INFORME FINAL MODALIDAD DE GRADO PASANTIA

DISEÑO DE PROCEDIMIENTOS Y PROTOCOLOS PARA PRUEBAS FAT EN TABLEROS ELÉCTRICOS DE BAJA TENSIÓN, CASO DE ESTUDIO SMART-ING

JEISSON CAMILO OSPINA CARO

DANIEL FELIPE HERNÁNDEZ CHITIVA

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROYECTO CURRICULAR INGENIERÍA ELÉCTRICA
BOGOTÁ D.C.
2020

DISEÑO DE PROCEDIMIENTOS Y PROTOCOLOS PARA PRUEBAS FAT EN TABLEROS ELÉCTRICOS DE BAJA TENSIÓN, CASO DE ESTUDIO SMART-ING

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE
INGENIERO ELÉCTRICO

MODALIDAD: PASANTÍA

PRESENTADO POR:
JEISSON CAMILO OSPINA CARO
DANIEL FELIPE HERNÁNDEZ CHITIVA

DIRECTOR INTERNO
I.E. FRANCISCO DAVID MOYA CHAVES
PhD. INGENIERÍA ELÉCTRICA

DIRECTOR EXTERNO
I.E. MARTÍN GUILLERMO GALLEGOS ESCOVAR
MBA. MASTER EJECUTIVO EN ADMINISTRACIÓN DE EMPRESAS

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROYECTO CURRICULAR INGENIERÍA ELÉCTRICA
BOGOTÁ D.C.
2020

I. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la empresa SMART-ING por permitirnos poner en práctica nuestros conocimientos y habilidades al interior de su equipo de trabajo, permitiendo nuestro crecimiento profesional y personal.

Al ingeniero y docente Francisco David Moya Chaves por su orientación e interés en el desarrollo de la pasantía.

Al ingeniero Martin Guillermo Gallegos Escovar por su colaboración y enseñanza en el transcurso de este proyecto.

A la Universidad Distrital Francisco José de Caldas por brindarnos una formación integral y de calidad, que permitió a nuestro crecimiento profesional.

A nuestras familias por la comprensión y apoyo incondicional durante nuestro proceso de aprendizaje.

II. TABLA DE CONTENIDO

I. AGRADECIMIENTOS 3
II. TABLA DE CONTENIDO 4
III. LISTA DE FIGURAS 7
IV. LISTA DE TABLAS 8
V. RESUMEN 9
VI. GLOSARIO DE TÉRMINOS 10
VII. INTRODUCCIÓN 13
VIII. FORMULACION DEL PROBLEMA 14
IX. OBJETIVOS 15
1. Objetivo principal 15
2. Objetivos específicos 15
X. MARCO REFERENCIAL 16
1. Tablero eléctrico de baja tensión 16
1.1. Clasificación de los tableros eléctricos 17
2. Norma IEC 61439 18
XI. METODOLOGIA 22
XII. DESARROLLO DE LA PASANTIA 23
1. Verificaciones individuales IEC 61439 23
1.1. Grado de protección IP 23
1.2. Distancias de aislamiento (en aire y superficialmente) 26
1.3. Protección contra descarga eléctrica e integridad de los circuitos de protección. 28
1.4. Instalación de dispositivos y componentes de maniobra. 31
1.5. Circuitos y conexiones eléctricas internas. 31
1.5.1. Conductores desnudos y aislados 32
1.6. Propiedades dieléctricas 33
1.6.1. Prueba para sobretensiones a frecuencia industrial 33
1.6.2. Prueba de sobretensión al impulso 35
1.6.2.1. Prueba alternativa a frecuencia industrial 36
1.7. Límites del incremento de temperatura 36
1.7.1. Verificación por medio del calculo 37
1.7.2. Verificación por medio de prueba 38
2. Generalidades NFPA 70E 38

2.1. Cálculo de la energía calorífica incidente sobre un trabajador 39
2.1.1 Método de calculo 41
2.1.2 Medidas y recomendación contra arco eléctrico 44
2.1.3 Metodología selección de EPP`s (Elementos de protección personal)..... 44
2.2. Trabajos des-energizados 45
2.3. Trabajos energizados 48
3. Generalidades protocolos existentes 49
3.1. Deficiencias presentes en los protocolos 49
XIII. PROCEDIMIENTOS DE PRUEBAS FAT SMART-ING 50
1. Generalidades 50
1.1. Inspección visual y grado de protección 51
Anexo B.1. Inspección visual y grado de protección 51
1.1.1. Verificación dimensiones de barras y torque de juntas 54
Anexo B.2. Verificación de dimensiones de barras y torque de juntas 54
1.2. Verificación de separación y distancias de fuga 56
Anexo B.3. Verificación de separación y distancias de fuga 56
1.3. Protección contra descarga eléctrica e integridad del circuito de protección 58
Anexo B.4. Protección contra descarga eléctrica e integridad del circuito de protección 58
1.4. Propiedades dieléctricas conductores y barrajes 59
Anexo B.5. Propiedades dieléctricas conductores y barrajes 59
1.4.1. Prueba de rigidez dieléctrica a 60 Hz elevación de Tensión (HIPOT)..... 61
Anexo B.6. Prueba de rigidez dieléctrica a frecuencia industrial 61
1.5. Circuitos y conexiones eléctricas internas 63
1.5.1 Prueba interconexión de tableros 65
1.6. Rendimiento en servicio. 66
XIV. DESCRIPCION DE RESULTADOS 68
1. Resultados 68
2. Análisis de resultados 68
XV. ALCANCE E IMPACTOS DEL PROYECTO 69
1. Alcance 69
2. Impactos 69
XVI. CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS 70
XVII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 71

