



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA,
ELECTRÓNICA Y SISTEMAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA



**“DIAGNÓSTICO DE DESCARGAS PARCIALES EN CABLES DE
MEDIA TENSIÓN QUE ALIMENTAN MOTORES DE 450HP EN
4.16KV UTILIZANDO EQUIPO MPD800”**

TESIS

PRESENTADA POR:

ROGER DAVID ALFARO VIDAL

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

PUNO – PERÚ

2022



DEDICATORIA

La presente tesis de grado está dedicada a Dios, por ser nuestro creador, por permitirme culminar con éxito mi tan anhelada carrera y ayudarme a cumplir uno de mis más grandes sueños.

A mi madre María con todo mi corazón, pues sin ella no lo hubiera logrado, por siempre estar a mi lado brindándome su apoyo incondicional en todo momento, por tu paciencia y amor madre.

A mi padre Domingo, por sus sabios consejos, por llenarme de ánimo, fortaleza y hacer de mí una mejor persona, a mis hermanos por sus palabras de aliento que contribuyeron para el logro de mis objetivos.

Roger David Alfaro Vidal



AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por guiarme en la vida y por permitir concluir con esta etapa de mi vida.

A mis queridos padres por ser el apoyo incondicional en mi vida, quienes son mi motivo de superación, que a través de sus consejos y amor hicieron de mí una persona de bien.

A mi querida Universidad Nacional del Altiplano, a la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica y los docentes de la Facultad por los conocimientos impartidos, por la orientación y por la paciencia a lo largo de mi formación profesional.

Gracias.

Roger David Alfaro Vidal



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE GRÁFICOS

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

RESUMEN 12

ABSTRACT..... 13

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... 15

1.1.1. Problema general..... 15

1.1.2. Problemas específicos 15

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN..... 17

1.3.1. Objetivo general 17

1.3.2. Objetivos específicos 17

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN..... 18

2.1.1. Antecedentes internacionales 18

2.1.2. Antecedentes nacionales 21

2.2. SUSTENTO TEÓRICO 23



2.2.1. Descargas parciales	23
2.2.2. Evidencias de descargas parciales.....	25
2.2.3. Características generales de las descargas parciales	29
2.2.4. Tipos de descargas parciales	29
2.2.5. Sensores usados para detección eléctrica en línea de descargas parciales....	
.....	36

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. DISEÑO METODOLÓGICO DE INVESTIGACIÓN	40
3.1.1. Tipo de investigación	40
3.1.2. Población y muestra de investigación	40
3.1.3. Ubicación y descripción de la población	40
3.1.4. Material experimental	42
3.1.5. Normativa Aplicable	45
3.1.6. Técnicas e instrumentos para recolectar información.....	48
3.1.7. Procedimiento del experimento	50
3.1.8. Procedimiento de conexión equipo MPD800 Ómicron	52
3.1.9. Conexionado de equipo MPD800 de lado 4.16KV.....	53
3.1.10. Inicio de pruebas de descargas parciales en cables de media tensión.....	54
3.2. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	55
3.2.1. Hipótesis general.....	55
3.2.2. Hipótesis específico	55

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS ELÉCTRICAS	57
---	-----------



4.1.1. Subestación Skid y sus componentes.....	58
4.1.2. Ingreso de datos al SOFTWARE.....	60
4.2. APLICACIÓN DE TENSIONES DE PRUEBA	66
4.2.1. Medición de descargas parciales en la fase R.....	66
4.2.2. Medición de descargas parciales en la fase S	67
4.2.3. Medición de descargas parciales en la fase T	69
4.3. ANÁLISIS DE RESULTADO	71
4.4. DISCUSIÓN	71
V. CONCLUSIONES.....	73
VI. RECOMENDACIONES.....	74
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	75
ANEXOS.....	77

Área : Ingeniería Eléctrica

Tema : Descargas Parciales

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 16 de diciembre del 2022



ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Integración en el dominio del tiempo.....	27
Gráfico 2: Descargas parciales internas avanzadas	31
Gráfico 3: Descargas parciales externas	32



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Datos técnicos del equipo MPD 800	44
Tabla 2: Datos de la placa de motor trifásico ABB	55
Tabla 3: Operacionalización de Variables	56
Tabla 4: Inspección general antes de realizar pruebas de DP.....	58
Tabla 5: Resultados obtenidos en la fase R	66
Tabla 6: Resultados obtenidos en la fase S.....	67
Tabla 7: Resultados obtenidos en la fase T	69



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Campo magnético en Líneas de Transmisión	24
Figura 2: Inicios de descarga parcial	24
Figura 3: Descarga parcial según IEC 60270-2015.....	25
Figura 4: Evidencias de descargas parciales	25
Figura 5: Evidencias de descargas parciales	26
Figura 6: Falla en cable de media tensión	26
Figura 7: Falla en cable de media tensión	27
Figura 8: Carga eléctrica	28
Figura 9: Características de descargas parciales	29
Figura 10: Descargas parciales internas	30
Figura 11: Descargas parciales externas.....	32
Figura 12: Bobina Rogowski.....	37
Figura 13: Transformador de corriente.....	38
Figura 14: Acoplamiento capacitivo	39
Figura 15: Ubicación de motores de media tensión	41
Figura 16: Equipo de medición MPD800 Ómicron	42
Figura 17: Componentes análogos que cambian con el tiempo	48
Figura 18: Medición Digital	49
Figura 19: Medición digital de DP con filtro digital	49
Figura 20: Ejemplo ilustrativo del área de trabajo con MPD800.....	51
Figura 21: Equipo MPD800 OMICRON	52
Figura 22: Subestación Skid 22.9/4.16kV	53
Figura 23: Conexionado de equipo de prueba MPD800 OMICRON	53
Figura 24: Condensador de acoplamiento CPL1	54



Figura 25: Subestación Skid TMF relaves	58
Figura 26: Subestación Skid Modelado.....	59
Figura 27: Cables de prueba de equipo MPD 800.....	59
Figura 28: Pantalla de inicio MPD 800	60
Figura 29: Inicio de medición MPD 800.....	60
Figura 30: Inicio de medición MPD 800.....	61
Figura 31: Configuración de canales de medición MPD 800.....	61
Figura 32: Teclas de acceso rápido MPD 800.....	62
Figura 33: Ventana principal MPD 800	62
Figura 34: Ventana principal MPD 800	63
Figura 35: Ventana inferior derecha MPD 800	63
Figura 36: Ventana inferior derecha MPD 800	64
Figura 37: Ventana de medidas MPD 800	64
Figura 38: Figura XX: Ventana de medidas MPD 800	65
Figura 39: Ventana de medidas MPD 800	65
Figura 40: Descargas parciales medidas en la fase R.....	66
Figura 41: Ajuste de parámetros en diagrama PRPD.....	67
Figura 42: Descargas parciales medidas en la fase S	67
Figura 43: Descargas parciales medidas en la fase S de 173.9pC.....	68
Figura 44: Descargas parciales medidas en la fase T	70
Figura 45: Ajuste de parámetros en diagrama PRPD	70



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

ABENGOA	Empresa de Transmisión Norte 1
ANSI	Instituto Nacional Estadounidense de Estándares
DP	Descargas parciales
Pc	Picocoulombio
nF	Nanofaradio
HFCT	High Frequency Current Transformers
HUDBAY	Unidad Minera Constancia
INACAL	Instituto Nacional de Calidad
PDIV	Partial Discharge Inception Voltage
MINEM	Ministerio de Energía y Minas
MINAM	Ministerio del Medio Ambiente.
POWER SYSTEM	Área de Alta tensión
OSINERGMIN	Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IEC	Comisión Electrotécnica Industrial
UNI	Universidad Nacional de Ingeniería
PUCP	Pontificia Universidad Católica del Perú



RESUMEN

Los cables son muy importantes en los sistemas de potencia porque la energía eléctrica se transmite a través de ellos. Los cables tienen problemas que afectan su aislamiento a largo plazo; vacíos de aire internos que quedan durante el proceso de fabricación donde pueden ocurrir descargas parciales, lo que resulta en un deterioro gradual del material aislante. La investigación titulada: Diagnóstico de descargas parciales en cables de media tensión que alimentan motores de 450HP en 4.16kV utilizando equipo MPD 800, tiene como objetivo encontrar rupturas dieléctricas que son localizadas en una pequeña parte del aislamiento eléctrico que está sometido a estrés de alta tensión. La metodología para el presente proyecto se hace uso del diseño experimental, ya que solo se hace uso de una prueba de salida o una medición. Se tendrá que realizar mediciones de aislamiento a los cables que alimenta a los motores 450HP con una tensión de 4.16kV y de esta manera verificar el estado de aislamiento en los cables, para programar mantenimientos correctivos y de esta manera controlar la continuidad de dichos equipos. En el proyecto de tesis presente se detalla el avance de la tecnología de mantenimiento de tipo predictivo para el monitoreo en caliente de descargas parciales DP y su respectivo análisis del aislamiento de cables de media tensión que alimenta a motores en 4.16kV, que son equipos muy críticos para la Minera Constancia con el propósito de poder realizar la medida del estado del aislamiento de estos conductores en forma constante y a partir de esto planificar y programar distintas estrategias de mantenimiento aplicando herramientas adecuadas para garantizar la confiabilidad y disponibilidad de estos conductores a nivel de aislamiento de manera efectiva y bajos costos.

Palabras clave: Descargas parciales, campo magnético, pruebas eléctricas, cables, aislamiento.



ABSTRACT

Electrical cables are of vital importance in power systems, since electrical energy is transported through them. In the cables there is a problem that affects their insulation in the long term; the internal gas cavities that remain in the manufacturing process, this is where partial discharges are generated, which cause progressive deterioration of the insulating material. The research entitled: diagnosis of partial discharges in medium voltage cables that feed 450HP motors at 4.16kV using MPD 800 equipment, aims to find localized dielectric breakdowns of a small part of the solid or liquid electrical insulation that is subjected to high stress strain. The methodology for the present project uses the experimental design, since only an output test or a measurement is used. It will be necessary to carry out insulation measurements on the cables that feed the 450HP motors with a voltage of 4.16kV and thus verify the state of insulation in the cables and motors, to schedule corrective maintenance and thus control the continuity of said equipment. This thesis project details the development of predictive maintenance technology for hot monitoring of PD partial discharges and its analysis of the insulation of medium voltage cables that feed motors at 4.16kV, which are very critical equipment for the Minera Constancia with the purpose of being able to measure the state of the insulation of these cables in a constant time and from this plan and program the development of maintenance strategies applying adequate tools to give and ensure the reliability and availability of these cables at the level insulation effectively and at low cost.

Keywords: partial discharges, magnetic field, electrical tests, cables, insulation.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Los conductores son muy importantes en los sistemas de potencia porque la energía eléctrica se transmite a través de ellos. Los cables tienen problemas que afectan su aislamiento a largo plazo; vacíos de aire internos que quedan del proceso de fabricación donde pueden ocurrir fugas parciales, lo que resulta en un deterioro gradual del material aislante.

La investigación titulada: Diagnóstico de descargas parciales en cables de media tensión que alimentan motores de 450HP en 4.16kV utilizando equipo MPD 800, tiene como objetivo encontrar rupturas dieléctricas que son localizadas de una pequeña parte del aislamiento eléctrico que está sometido a estrés de alta tensión. Los motores como generadores, son elementos cuya presencia es también altamente importante en los sistemas de generación de potencia. Poder prevenir fallas de forma prematura puede llegar a evitar grandes pérdidas económicas debido a roturas inesperadas que resulten costosas en cuanto a reparación y a pérdida de producción. Es por ello disponer de herramientas de diagnóstico que puedan predecir fallas con una antelación suficiente que permita anticiparse y realizar las operaciones de mantenimiento o reparación a tiempo. Es por esto que la medida de estas descargas se puede usar como indicador de calidad. Su monitorización y detección proporciona información sobre el deterioro del aislamiento, a su vez, sirve como indicador para fallas incipientes (Peña, 2018). Permite descubrir las debilidades del sistema aislante, para que mediante observación y estudio se llegue a identificar las causas que produce la falla final como, por ejemplo: Contaminación, envejecimiento, grietas, cavidades o simplemente; deterioro general.



1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el área de relaves del TMF Este de la Unidad Minera Constancia, cuenta con cuatro motores de 450HP que se alimentan en un nivel de tensión 4.16kV, los motores son críticos; bombean agua sedimentada de la poza de relaves TMF Este, hacia la poza de contactos. En la planta concentradora la producción es las 24 Horas y durante todo el año; por lo que es de vital importancia realizar el diagnóstico de DP en cables de media tensión que alimentan a dichos motores para poder determinar el estado de aislamiento de los conductores, así poder predecir fallas eléctricas posteriores y evaluar un plan de mantenimiento predictivo o preventivo.

1.1.1. Problema general

¿Se tendrá fallas de aislamiento en los cables de media tensión 4.16kV que alimentan motores de 450HP, ubicadas en relaves del TMF este?

1.1.2. Problemas específicos

- ¿Sera posible determinar el estado del aislamiento de los conductores, para poder reducir el riesgo de fallas eléctricas en los cables de media tensión de 4.16kV?
- ¿Se podrá interpretar gráficas, curvas en 3D de fallas de descargas parciales en cables de media tensión?
- ¿Se podrá elaborar una base de datos para el seguimiento de las mediciones a los parámetros que afectan o tienen impacto directo en las condiciones del aislamiento en cables de media tensión?



1.2. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

El aislamiento de los conductores en base a polímeros alimentación debe cumplir con especificaciones de muy alta calidad, especialmente para un rendimiento a largo plazo. Según Aguirre (2003) Las características de estos materiales para soportar el efecto de los agentes externos que los envejecen y debilitan gradualmente, deben ser verificados mediante pruebas de laboratorio. Una causa de deterioro es la descarga parcial, que ocurre en áreas del material donde hay impurezas o vacíos, generalmente debido a problemas en el proceso de fabricación. Las descargas parciales son pequeños arcos, que involucran una porción del material cuando es energizado, sin embargo, el cable puede continuar con su trabajo durante mucho tiempo, antes de que el deterioro causado por las descargas lo lleve a la falla total. (Aguirre, 2003)

Es de mucha importancia realizar pruebas de descargas parciales a cables de media tensión 4.16kV en caliente, ya que nos indica el estado de aislamiento del conductor, de esta manera podemos predecir fallas posteriores y evaluar un plan de mantenimiento preventivo o correctivo.

Hoy en día, gracias a los modernos equipos disponibles y con las nuevas técnicas electrónicas, los pulsos de DP se pueden medir con mayor precisión y la forma de onda del pulso de DP se puede reproducir casi por completo. Este hecho permite el uso de nuevos métodos matemáticos para el análisis de deformaciones, identificación de descargas parciales y localización de pulsos en cables. Todos estos métodos modernos de digitalización de pulsos de DP mediante sensores de gran ancho de banda y alta frecuencia de muestreo se engloban dentro de los denominados métodos no convencionales.

El equipo a utilizar para realizar las mediciones y análisis es el MPD 800 de ómicron el cual separa incluso los pulsos de DP que interfieren más pequeños para



garantizar la máxima precisión de medición. Garantiza mediciones de DP confiables y repetibles de acuerdo con el estándar IEC 60270 tanto en el laboratorio como en el campo.

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Objetivo general

Determinar fallas de aislamiento de los cables de media tensión que alimentan motores de 450HP en 4.16kV., mediante el diagnóstico de descargas parciales utilizando equipo MPD800.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar el estado del aislamiento de los cables, para poder minimizar las fallas eléctricas en los cables de media tensión de 4.16kV.
- Generar gráficas, curvas para utilizarlas como data y predecir futuras fallas de aislamiento.
- Obtener una base de datos para el seguimiento de las mediciones a los parámetros que afectan o tienen impacto directo en las condiciones del aislamiento en cables de media tensión de 4.16kV.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. Antecedentes internacionales

En el trabajo de investigación de Pico (2017), “Desarrollo de un sistema de medida de descargas parciales para motores de baja tensión”, En las últimas décadas, los motores eléctricos se han convertido en uno de los componentes más comunes e importantes en el sector industrial. Se estima que su consumo de energía industrial equivale al 40% de la producción mundial de electricidad. Muchos procesos y etapas industriales dependen directamente de su funcionamiento y son un elemento esencial del proceso productivo. Por lo tanto, tiene mucho sentido centrarse en una forma de ayudar a mejorar su vida útil y sus condiciones de trabajo. Por tanto, este trabajo incluirá el desarrollo de un sistema de recogida de descargas parciales para motores de baja tensión. Esta es la última tecnología como método de diagnóstico del motor. El sistema se desarrollará en base a un marco general desarrollado en el entorno LabVIEW para detección monofásica, que se generaliza a una carcasa de motor trifásico.

En el trabajo de investigación de Martínez (2017) “Análisis de patrones de fuentes de descargas parciales para el diagnóstico en transformadores eléctricos”, Este artículo analiza los patrones de descargas parciales que pueden presentarse en transformadores de potencia obtenidos a partir del diseño y construcción de prototipos y celdas de prueba en el laboratorio de energía en una empresa manufacturera regional. El prototipo muestra algunas condiciones y defectos comunes que pueden ocurrir durante la fase de producción del transformador y que en algunos casos suelen ser considerados como factores determinantes para la aparición de descargas, que posteriormente agravan las posibles fallas. Actualmente en Colombia, las pruebas de descargas parciales han despertado el



interés de las empresas transformadoras con sus enormes ventajas, aunque su uso en la industria fue mínimo, las necesidades y normativas actuales hacen que su investigación e implementación sea una prioridad.

En el trabajo de investigación de Ferrer (2021), “Detección de descargas parciales en el sistema aislante de los motores eléctricos como técnica de mantenimiento predictivo”, en este trabajo se resumen de manera descriptiva los estudios de descargas parciales en sistemas de aislamiento de motores eléctricos como método de control del estado del motor eléctrico, con el fin de poder detectar daños y así evitar una posible situación crítica. estudio, una Definición de emisión parcial, causas que la provocan, defectos que permiten su detección, métodos de detección y equipos necesarios para los ensayos de emisión parcial. Una vez que se explica el procedimiento de ensayo, se describirá el método de interpretación de datos para evaluar la actividad de PD.

En el trabajo de investigación de Alejos (2019) “Modelamiento de descargas parciales en subestaciones industriales en aislamiento tipo SF₆ para efectuar la mejora de la confiabilidad del servicio utilizando predicción basada en interferencia electromagnética”, En el presente trabajo de investigación se analiza el comportamiento de una descarga parcial en una subestación encapsulada en gas SF₆, mediante el uso del software ATP-DRAW, con el cual se pretende modelar la subestación GIS, implementando también, la construcción del modelo de una descarga parcial, este modelo está basado en una combinación de herramientas del software llamada TACS (Transient Analysis Control System). El objetivo es desarrollar un modelo computacional para simular el fenómeno de descarga parcial en una subestación GIS, donde se interactúe con cada uno de sus componentes para predecir la falla de línea a tierra empleando el análisis del espectro electromagnético de radiofrecuencia. Cabe mencionar que los valores de las corrientes se encuentran en mA, puesto que, una descarga parcial normalmente se



presenta en estas cantidades de corriente y su frecuencia suele ser del orden de los MHz, ya que, las DPs aparecen cuando el medio aislante sufre algún daño o desgaste, que en este caso es el gas SF₆, siendo este uno de los mejores medios aislantes, no está exento de la presencia de las DPs, de modo que, durante la apertura y cierre de un interruptor dentro de la GIS existe un arco eléctrico por más mínimo que se genere, produce una descomposición insignificante del gas SF₆, y esto, al hacerse repetitivo, hace que la descarga parcial tome un camino hacia una descarga a tierra o bien pueda producir problemas dentro de la misma subestación.

En el trabajo de investigación de Ardilla (2014)“ Separación de fuentes de descargas parciales y ruido eléctrico mediante análisis de potencia espectral en alta frecuencia”. El objetivo del trabajo es proponer un nuevo método para separar y clasificar las fuentes de DP y ruido basado en el análisis de potencia del espectro de pulsos de DP en una determinada banda de frecuencia. Este método permite separar en un mapa 2D diferentes fuentes que puedan existir durante la adquisición agrupando nubes de puntos ubicadas en diferentes partes del mapa según su naturaleza. Al mismo tiempo, se propone desarrollar un algoritmo que permita la selección automática de las bandas de frecuencia más interesantes para mejorar la separación de clusters en el mapa. En este trabajo se presenta una nueva técnica de separación de fuentes de descargas parciales y ruido, basada en el análisis de las relaciones de potencia espectral PRL (“Power Ratio for Low frequencies”) y PRH (“Power Ratio for High frequencies”). Esta nueva técnica ha demostrado ser capaz de caracterizar pulsos de DP y/o ruido de una variedad de fuentes, lo que la convierte en una herramienta muy útil para filtrar señales no deseadas en el diagnóstico de equipos eléctricos. Esta posibilidad de caracterización se explora en el Capítulo 5 de este documento, donde una serie de experimentos con diferentes sujetos de prueba muestran que el sistema implementado permite la separación de fuentes



relacionadas con PD en diferentes áreas del mapa taxonómico. (corona, superficie e interior) y ruido eléctrico. Cabe señalar que, como se mencionó en el Capítulo 6, una de las principales ventajas de este método es que permite cambiar el espaciamiento de frecuencia calculado por PRHPRL en función del espectro observado de cada señal durante la adquisición; esta característica es importante porque diferentes configuraciones experimentales o entornos industriales conducen a diferencias en la posición, la forma y la distribución de las nubes de puntos de las imágenes, lo que dificulta la separación utilizando otros métodos con menos flexibilidad en los parámetros utilizados. Un análisis más profundo del patrón PRPD de la fuente filtrada permite la identificación de diferentes tipos de descargas parciales y/o ruido eléctrico.

2.1.2. Antecedentes nacionales

En el trabajo de investigación de Castillo (2018) “Aplicación, análisis y diagnóstico del monitoreo en línea de descargas parciales en el aislamiento de motores anillo de gran potencia (24MW / 16 MW) que accionan molinos gearless mil drive GMD”. En este trabajo se identificó un problema o potencial falla en el motor de anillo de servicio pesado que acciona el molino, equipo crítico para la continuidad de la producción de concentrado de cobre. Los estatores y rotores son piezas que pueden fallar a nivel de sus devanados, están expuestos a fuerzas mecánicas, electromecánicas, electromagnéticas y contaminación debido a las causas inherentes a la producción y los esfuerzos a los que están sometidos durante su funcionamiento, tanto interna como externamente. empeorar. Los fenómenos eléctricos a considerar en el presente trabajo son las descargas parciales (DP) que se producen en el aislamiento, cuyo efecto negativo es proporcional al nivel de aislamiento, por lo que es posible medir o ensayar estas descargas para predecir el estado o nivel de degradación del aislamiento, apoyándose en los equipos de medición de DP disponibles en el mercado, se recomienda implementar un sistema de monitoreo, análisis



y diagnóstico de los niveles de DP ubicados en los devanados críticos de los motores toroidales, esta estrategia de mantenimiento predictivo o monitoreo de las condiciones anteriores para el estator y rotor mejorará efectivamente el rendimiento. en estos. El nivel de mantenimiento o reparaciones que se deben realizar al motor durante su vida útil y el número de horas que puede estar inactivo, las horas de funcionamiento y los repuestos y/o consumibles necesarios para el mantenimiento preventivo.

