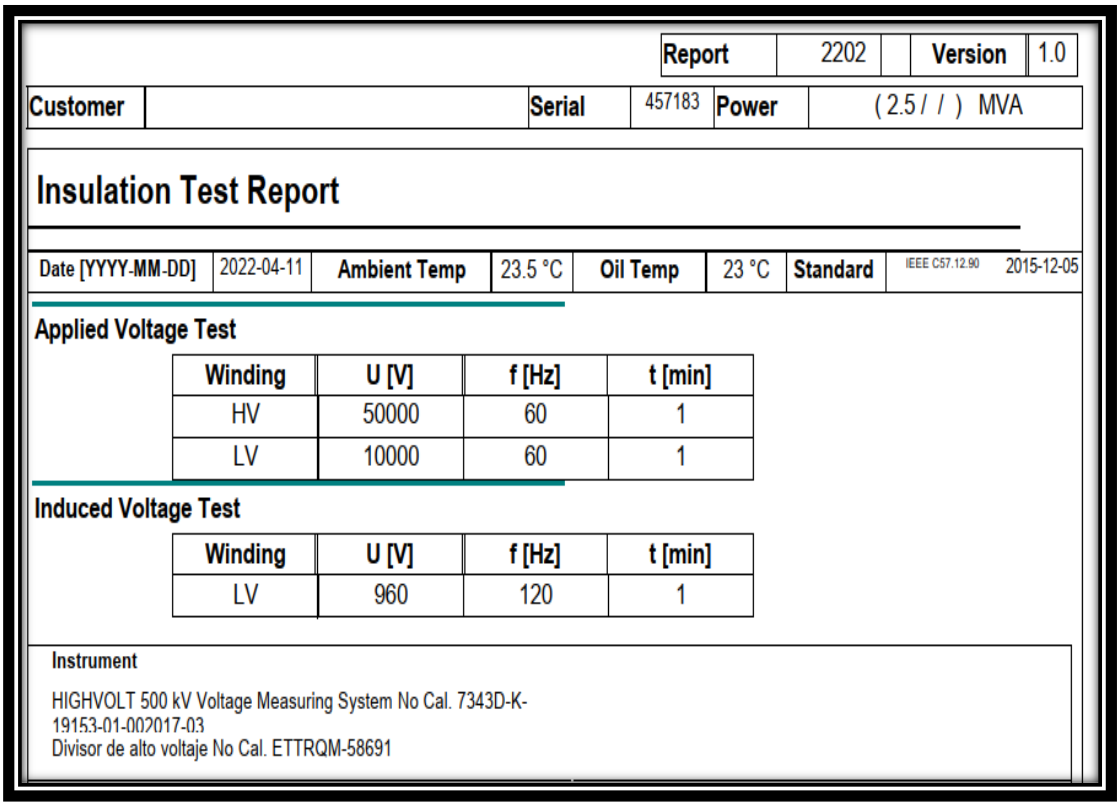
Higher values for time to crest are permitted according to ANSI C 57.12.90 -10.3.1.1 and 10.3.3

Conventions

RFW: Reduced Full Wave — RCW: Reduced Chopped Wave — RSW: Reduced Switching Wave

FW: Full Wave — CW:Chopped Wave — FSW:Full Switching Wave

Figura F9 **Protocolo de prueba de impulso**. Fuente. Dossier de calidad del proyecto (documentación técnica interna).



				Report	2202		Version	1.0
Customer		Serial	457183	Power	(2.5 / /) MVA

Insulation Test Report

Date [YYYY-MM-DD]	2022-04-11	Ambient Temp	23.5 °C	Oil Temp	23 °C	Standard	IEEE C57.12.90	2015-12-05