1. CONCLUSIONES 71
2. RECOMENDACIONES 72
XVIII. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS 73
XIX. ANEXOS 75
Anexo A 75
A.1. Plano amarillado 75
Anexo B 76
B.1. Inspección visual y grado de protección 76
B.2. Verificación de dimensiones de barras y torque de juntas 77
B.3. Verificación de separación y distancias de fuga 78
B.4. Protección contra descarga eléctrica e integridad del circuito de protección . 79
B.5. Propiedades dieléctricas conductores y barrajes 80
B.6. Prueba de rigidez dieléctrica a frecuencia industrial 81

III. LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Partes estructurales de un tablero eléctrico. 16
Figura 2. Ejemplos de las distancias en aire y distancias de fuga. 27
Figura 3. IEEE 1584-2002 Guía para el cálculo de los riesgos derivados del arco eléctrico. 39
Figura 4. Procedimiento de estimación del riesgo térmico asociado al arco eléctrico... 40
Figura 5. Procedimiento de estimación del riesgo térmico asociado al arco eléctrico... 47
Figura 6. Dimensiones tablero eléctrico 52
Figura 7. Disposición mecánica interna 53
Figura 8. Dimensiones barraje 55
Figura 9. Distancia entre barrajes 57
Figura 10. Medición Megóhmetro 60
Figura 11. Equipo de medida HIPOT 62
Figura 12. Marquillado de cables 64

IV. LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Lista de verificaciones de diseño. 19

Tabla 2. Información indicada por el código IP de la norma IEC 24

Tabla 3. Distancias mínimas en aire 26

Tabla 4. Acho mínimo de las modificaciones del plano 27

Tabla 5. Lista de requisitos para verificación de cortocircuito por comparación con un diseño previo. 29

Tabla 6. Valores para el factor n 30

Tabla 7. Valor de la sobretensión para la prueba a frecuencia industrial en circuitos principales. 33

Tabla 8. Valor de la sobretensión a frecuencia industrial 34

Tabla 9. Tensión de la prueba de sobretensión al impulso. 35

Tabla 10. Condiciones que cumplir para realizar el método de verificación por medio de cálculo. 37

Tabla 11.Factor de distancia en tableros de baja tensión IEEE 1584 43

Tabla 12. Inspección visual y grado de protección 51

Tabla 13.Verificación dimensiones de barras y torque de juntas 54

Tabla 14.Verificación de separación y distancias de fuga 56

Tabla 15.Protección contra descarga eléctrica e integridad del circuito de protección .. 58

Tabla 16. Propiedades dieléctricas conductores y barrajes 59

Tabla 17. Prueba de rigidez dieléctrica a 60 Hz elevación de Tensión (HIPOT) 61

Tabla 18. Circuitos y conexiones eléctricas internas 63

Tabla 19. Prueba interconexión de tableros 65

Tabla 20. Rendimiento en servicio. 66

Tabla 21. Cronograma pasantía 70

V. RESUMEN

El actual documento es el resultado de todo un proyecto de pasantía donde se presenta el diseño de procedimientos y protocolos para pruebas FAT en tableros de baja tensión teniendo como caso de estudio la empresa Smart Ing, la cual se dedica principalmente a la elaboración de soluciones tecnológicas en diversos campos de la industria nacional e internacional.

El desarrollo del documento tiene como primera instancia realizar una contextualización acerca de los términos técnicos con los que se trabajara a lo largo del mismo, seguido a ello se presenta el planteamiento del proyecto de pasantía, el cual describe la justificación, los objetivos y la metodología utilizada en el transcurso de la pasantía. De acuerdo a la metodología se recopila y sintetiza la información necesaria para la ejecución de pruebas FAT en tableros eléctricos de baja tensión, esto se logra consultando las normativas que guían dicha actividad, entre las normas estudiadas se encuentran el reglamento técnico de instalaciones eléctricas (RETIE), la norma IEC 61439 y la norma NFPA 70E, la información obtenida permite comparar los procedimientos de pruebas FAT llevados a cabo actualmente por la compañía con los requerimientos técnicos y de seguridad solicitados por la norma.

Una vez identificadas las falencias en la ejecución de pruebas FAT llevadas a cabo por la compañía, se procede a la redacción de los procedimientos; los cuales basados en la documentación de seguridad para la ejecución de trabajos eléctricos y la información técnica recopilada, describe el paso a paso de forma clara de cada una de las pruebas exigidas por la norma para los diferentes productos ofrecidos por la compañía, los protocolos estar apoyados en imágenes, tablas y diagramas de flujo que facilitan el entendimiento y la correcta ejecución de las pruebas, que en consecuencia permite la localización rápida de fallas y reducción en los tiempos de desarrollo de los proyectos.

VI. GLOSARIO DE TÉRMINOS

Los conceptos puntualizados a continuación están afines a las normas y estándares internacionales implementados en el desarrollo de pruebas FAT en tableros eléctricos de baja tensión.

Arco eléctrico: Cortocircuito derivado de una falla entre las partes activas de diferente potencial y / o entre las partes activas y otras partes conductoras que resultan en un arco de combustión libre dentro de una envolvente.

Corriente asignada: Valor de la corriente, declarada por el fabricante del tablero eléctrico que puede transmitir sin que el calentamiento de las distintas partes del tablero eléctrico sobrepase los valores límites especificados bajo condiciones especificadas.