En el trabajo de investigación de (Canchanya, 2009) “Análisis de la repercusión del campo eléctrico en las pruebas de aislamiento a transformadores de corriente”. Los transformadores de medida (T.M.), permiten reducir los valores de corriente y tensión de los puntos de red a los que están conectados a valores proporcionales a ellos, pero menos. En estas condiciones, es posible fabricar todos los dispositivos de medición con valores que correspondan a las posibilidades tecnológicas actuales, según el material y sus dimensiones. Es más fácil de colocar en el panel de control debido a su menor tamaño. Dado que los valores de corriente y tensión que les alcanzan son suficientemente reducidos, su manipulación, mantenimiento y despliegue no suponen un peligro para el personal. Si además estamos de acuerdo en que siempre reduciremos los valores de corriente y voltaje al mismo valor final, resulta que los medidores serán reemplazables y producidos en masa, lo que reducirá mucho su costo y facilitará su instalación para que son siempre los mismos. De hecho, hay bastante consenso en este punto de que casi todos los T.T. (transformadores de tensión) reducen el valor de la tensión que se les aplica a 110 V o 100 V y que el T.I. (transformadores de corriente) reducen la corriente a 5 A o 1 A.



En el trabajo de investigación de Boldrini (2018) “Evaluación de la calidad del aislamiento en terminaciones de línea de transmisión subterránea en 69kV de CV-Congata Power Line – Planta Headworks a partir de Hipot VLF (Very Low Frecuency)”. Estos estudios incluyen la identificación e interpretación de los resultados de la prueba Hipot VLF para determinar la integridad del aislamiento a medida que las instalaciones subterráneas nuevas y las instalaciones de antenas más antiguas se están convirtiendo cada vez más en instalaciones subterráneas, además de expresar el valor del conductor que resuelve el problema. problema, también desarrollaremos preguntas que incluyen pruebas utilizando diferentes formas, en definitiva, todo gira en torno a determinar los valores especificados por el fabricante del cable y la correcta instalación de los accesorios en las líneas subterráneas de media tensión. Para llegar a nuestro alcance, utilizará la teoría relacionada con la teoría de cables, comprenderá la prueba Hipot-VLF, comprenderá las diferentes formas de onda aprobadas por el estándar IEEE std400.2, analizará sus ventajas y la posible interpretación de las ondas cosenoidales. - Rectángulo y analizar y verificar los datos obtenidos en la prueba de campo.

2.2. SUSTENTO TEÓRICO

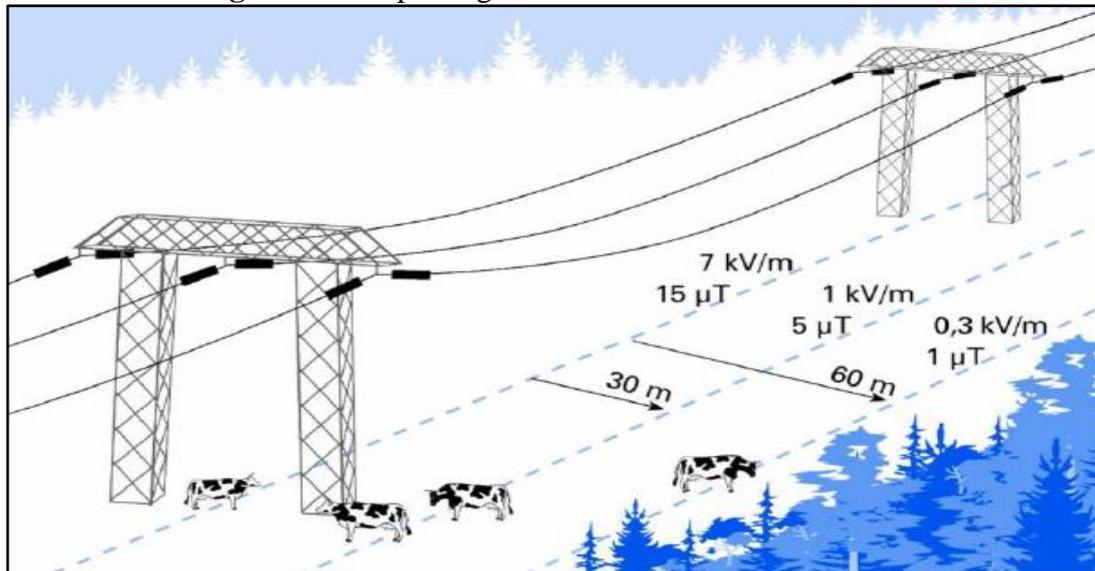
2.2.1. Descargas parciales

¿Qué es campo magnético?

Según Young (2009), los campos magnéticos son producidos por cualquier carga eléctrica producida por electrones en movimiento y los momentos magnéticos internos de las partículas elementales asociadas con una propiedad cuántica fundamental (espín). En relatividad especial, los campos eléctrico y magnético son dos aspectos relacionados de un objeto llamado tensor electromagnético. La fuerza magnética proporciona información sobre la carga que lleva el material a través del efecto Hall. La interacción de campos

magnéticos en equipos eléctricos como transformadores se estudia en la disciplina de circuitos magnéticos.

Figura 1: Campo magnético en Líneas de Transmisión

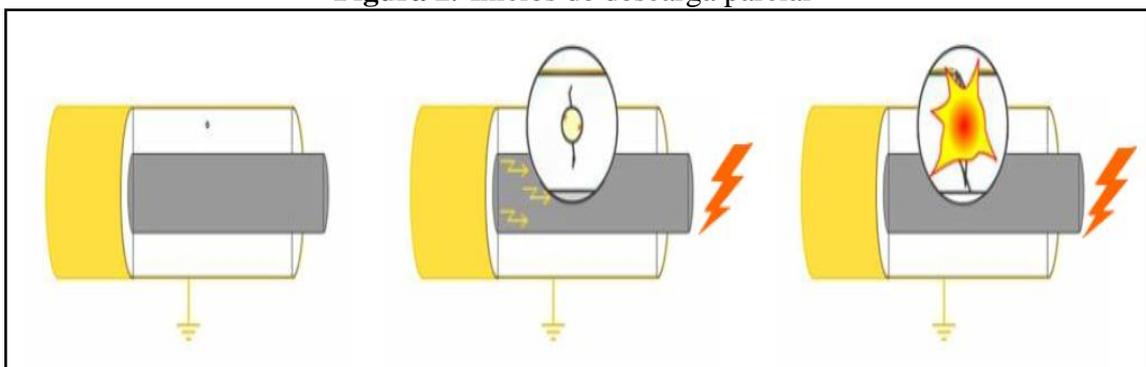


Fuente: Ensys S.A.C

¿Qué son las descargas parciales?

Según Omicron (2018) definición de descargas parcial según IEC 60270-2000: “Descargas eléctricas localizadas que puentean solo parcialmente el aislamiento entre conductores y pueden producirse o no de forma adyacente a un conductor”

Figura 2: Inicios de descarga parcial



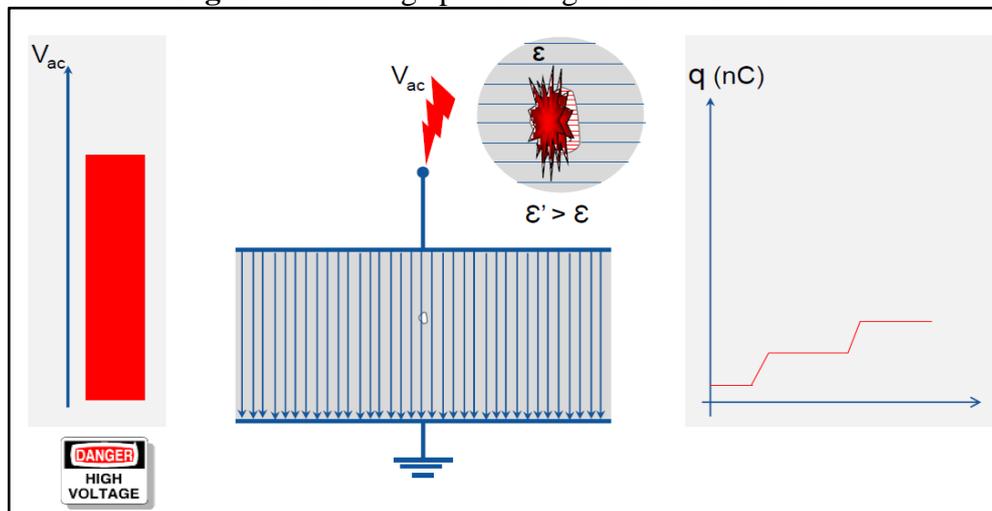
Fuente: Ensys S.A.C

Las descargas parciales (DP) son rupturas dieléctricas localizadas de una pequeña parte del aislamiento eléctrico sólido o líquido que está sometido a estrés de alta tensión.

¿Porque es necesario el análisis de DP?

- Descargas parciales indican intensidades muy altas de campo eléctrico en equipos de alta tensión.
- Es un método no destructivo e indicar inicial del estado del aislamiento.
- Nos da una evaluación de control de calidad (QC).
- Es una herramienta efectiva para evaluación de riesgos.
- Puede ser usada para localizar defectos en equipos eléctricos.

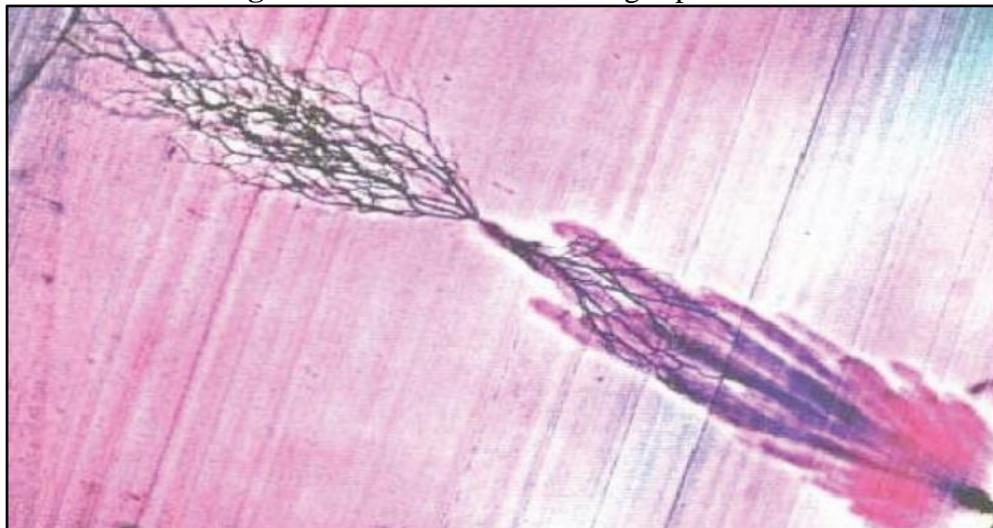
Figura 3: Descarga parcial según IEC 60270-2015



Fuente: Ensys S.A.C

2.2.2. Evidencias de descargas parciales

Figura 4: Evidencias de descargas parciales



Fuente: Ensys S.A.C

Figura 5: Evidencias de descargas parciales



Fuente: Ensys S.A.C

Figura 6: Falla en cable de media tensión



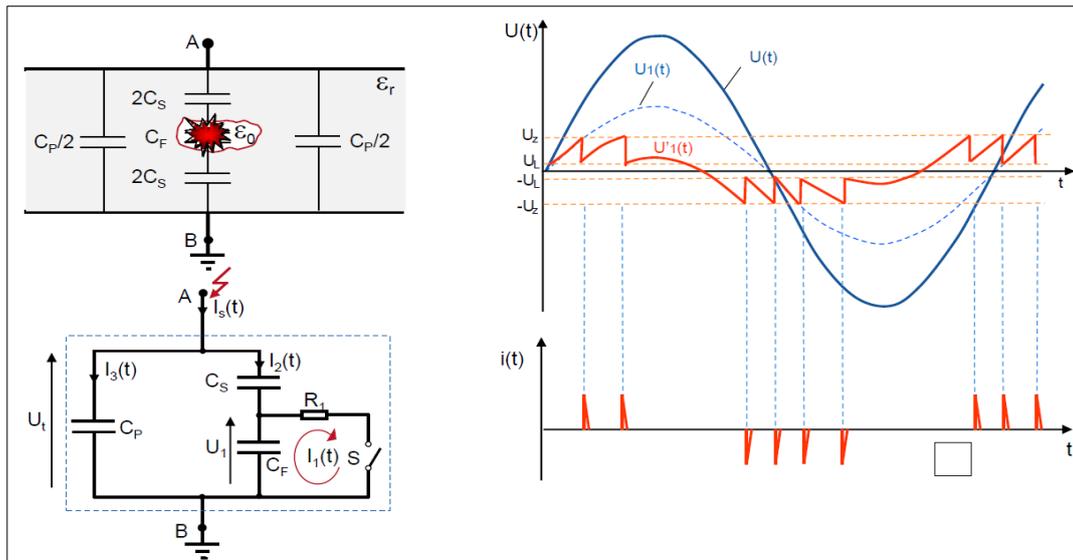
Elaboración Propia

¿Cómo medimos las descargas parciales?

Pulsos de Descargas Parciales

Según Ensys (2021) la norma IEC 60270 en el objeto de prueba producir pulsos de corriente o tensión con duración muy inferiores a 1 μ s.

Figura 7: Falla en cable de media tensión



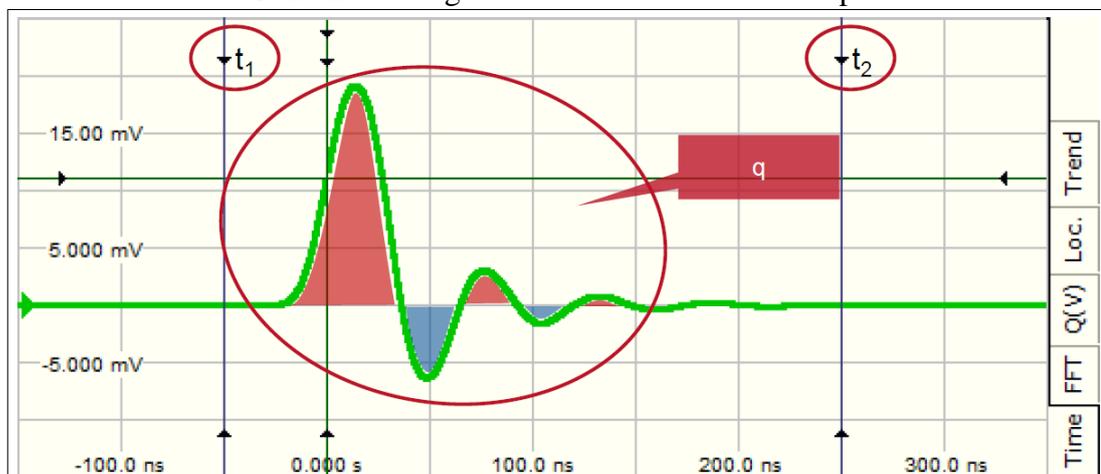
Fuente: Ensys S.A.C

Pulsos de Descargas Parciales en Carga Eléctrica

Según Ensys (2021) Integración en el dominio del tiempo:

$$q = \int_{t_1}^{t_2} i_1(t). dt = \frac{1}{R} \int_{t_2}^{t_1} u(t). dt$$

Gráfico 1: Integración en el dominio del tiempo



Fuente: Ensys S.A.C

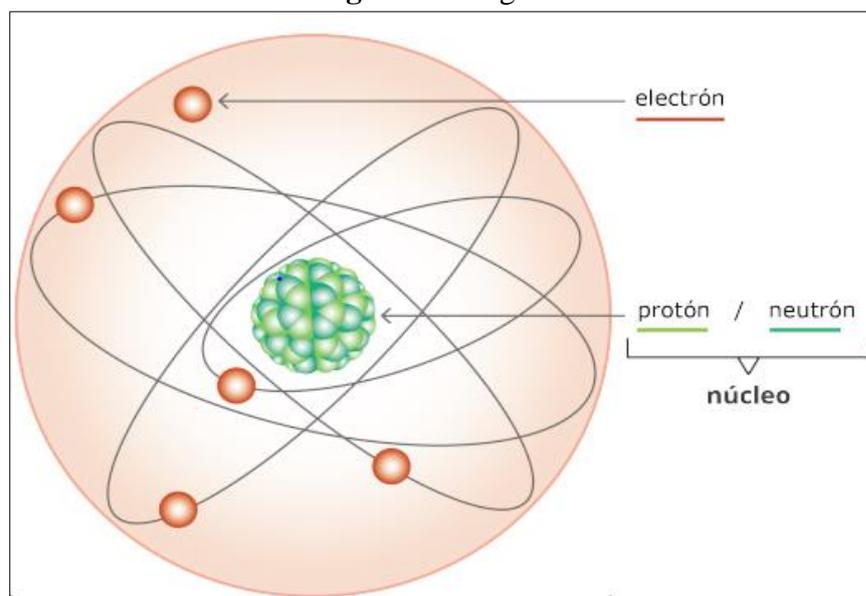
Carga Eléctrica

Según Young (2009), La carga eléctrica es una propiedad de ciertas partículas subatómicas que ocurre cuando se unen entre sí, una interacción que es electromagnética y se logra mediante las cargas positiva y negativa de las partículas.

La carga eléctrica es una unidad del Sistema Internacional de Unidades, y su unidad es el culombio (C).

Hay dos tipos de carga, positiva y negativa, y según la ley de Coulomb, cargas iguales se repelen, mientras que cargas opuestas se atraen.

Figura 8: Carga eléctrica



Fuente: TEC (Tecnológico de costa rica)

Hay dos tipos de cargas, positivas y negativas, y según la ley de Coulomb, las cargas iguales se repelen y las opuestas se atraen.

- Protón: carga positiva
- Electrón: carga negativa
- Neutrón: Neutro

Q (1 Coulomb) = (1 As):

Carga en movimiento = Corriente

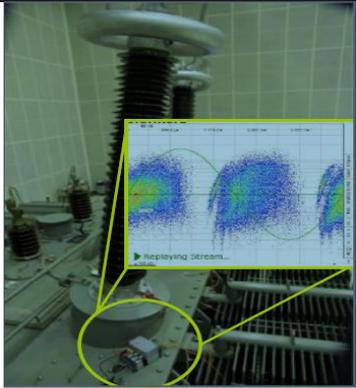
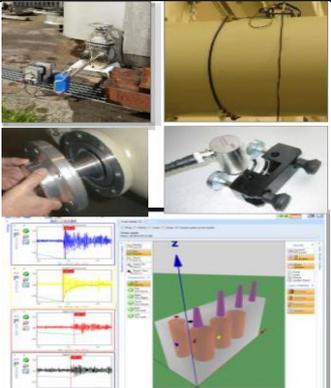
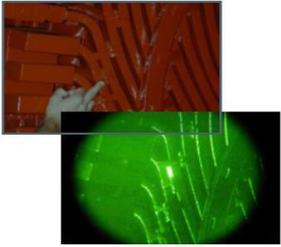
Cuanto más electrones por intervalo de TIEMPO, mayor es la corriente.

2.2.3. Características generales de las descargas parciales

Las descargas parciales, son una consecuencia de concentración de esfuerzo eléctrico local dentro de o en la superficie del aislamiento. Siempre generan señales eléctricas y electromagnéticas (podemos medirla).

- A menudo van acompañados por:
 - Una emisión de sonido (podemos escucharla y localizarla)
 - Una emisión de luz (descarga luminosa) – podemos buscarla.
 - Una emisión de calor.
- Generan reacciones químicas – podemos verificar (DGA, análisis cromatográfico, etc.)

Figura 9: Características de descargas parciales

Podemos Medirla	Podemos Escucharla	Podemos Ubicarla
		

Fuente: Ómicron

2.2.4. Tipos de descargas parciales

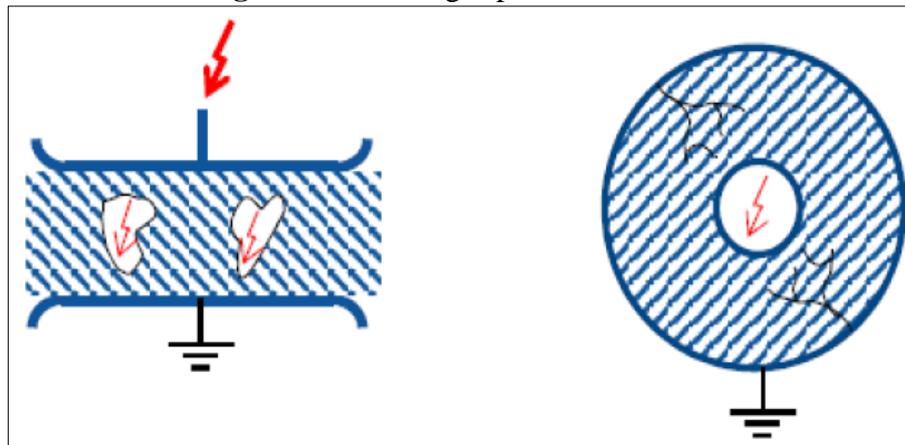
2.2.4.1. Descargas parciales internas

Según Ensys (2021), todas estas son descargas parciales que ocurren dentro de materiales como cavidades de epoxi en transformadores de tipo seco, aceites con partículas pulverizadas o pulpa de papel debido a procesos de envejecimiento.

Actualmente se están desarrollando métodos para determinar el área exacta de los transformadores donde ocurren tales anomalías.