Applied Voltage Test

Winding	U [V]	f [Hz]	t [min]
HV	50000	60	1
LV	10000	60	1

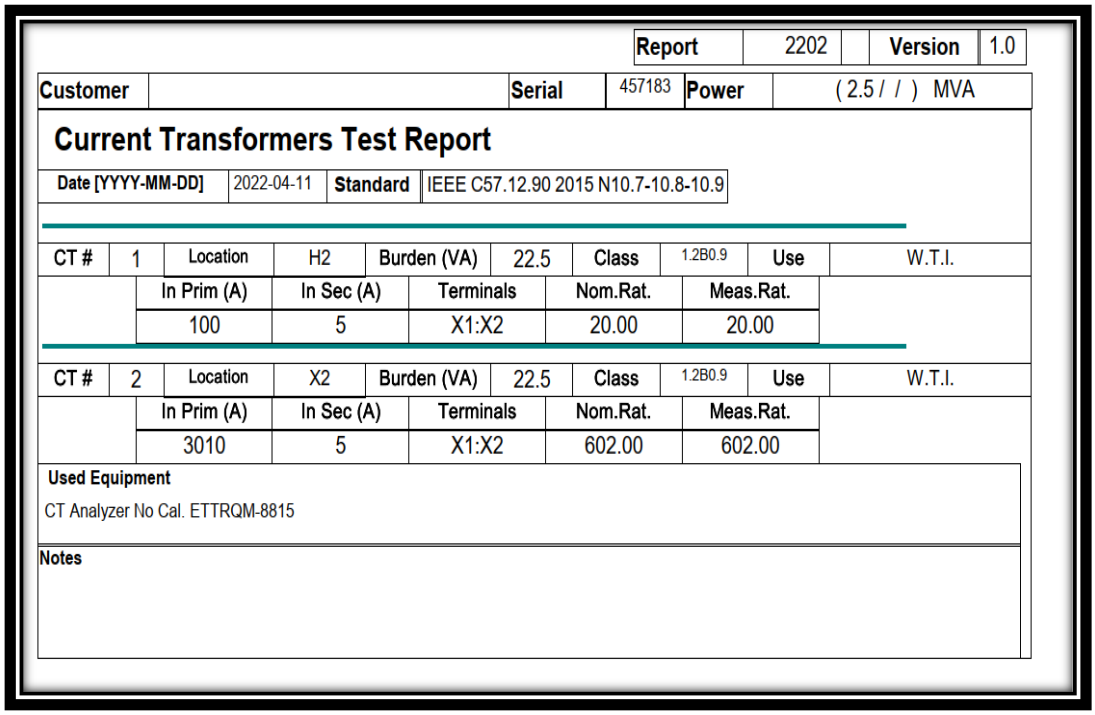
Induced Voltage Test

Winding	U [V]	f [Hz]	t [min]
LV	960	120	1

Instrument

HIGHVOLT 500 kV Voltage Measuring System No Cal. 7343D-K-19153-01-002017-03
Divisor de alto voltaje No Cal. ETTRQM-58691

Figura F10 **Protocolo de prueba de aislamiento**. Fuente. Dossier de calidad del proyecto (documentación técnica interna).



				Report	2202		Version	1.0
Customer		Serial	457183	Power	(2.5 / /) MVA

Current Transformers Test Report

Date [YYYY-MM-DD]	2022-04-11	Standard	IEEE C57.12.90 2015 N10.7-10.8-10.9

CT #	1	Location	H2	Burden (VA)	22.5	Class	1.2B0.9	Use	W.T.I.

In Prim (A)	In Sec (A)	Terminals	Nom.Rat.	Meas.Rat.
100	5	X1:X2	20.00	20.00

CT #	2	Location	X2	Burden (VA)	22.5	Class	1.2B0.9	Use	W.T.I.