Corriente de cortocircuito: Sobreintensidad que resulta de un cortocircuito debido a una falta o a una conexión incorrecta en un circuito eléctrico.

Descarga disruptiva: Fenómeno asociado con el fallo de aislamiento por un esfuerzo eléctrico, en el cual la descarga puentea completamente el aislamiento, reduciendo la tensión entre los electrodos a cero o prácticamente cero.

Distancia de aislamiento: Distancia entre dos partes conductoras igual a la longitud de una recta que siga el camino más corto posible entre esas dos partes conductoras.

Ensayos de verificación: Los ensayos realizados sobre una muestra de un tablero eléctrico o sobre partes del tablero eléctrico para demostrar que el diseño cumple con los requisitos de la norma aplicable al tablero eléctrico.

Envolvente: Alojamiento destinado a asegurar el tipo y grado de protección adecuado para la aplicación prevista.

Fabricante original: Organización que ha llevado a cabo el diseño original y la verificación asociada a un tablero eléctrico de acuerdo con la norma aplicable al tablero eléctrico.

Factor de simultaneidad asignado: Valor por unidad de la corriente asignada, fijada por el fabricante del tablero eléctrico, para el cual los circuitos de salida de un tablero eléctrico pueden cargarse simultánea y continuamente teniendo en cuenta las influencias térmicas mutuas.

Frecuencia asignada: Valor de la frecuencia, declarada por el fabricante del tablero eléctrico, la cual designa un circuito y a las que se refieren las condiciones de funcionamiento.

Grado de contaminación (Condiciones ambientales): Número convencional, basado en la cantidad de polvos conductores o higroscópicos, de gases ionizados o de sales, y en la humedad relativa y su frecuencia de aparición que se traduce por la absorción o la

condensación de humedad, teniendo como efecto disminuir la rigidez dieléctrica y/o la resistividad superficial.

Integrador: Es el encargado de tomar las mejores características de los productos o servicios de un fabricante para lograr la mayor eficiencia en una aplicación específica.

Juego de barras principal: Juego de barras a la cual uno o varios juegos de barras de distribución y/o de unidades de entrada y de salida pueden conectarse.

Juego de barras: Conductor de baja impedancia al cual pueden conectarse varios circuitos eléctricos por separado.

Línea de fuga: La distancia más corta a lo largo de la superficie de un material aislante sólido entre dos partes conductoras.

Parte activa: Todo conductor o parte conductora destinada a estar bajo tensión en condiciones normales de servicio, así como el conductor neutro.

Persona autorizada: Persona cualificada o instruida, que es facultada para ejecutar un trabajo definido.

Persona cualificada: Persona con formación pertinente y experiencia que le permiten percibir los riesgos para evitar los peligros que puede ocasionar la electricidad.

RETIE: Reglamento técnico de instalaciones eléctricas expedido por el Ministerio de Minas y Energía de Colombia.

Sobretensión temporal: Sobretensión a frecuencia industrial y de duración relativamente larga (varios segundos).

Sobretensión transitoria: Sobretensión de corta duración, de unos pocos milisegundos o menos, oscilatoria o no, habitualmente muy amortiguada.

Sobretensión: Cualquier tensión con un valor de cresta superior al valor de cresta correspondiente a la tensión máxima en régimen permanente en condiciones normales de operación.

Tablero eléctrico: Son gabinetes en los que se concentran los dispositivos de conexión, control, maniobra, protección, medida, señalización y distribución, todos estos dispositivos permiten que una instalación eléctrica sea operativa.

Tensión asignada soportada al impulso: Valor de tensión soportada al impulso, asignada por el fabricante del tablero eléctrico, que caracteriza la capacidad especificada de su aislamiento de soportar las sobretensiones transitorias.

Tensión asignada: Tensión nominal más alta del sistema eléctrico de la corriente alterna (valor eficaz) o de la tensión en corriente continua, declarada por el fabricante del tablero eléctrico, para el que el o los circuitos principales del o de los tableros eléctricos se ha diseñado para conectarse.

Tensión de aislamiento asignada: Valor eficaz de tensión soportada, asignado por el fabricante del tablero eléctrico al equipo o a una parte de este, que caracteriza la capacidad de su aislamiento de soportar la tensión especificada (a largo plazo).

Tensión nominal (de una red eléctrica): Valor aproximado de tensión, utilizado para designar e identificar un sistema eléctrico.

Tensión soportada a frecuencia industrial: Valor eficaz de una tensión sinusoidal a frecuencia industrial que no provoca descarga eléctrica en las condiciones de ensayo especificadas.

Verificación del diseño: Verificación realizada sobre una muestra de un tablero eléctrico o sobre partes del tablero eléctrico para demostrar que el diseño cumple con los requisitos de la norma aplicable al tablero eléctrico.

Verificación individual: Verificación para cada tablero eléctrico realizados durante y/o después de la fabricación para confirmar si cumplen o no con los requisitos de la norma aplicable al tablero eléctrico.

Verificación por comparación: Comparación estructurada de un diseño propuesto para un tablero eléctrico, o partes de un tablero eléctrico, con un diseño de referencia verificado mediante ensayo.