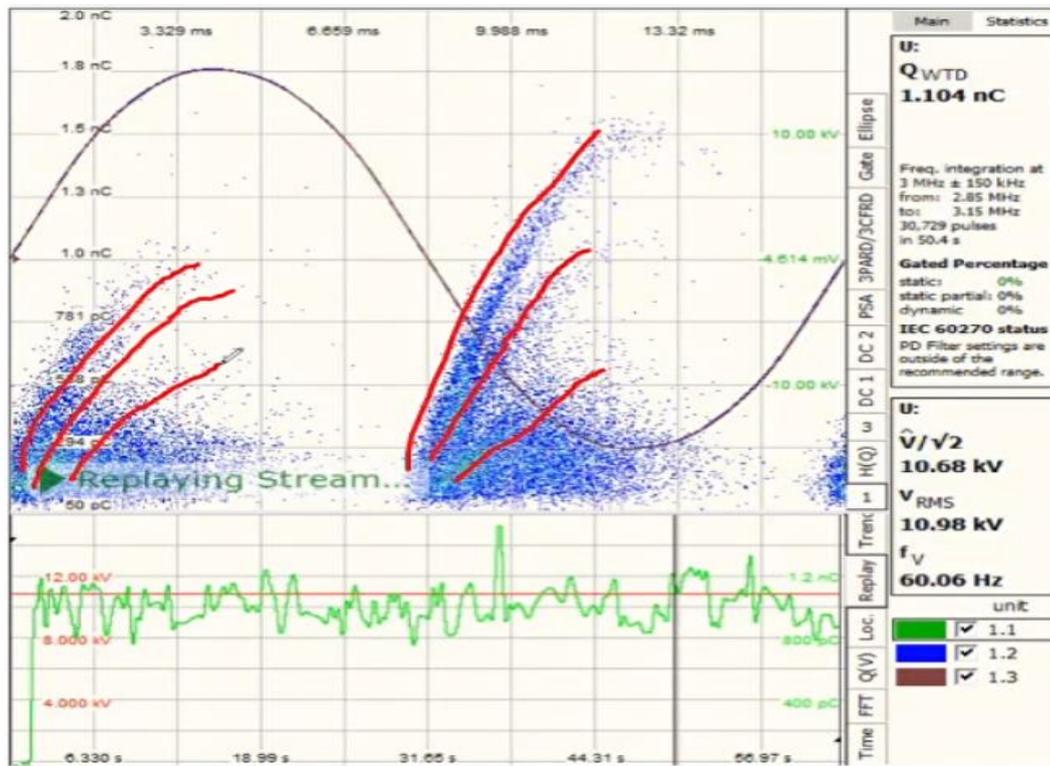
- **Descargas de vacío / cavidad:** Se producen en los vacíos o cavidades dentro de dieléctricos sólidos o líquidos (los vacíos y cavidades se llenan generalmente con algún tipo de gas).
- **Descargas internas en material laminado:** Se producen cuando los materiales laminados se deslaminan, permitiendo la formación de burbujas de gas o zonas enteras de gas en el interior del aislante.
- **Arborescencia:** Impacto continuo de las descargas en dieléctricos sólidos que forman canales de descarga (arborescencia) en materiales orgánicos (por ejemplo, aislamiento de cables).

Figura 10: Descargas parciales internas



Fuente: Ómicron

Gráfico 2: Descargas parciales internas avanzadas



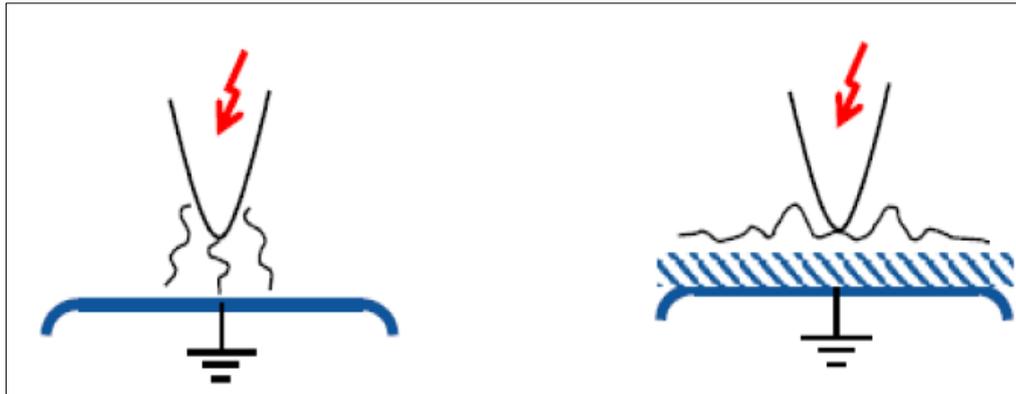
Fuente: Ómicron

2.2.4.2. Descargas parciales externas

Según Ensys (2021), el campo eléctrico puede ionizar el aire y permitir la conducción de pulsos de corriente (descargas parciales) debido a la alta tensión que pueden absorber los aisladores del transformador. No hay duda de que el efecto corona también produce a veces gases corrosivos. Para transformadores que operan a voltajes muy altos, este tipo de descarga parcial puede ser destructiva.

- **Descargas superficiales:** Se producen en puntos triples, punto en el que se encuentran un conductor, un buen aislante (ejemplo, aislante sólido) y un mal aislante (ejemplo, el aire). Por lo tanto, se puede dar en los límites de los distintos materiales de aislamiento (por ejemplo, en bornes, extremo de los cables).
- **Descargas de corona:** Se producen en dieléctricos gaseosos en presencia de campos no homogéneos, por lo general no en el interior de los equipos. En una subestación pueden oírse las DP en las líneas aéreas.

Figura 11: Descargas parciales externas



Fuente: Ómicron

Gráfico 3: Descargas parciales externas



Fuente: Ómicron

La medición de DP es un método fiable y no invasivo que se puede utilizar en cualquier momento para diagnosticar el estado del aislamiento de los equipos eléctricos. En comparación con otros métodos de diagnóstico dieléctrico, las mediciones de DP brindan información altamente sensible que facilita la detección efectiva de puntos débiles localizados en los sistemas de aislamiento.



Debido a que la actividad de DP a menudo ocurre mucho antes de la falla del aislamiento, los administradores de activos pueden evaluarla a lo largo del tiempo y tomar decisiones estratégicas informadas sobre la reparación o el reemplazo oportuno del equipo antes de que ocurran interrupciones no planificadas. Por lo tanto, la detección de descargas parciales es muy importante para garantizar el funcionamiento fiable a largo plazo de los equipos eléctricos.

¿Porque medir las descargas parciales?

Según Omicron (2018), la medición de DP es un método confiable y no intrusivo que puede utilizarse en cualquier momento para diagnosticar el estado del aislamiento de un activo eléctrico. Debido a que la actividad de DP a menudo ocurre mucho antes de la falla del aislamiento, los administradores de activos pueden evaluarla a lo largo del tiempo y tomar decisiones estratégicas informadas sobre la reparación o el reemplazo oportuno del equipo antes de que ocurran interrupciones no planificadas.

Por lo tanto, la detección de descargas parciales es muy importante para garantizar el funcionamiento fiable a largo plazo de los equipos eléctricos.

¿Cuándo deben medirse descargas parciales?

El trabajo manual involucrado en la fase de producción de un activo fijo aumenta la posibilidad de errores de fabricación, lo que puede conducir a fallas prematuras. Por esta razón, se observa una tasa de falla de aislamiento desproporcionadamente alta entre el primer y el tercer año de operación en comparación con la vida útil restante del activo. Por lo tanto, la prueba de descarga parcial se usó originalmente en las inspecciones de rutina y de aceptación de fábrica para identificar problemas de calidad de fabricación.

Una vez que el activo sale de la fábrica, el mal manejo durante el transporte y la instalación puede causar daños mecánicos internos. Las mediciones de DP fuera de línea



a menudo se usan para poner en servicio nuevos equipos como una verificación final de control de calidad antes de la puesta en marcha.

Una vez iniciado, se deben tomar decisiones estratégicas de mantenimiento para garantizar la máxima disponibilidad del activo. Las mediciones y los análisis regulares proporcionan los datos necesarios para desarrollar un plan de prueba integral para garantizar un enfoque sólido centrado en los activos y reducir el tiempo de inactividad y los costos de mantenimiento innecesarios.

La frecuencia de las pruebas de descarga parcial para los equipos en uso depende del tipo y la importancia del equipo y de la experiencia de servicio previa.

¿Cómo se miden las descargas parciales?

Según Omicron (2018), las pruebas y configuraciones de prueba se determinan mediante el tipo de activo medido y mediante la norma según la cual se realizan las mediciones de Descargas Parciales. Por ejemplo, la norma IEC 60270 que especifica el cómo efectuar una medición de Descargas Parciales fuera de línea en equipos eléctricos usando una fuente de tensión independiente, el dispositivo de medición de descargas parciales, un condensador de acoplamiento e impedancias de medición.

Para mediciones trifásicas, las mediciones de DP pueden tomarse fuera de línea encendiendo cada fase en secuencia durante el apagado o en línea durante la operación de servicio normal. Se pueden realizar otras mediciones monofásicas o trifásicas de fase a tierra para determinar la actividad de fase a fase. Los pulsos de DP tienen duraciones cortas y tiempos de subida en el rango de nanosegundos. Los criterios de evaluación de DP más importantes son:



- Los niveles de carga se expresan en pico culombios (PC) o nano culombios (nC).
En las mediciones RIV, los niveles de carga se expresan en mili voltios (mV).
- Tensión de arranque y parada de PD. Tasa de repetición de pulsos de DP.
- Gráfica de DP de fase resuelta (PRPD).

Si se aumenta alguno de estos estándares, también aumenta el riesgo de daños en el aislamiento. Los límites de DP para activos eléctricos se definen en varios estándares internacionales. En un diagrama de descarga parcial resuelta en fase (PRPD), la intensidad de la DP generalmente se relaciona con el ángulo de fase del voltaje aplicado. En entornos de alta interferencia, también se pueden utilizar técnicas avanzadas de reducción de ruido para separar la descarga parcial del ruido.

Realice mediciones de DP de activos eléctricos para:

- Compruebe el estado del aislamiento.
- Detecte desde el defecto más pequeño hasta un defecto crítico. Demostrar la necesidad de mantenimiento y reparación oportunos.
- Evaluar el riesgo y la necesidad de monitoreo continuo de descargas parciales.

¿Cuáles son las dificultades de la medición?

Debido a que las amplitudes de la señal de la actividad de DP son pequeñas, es importante utilizar un equipo de medición de DP de alta sensibilidad. Sin embargo, aumenta la susceptibilidad a la interferencia de ruido eléctrico. Estas condiciones pueden dificultar o incluso imposibilitar la detección y localización de señales de DP. Para detectar eficazmente las descargas parciales, es importante eliminar estas interferencias tanto como sea posible.

Además, mientras que algunas DP son extremadamente peligrosas para la salud de los sistemas de aislamiento, otros tipos de DP pueden tener un efecto degradante más



lento. Por ejemplo, en máquinas eléctricas rotativas (motores y generadores), varias fuentes diferentes de descargas parciales están presentes y operan simultáneamente en el aislamiento de los devanados del estator.

Estas fuentes superpuestas se pueden clasificar como DP no deseadas, DP normales o ruido externo. Por lo tanto, otro criterio de prueba diagnóstica para la EP es la capacidad de discriminar y diferenciar entre EP de diferentes orígenes.

2.2.5. Sensores usados para detección eléctrica en línea de descargas parciales.

2.2.5.1. Sensores de tipo inductivo

Según Ensys (2021), los sensores de tipo inductivo están diseñados para detectar el campo magnético de la corriente transitoria PD. El acoplamiento campo inductivo se hace generalmente con una antena de campo magnético, una bobina de Rogowski o un transformador de corriente de RF (Radio Frecuencia). Algunas de las características de los sensores de tipo inductivo son los siguientes:

- Muy adecuado para mediciones en línea con el equipo portátil compacto.
- Proporcionar aislamiento galvánico.
- Puede ser instalado alrededor de los cables con facilidad debido a la construcción sencilla.

2.2.5.2. Sensores de tipo capacitivo

El sensor de tipo capacitivo está diseñado para detectar la energía del campo eléctrico de impulsos PD con una estructura de electrodo metálico o capas adicionales de papel de aluminio metálica colocada en el campo eléctrico. Algunas de las características de los sensores de tipo capacitivo son los siguientes:

- Muy adecuado para mediciones en línea con el equipo portátil compacto.

- No proporcionar aislamiento galvánico y el sensor está sujeto a HV .Se recomienda Pre-instalación.
- La máquina debe estar apagado para la instalación (si la máquina está en línea).
- La sensibilidad es mejor que los sensores de tipo inductivo.

2.2.5.3. Bobina de Rogowski

Inventado en 1912 por Walter Rogowski, la bobina de Rogowski es esencialmente un transformador de corriente con núcleo de aire y está muy bien adaptado para la medición de DP como transitorios. Está diseñado para detectar el campo magnético causado por el flujo de la corriente sin hacer un contacto eléctrico con el conductor, como un transductor de tensión. Un núcleo no ferroso o un 'con núcleo de aire' bobina se coloca alrededor del conductor de una manera toroidal tal que el campo magnético alterno producido por la corriente induce una tensión en la bobina. La salida de voltaje es proporcional al valor de cambio de la corriente.

Figura 12: Bobina Rogowski

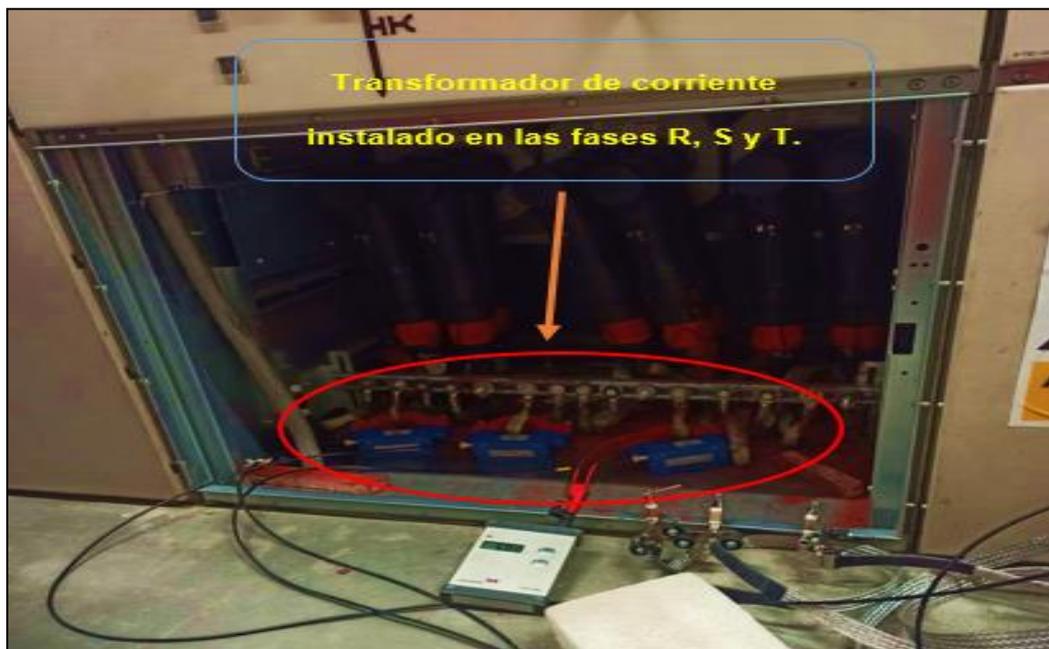


Elaboración propia

2.2.5.4. Transformador de corriente por radio frecuencia (RFCT)

Los transformadores de corriente por radiofrecuencia (RFCT, por sus siglas en inglés) se ha utilizado para el monitoreo de DP en línea de máquinas. La bobina de Rogowski y de la RFCT son ambos sensores de tipo inductivo y están estrechamente relacionadas entre sí, pero existe una diferencia funcional. El RFCT produce una corriente de salida que es proporcional a la corriente primaria, mientras que una bobina de Rogowski produce una tensión de salida que es proporcional a la tasa de cambio de la corriente primaria.

Figura 13: Transformador de corriente



Elaboración propia

2.2.5.5. Acoplamiento capacitivo

Los transitorios generados por DP viajan a través de los devanados del estator hacia los terminales de la máquina a medir. Si un circuito de detección está acoplado en este, una parte del transitorio fluiría a través de este circuito. Un condensador de alta tensión puede ser utilizado como un sensor para detectar estos transitorios de descarga parcial. La unidad de detección consiste en el condensador de acoplamiento y la

impedancia de medición. El circuito se caracteriza por un rendimiento del filtro de paso alto y está diseñado para bloquear la frecuencia de red. Una disposición típica de un circuito de detección de acoplador capacitivo se muestra en la figura 14. El circuito de terminación convierte los impulsos de corriente a voltaje DP impulsos que se pueden grabar por un instrumento de medición de DP para un análisis detallado.

Figura 14: Acoplamiento capacitivo



Fuente: Omicron



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. DISEÑO METODOLÓGICO DE INVESTIGACIÓN

3.1.1. Tipo de investigación

La metodología que se planteó para el desarrollo de la presente investigación es de tipo aplicada ya que la investigación deriva de acciones; el diseño de investigación fue experimental, este diseño consiste en dar tratamiento o administrador un solo grupo y realizar la medición, en este tipo de diseño de investigación no hay manipulación de la variable independiente, tampoco una evaluación previa del nivel que tenía el grupo o las variables dependientes antes del estímulo (Hernandez, 2014) el diseño permitió a que los datos e información sean obtenidos de manera teórica, practica, para ello se recurrió la información proporcionada por el equipo y a bibliografías establecidas en tesis de investigación, artículos, manuales, catálogos, publicaciones electrónicos, etc.

3.1.2. Población y muestra de investigación

La población para el presente estudio será la subestación tipo Skid(encapsulado) 22.9/4.16kV TMF relaves y la muestra será los cables de alimentación en 4.16kV para motores de 450HP de la MARCA ABB y WEG.

3.1.3. Ubicación y descripción de la población

La Unidad Minera Constancia propiedad de la compañía Hudbay Minerals Inc., es una empresa dedicada a la extracción y procesamiento de minerales de cobre, molibdeno y plata, con instalaciones de producción ubicadas a 600 km al sureste de Lima en los Andes del Perú, en los distritos de Chamaca y Livitaca, en la provincia de Chumbivilca. Provincia del Cusco, a más de 4200 metros sobre el nivel del mar, dando

inicio a sus operaciones a fines del mes de diciembre del 2014 etapa de comisionamiento y en abril 2015 se inició la operación comercial de la planta.

El suministro de energía para la Unidad Minera Constancia se da a través de la conexión al Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN) en la S.E. Tintaya Nueva a través de una línea de transmisión en simple terna en 220kV que enlaza a la S.E. Tintaya Nueva y S.E. Constancia.

El Sistema eléctrico de distribución Media Tensión comprende los sistemas de transformación, salas eléctricas, generación de emergencia y servicios auxiliares asociados a las barras en 22.9 kV, 13.9 kV y 4.16 kV, que garantizan el suministro para atender las necesidades energéticas a todas las operaciones de planta y operaciones de mina.

Figura 15: Ubicación de motores de media tensión



Elaboración propia

3.1.4. Material experimental

3.1.4.1. Equipo de medición MPD800 ómicron

- Fabricante : ÓMICRON
- Modelo : MPD800
- Número de Serie : A256348

Figura 16: Equipo de medición MPD800 Ómicron



Elaboración propia

Según Omicron (2018), el MPD 800 es el sucesor de nuestro sistema de medición y análisis de descargas parciales.

Las funciones establecidas se han rediseñado para convertirse en el sistema de prueba más potente, preciso y robusto del mercado. El MPD 800 es ideal para pruebas de fábrica y de campo incluso en los entornos más exigentes. Gracias a las excelentes propiedades de filtrado, incluso los pulsos DPA más pequeños pueden separarse de las interferencias y analizarse. El MPD 800 se puede utilizar para una amplia variedad de aplicaciones de prueba, en el sector de suministro de energía tradicional, fabricantes o



talleres, laboratorios o pruebas de diagnóstico de motores, por ejemplo. en el sector industrial.

Pruebas de DP que cumplen con los estándares que facilitan las pruebas de rutina y de tipo, las pruebas de aceptación de fábrica y de campo y la resolución de problemas para localizar o investigar las fuentes de DP:

- Transformadores de corriente

 - Cable

 - Máquinas rotativas

 - Subestaciones aisladas en gas (GIS) y subestaciones de media tensión

 - Motores industriales

 - Transporte ferroviario
- El MPD 800 es el sucesor de nuestro sistema de medición y análisis de descargas parciales.
- Las funciones establecidas se han rediseñado para convertirse en el sistema de prueba más potente, preciso y robusto del mercado. El MPD 800 es ideal para pruebas de fábrica y de campo incluso en los entornos más exigentes. Gracias a las excelentes propiedades de filtrado, incluso los pulsos DPA más pequeños pueden separarse de las interferencias y analizarse. El MPD 800 se puede utilizar para una amplia variedad de aplicaciones de prueba, en el sector de suministro de energía tradicional, fabricantes o talleres, laboratorios o pruebas de diagnóstico de motores, por ejemplo. en el sector industrial.
- Pruebas de DP que cumplen con los estándares que facilitan las pruebas de rutina y de tipo, las pruebas de aceptación de fábrica y de campo y la resolución de problemas para localizar o investigar las fuentes de DP:
- Transformadores de corriente

- Cable
- Máquinas rotativas
- Subestaciones aisladas en gas (GIS) y subestaciones de media tensión
- Motores industriales
- Transporte ferroviario

Datos Técnicos MPD800

Tabla 1: Datos técnicos del equipo MPD 800

Entrada	
Tensión:	Entrada de DP: 80 V _{pico}
Corriente	Entrada de DP (máx. eficaz continua) ¹ : 150 mA Entrada de DP (mín. eficaz continua para sincronización) ¹ : 2 μ A Entrada de CA (máx. eficaz continua): 150 mA Entrada CA (mín. eficaz para sincronización): 20 nA Mediciones de CC Entrada CA (mín. corriente continua) ² : 100 nA Entrada de CA (corriente continua máxima): 200 mA Mediciones VLF Entrada de DP (mín. eficaz): 500 Na Entrada de DP (máx. eficaz continua): 200 mA
Impedancia	Entrada de DP: 50 $\Omega \pm 20$ % Entrada de CA (f < 4 kHz): 5 $\Omega \pm 20$ %
Rango dinámico	Entrada de DP: 140 dB (total), 70 dB (por rango) Entrada de CA: 170 dB (total), 107 dB (por rango)
Rango de entrada	Entrada de DP: 14 Entrada de CA: 5
Rango de frecuencias	
Entrada de DP interna cuadripolo	CPL interno habilitado: 6 kHz ... 35 MHz CPL interno deshabilitado: 0 Hz ... 35 MHz

Exactitud	
Entrada de DP	± 2 %
Entrada de CA	0,02 %
Frecuencia	± 1 ppm
Corriente de CC	0,05%

Salida	
Puerto de trigger óptico	1 \times ST (820 nm), OM2, Longitud del cable de FO ≤ 50 m
Puerto OUT	1 \times BNC,



	50 Ω \pm 10 %, 5 V \pm 0,5 % a 1M Ω
Puerto AUX	Para soporte de MBB1

Puertos de fibra óptica	
Forma de onda	1308 nm
Tipo de conector	2 xLC (intercambiable)

Procesamiento de datos de DP	
Tipo de conector	56 ns... 8 μ s
Tasa de muestreo de DP	125 MS/s
Resolución	DP: 14 bits CA: 24 bits
Frecuencia de pulsos de DP	Max.: 2 Mio./s
Filtros de DP/anchos de banda	RIV: 4,5 kHz y 9 kHz Carga: 30 kHz, 100 kHz, 200 kHz, 400 kHz, 300 kHz, 600 kHz, 900 kHz, 1 MHz, 2 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 20 MHz
Filtros de paso bajo de entrada de DP	1,1 MHz, 2,3 MHz, 4,7 MHz
Tiempo de pre registro de PRPD	0s... 30s
Ámbito de DP	Profundidad de registro: 131 μ s Frecuencia de refresco: 41 ms
Resolución de tiempo de evento de DP	< 2 ns
Ruido del sistema	Típico 7: < 0,01pC
Ruido del analizador de espectro (100 kHz ... 5 MHz)	< -125 dBm
Máxima resolución de doble pulso (BW = 20 MHz)	< 80 ns
Error de superposición negativa	<3%

Datos mecánicos y condiciones ambientales	
Humedad	5 %... 95 %, sin condensación
Temperatura de funcionamiento	-20 °C... 55 °C
Dimensiones (An. \times Alt. \times F.)	119 \times 190 \times 55 mm
Peso	870 g

Fuente: Manual Técnico de ÓMICRON

3.1.5. Normativa Aplicable

Según Aenor (2002), las normas que regulan los ensayos de descargas parciales son:

- IEC 60270 – Test circuits for alternating voltages.