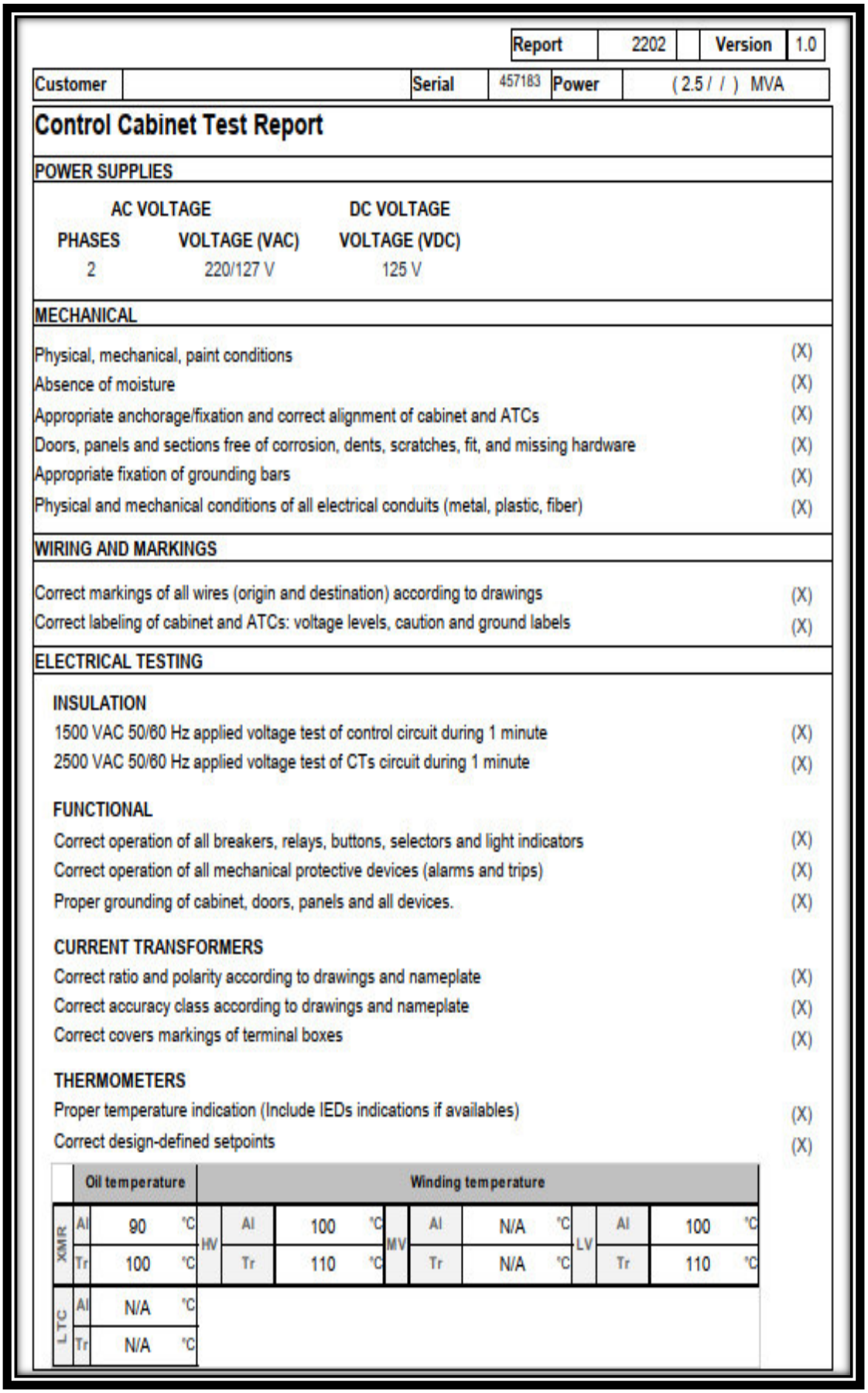
In Prim (A)	In Sec (A)	Terminals	Nom.Rat.	Meas.Rat.
3010	5	X1:X2	602.00	602.00

Used Equipment

CT Analyzer No Cal. ETTRQM-8815

Notes

Figura F11 **Protocolo de prueba de aislamiento**. Fuente. Dossier de calidad del proyecto (documentación técnica interna).



Report	2202		Version	1.0

Customer		Serial	457183	Power	(2.5 / /) MVA

Control Cabinet Test Report

POWER SUPPLIES

AC VOLTAGE		DC VOLTAGE
PHASES	VOLTAGE (VAC)	VOLTAGE (VDC)
2	220/127 V	125 V

MECHANICAL

Physical, mechanical, paint conditions	(X)
Absence of moisture	(X)
Appropriate anchorage/fixation and correct alignment of cabinet and ATCs	(X)
Doors, panels and sections free of corrosion, dents, scratches, fit, and missing hardware	(X)
Appropriate fixation of grounding bars	(X)
Physical and mechanical conditions of all electrical conduits (metal, plastic, fiber)	(X)

WIRING AND MARKINGS

Correct markings of all wires (origin and destination) according to drawings	(X)
Correct labeling of cabinet and ATCs: voltage levels, caution and ground labels	(X)

ELECTRICAL TESTING

INSULATION

1500 VAC 50/60 Hz applied voltage test of control circuit during 1 minute	(X)
2500 VAC 50/60 Hz applied voltage test of CTs circuit during 1 minute	(X)

FUNCTIONAL

Correct operation of all breakers, relays, buttons, selectors and light indicators	(X)
Correct operation of all mechanical protective devices (alarms and trips)	(X)
Proper grounding of cabinet, doors, panels and all devices.	(X)

CURRENT TRANSFORMERS

Correct ratio and polarity according to drawings and nameplate	(X)
Correct accuracy class according to drawings and nameplate	(X)
Correct covers markings of terminal boxes	(X)

THERMOMETERS

Proper temperature indication (Include IEDs indications if availables)	(X)
Correct design-defined setpoints	(X)

		Oil temperature		Winding temperature									
XMR	Al	90	°C	HV	Al	100	°C	MV	Al	N/A	°C	LV	Al	100	°C
	Tr	100	°C		Tr	110	°C		Tr	N/A	°C		Tr	110	°C
LTC	Al	N/A	°C												
	Tr	N/A	°C												

Figura F12 **Protocolo de prueba de tablero de control**. Fuente. Dossier de calidad del proyecto (documentación técnica interna).