VII. INTRODUCCIÓN

Un integrador de soluciones industriales es una figura de la cadena productiva que se encarga de diseñar, ensamblar, probar, instalar y dar soporte a una solución tecnológica de acuerdo con una necesidad específica, por consiguiente, un tablero eléctrico es visto como una solución tecnológica que puede llegar a cumplir funciones de conexión, control, maniobra, protección, medida, señalización y/o distribución. Desde la etapa de diseño hasta la etapa de soporte se debe garantizar que se cumplan los estándares de seguridad y funcionamiento denominados por el RETIE y las normas internacionales y/o nacionales que sean mencionadas en el mismo. Entre las normas internacionales de mayor validez se encuentra la IEC 61439, la cual establece las condiciones de servicio, requisitos constructivos, características técnicas y estándares de verificación para tableros eléctricos en baja tensión.

En etapa de prueba se distinguen dos tipos de verificaciones; en primer lugar, se encuentran verificaciones de diseño que tiene como objetivo certificar a la solución tecnológica frente a la familia de normas IEC y cuyos resultados de los ensayos cumplan con los requisitos solicitados por la norma IEC 61439. En segundo lugar, se encuentran las verificaciones particulares o individuales que tiene como objetivo asegurar el funcionamiento correcto del tablero eléctrico fabricado y detectar fallos en los materiales y en el ensamblaje de los mismos. Las verificaciones particulares se hacen en dos instancias; la primera se realiza en las instalaciones del integrador, la segunda instancia se lleva a cabo en las instalaciones del usuario final. Todas las verificaciones que se realizan en la primera instancia se denominan pruebas de aceptación de fábrica (FAT), y las verificaciones de segunda instancia reciben el nombre de pruebas de aceptación en sitio (SAT); este trabajo de grado se enfocó en las pruebas FAT.

Por lo anterior descrito, se emprende al diseño de procedimientos y protocolos para pruebas FAT en tableros eléctricos de baja tensión, teniendo como caso de estudio la compañía Smart-Ing, dedicada a dar soluciones en automatización, racks de comunicaciones, RTUs, CCMs, entre otros, contribuyendo al enriquecimiento de los estándares de calidad, procesos de producción y seguridad del personal involucrado en el desarrollo de las pruebas.

VIII. FORMULACION DEL PROBLEMA

Teniendo en cuenta la importancia que tienen los tableros eléctricos de baja tensión en las instalaciones de los sectores a los cuales SMART-ING provee, se debe garantizar el cumplimiento de los estándares legales y de seguridad, puesto que de presentarse fallas en los procesos debido a un desperfecto en la elaboración de los tableros eléctricos, se pueden presentar accidentes y fatalidades sobre seres vivos, así como pérdidas económicas de gran impacto; por tal motivo la ejecución adecuada de los protocolos y procedimientos de pruebas FAT toma un rol importante en el desarrollo y posterior garantía de los productos ofrecidos.

La implementación de los protocolos y procedimientos de pruebas FAT, al ser ejecutados por un número limitado de colaboradores, restringe la optimización del tiempo utilizado para la ejecución del proyecto. Desarrollar procedimientos y protocolos para pruebas FAT, los cuales, apoyados en los estándares legales y de seguridad, sirven como guía técnica para el personal operativo; lo que se traduce en una mayor competitividad debido a la reducción de los tiempos y posterior garantía de los productos ofrecidos. Se tuvo presente normativas enfocadas a la seguridad eléctrica, dirigiéndose en primer lugar al personal involucrado directamente en la ejecución de pruebas; en segundo lugar, el uso correcto de instrumentos y equipos de medida, y por último salvaguardar al personal que no está directamente involucrado en el desarrollo de pruebas FAT.

La construcción de procedimientos y protocolos, va encaminada a dar un trasfondo teórico a las pruebas realizadas para contribuir a la formación del personal de pruebas permitiendo detectar con mayor facilidad errores en el desarrollo de las mismas.

IX. OBJETIVOS

1. Objetivo principal

Diseñar y establecer los procedimientos y protocolos para pruebas FAT en tableros eléctricos de baja tensión, aplicable a tableros para centro de control de motores (CCMs), unidad terminal remota (RTUs), circuitos de distribución, tableros de control de procesos, tableros de comunicaciones y calidad de energía (banco de condensadores, filtros de armónicos), tomando como caso de estudio la compañía SMART-ING.

2. Objetivos específicos

-Recopilar y sintetizar la información existente en la normativa (IEC 61439-1 y -2) que aplica en la ejecución de pruebas FAT en tableros de baja tensión.

-Presentar las prácticas seguras de la NFPA 70E aplicables a las pruebas FAT

-Exponer las diferencias existentes entre en los protocolos usados por la compañía, en comparación con los ítems que demanda cada prueba de la IEC 61439.

-Implementar diagramas de flujo de cada una de las pruebas, describiendo los parámetros de entrada y de aceptación.

-Elaboración de procedimientos y protocolos para la correcta ejecución de pruebas FAT en tableros eléctricos de baja tensión.

X. MARCO REFERENCIAL

1. Tablero eléctrico de baja tensión

El tablero eléctrico se define como un compartimiento donde se encuentran instalados dispositivos de conexión, maniobra, control, medición, protección, alarma y/o señalización, con cubiertas y soportes correspondientes, para cumplir una función específica [1]. La denominación de tablero de baja tensión se debe a que el nivel de tensión mayor entre los circuitos dentro del tablero se encuentra en un valor mayor o igual a 25V y menor o igual a 1000V [2].

El tablero eléctrico consta de la siguiente serie de partes mecánicas para aplicaciones genéricas, es decir que no tengan compartimentación o sistemas extraíbles. La Figura 1 muestra las partes básicas que componen un tablero eléctrico.



Figura 1. Partes estructurales de un tablero eléctrico.