- ISO 8528 – 9
- IEC 60068 – 2 – 6
- IEEE 510 “IEEE Recommended practices for safety in High-Voltage and High-Power Testing” (Prácticas recomendadas por el IEEE para seguridad en pruebas con alta tensión y alta potencia eléctrica).
- EN 50191 (VDE 0104) “Erection and operation of Electrical Equipment” (Instalación y uso de equipos para pruebas eléctricas).
- EN 50110-1 (VDE 0105 parte 100) “Operation of Electrical Installations” (Uso de instalaciones eléctricas)

Esta norma internacional es aplicable a la medida de las descargas parciales que se producen en los equipos eléctricos, los componentes o los sistemas, cuando se ensayan con tensiones alternas de hasta 400Hz o con tensión continua.

Esta norma:

- Define los términos utilizados
- Define las magnitudes a medir
- Describe los circuitos de ensayo y de medida que pueden utilizarse
- Especifica los métodos de calibración y los requisitos de los instrumentos utilizados para la calibración.
- Proporciona indicaciones sobre los procedimientos de ensayos.

Las estipulaciones de esta norma deberían utilizarse en los proyectos de especificaciones relativas a las medidas de las descargas parciales para equipos específicos de potencia. Esta norma se refiere a las medidas eléctricas de las descargas parciales impulsiones (de corta duración), pero también hace referencia a métodos no eléctricos, utilizados principalmente para la localización de las descargas parciales. Esta



norma se refiere principalmente a las medidas eléctricas de las descargas parciales realizadas durante ensayos con tensión alterna, aunque los problemas específicos que surgen cuando los ensayos se realizan con tensión continua se considera en el capítulo 11.

Normas para consulta:

- CEI 60060-1 – Técnicas de ensayo en alta tensión. Parte 1: Definiciones y prescripciones generales relativas a los ensayos.
- CEI 60060-2 – Técnicas de ensayo en alta tensión. Parte 2: Sistemas de medida.
- CISPR 16-1: 1993 – Especificaciones de los métodos y aparatos de medida de las perturbaciones radioeléctricas y de la inmunidad a las perturbaciones radioeléctricas. Parte 1: Aparatos de medida de las perturbaciones radioeléctricas y de la inmunidad a las perturbaciones radioeléctricas.

3.1.5.1. Documentos de referencia

La documentación utilizada en la investigación fue:

- Manual técnico de ÓMICRON (pruebas de descargas parciales, transformadores, motores, cables de media y alta tensión).
- Manual Técnico de operación y mantenimiento de FAMETAL VCA GROUP COMPANY.
- Memoria descriptiva – Subestaciones Skid FAMETAL.
- Manual Técnico de ABB.
- Base de datos de los fabricantes de motores ABB, SIEMENS, WEG, GENERAL ELECTRIC y EPLI.
- Diagrama unifilar de protección, control y medición de subestaciones Skid tipo encapsulado.
- Especificaciones técnicas de los cables y motores de media tensión 4.16kV.

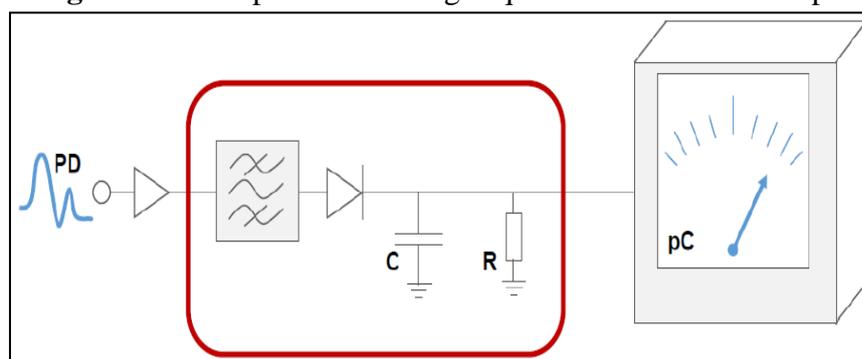
- Estudio de coordinación de las protecciones del sistema eléctrico de media tensión
– OEM Electric Power System.
- Ingeniería, montaje, pruebas y puesta en servicio de subestaciones de distribución
– ABB POWER GRIDS.
- Diagnóstico, mantenimiento y configuración de variadores de velocidad e instrumentación - ABB POWER GRIDS.

3.1.6. Técnicas e instrumentos para recolectar información

Según (Ensys, 2021), los datos adquiridos fueron procesadas y analizadas con el equipo MPD 800 de Ómicron para luego analizarlos con MPD suite software con el uso de las gráficas adquiridas se analiza y se interpreta los resultados.

Medición analógica: los sistemas de medición analógica de descargas parciales consistían en un preamplificador, algún tipo de filtro físico y la configuración de una capacitancia y una resistencia. El pulso de Descargas parciales primero se amplifica y después se filtra, posteriormente la capacitancia se carga con el valor de pico de la DP y la resistencia descarga la capacitancia midiéndose la caída de tensión a través de esta.

Figura 17: Componentes análogos que cambian con el tiempo

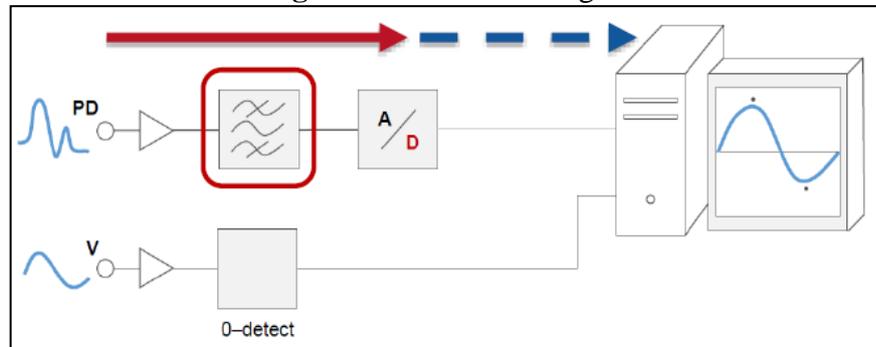


Fuente: ENSYS S.A.C

Medición Digital: La segunda generación de equipos se llamaban “Digitales” aunque utilizaba filtros analógicos para solo una frecuencia ancha de banda pre ajustada por el

fabricante. Posibilito la creación del “diagrama de huella dactilar” (PRPD) con el registro de los eventos de DP y de la tensión de prueba mediante la detección de cero.

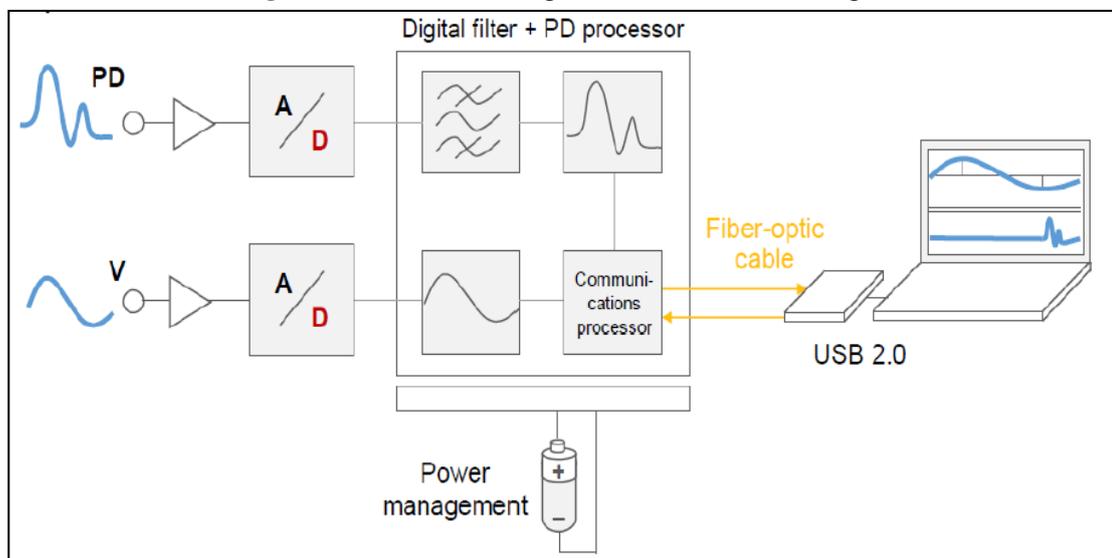
Figura 18: Medición Digital



Fuente: ENSYS S.A.C

Medición digital de DP con filtro digital: Actualmente se utilizan verdaderos filtros digitales. El usuario configura la frecuencia y ancho de banda de la medición, los pulsos de DP se digitalizan manteniendo su amplitud y punto de tiempo en el que se produjeron. La señal de tensión también es digitalizada y ambas señales son procesadas posteriormente en la computadora.

Figura 19: Medición digital de DP con filtro digital



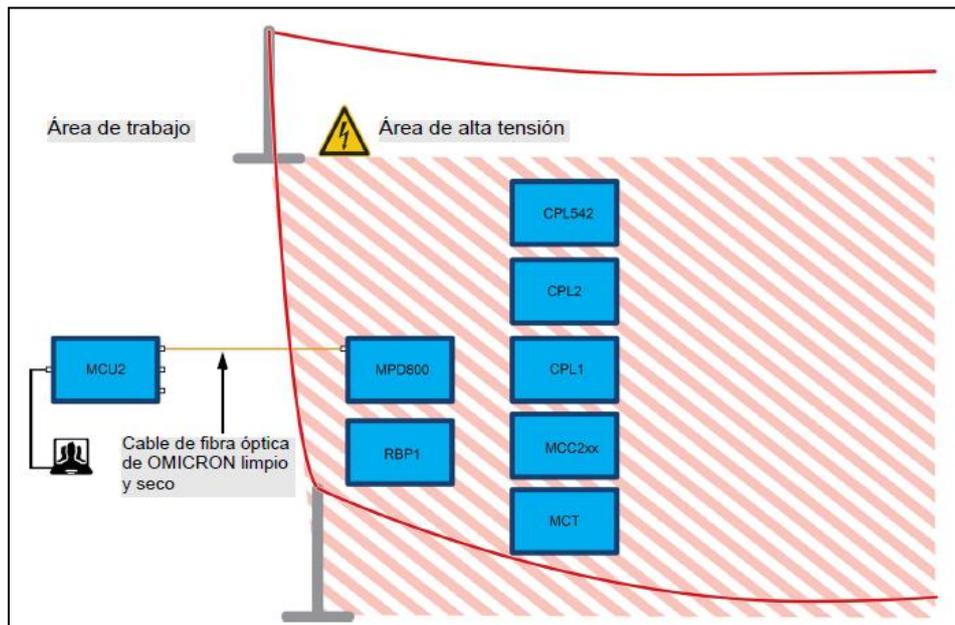
Fuente: ENSYS S.A.C



3.1.7. Procedimiento del experimento

- Antes de activar la alta tensión, abandone el área de alta tensión.
- Compruebe que el terminal de conexión a tierra del equipo en prueba se encuentre en buen estado,
 - limpio y sin óxido.
- Coloque siempre la unidad de registro del MPD 800, el cuadripolo externo (CPL1/CPL2) y la batería recargable (RBP1) dentro del área de alta tensión.
- No retire ni conecte nunca ningún cable de la unidad de registro del MPD 800 y sus accesorios ni del equipo en prueba mientras se realiza una prueba.
- Utilice siempre cables de fibra óptica limpios y secos proporcionados por ÓMICRON electronics. En lugares polvorientos, use cubiertas de protección. Asegúrese de que los cables tienen contacto a tierra para evitar corrientes de fuga.
- Cortocircuite siempre la salida CPL2 RTN/OUT con GND si RTN/OUT no se usa.
- La salida AC del CPL1 o CPL2 debe cortocircuitarse si no está conectada a la unidad de registro del MPD 800.
- Mantenga la distancia correspondiente hasta el equipo en prueba en el área de alta tensión.

Figura 20: Ejemplo ilustrativo del área de trabajo con MPD800



Fuente: ENSYS S.A.C

Inspección visual y verificación de puesta a tierra de pantallas de cables de media tensión.

Inspección visual del estado de la instalación.

Verificar puesta a tierra de pantallas de los cables de MT.

• Conexiones de Equipos de Prueba

En caso de realizar la medición en caja de bornes de transformadores de potencia, se realizará la instalación de una manta dieléctrica de dimensiones suficientes para cubrir toda la ventana de acceso a los cables.

- Instalación de sensores DP.
- Instalación de bobinas Rogowski.
- Conexión de cables fibra de óptica de sensores, bobinas hacia MPD800.
- Conexión de módulo MPD 800 con laptop vía USB.

- **Toma de Datos**

Medición de DP utilizando el software “MPD SUITE” para Windows de acuerdo al instructivo.

El tiempo máximo de toma de datos no deberá exceder las 2 horas.

- **Retiro de Equipo de Pruebas**

Desconexión de USB de laptop con módulo MPD800.

Desconexión de cables fibra óptica desde módulo MPD800 hasta sensores y bobinas de prueba.

Desconexión de sensores de DP.

Desconexión de bobinas Rogowski.

3.1.8. Procedimiento de conexión equipo MPD800 Ómicron

En la siguiente figura 21, se observa el conexionado de los cables de fibra óptica, cable rogowski que fueron conectados a la salida del cable de MT que alimenta a los motores de media tensión en 4.16KV. Los Transformadores de corriente fueron conectados a cada fase R, S y T del cable.

Figura 21: Equipo MPD800 ÓMICRON



Elaboración propia

3.1.9. Conexión de equipo MPD800 de lado 4.16KV

En la siguiente figura 23, se observa la conexión del equipo MPD800 en los cables de media tensión en 4.16KV, para iniciar con las pruebas de descargas parciales, tener en cuenta que la celda de media tensión se encuentra energizada. La subestación Skid se alimenta de una línea de media tensión en 22.9/4.16 KV.

Figura 22: Subestación Skid 22.9/4.16kV



Elaboración propia

Figura 23: Conexión de equipo de prueba MPD800 ÓMICRON



Elaboración propia

3.1.10. Inicio de pruebas de descargas parciales en cables de media tensión

En la siguiente figura 24, se observa el conexionado del equipo MPD800 para el inicio de prueba de descargas parciales. Cabe mencionar que las pruebas de descargas parciales se realizan en la subestación Skid que se encuentra ubicado en la intemperie de relaves TMF – Oeste de la Unidad minera Constancia.

Figura 24: Condensador de acoplamiento CPL1



Elaboración propia

DATOS GENERALES DE MOTORES DE MEDIA TENSIÓN ABB

Tabla 2: Datos de la placa de motor trifásico ABB

DATOS DE LA PLACA DE MOTOR TRIFASICO ABB	
Fabricante	: ABB
N° de serie	: N5810TP
Potencia	: 450HP
Polos	: 4
Frecuencia	: 60Hz
RPM	: 1775
Voltaje	: 4000V
Corriente nominal	: 59.7 A
Temperatura Amb.	: 40 °C
Factor de Potencia	: 0.845
Factor de Servicio	: 1.16
Tipo	: 61
Año Fabricación	: 03/03/17
Fabricado en	: Made in Taiwan



Elaboración propia

3.2. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

3.2.1. Hipótesis general

Con el diagnostico de descargas parciales es posible determinar fallas de aislamiento de los cables, utilizando equipo MPD800.

3.2.2. Hipótesis específico

- Determinando el estado del aislamiento de un conductor, se puede minimizar las fallas eléctricas en los cables de media tensión de 4.16kV.
- Se puede interpretar las gráficas y curvas en 3D obtenidas durante el diagnostico descargas parciales en cables de media tensión.
- Al tener un historial de base de datos, se puede hacer seguimiento de la variación de los parámetros que afectan el aislamiento en cables de media tensión de 4.16kV y así poder programar un mantenimiento predictivo o preventivo.



3.3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla 3: Operacionalización de Variables

VARIABLES	INDICADORES	NIVEL DE MEDICIÓN
VARIABLES INDEPENDIENTES <ul style="list-style-type: none">• CONDENSADOR• FRECUENCIA• VOLTAJE	La impedancia de entrada de ambos tipos de entrada de medición (PD y AC) es compleja y, por lo tanto, depende de la frecuencia.	<i>Faradios (F)</i> <i>Hertz (H)</i>
VARIABLES DEPENDIENTES <ul style="list-style-type: none">• CORRIENTE APLICADA PARA MEDIR CORRECTAMENTE LA MAGNITUD DE LA DP.• TENSIÓN APLICADA PARA REALIZAR PRUEBA	<p>Se debe realizar inyectando impulsos de corriente por medio del calibrador sobre los terminales del objeto de ensayo. Debido a que las magnitudes pueden cambiar con el tiempo, la cantidad específica se deberá medir al finalizar este tiempo.</p> <p>La magnitud de las descargas parciales, también se puede medir y registrar mientras la tensión aumenta o disminuye o durante todo el periodo del ensayo.</p>	<i>Amp (A)</i> <i>Voltios (V)</i>

Elaboración Propia



CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En función al marco teórico con los diferentes detalles que se indican, con el progreso de las técnicas de medición y con la aplicación de instrumentos modulares de alta resistencia se adaptaron a las demandas de mediciones de DP en línea caliente.

Las técnicas de medición y con la aplicación de instrumentos modular es de alta resistencia se adaptaron a las demandas de mediciones de descargas parciales en línea caliente. El método que emplearemos para poder implementar el monitoreo en línea caliente de DP en cables de media tensión que alimenta motores eléctricos en 450HP está alineada a la tendencia del mantenimiento predictivo de clase mundial con la aplicación de método no invasivo y no normalizado, con una alta sensibilidad que nos permita diagnosticar de una manera práctica y segura el estado de aislamiento de los conductores; este método utiliza instrumentos de alta capacidad y rangos de frecuencia del orden de 2 a 40 MHz. El rango de mediciones hace pocos años fue de 30kHz a 500kHz. (Pedraza, 2021).

4.1. RESULTADOS DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS ELÉCTRICAS

A continuación, se detalla la inspección que se realiza en la subestación Skid, motores eléctricos, celdas de media tensión, Verificación de los relés de distribución, interruptor de media tensión y cables en ambos extremos, todo lo antes mencionado de debe realizar para iniciar con las pruebas eléctricas.

Tabla 4: Inspección general antes de realizar pruebas de DP.

Ítem	Descripción	Resultado
1	Verificación del relé siemens (sistemas de protección)	OK
2	Verificación del sistema de puesta a tierra	OK
3	Verificación de los niveles de tensión	OK
4	Identificación y secuencia de fases	OK
5	Inspección del conexionado del interruptor MT VD4 ABB	OK
6	Inspección de los medidores de energía ION	OK
7	Inspección del estado de los motores	OK
8	verificar el estado del cable	OK
9	Verificación de resistencia de calefacción	OK
10	Verificación de los terminales de cables	OK

Elaboración Propia

4.1.1. Subestación Skid y sus componentes

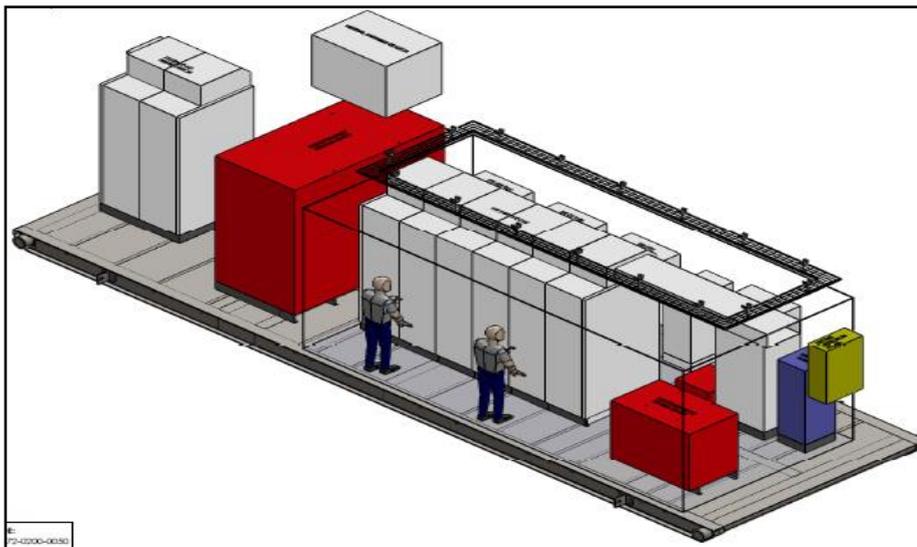
A continuación, se muestra la ubicación de la subestación Skid donde se encuentra los equipos de protección y medición. Cabe indicar que también se muestra los componentes de toda la subestación.

Figura 25: Subestación Skid TMF relaves



Elaboración propia

Figura 26: Subestación Skid Modelado



Fuente: Fabricante Fametal

CONEXIONADO DE CABLES DE EQUIPO MPD 800 ÓMICRON

Juego de cables Ómicron consiste de cables doble apantallados de alta calidad trenzada para una conexión al shield, cable de fibra, cable rogoski, transformadora de corriente, Bananas de conexión Y CPL1.