APÉNDICE G: DIAGRAMA DE INTERCONEXIONES

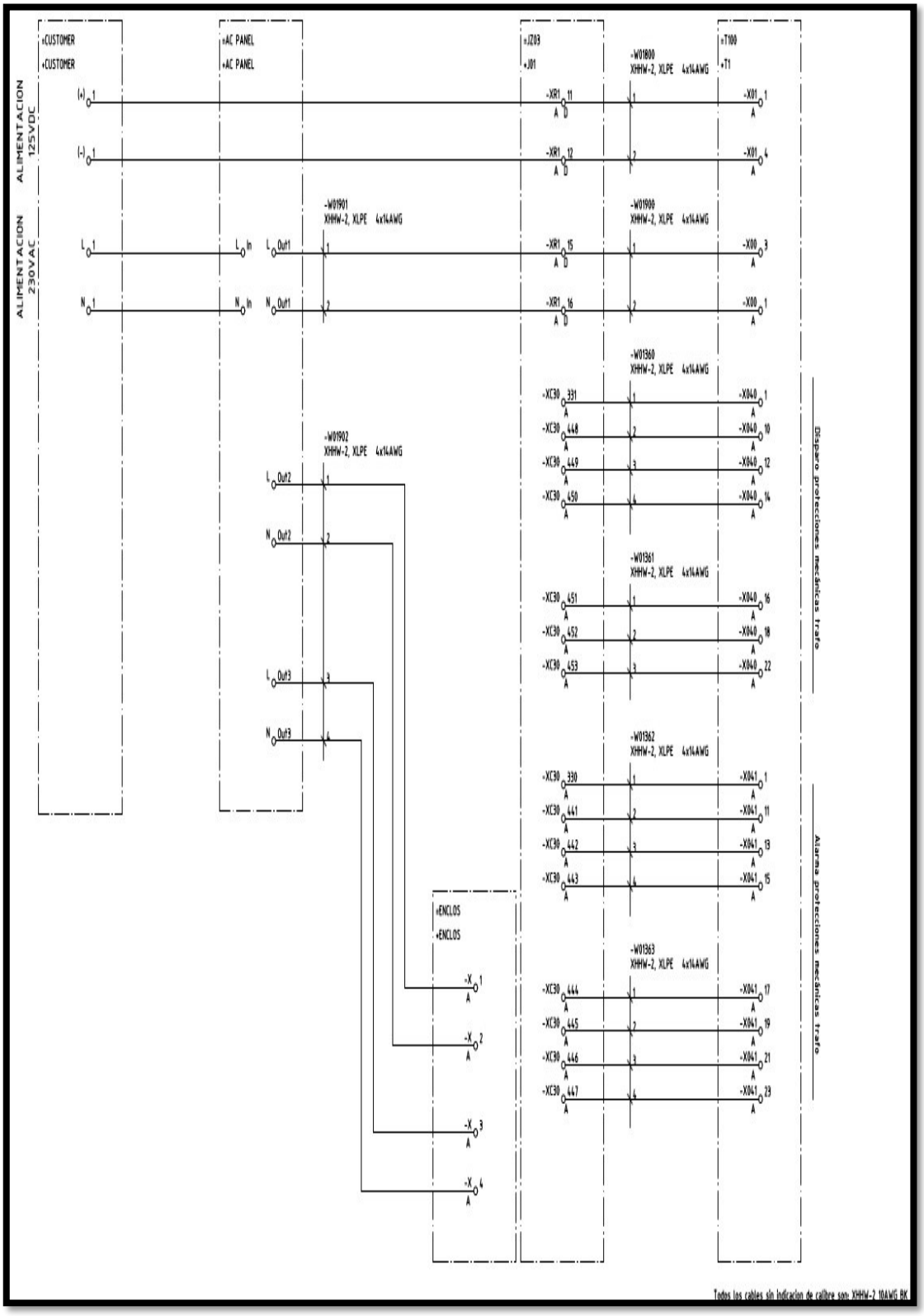


Figura G1 **Diagrama de interconexiones**. Fuente. Planos del proyecto (documentación técnica interna).