Fuente. ABB, Guía para la construcción de un cuadro eléctrico de baja tensión conforme a las normas IEC 61439.

1.1. Clasificación de los tableros eléctricos

Los tableros eléctricos pueden ser clasificados de acuerdo con diferentes factores: topología de construcción, diseño externo, condiciones de instalación o su función realizada [3].

Para el presente documento se tendrá en cuenta la clasificación respecto a la funcionalidad, debido a que la empresa Smart-Ing diversifica su portafolio de servicios en este tipo de clasificación. A continuación, se presentan las clasificaciones de tableros eléctricos conforme su funcionalidad:

- **Tableros primarios de distribución:** Los cuadros primarios de distribución, también denominados cuadros de potencia (Power Centers, PC) normalmente se encuentran en el lado de carga de los transformadores MT/BT o de los generadores. Estos cuadros incluyen una o más unidades de entrada, interruptores de acoplamiento de barras y un número relativamente reducido de unidades de salida [3].
- **Tableros secundarios de distribución:** Los cuadros secundarios de distribución incluyen una amplia categoría de cuadros destinados a la distribución de la energía y normalmente están equipados con una unidad de entrada y varias unidades de salida; generalmente se encuentran aguas abajo del cuadro `principal (interruptor principal) y actúan como auxiliares en la protección y operación de subalimentadores. [3].
- **Tableros de control de motores:** Los cuadros de control de motores están destinados al control y protección centralizada de motores. Por esta razón incluyen el equipo coordinado de maniobra y protección relevante, así como equipos de control auxiliar y señalización. También se denominan Centros de control de motores (Motor Control Center, MCC) [3].
- **Tableros de control, medición y protección:** Los cuadros de control, medición y protección están compuestos normalmente por unidades que contienen principalmente equipos para el control, maniobra y medición de instalaciones y procesos industriales [3].
- **Tableros integrados a la máquina:** Los cuadros integrados, también denominados cuadros de automatización, se asemejan a los anteriores desde el punto de vista funcional; están destinados a actuar como interfaz entre la fuente de alimentación y el operador. La serie de normas IEC 60204 establece otros requisitos para cuadros que forman parte integral de la máquina [3].
- **Tableros para obras:** Los cuadros para obras tienen distintos tamaños, desde unidades sencillas con una toma hasta cuadros de distribución en envolvente metálica o en material aislante.

2. Norma IEC 61439

La norma IEC 61439 es el estándar internacional para tableros eléctricos de baja tensión con una tensión nominal máxima de 1000V en corriente alterna o 1500V en corriente continua. Antes de ser un estándar internacional la norma aplicable a los tableros de baja tensión era la IEC 60439, esto debido al mejoramiento de la seguridad en la construcción de tableros eléctricos.

La IEC 61439 está segmentada en seis (6) partes:

1. IEC 61439-1: “Tableros de distribución y maniobra de baja tensión - Parte 1: “Reglas generales”.
2. IEC 61439-2: “Tableros de distribución de potencia y maniobra”.
3. IEC 61439-3: “Tableros de distribución”.
4. IEC 61439-4: “Tableros para obras”.
5. IEC 61439-5: “Tableros para distribución de potencia en redes públicas”.
6. IEC 61439-6: “Sistemas de canalización para embarrado”.

En la parte IEC 61439-1 numeral 10. Verificaciones de diseño se definen tres tipos de verificaciones distintas, pero equivalentes, para la conformidad de un tablero eléctrico [4].

1. Verificación mediante pruebas en laboratorio (anteriormente denominadas pruebas de tipo).
2. Verificación mediante comparación con un diseño de referencia ensayado.
3. Verificación mediante evaluación, es decir, confirmación de la correcta aplicación de cálculos y reglas de diseño, incluyendo la utilización de márgenes de seguridad adecuados. Las diferentes características pueden garantizarse empleando cualquiera de estos tres métodos. Mediante uno u otro, indiferentemente, se puede garantizar la conformidad [4].

A continuación, se ilustra la Tabla 1, donde se dictan las pruebas y los tipos de verificaciones que se pueden llevar a cabo para cada una de ellas.

Tabla 1. Lista de verificaciones de diseño.

Fuente. IEC 61439-1 Tabla D.1

No.	Características a verificar	Apartados o subapartados	Opciones de verificación disponibles		
			Verificación mediante pruebas	Verificación mediante calculo	Verificación mediante cumplimiento de las normas de diseño
1	Resistencia de los materiales y las partes:	10.2	SI	NO	NO
	Resistencia a la corrosión	10.2.2	SI	NO	NO
	Propiedades de los materiales aislantes:	10.2.3	SI	NO	NO
	Estabilidad térmica	10.2.3.1	SI	NO	NO
	Resistencia al calor anormal y al fuego debido a efectos eléctricos internos	10.2.3.2	SI	NO	SI
	Resistencia a la radiación UV	10.2.4	SI	NO	SI
	Elevación	10.2.5	SI	NO	NO
	Impacto mecánico	10.2.6	SI	NO	NO
	Marcado	10.2.7	SI	NO	NO
2	Grado de protección	10.3	SI	NO	SI
3	Distancias de aislamiento en aire y superficialmente	10.4	SI	NO	NO
4	Protección contra descargas eléctricas y	10.5			

	circuitos de protección				
	Continuidad efectiva entre las partes conductoras expuestas del tablero y el circuito de protección	10.5.2	SI	NO	NO
	Resistencia del circuito de protección contra el corto circuito	10.5.3	SI	SI	NO
5	Instalación de dispositivos y componentes de maniobra	10.6	NO	NO	SI
6	Circuitos y conexiones internas	10.7	NO	NO	SI
7	Terminales para conductores externos	10.8	NO	NO	SI
8	Propiedades dieléctricas	10.9			
	Rigidez dieléctrica a frecuencia industrial	10.9.2	SI	NO	NO
	Tensión soportada al impulso	10.9.3	SI	NO	SI
9	Límites de sobre temperatura	10.10	SI	SI	SI
10	Resistencia a cortocircuitos	10.11	SI	SI	NO
11	Compatibilidad electromagnética (EMC)	10.12	SI	NO	SI
12	Funcionamiento mecánico	10.13	SI	NO	NO