Figura 27: Cables de prueba de equipo MPD 800



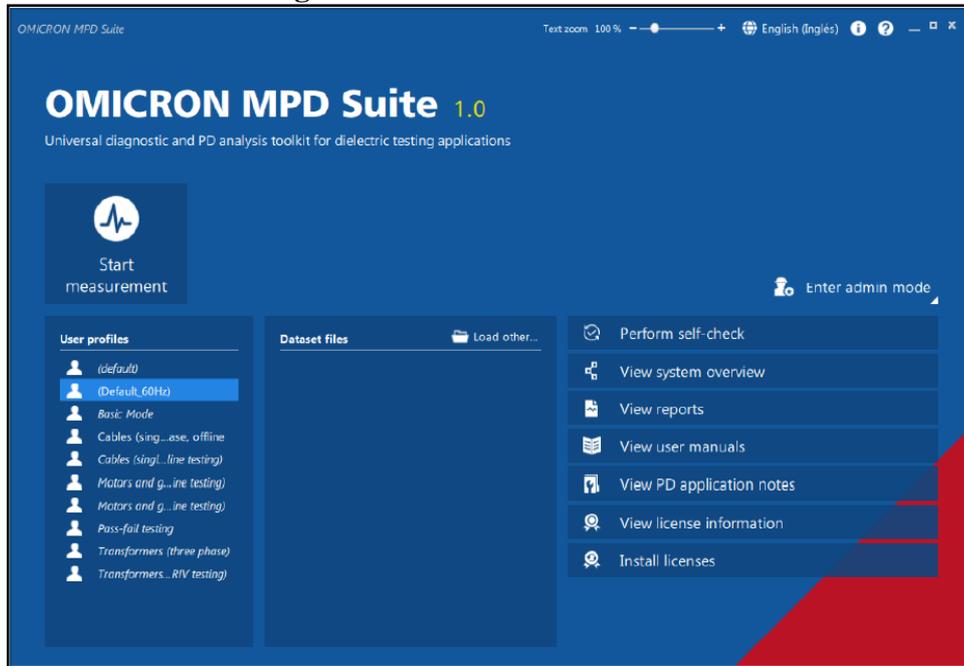
Elaboración propia

4.1.2. Ingreso de datos al SOFTWARE

Software MPD Suite V1.0

– Vista General

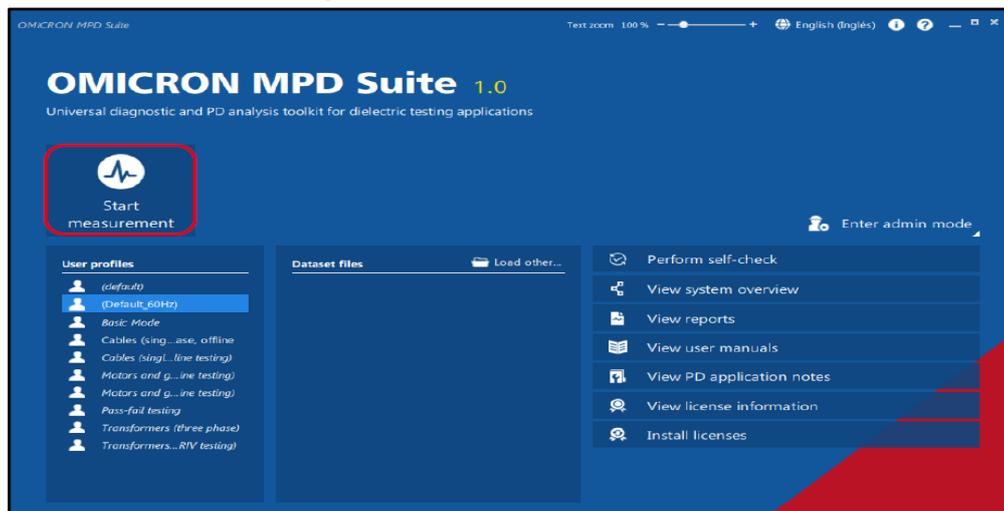
Figura 28: Pantalla de inicio MPD 800



Elaboración Propia

– Inicio de medición

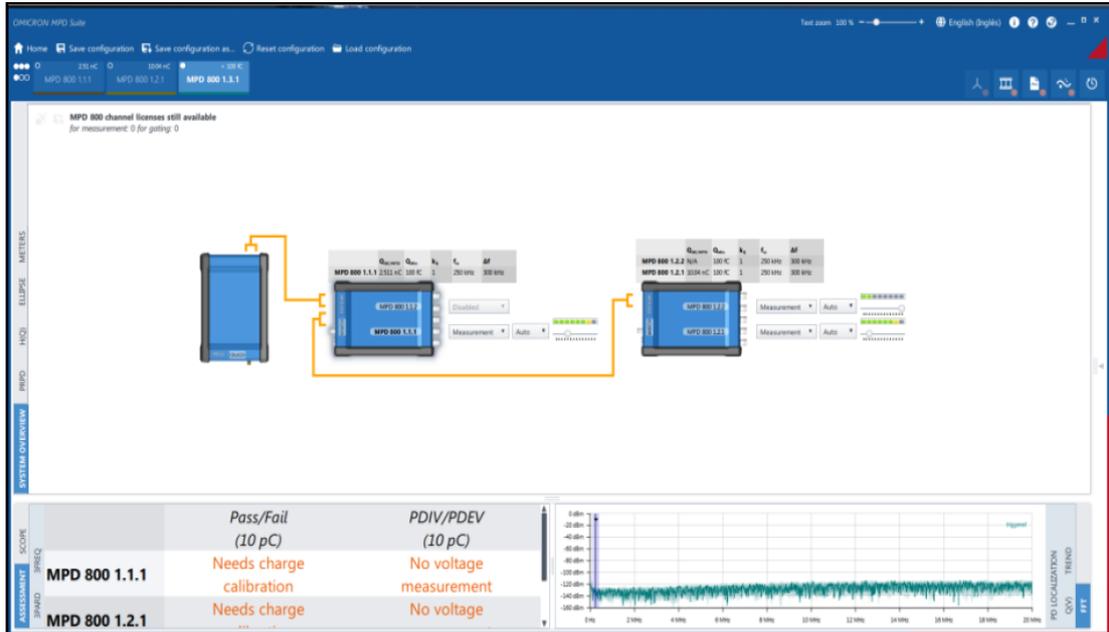
Figura 29: Inicio de medición MPD 800



Fuente: Ensys Omicron

– Configuración de los canales de medición

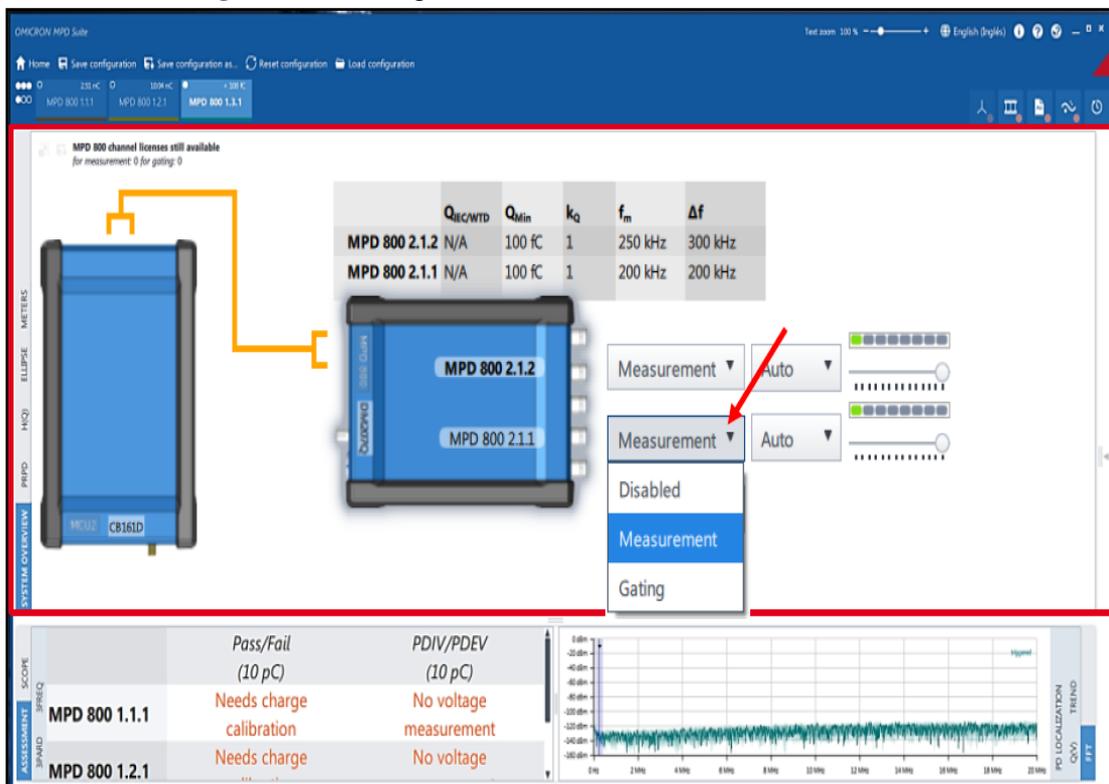
Figura 30: Inicio de medición MPD 800



Elaboración Propia

– Configuración de los canales de medición

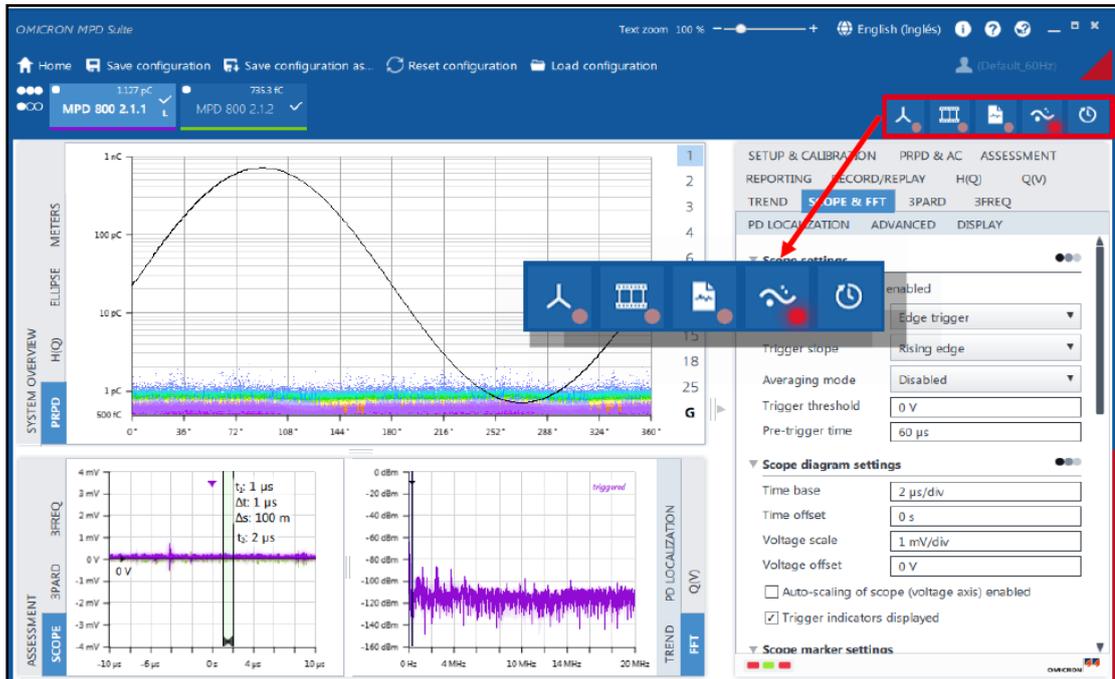
Figura 31: Configuración de canales de medición MPD 800



Elaboración Propia

– Teclas de acceso rápido

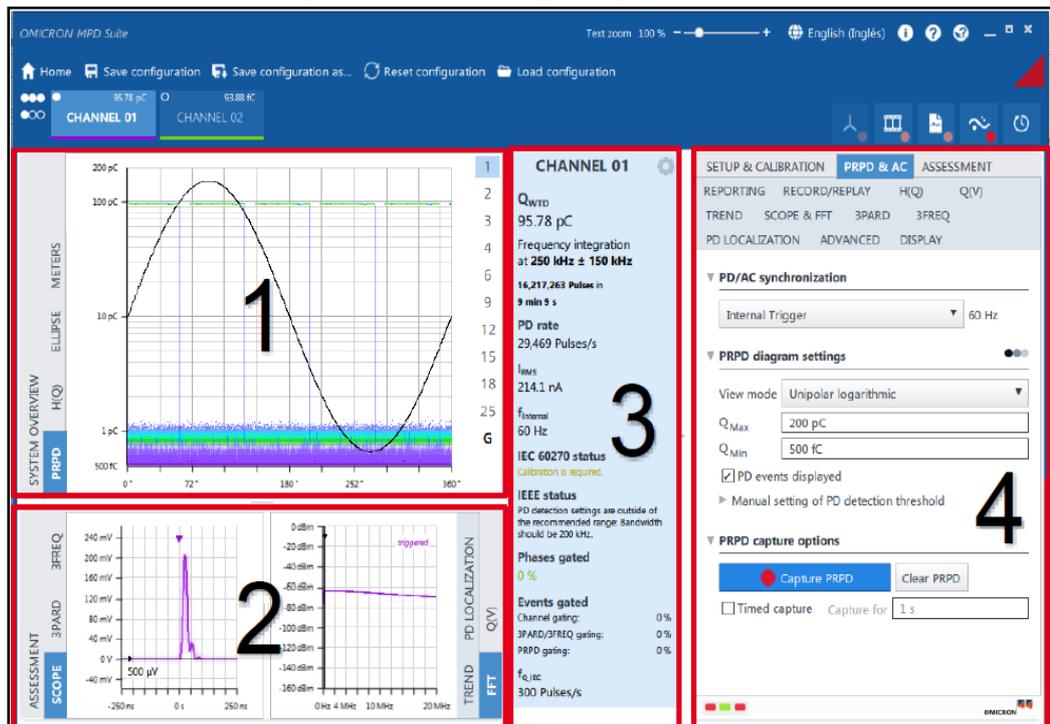
Figura 32: Teclas de acceso rápido MPD 800



Elaboración Propia

– Ventana principal

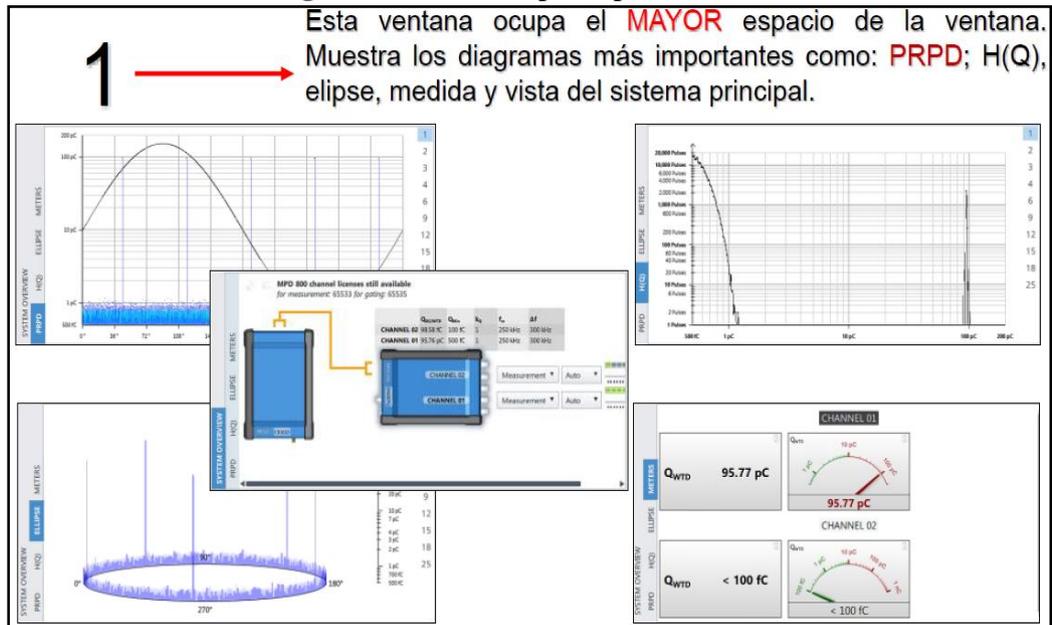
Figura 33: Ventana principal MPD 800



Elaboración Propia

– Ventana superior

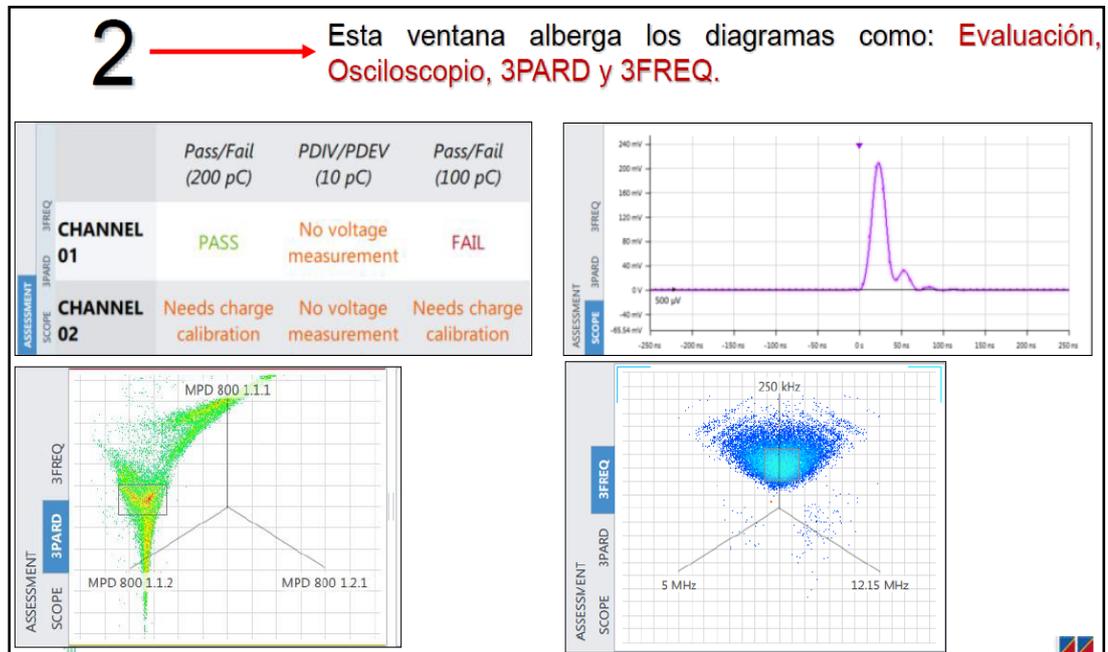
Figura 34: Ventana principal MPD 800



Elaboración Propia

– Ventana inferior derecha

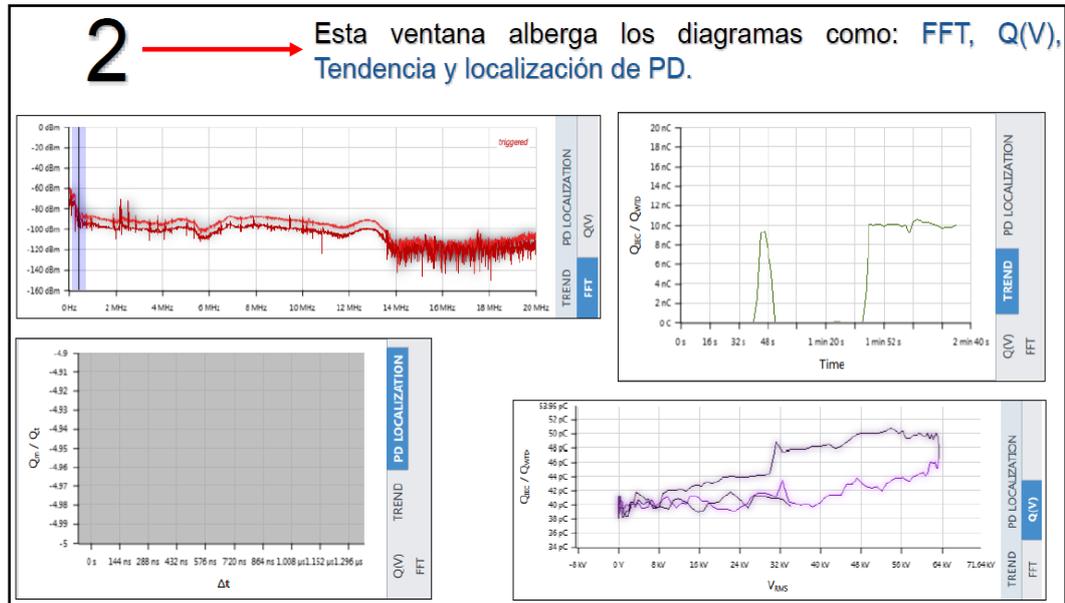
Figura 35: Ventana inferior derecha MPD 800



Elaboración Propia

– Ventana inferior izquierda

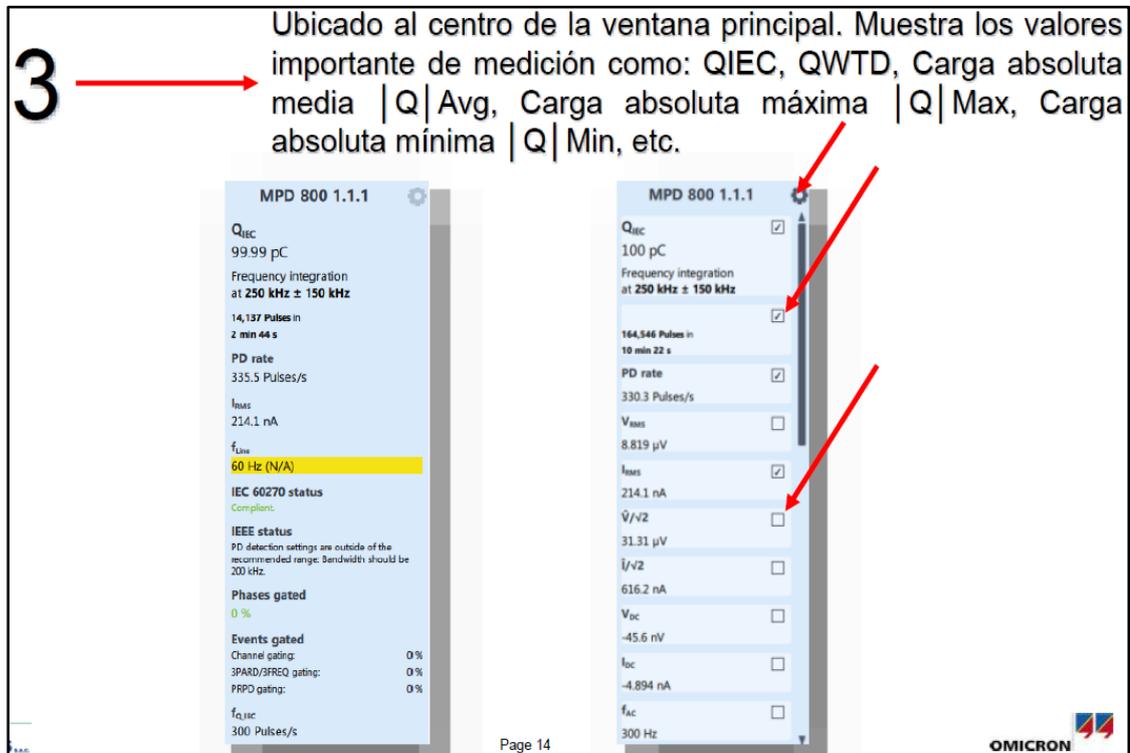
Figura 36: Ventana inferior derecha MPD 800