APÉNDICE H: DETALLE DE ENTREGA Y SALIDA DE CABLES

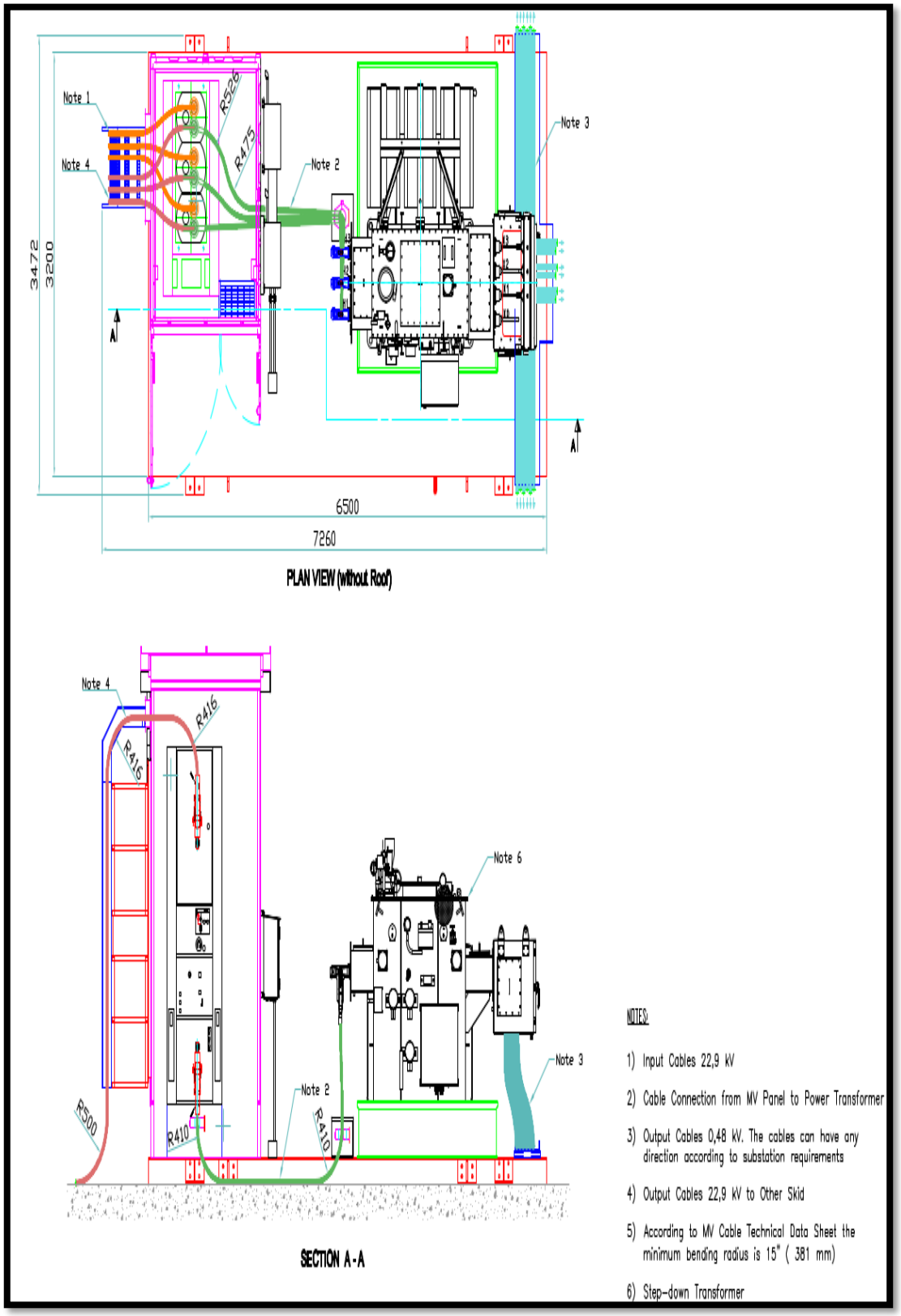


Figura H1 **Detalle de entrada y salida de cables**. Fuente. Planos del proyecto (documentación técnica interna).