Las verificaciones anteriormente descritas deben ser ejecutadas según el papel que se cumple en la construcción del tablero eléctrico; en primer lugar, está el fabricante original de los diferentes ítems o dispositivos los cuales deben contar con toda la documentación detallada de cada una de las verificaciones de diseño, incluyendo todos los informes de ensayo y protocolos. Esta información debe ser almacenada por un período de al menos diez (10) años. En segundo lugar, se encuentra el fabricante o integrador del tablero que no debe entregar una documentación tan detallada, pero si está obligado a entregar un resumen documentado, el cual contiene los respectivos protocolos de pruebas, donde especifica cada una de las verificaciones individuales, el método de verificación escogido, los datos de medición obtenidos y, si se dispone, el número de ensayo o número de informe correspondiente [5].

Las diferentes verificaciones demuestran que los componentes utilizados en un conjunto funcionen conjuntamente. Por ello en algunas verificaciones también se precisan ensayos o comparativas, que solo pueden aportarse mediante verificación de la combinación de diferentes productos, por ejemplo, la estructura del tablero y las barras colectoras [5].

Por lo anterior se tiene que la lista de verificaciones requeridas por la norma bajo la responsabilidad del fabricante de tablero son las siguientes:

- Grado de protección IP (Ingress Protection) de la envolvente.
- Distancias de aislamiento (en aire y superficialmente).
- Protección contra descarga eléctrica e integridad de los circuitos de protección.
- Instalación de dispositivos y componentes de maniobra.
- Circuitos y conexiones eléctricas internas.
- Terminales para conductores externos.
- Funcionamiento mecánico.
- Propiedades dieléctricas (rigidez dieléctrica a 50 Hz y tensión soportada a impulsos).
- Cableado y rendimiento en servicio.

Estas verificaciones pueden llevarse a cabo en cualquier orden. El hecho de que las verificaciones de diseño se lleven a cabo por el fabricante o integrador del tablero no exime al instalador, en caso de que sea un tercero, o al mismo fabricante de verificarlos después del transporte e instalación del tablero [3].

XI. METODOLOGIA

A continuación, se presenta el plan de trabajo que permite realizar el diseño de procedimientos para la ejecución de pruebas FAT en tableros eléctricos en baja tensión:

- Recopilar y sintetizar la información necesaria para la ejecución de pruebas FAT en tableros eléctricos de baja tensión, esto se logrará consultando las normativas que guían dicha actividad, entre las normas a estudiar se encuentra el reglamento técnico de instalaciones eléctricas (RETIE) y la norma IEC 61439.
- Recopilar y sintetizar la documentación ofrecida por las diferentes compañías insignia como Schneider, ABB, Siemens, etc., donde de acuerdo a sus técnicas de producción se establecen guías para la construcción de tableros eléctricos de baja tensión, dichas guía nos permiten tener una visión más amplia de los protocolos de pruebas FAT llevados a cabo por cada fabricante.
- Recopilar y sintetizar la normatividad que establece los procedimientos para la ejecución de trabajos eléctricos de forma segura, así como los elementos de protección personal de acuerdo a la actividad a realizar, esto se logra consultando la NFPA 70E que describe las prácticas de trabajos eléctricos seguros en el lugar de trabajo, el reglamento técnico de instalaciones eléctricas (RETIE) y la resolución 5018 de 2019 del ministerio de minas y energía, lo cual nos permitirá identificar los peligros asociados a la ejecución de pruebas FAT y los posibles métodos de mitigación para garantizar la seguridad del personal de pruebas.
- Comparar los protocolos de pruebas FAT existentes en la compañía e identificar las diferencias respecto a las guías constructivas de los principales fabricantes y la normatividad vigente.
- Diseñar plantilla del diagrama de flujo en donde se establece los símbolos y arquitectura a usar para describir los protocolos de pruebas FAT.
- Elaborar los diagramas de flujo de cada una de las pruebas exigidas por la norma, los cuales servirán de base para la elaboración de los protocolos.
- Recopilar imágenes de las pruebas FAT llevadas a cabo por la compañía, esto con el fin de alimentar los protocolos y procedimientos.
- Diseñar presentación para la divulgación ante el personal de pruebas, en donde se explique las modificaciones realizadas a los protocolos de pruebas FAT.
- Redactar el documento final, el cual basados en la documentación de seguridad para la ejecución de trabajos eléctricos y la información técnica recopilada, describirá el paso a paso de forma técnica de cada una de las pruebas exigidas por la norma para cada uno de los diferentes productos ofrecidos por la compañía, los protocolos estarán apoyados en imágenes, tablas y diagramas de flujo que facilitaran el entendimiento y la correcta ejecución de las pruebas, que en consecuencia permitirá la localización rápida de fallas y reducción en los tiempos de desarrollo de los proyectos.