Elaboración Propia

– Ventana de medidas

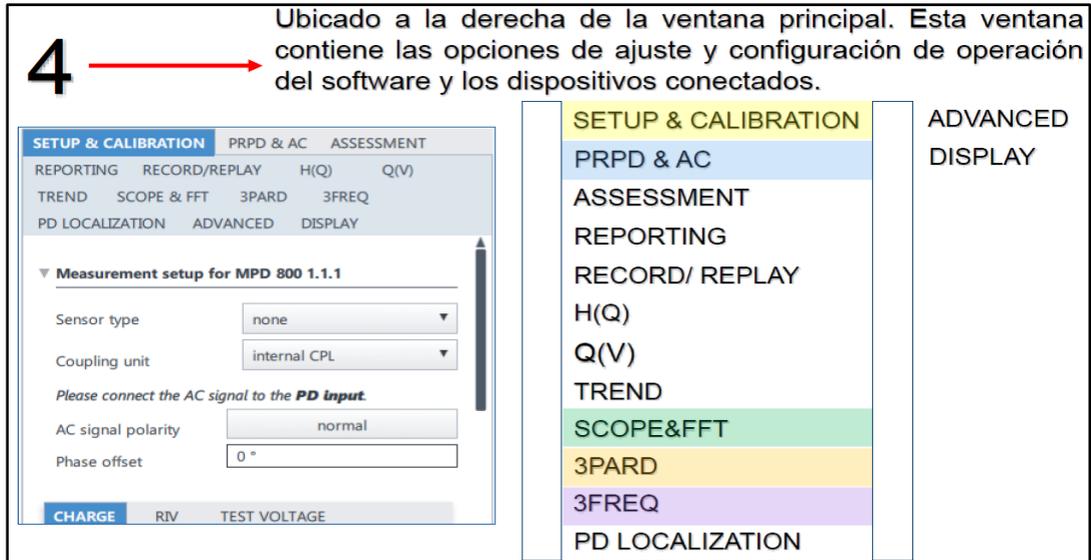
Figura 37: Ventana de medidas MPD 800



Elaboración Propia

– Panel de control

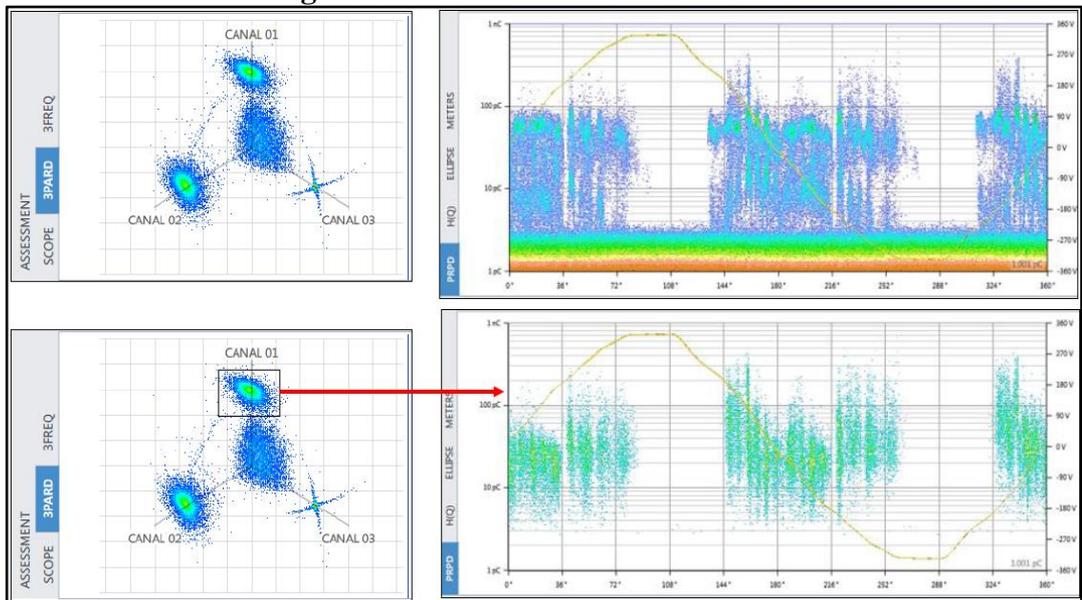
Figura 38: Ventana de medidas MPD 800



Elaboración Propia

– Panel de control 3PARD

Figura 39: Ventana de medidas MPD 800



Elaboración Propia

4.2. APLICACIÓN DE TENSIONES DE PRUEBA

4.2.1. Medición de descargas parciales en la fase R

El voltaje de prueba para la medición de DP del sistema de control del equipo comienza en 1 kV y aumenta gradualmente cada 1000 V hasta alcanzar el voltaje nominal. El tiempo de aplicación de la tensión de prueba se realizó con aprox. intervalos de un minuto durante los cuales se observó un aumento gradual en la liberación fraccionada.

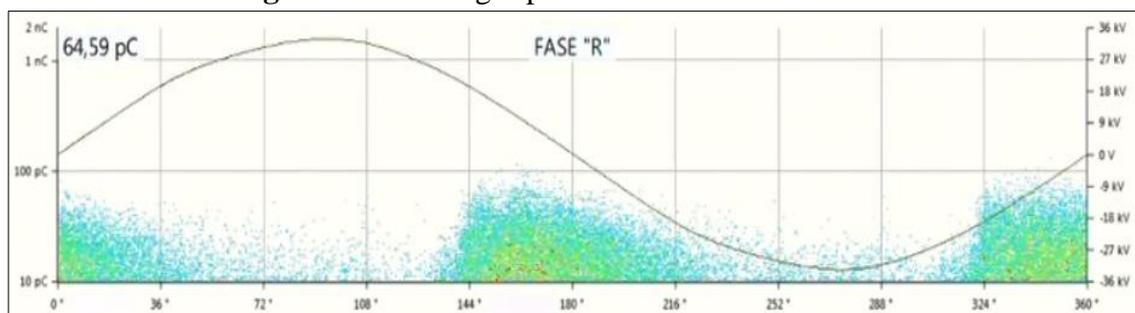
Tabla 5: Resultados obtenidos en la fase R

Ítem	DP Voltage (kV)	Qm (pC)	Frecuencia (MHz)
1	1	70.02	4
2	5	72.6	6
3	7	75.4	8
4	9	79.2	10
5	12	85.7	11
6	18	87.9	12
7	20	91.6	13
8	24	92.89	14
9	32	95.7	15

Fuente: Resultados obtenidos por equipo MPD 800

En la figura 40, se observa que a una tensión de 9kV se observa algunos pulsos mínimos de descargas parciales, se registró 79.2pC, aunque la magnitud es muy baja. Con la medición de diferentes valores de tensión se puede evidenciar un comportamiento similar tanto para los pulsos con polaridad negativa, como para los pulsos de polaridad positiva.

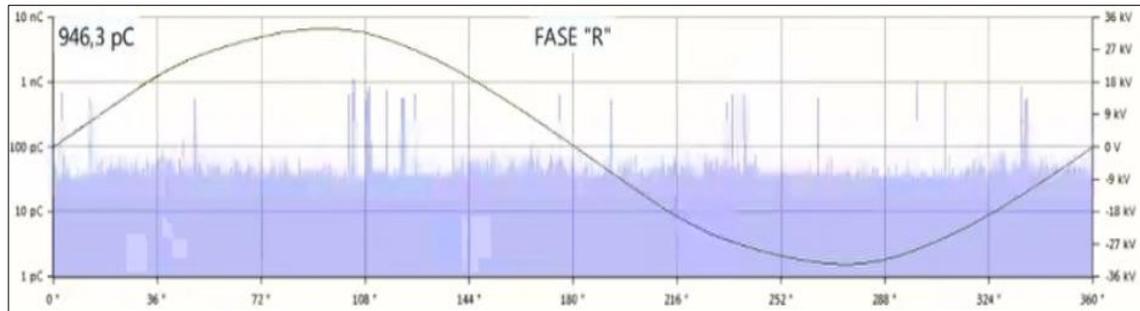
Figura 40: Descargas parciales medidas en la fase R



Fuente: Resultados obtenidos por equipo MPD 800

Las descargas parciales en la fase R, presentan antes de los picos de voltaje de la onda senoidal. En este caso se tienen un pequeño número de descargas en un medio ciclo y en el otro un gran número de descargas de magnitudes pequeñas.

Figura 41: Ajuste de parámetros en diagrama PRPD



Fuente: Resultados obtenidos por equipo MPD 800

4.2.2. Medición de descargas parciales en la fase S

La instalación del equipo MPD800 para el desarrollo de la prueba de Descargas Parciales, se inicia a aplicar la rutina de tensión según la descripción de la norma IEC 60270 para la prueba de DP. Según las tensiones se observa que el valor en pC aumenta a diferencia de las demás fases.

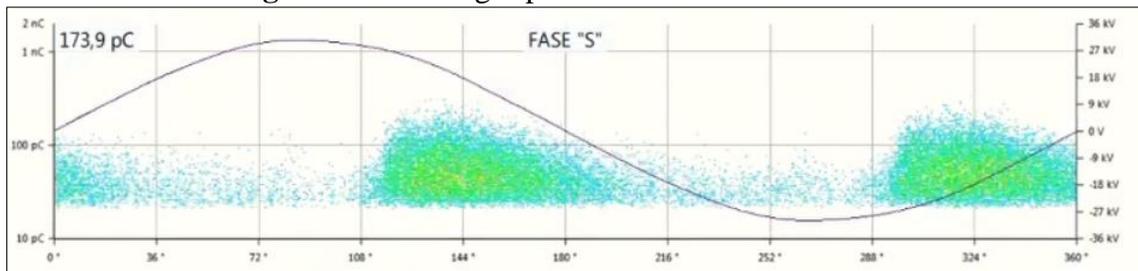
Tabla 6: Resultados obtenidos en la fase S

Ítem	DP Voltaje (kV)	Qm (pC)	Frecuencia (MHz)
1	1	141.2	4
2	5	142.8	6
3	7	150.1	8
4	9	160.8	10
5	12	168.9	11
6	18	169.3	12
7	20	173.9	13
8	24	175.9	14
9	32	179.2	15

Fuente: Resultados obtenidos por equipo MPD 800

Se muestra en la figura 42 la distribución de pulsos para el cable de media tensión 4.16kV de la fase S, los cuales muestra un incremento ligero de inicios de descarga parcial en la fase S, el valor obtenido es 173.9 pC, lo cual refleja la diferencia que existe entre las demás fases.

Figura 42: Descargas parciales medidas en la fase S

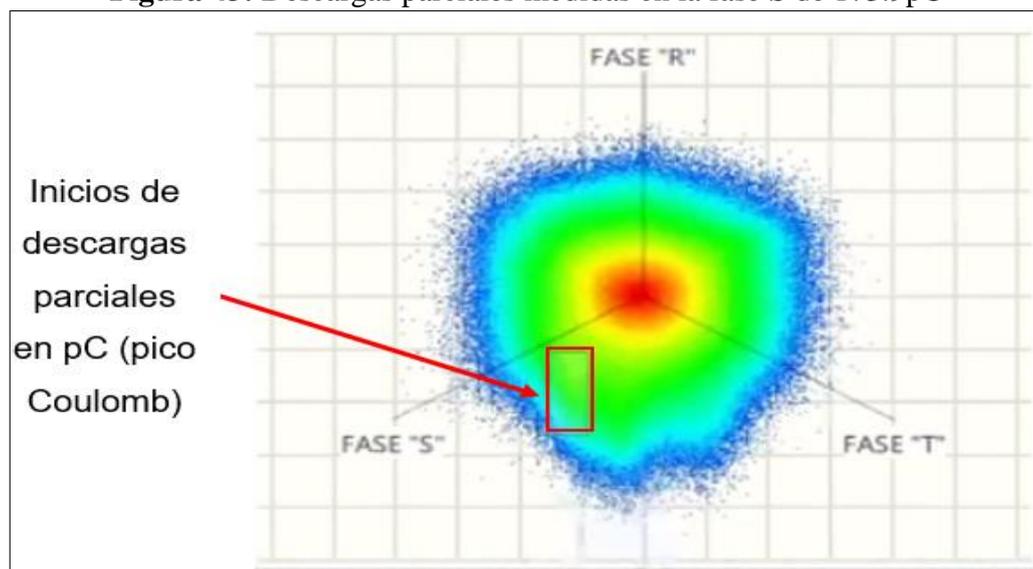


Fuente: Resultados obtenidos por equipo MPD 800

Los 3PRD entre conductores y aisladores muestran patrones de descarga característicos entre los conductores y los aisladores debido a la presencia de aire, y estas descargas provocan la de laminación.

Estas descargas son causadas por sobrecalentamiento y tensión mecánica en el aislamiento del cable.

Figura 43: Descargas parciales medidas en la fase S de 173.9pC



Fuente: Resultados obtenidos por equipo MPD 800

La tasa de repetición de la misma descarga es un dato más importante que su tamaño nC , porque su persistencia en realidad determina la severidad del defecto (duración de la descarga = calor en el defecto = formación de carbón en el defecto = probabilidad de falla).

4.2.3. Medición de descargas parciales en la fase T

En la siguiente tabla se tiene los valores en pico Coulomb cuyos valores están dentro de los parámetros según norma IEC 60270.

Con el propósito de interpretar las fuentes de descargas parciales, se analizaron por fases R, S y T para diferentes niveles de tensión y frecuencia.

Existiendo una gran cantidad de factores que pueden influir en la aparición de descargas parciales en cables de media y alta tensión, en este trabajo se analizaron unas algunos de ellos.

Tabla 7: Resultados obtenidos en la fase T

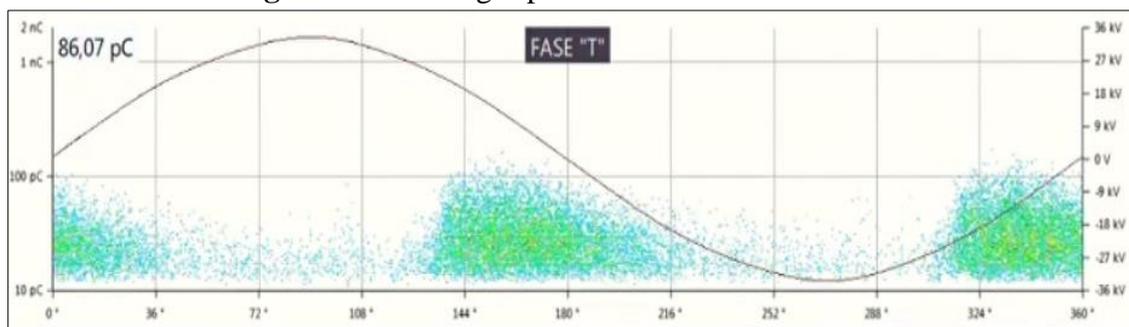
Ítem	DP Voltage (kV)	Qm (pC)	Frecuencia (MHz)
1	1	75.4	4
2	5	76.3	6
3	7	75.4	8
4	9	80.9	10
5	12	81.5	11
6	18	84.12	12
7	20	85.96	13
8	24	89.57	14
9	32	92.45	15

Fuente: Resultados obtenidos por equipo MPD 800

La figura 44 no se tiene inicios de descargas parciales en el cable de media tensión, el valor es de 86.07 pC. Valores mayores a 30nC son críticos ya que requiere de un monitoreo más frecuente en otros casos requiere cambio de cable. Así como las pruebas de factor de potencia donde se evalúa el aislamiento también indicar que este tipo de pruebas son comparativas.

Como recomendación cada vez que se realice pruebas de descarga parcial en cables de media tensión, el análisis tiene que realizarse con los mismos ajustes que se midió antes. Además, el ancho de banda, factor de calibración tendrá que tener los mismos valores.

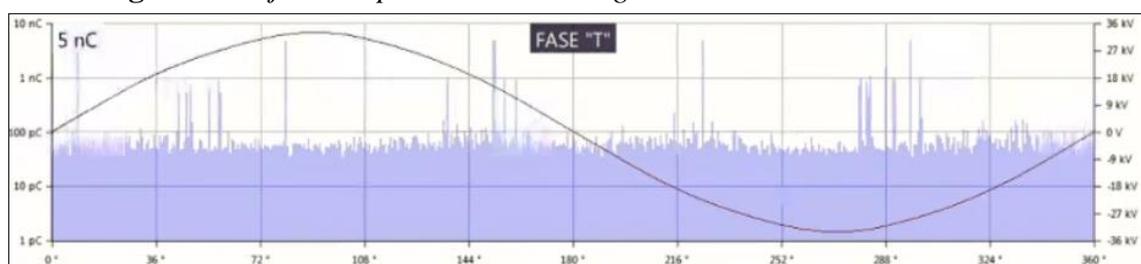
Figura 44: Descargas parciales medidas en la fase T



Fuente: Resultados obtenidos por equipo MPD 800

En el diagnóstico del cable de media tensión 4.16kV se puede concluir que las fases R y T no presentan inicios de descargas parciales. En la fase S se tiene una ligera descarga parcial interna debido al desgaste de aislamiento que con el tiempo se van agrietando y/o debilitando el cuerpo aislante. Esta anomalía se presenta en el diagrama 3PARD.

Figura 45: Ajuste de parámetros en diagrama PRPD



5. Fuente: Resultados obtenidos por equipo MPD 800

4.3. ANÁLISIS DE RESULTADO

La mayor aporte o contribución del presente trabajo de investigación se enfoca en el desarrollo de pruebas de descargas parciales en campo. Como sabemos no existe una norma o estándar con valores que indiquen cual debería ser el valor correcto. Para las mediciones realizadas en las fases del cable de 4.16kV se escaló la información en tiempo y frecuencia de la señal de Descargas Parciales, para estimar posteriormente el punto de ocurrencia de la descarga en base al concepto de normativa.

En este trabajo de investigación se analizaron diferentes pulsos de descarga parcial con diferentes tensiones y frecuencias. Los resultados obtenidos mostraron cambios significativos en la localización de fallas de aislamiento.

Las descargas parciales que se producen, tanto en el semiciclo positivo y negativo, estas varían debido a que los efectos que posee cada aislante son distintos, siendo esto muy importante para poder identificar los distintos fenómenos individuales que ocurran en el sistema de aislamiento. Las descargas parciales tienen efectos nocivos sobre el medio ambiente en el que se producen.

4.4. DISCUSIÓN

En la investigación de Pedraza (2021), realizó pruebas a cables de potencia en la Red General de Distribución Subterránea de Media Tensión (23 KV), en tres diferentes casos: Falla en cable usado XLPE entre dos subestaciones, Falla en cable usado combinado XLPE-PILC y Falla en cable nuevo en trayectoria entre Subestación Eléctrica y Transición de salida de circuito; mediante pruebas de Detección de descargas parciales por los métodos: Coseno Rectangular, DAC Negativo, VLF Seno y Tangente Delta. Llegando a la conclusión de que es de gran importancia el desarrollo de pruebas antes de la puesta en servicio para garantizar el buen funcionamiento del Red General de Distribución Subterránea. En cambio, en nuestro presente trabajo ejecutamos la prueba



de manera experimental en campo donde llegamos a la conclusión de que la aplicación de la prueba de descargas parciales en campo es una influencia positiva para el mantenimiento preventivo de cables de media tensión que alimentan a motores de 4.16Kv en los relaves de la unidad minera Constanca.

En la investigación de Mor (2012), la influencia de cable de media tensión sobre el propio circuito de medida, considerando que el cable se comporta como una línea de transmisión. Las mediciones con sensores conectados al campo magnético mostraron que la resistencia característica del cable de media tensión y los condensadores de alta tensión instalados tiene una gran influencia en la frecuencia límite inferior del sistema de medición, la incertidumbre de la carga es grande. Sin embargo, las mediciones realizadas con sensores acoplados a campos eléctricos pueden tener frecuencias de corte más bajas del sistema de medición y una ganancia unitaria por debajo de 10 kHz, lo que aumenta significativamente la incertidumbre. En nuestro presente trabajo ejecutamos la prueba de manera experimental en campo donde se consideraron valores de tensión y frecuencia en rangos de 1kV hasta 20kV y frecuencia de 1MHz hasta 15MHz. Con los valores de prueba llegamos a la conclusión de que la aplicación de la prueba de descargas parciales a cables de media tensión en 4.16kV es un método predictivo de análisis de fallas en los aislamientos de dichos cables.



V. CONCLUSIONES

- Al término de la presente tesis se puede concluir que no se tiene fallas de aislamiento en los cables de media tensión de 4.16kV que alimentan motores de 450HP, utilizando equipo MPD800 que permiten asegurar que esta técnica de medición de DP es fiable.
- El estado de aislamiento de los conductores de las fases R y T se encuentran en buen estado ya que no hay señales de DP, sin embargo, en el conductor de la fase S se presenciaron ligeras señales de DP internas, debido a pequeños desgastes del aislamiento que con el tiempo irán agrietando y debilitando el cuerpo aislante.
- Se logró obtener gráficas y curvas de las mediciones de DP las cuales serán utilizadas para predecir futuras fallas del aislamiento.
- Se logró obtener una base de datos para el seguimiento de las mediciones y hacer comparaciones de la variación de los distintos parámetros en la próxima medición de DP, así poder predecir futuras fallas y programar un mantenimiento predictivo o preventivo.