XII. DESARROLLO DE LA PASANTIA

1. Verificaciones individuales IEC 61439

1.1. Grado de protección IP

El grado IP va encaminado a garantizar que un material responda a las exigencias funcionales que se le asignan, protegiéndolo contra las influencias externas que podrían ser nocivas y asegurarse que no es peligroso para los usuarios o para el entorno [6].

Se pueden utilizar diferentes medios, separada o conjuntamente, para satisfacer esta última exigencia. Estos medios se resumen en uno de los siguientes métodos:

- Poner fuera de alcance por distancia horizontal o vertical, por ejemplo, ubicando un obstáculo.
- Aislamiento por medio de barreras sólidas, por ejemplo, el utilizado en los cables conductores de energía eléctrica.
- Filtrado de elementos dentro de la envolvente.

Este último método tiene la ventaja de responder fácilmente contra:

- Penetración de cuerpos extraños que podrían perturbar el funcionamiento mecánico o eléctrico. Por ejemplo, el polvo, animales voladores, entre otros.
- Agua y otros líquidos que podrían alterar el aislamiento y provocar su degradación.
- Choques mecánicos que podrían deformar o romper las partes frágiles.
- Gases corrosivos del ambiente.
- Campos electromagnéticos radiantes.
- Radiaciones diversas, entre ellas la luz.

Como estándar internacional se tienen los códigos de grados de protección IP, referenciados en la norma IEC 60529. Este código permite describir los grados de protección proporcionados por las envolventes del tablero contra la proximidad de las partes peligrosas, la penetración de cuerpos sólidos extraños y contra los efectos nocivos del agua. A continuación, se muestra la Tabla 2 donde se condensa toda la información sobre las siglas que hacen parte del código IP, teniendo en cuenta que este código se compone te IP-X1-X2-L1-L2, donde X1 indica la protección contra cuerpos solidos extraños a los dispositivos instalados, X2 hacer referencia a la protección contra la entrada de líquidos como el agua, L1 y L2 son letras que dan información adicional sobre el grado de protección.

Tabla 2. Información indicada por el código IP de la norma IEC

Fuente. Cuaderno Técnico nº 166 Envolventes y grados de protección [6]

	Protección del equipo	Contra el acceso de piezas peligrosas con:
Primera cifra	0	No protegido
	1≥50 mm de diámetro	Dorso de la mano
	2≥12.5 mm de diámetro	Dedo
	3≥2.5 mm de diámetro	Herramienta
	4≥1 mm de diámetro	Cable
	5 protegido contra polvo	Cable
	6 totalmente protegido contra el polvo	Cable
Segunda cifra	0 no protegido	
	1 caída vertical	
	2 caída de gotas de agua (inclinación 15°)	
	3 lluvia	
	4 salpicadura de agua	
	5 chorro de agua	
	6 chorros potentes (Similar a las olas del mar)	
	7 inmersiones temporales	
	8 inmersión continúa	
Letra adicional	A	Dorso de la mano

	B	Dedo
	C	Herramienta
	D	Cable
Letra suplementaria	H equipos de alta tensión	
	M prueba con agua en equipos en marcha	
	S prueba con agua en equipos estacionarios	
	W condiciones atmosféricas	

Como indica la Tabla 1, la prueba de grado de protección IP puede llevarse a cabo mediante dos verificaciones; la primera es la verificación por medio de prueba y la segunda por medio de verificación de cumplimiento de normas de diseño.

La verificación por medio de prueba se debe realizar en un tablero que represente una línea de construcción de envolventes, con todas sus puertas y cubiertas cerradas y en condición de servicio normal además de estar des-energizado, a menos que el fabricante realice el requerimiento de que la pruebe se lleve a cabo con los equipos energizados. A continuación, hay una serie de consideraciones expuestas en el numeral 10.3 de la IEC 61439:

- Los tableros que tengan un grado de protección IP 5X deberán ensayarse de acuerdo con la categoría 2 indicada en el numeral 13.4 de la IEC 60529.
- Los tableros que tengan un grado de protección IP 6X deberán ensayarse de acuerdo con la categoría 1 indicada en el numeral 13.4 de la IEC 60529.
- El dispositivo de prueba y tipo de soporte para el tablero, usados durante la prueba de grados IP X3 e IPX4 debe ser especificado en el informe de prueba.
- La prueba IPX1 se puede llevar a cabo moviendo el equipo de goteo en lugar de mover el tablero.
- La entrada de agua en las pruebas de los grados IPX1 al IPX6 se permiten solo si su ruta de entrada en un punto evidente y el agua solo está en contacto con partes aislantes que no perjudica la seguridad del tablero.
- La prueba para el grado IP5X no será aceptada si se encuentra, dentro de los conductores o dispositivos, una cantidad dañina de polvo dentro del tablero.

La verificación por medio del cumplimiento de normas de diseño, se realiza con una inspección visual individual de cada tablero.

1.2. Distancias de aislamiento (en aire y superficialmente)

El aislamiento es una característica importante para la seguridad del personal y de los equipos; dicha característica se puede aumentar, de forma que favorezca la seguridad de la instalación, con la distancia entre partes energizadas a diferente potencial dentro de un medio aislante (el más usado es el aire), las distancias mínimas se encuentran en función a la tensión de impulso que soportan los equipos de la instalación teniendo en cuenta el grado de contaminación del medio aislante. La IEC 61439 en su Tabla 3 especifica las distancias mínimas en aire basados en un grado de contaminación 3.