VI. RECOMENDACIONES

- Realizar prácticas de inspección periódicas, las cuales permiten diagnosticar el estado del aislamiento de los conductores de MT, en base a los resultados de esta prueba.
- Documentar los resultados obtenidos en este proyecto de tesis que será el punto de partida para llevar un historial de las distintas pruebas periódicas programadas y así poder predecir fallas futuras en función a la variación de los distintos parámetros de medición.
- Una vez localizado el punto de falla en la Fase S, Se debe realizar una evaluación para determinar las acciones necesarias así poder evitar o disminuir el aumento de las lesiones asociadas.
- Cada vez que se realice pruebas de descarga parciales en cables de media tensión, el análisis tiene que realizarse con los mismos ajustes (ancho de banda, factor de calibración, frecuencia, tensión) que se midió antes.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

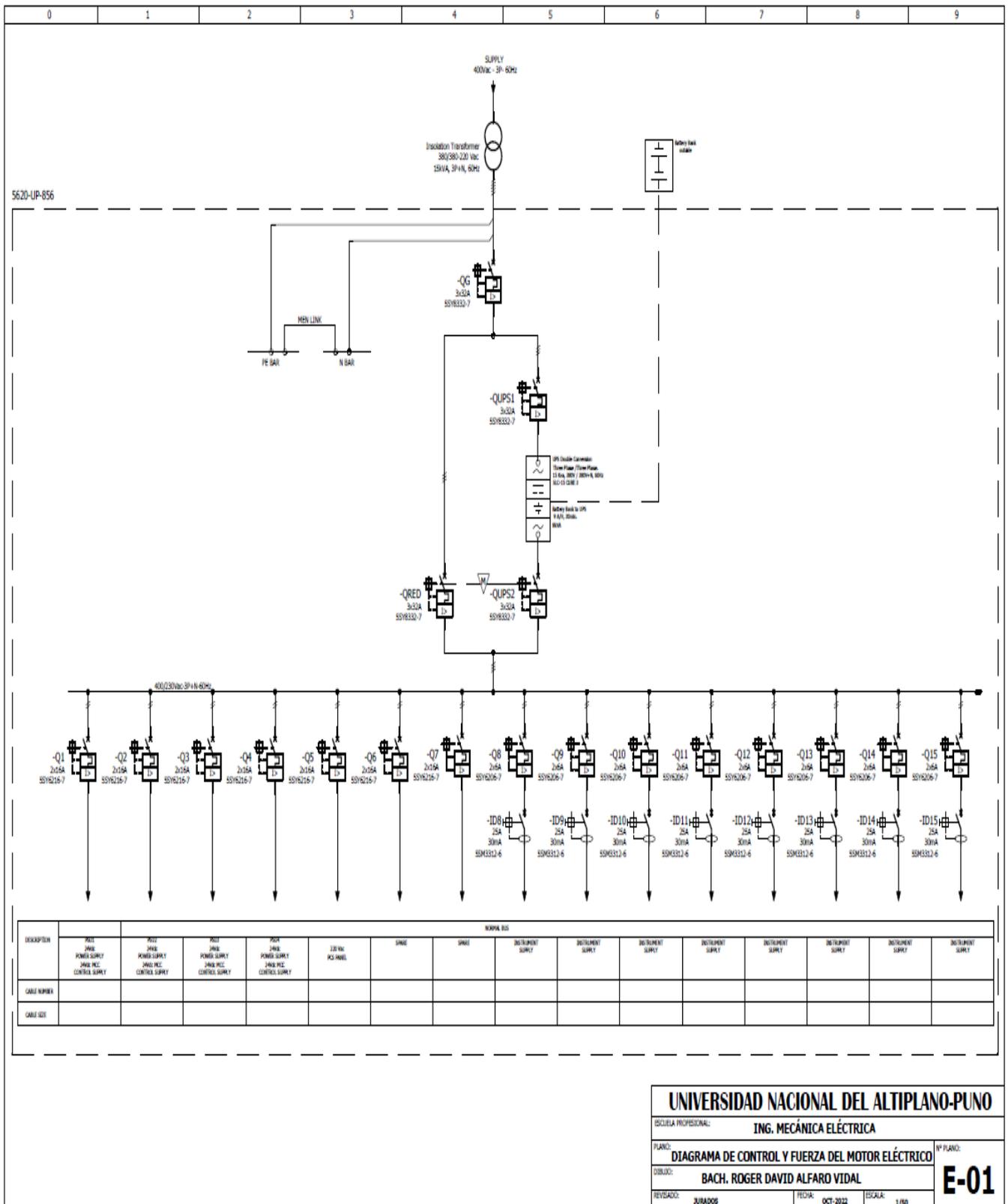
- Aenor, U. (2002). *Técnicas de ensayo en alta tensión medidas de las descargas parciales*. Madrid: Asociación Española de Normalización y Certificación.
- Aguirre, L. C. (2003). *Montaje de la prueba de descargas parciales como técnica para el diagnóstico del aislamiento en cables eléctricos*. Colombia: Universidad del Valle.
- Alejos, E. (2019). *Modelamiento de descargas parciales en subestaciones industriales en SF6 para mejorar la confiabilidad del servicio utilizando predicción basada en interferencia electromagnética*. Madero: Tecnológico Nacional de México.
- Ardilla, J. (2014). *Separación de fuentes de descargas parciales y ruido eléctrico mediante análisis de potencia espectral en alta frecuencia*. Madrid: Universidad Carlos III de Madrid.
- Boldrini, O. (2018). *Evaluación de la calidad del aislamiento en terminaciones de línea de transmisión subterránea en 69kV de CV- Congata Poer Line -Planta Headworks a partir de Hipot VLF (Very Low Frequency)*. Arequipa: Universidad Nacional San Agustín.
- Canchanya, J. (2009). *Análisis de la repercusión del campo eléctrico en las pruebas de aislamiento a transformadores de corriente*. Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Castillo, A. (2018). *Aplicación, análisis y diagnóstico del monitoreo en línea de descargas parciales en el aislamiento de motores anillo de gran potencia (24MW/16 MW) que accionan molinos Gearless mil drive GMD*. Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín.
- Ensys, E. (2021). *Introducción, historia y teoría de las mediciones de descargas parciales*. Omicron Electronics GmbH, 40.
- Ferrer, A. (2021). *Detección de descargas parciales en el sistema aislante de los motores eléctricos como técnica de mantenimiento predictivo*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.

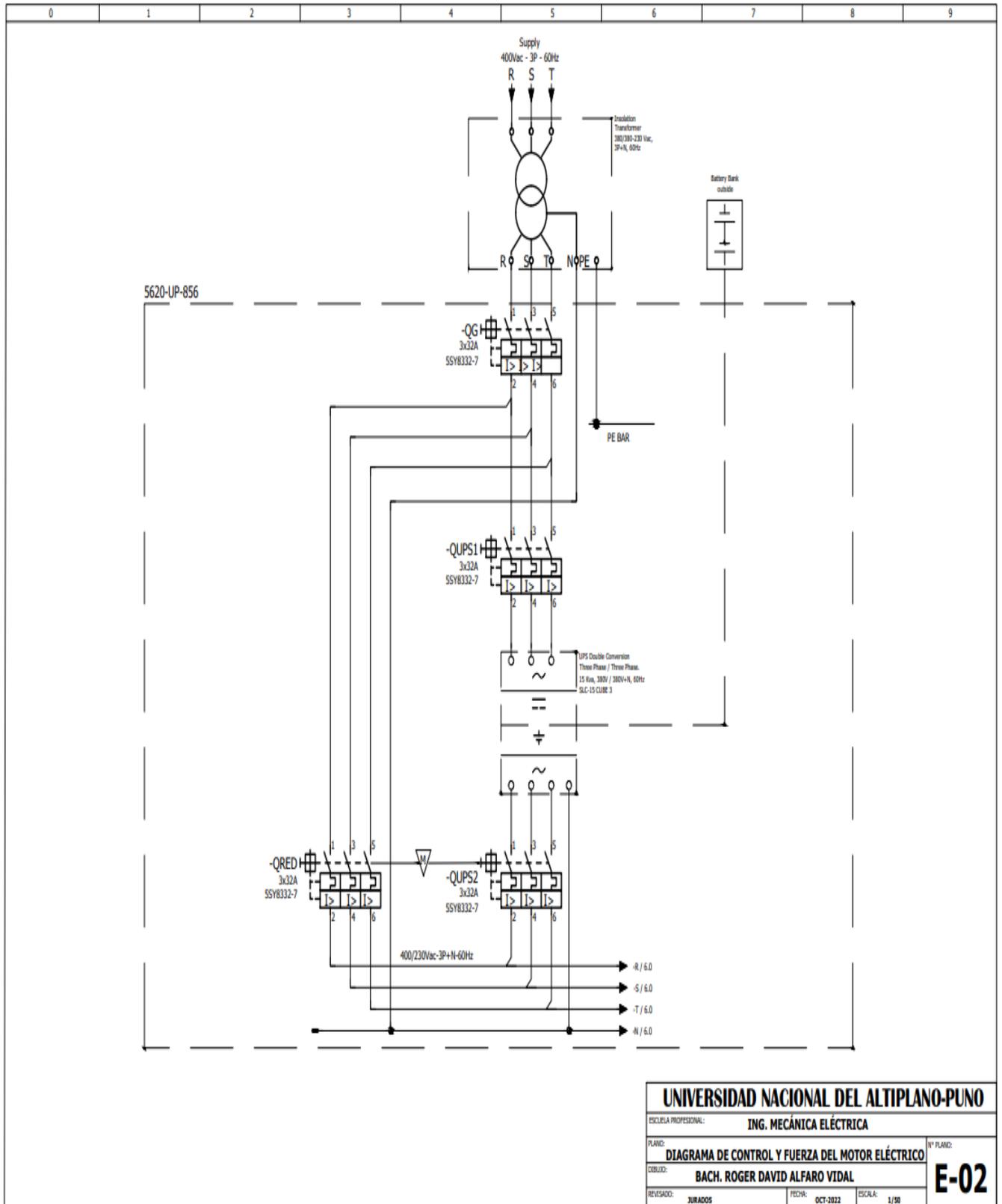


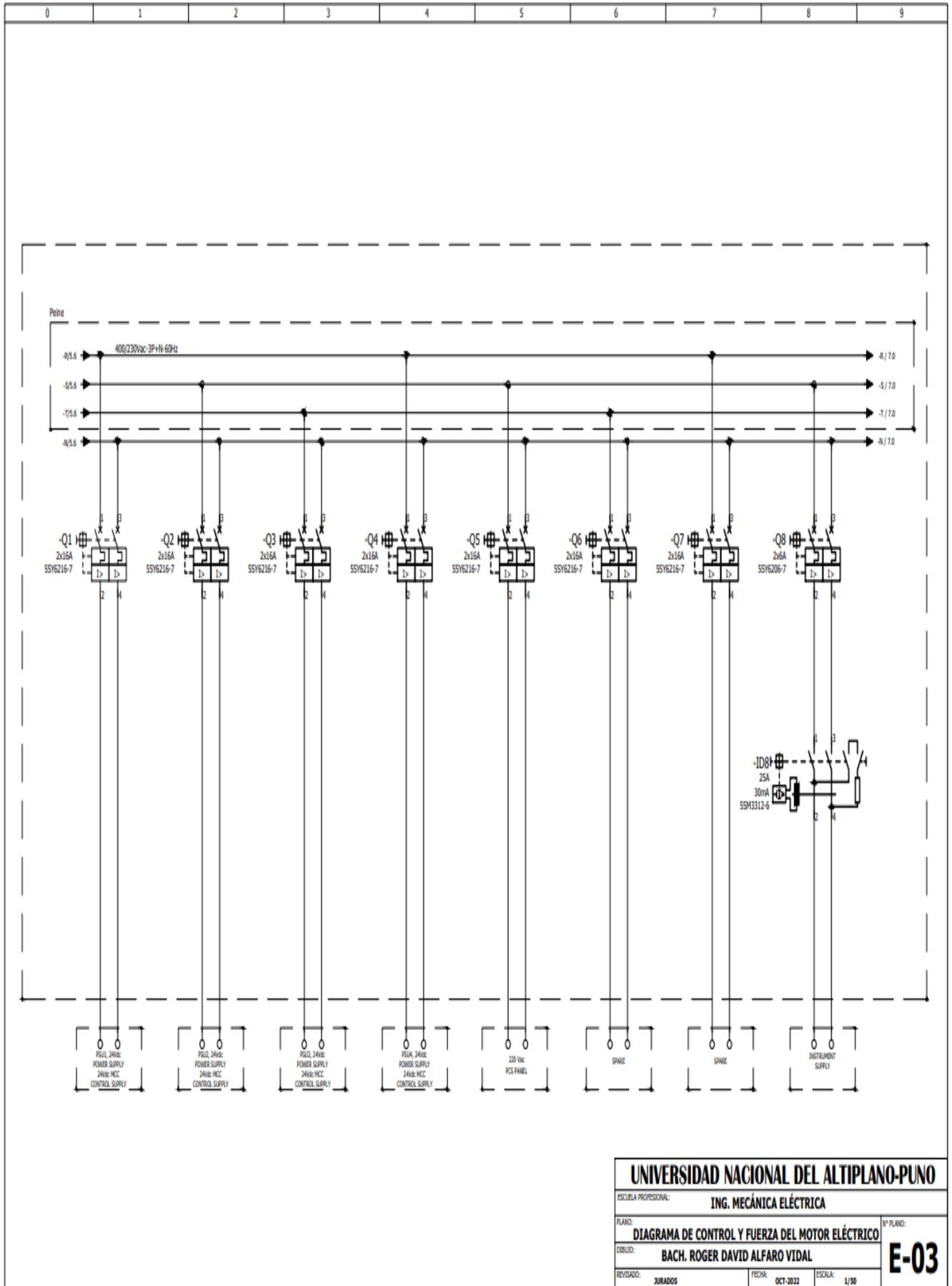
- Hernandez, R. (2014). *Metodología de la investigación*. México: Mc Graw Hill Educatio, sexta edición.
- Martinez, S. (2017). *Análisis de patrones de fuentes de descargas parciales para el diagnóstico en transformadores eléctricos*. Colombia: Universidad Tecnologica de Pereira.
- Mor, A. (2012). *Nueva metodología de la medida de descargas parciales en cables de alta tensión*. Valencia: Universidad Politecnica de Valencia.
- Omicron, E. (2018). Medición y análisis de DP un método de diagnóstico confiable para detectar defectos en el sistema de aislamiento de los activos electricos. . *Análisis de Descargas parciales con Omicron*, 8.
- Pedraza, R. (2021). *Estrategia para el mantenimiento a la red general de distribucion subterránea en base ala predicción, utilizando descargas parciales*. Puebla: Universidad Autonoma de Puebla.
- Peña, M. L. (2018). Sistema para detección y aislamiento de fallas. *Revista Cubana de Ciencias Informaticas*, 58-73.
- Pico, F. (2017). *Desarrollo de un sistema de medida de descargas parciales para motores de baja tension*. Valencia: Universidad Politecnica de Valencia.
- Young, Z. (2009). *Fisica universitaria con fisica Moderna, Volumen 2*. Mexico: Pearson Educacion.

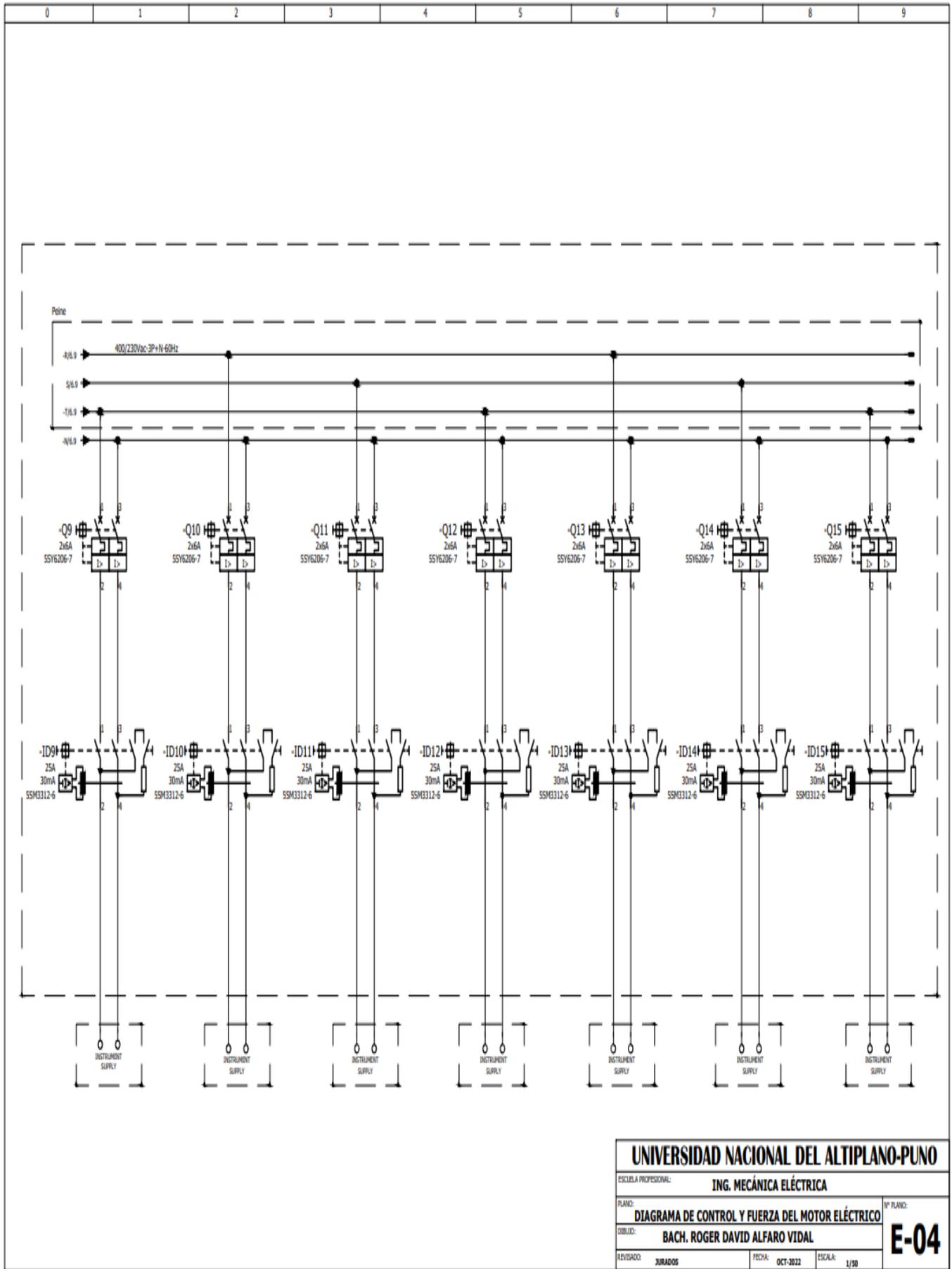


ANEXO N°02: Diagrama de control y fuerza motor eléctrico.

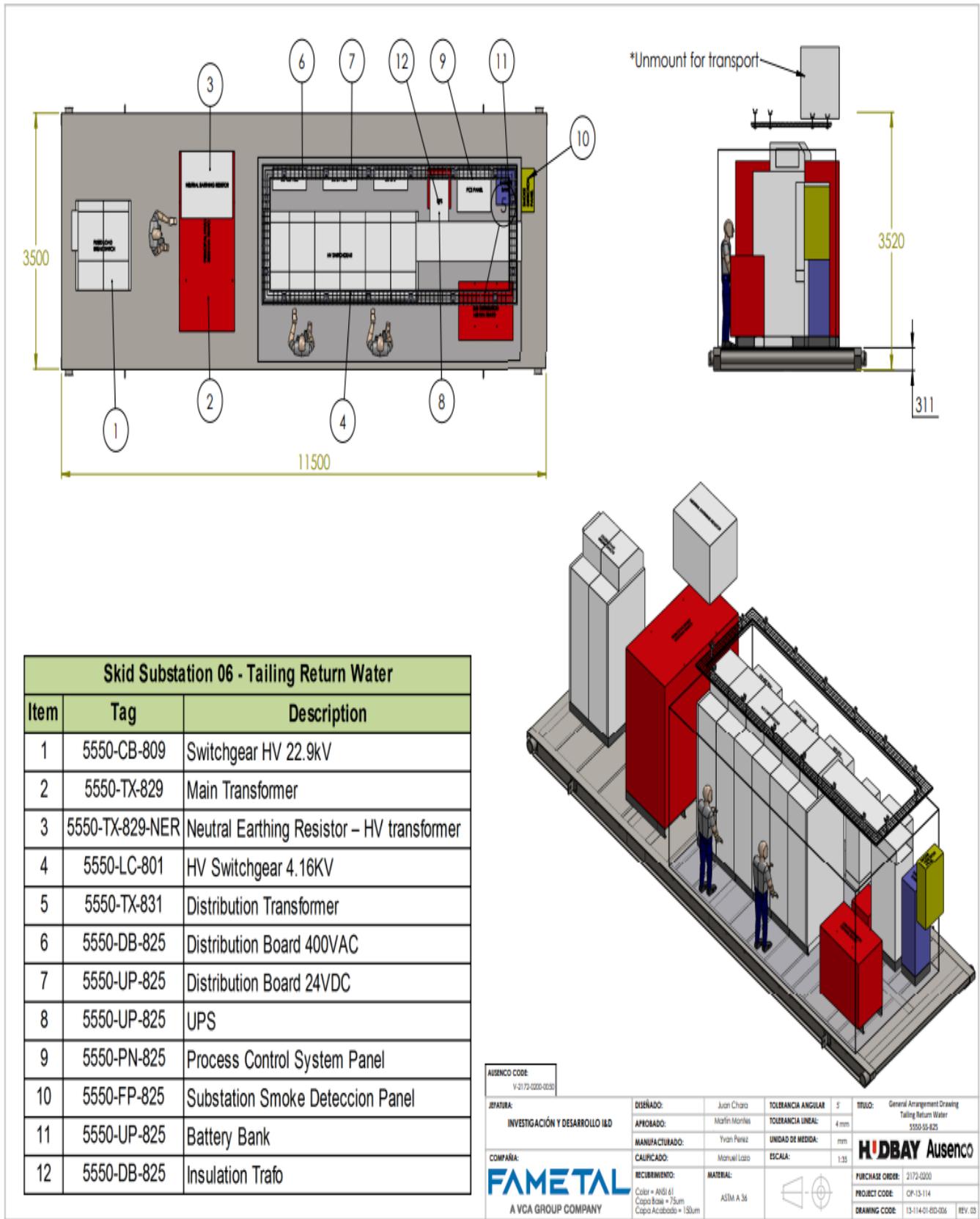


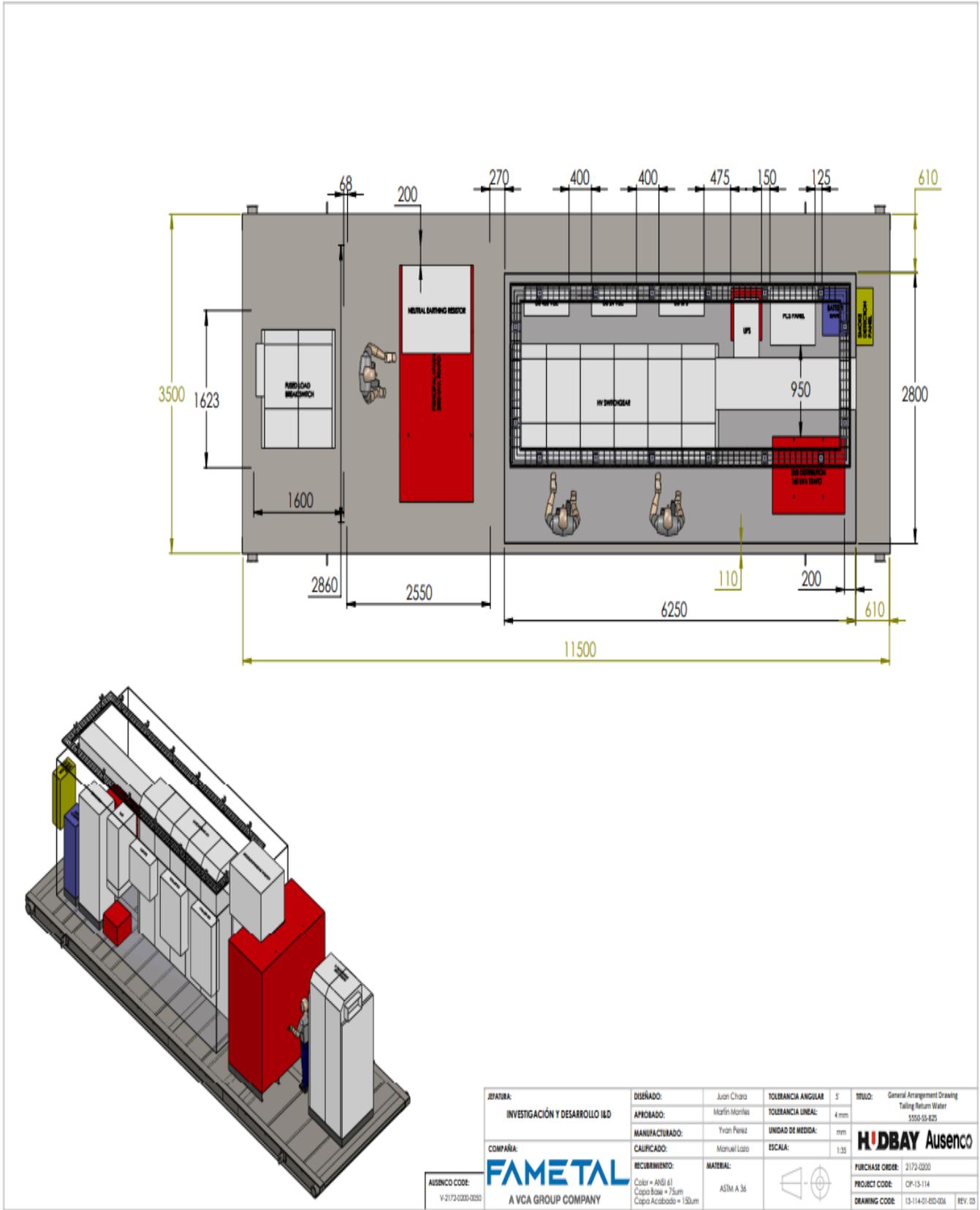






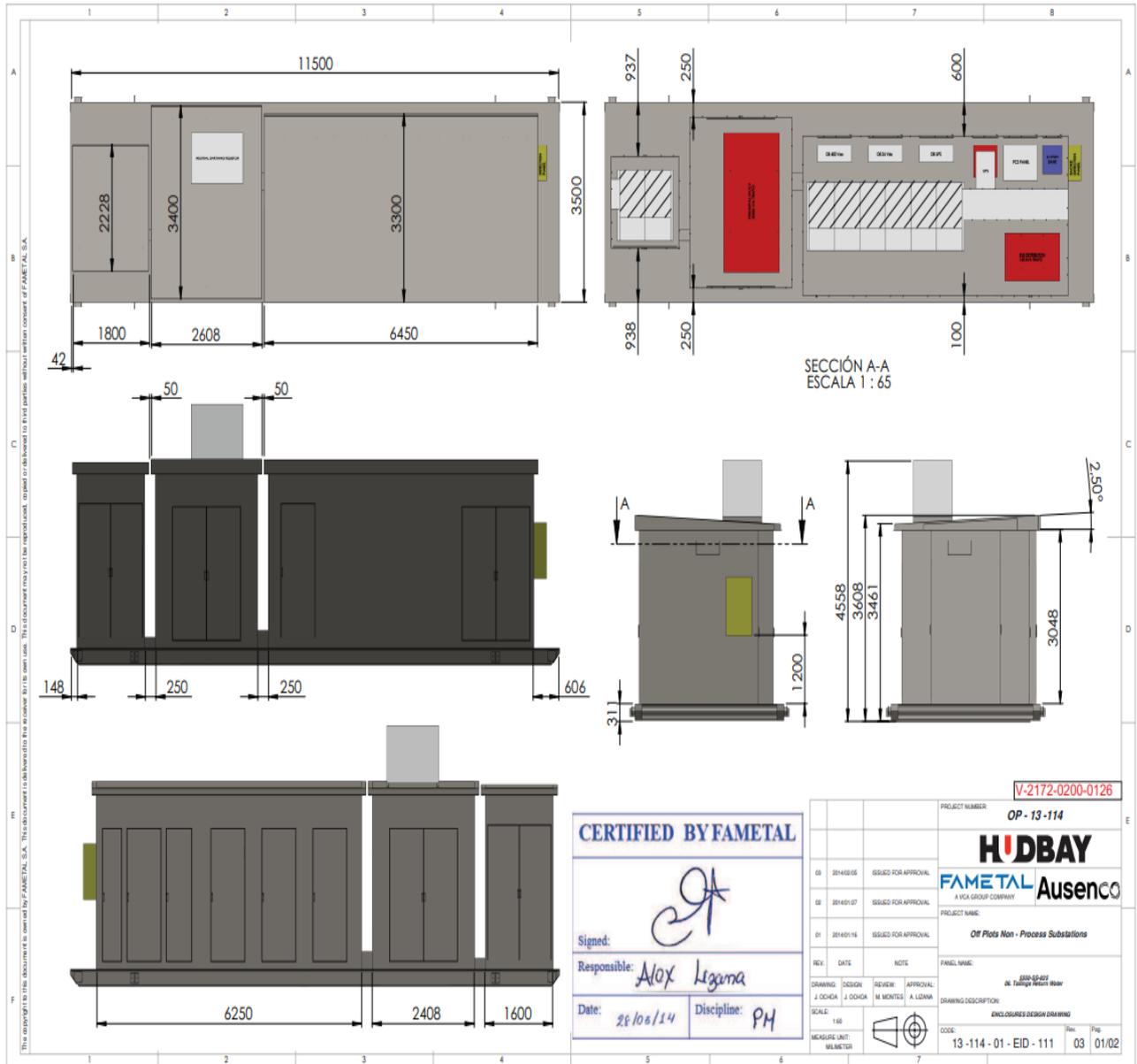
ANEXO N°03: Detalle de planos de subestación Skid.

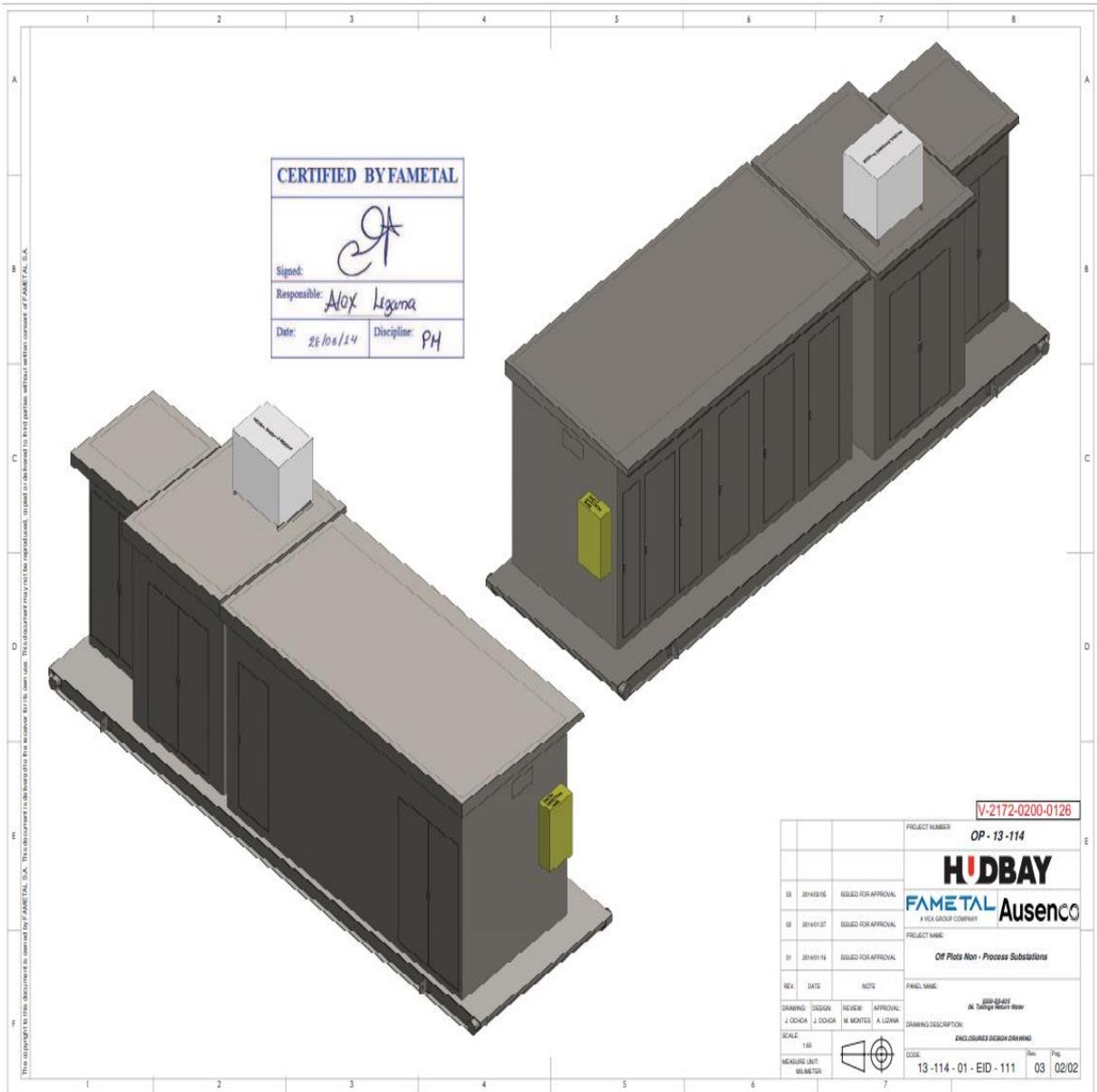




JEFAURA: INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO I&D	DISEÑADO: Juan Chara	TOLERANCIA ANGULAR: 5	TITULO: General Arrangement Drawing Tailing Return Water 5350-03-025
	APROBADO: Marlin Morillas	TOLERANCIA LINEAL: 4 mm	
	MANUFACTURADO: Yvan Perez	UNIDAD DE MEDIDA: mm	
COMPANIA: FAMETAL A VCA GROUP COMPANY	CAUFICADO: Manuel Lazo	ESCALA: 1:32	HIDBAY Ausenco
AUSENCO CODE: V-2172-0200-0205	RECUBRIMIENTO: Color = ANSI 61 Capa Base = 75um Capa Acabado = 150um	MATERIAL: ASTM A 36	PURCHASE ORDER: 2172-0200
			PROJECT CODE: OP-13-114
			DRAWING CODE: 13-114-01-810-026
			REV. 03

ANEXO N°04: Detalle de planos de subestación Skid Versión II.





ANEXO N°05: Características técnicas de cable de media tensión N2XSEY.

CABLES TRIPOLARES N2XSEY

3,6/6 kV Hasta 18/30 kV 90°C



CENKELSA N2XSEY Cu 90°C 18/30 kV XLPE/PVC SR

Descripción:

Cables aislados con tecnología de triple extrusión simultánea y curado en seco (libre de humedad). La cubierta presenta excelente resistencia a los rayos solares (UV), retardante a la llama según NTP-IEC 60332-1, resistente a la abrasión, calor, humedad, ácidos y grasas.

- 1. Conductor:** Cobre temple suave (100% IACS), cableado comprimido o compactado.
- 2. Semiconductor:** Pantalla extruida sobre el conductor para radializar el campo eléctrico.
- 3. Aislamiento:** Polietileno reticulado (XLPE-TR).
- 4. Semiconductor:** Pantalla extruida sobre el aislante para confinar el campo eléctrico.
- 5. Pantalla:** Pantalla metálica en cintas y/o alambres de cobre electrolítico sobre cada fase.
- 6. Cubierta interior:** Cubierta interior de PVC.
- 7. Cubierta:** Cubierta de policloruro de vinilo (PVC).

Tensión de operación (U/U₀):

3,6/6 kV, Sección mínima 10 mm²,
6/10 kV, Sección mínima 16 mm²,
8,7/15 kV, Sección mínima 25 mm²,
12/20 kV, Sección mínima 35 mm²,
18/30 kV, Sección mínima 50 mm².

Temperatura de Operación:

90°C.

En condiciones de Emergencia:

130°C.

En condiciones de cortocircuito:

250°C.

Instalación: Vertical u horizontal en bandejas, ductos, cámaras, canalizaciones e inclusive enterrado directo.

Aplicaciones: Sistemas de distribución de energía subterránea en sitios secos o húmedos, interiores o al aire libre. Alimentadores de los transformadores en centro de distribución de energía eléctrica en media tensión, subestaciones, centrales eléctricas e instalaciones mineras como cables para piques de instalación vertical.

Norma de Fabricación:

NTP-IEC 60502-2 / CABLES PARA TENSIONES NOMINALES DE 6 kV (U₀ = 7,2 kV) HASTA 30 kV (U₀ = 36 kV).

NTP-IEC 60228 / CONDUCTORES PARA CABLES AISLADOS.

NTP-IEC 60332-1-2 / ENSAYO DE RESISTENCIA A LA PROPAGACIÓN VERTICAL DE LA LLAMA - 1 kW.

UL 2556 / MÉTODOS DE ENSAYO PARA ALAMBRE Y CABLE. ENSAYO DE PROPAGACIÓN DE LLAMA FT-1 (MUESTRA VERTICAL).

UL 2556/ MÉTODOS DE ENSAYO PARA ALAMBRE Y CABLE. ENSAYO DE RESISTENCIA A LOS RAYOS SOLARES EN ARCO XENÓN/ARCO CARBÓN.

Requerimientos Especiales:

- Cubierta libre de halógenos (SIN TÓXICOS) "**N2XSE0H**".
- Cubierta en polietileno termoplástico (PE) "**N2XSE2Y**".
- Armadura de hilos de acero (SWA) para protección mecánica y FS mayores a 4 y anti-raedor "**N2XSR7**".
- Cintas bloqueadoras contra la humedad (Water-Blocking).
- Pantalla metálica de sección especial (Icc-kA).
- Conductor desnudo para tierra.

Colores:



Voltaje máximo de operación Apto para bandeja pasiva Retardante a la llama Temperatura máxima de operación Fácil preparación Apto para enterrado directo Resistente a la intemperie

Cables Media Tensión

Cable de Media Tensión para sistemas de distribución subterránea.



CABLES TRIPOLARES N2XSEY 3,6/6 kV 90°C



CABLES N2XSEY 90°C 3,6/6 kV

Conductor			Diámetro Conductor	Espesor Aislamiento	Espesor Cubierta	Diámetro Exterior Aproximado	Peso Total Aproximado	Reactancia Inductiva X_L
Sección	Resistencia DC a 20°C	Resistencia AC a 90°C						
No. x mm ²	Ω/km	Ω/km	mm	mm	mm	mm	kg/km	Ω/km
3x16	1,176	1,424	4,56	2,5	2,0	30,6	1434	0,142
3x25	0,706	0,901	5,86	2,5	2,1	33,4	1799	0,132
3x35	0,509	0,649	6,90	2,5	2,1	35,8	2191	0,126
3x50	0,375	0,479	7,97	2,5	2,2	38,8	2707	0,119
3x70	0,260	0,332	9,58	2,5	2,4	42,6	3509	0,114
3x95	0,187	0,240	11,29	2,5	2,5	46,9	4646	0,109
3x120	0,149	0,191	12,81	2,5	2,5	50,4	5578	0,106
3x150	0,120	0,155	14,29	2,5	2,7	53,5	6587	0,102
3x185	0,096	0,124	15,92	2,5	2,8	57,6	7778	0,099
3x240	0,073	0,096	18,25	2,5	3,0	62,7	9836	0,096

Notas:

Los datos aquí registrados son nominales y están sujetas a las tolerancias según las normas y las prácticas normales de fabricación. Otras configuraciones y calibres no especificados en este catálogo, están disponibles bajo pedido.

Cables Media Tensión

Cable de Media Tensión para sistemas de distribución subterránea.



**CABLES TRIPOLARES
N2XSEY
8,7/15 kV 90°C**



CABLES N2XSEY 90°C 8,7/15 kV

Conductor			Diámetro Conductor	Espesor Aislamiento	Espesor Cubierta	Diámetro Exterior Aproximado	Peso Total Aproximado	Reactancia Inductiva X_L
Sección	Resistencia DC a 20°C	Resistencia AC a 90°C						
No. x mm ²	Ω /km	Ω /km	mm	mm	mm	mm	kg/km	Ω /km
3x25	0,706	0,901	5,86	4,5	2,4	41,6	2461	0,161
3x35	0,509	0,649	6,90	4,5	2,4	44,1	2909	0,143
3x50	0,375	0,479	7,97	4,5	2,6	47,5	3508	0,138
3x70	0,250	0,332	9,58	4,5	2,7	51,2	4395	0,129
3x95	0,187	0,240	11,29	4,5	2,8	55,2	5473	0,125
3x120	0,149	0,191	12,81	4,5	2,9	58,6	6498	0,119
3x150	0,120	0,155	14,23	4,5	3,0	61,7	7521	0,115
3x185	0,095	0,124	15,92	4,5	3,1	65,7	8939	0,110
3x240	0,073	0,095	18,25	4,5	3,3	71,0	11086	0,106

Notas:

Los datos aquí registrados son nominales y están sujetos a las tolerancias según las normas y las prácticas normales de fabricación. Otras configuraciones y calibres no especificados en este catálogo, están disponibles bajo pedido.

Cables Media Tensión

Cable de Media Tensión para sistemas de distribución aérea.



CABLES TRIPOLARES NA2XSA2Y-S

8,7/15 kV Hasta 18/30 kV 90°C



Descripción:

Cables aislados con tecnología de triple extrusión simultánea y curado en seco (libre de humedad) reunidos alrededor de un elemento portante formado por una cuerda de acero galvanizado (EHS) farrado con polietileno. La cubierta presenta excelente resistencia a los rayos solares (UV), resistente a la abrasión, calor y humedad. Baja emisión de humos y libre de halógenos.

- | | | |
|--|---|--|
| 1. Conductor: Aluminio duro 1350 cableado compacto. | 2. Semiconductor: Pantalla extruida sobre el conductor para radializar el campo eléctrico. | 3. Aislamiento: Polietileno reticulado (XLPE-TR). |
| 4. Semiconductor: Pantalla extruida sobre el aislante para confinar el campo eléctrica. | 5. Pantalla: Pantalla metálica en cinta de aluminio aplicada helicoidalmente. | 6. Cubierta interior: Cubierta de polietileno termoplástico (PE). |
| 7. Portante: Cuerda de acero galvanizado (EHS) farrado con PE. | | |

Tensión de operación (U₀/U_n):
8,7/15 kV, Sección mínima 25 mm².
18/30 kV, Sección mínima 50 mm².

Temperatura de Operación:
90°C.

En condiciones de cortocircuito:
250°C.

En condiciones de Emergencia:
130°C.

Instalación: Aérea.

Aplicaciones: Sistemas de distribución de energía aérea en sitios secos o húmedos, interiores o al aire libre. Alimentadores de los transformadores en centro de distribución de energía eléctrica en media tensión, subestaciones, centrales eléctricas, instalaciones mineras y zonas arboladas con poco espacio.

Norma de Fabricación:

NTP-IEC 60502-2 / CABLES PARA TENSIONES NOMINALES DE 6 kV (U₀ = 7,2 kV) HASTA 30 kV (U₀ = 36 kV).
NTP-IEC 60228 / CONDUCTORES PARA CABLES AISLADOS.
UL 2556 / MÉTODOS DE ENSAYO PARA ALAMBRE Y CABLE. ENSAYO DE RESISTENCIA A LOS RAYOS SOLARES EN ARCO XENÓN/ARCO CARBÓN.

Cables Media Tensión

Cable de Media Tensión para sistemas de distribución subterránea.



**CABLES TRIPOLARES
N2XSEY
18/30 kV 90°C**



CABLES N2XSEY 90°C 18/30 kV

Conductor			Diámetro Conductor	Espesor Aislamiento	Espesor Cubierta	Diámetro Exterior Aproximado	Peso Total Aproximado	Reactancia Inductiva X_L
Sección	Resistencia DC a 20°C	Resistencia AC a 90°C						
No. x mm ²	Ω/km	Ω/km	mm	mm	mm	mm	kg/km	Ω/km
3x50	0,375	0,479	7,97	8,0	3,1	65,1	5131	0,157
3x70	0,250	0,332	9,58	8,0	3,2	69,6	7113	0,149
3x95	0,187	0,240	11,29	8,0	3,4	73,3	8282	0,142
3x120	0,149	0,191	12,81	8,0	3,5	76,6	9054	0,136
3x150	0,120	0,155	14,23	8,0	3,6	79,6	10503	0,131
3x185	0,095	0,124	15,92	8,0	3,7	83,3	11991	0,127
3x240	0,073	0,096	18,25	8,0	3,9	88,7	14316	0,121

Notas:

Los datos aquí registrados son nominales y están sujetos a las tolerancias según las normas y las prácticas normales de fabricación. Otras configuraciones y calibres no especificados en este catálogo, están disponibles bajo pedido.