Tabla 3. Distancias mínimas en aire

Fuente. IEC 61439-1 Tabla 1

Tensión de impulso (U_{imp}) en KV	Distancia mínima en mm
≤ 2.5	1.5
4	3
6	5.5
8	8
12	14

La verificación de las distancias en aire de un tablero solo se puede llevar a cabo por medio de la medición entre las partes energizadas a diferente potencial, es decir que se debe llevar a cabo la medida entre fase-fase, fase-neutro, fase-tierra y neutro-tierra. Esta última no se realiza cuando el conductor de neutro se encuentra conectado al conductor de tierra; esta prueba se aplica a los puntos de alimentación y/o distribución de potencia, como por ejemplo los juegos de barras. Esta prueba no debe hacerse en cada dispositivo ya que cada fabricante da cumplimiento a las distancias y niveles de aislamiento en los documentos técnicos de sus productos.

Existe otro medio por el cual se puede presentar un camino para generar una disrupción eléctrica dentro del tablero, siendo este otro las superficies no conductoras que cumplen funciones de aislamiento y/o de soporte para los equipos y conductores. La IEC 61439 en su anexo F muestra una serie de ejemplos en los cuales representa la forma correcta de realizar la medida de la distancia de fuga entre las partes de diferente potencial, teniendo

en cuenta una distancia mínima para que la disrupción no se genere por el aire, haciendo ineficiente la modificación en el plano que contiene los dos potenciales diferentes.

El ancho mínimo de una modificación en el plano está directamente relacionado con el grado de contaminación; esto esta condensado en la Tabla 4 presentada a continuación.

Tabla 4. Acho mínimo de las modificaciones del plano

Fuente. IEC 61439-1 Tabla F.1

Grado de contaminación	Ancho mínimo de las modificaciones del plano en mm
1	0.25
2	1
3	1.5
4	2.5

Cuando la distancia de fuga es menor a 3 mm, el ancho mínimo se reduce a una tercera parte de la especificada en la tabla 4.

Los ejemplos de la norma indican el ancho de la modificación del plano con la notación X mm, también muestran la distancia en aire con una línea punteada y el contorno en la superficie que representa la distancia de fuga; estos ejemplos se ilustran en la Figura 2.

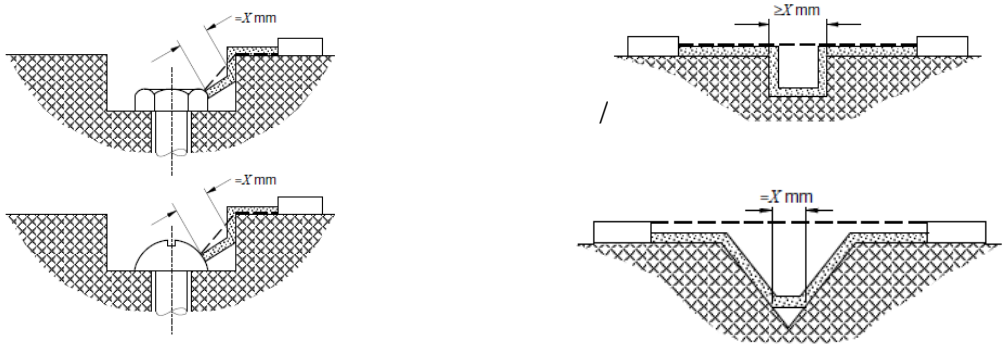


Figura 2. Ejemplos de las distancias en aire y distancias de fuga.

Fuente. IEC 61439-1 Anexo F

1.3. Protección contra descarga eléctrica e integridad de los circuitos de protección.

El circuito de protección del tablero debe ser capaz de actuar correctamente ante las fallas internas y externas que puedan producirse, salvaguardando, en primer lugar, la integridad del personal que se encuentre dentro y en las cercanías del tablero y en segundo lugar a los equipos instalados en su interior.

La primera prueba que se debe realizar es la efectividad de la continuidad entre las partes conductoras expuestas y el barraje de puesta a tierra, el criterio de aceptación es obtener una medida de resistencia de 0.1 W la cual se debe hacer con un equipo que por lo menos pueda suministrar una corriente de 10 A bien sea en AC o DC.

La segunda prueba es la que se encarga de verificar la resistencia del tablero en cuanto al cortocircuito, para que esta verificación se tienen algunas excepciones las cuales se presentan a continuación:

- Para un tablero cuya intensidad nominal de corta duración o intensidad nominal de cortocircuito condicional (I_{cw}) sea menor de 10 kA.
- Para cuadros protegidos por dispositivos de limitación de corriente con una corriente pico limitada inferior a 17 kA, correspondiente a la corriente de cortocircuito máxima permitida prevista en los terminales del circuito de entrada del cuadro.
- Para los circuitos auxiliares del cuadro a condición de que estén conectados a transformadores cuya potencia nominal no supere los 10 kVA con una tensión nominal del secundario no inferior a 110 V, o cuya potencia nominal no supere los 1,6 kVA con una tensión nominal del secundario inferior a 110 V y cuya tensión de cortocircuito mínima no sea inferior a 4%.
- Para todas las partes del cuadro que ya han estado sometidas a pruebas de verificación válidas para las condiciones existentes.

Esta verificación, según la Tabla 1, puede ser llevada a cabo por medio de prueba y de cálculo, esta última opción tiene dos divergencias, la primera consiste en el método de comparación de las reglas de diseño utilizando la Tabla 5 que contiene la lista de verificación de la IEC 61439, por lo anterior se tiene que el criterio de aceptación se lleva a cabo si todos los ítems de la lista de chequeo se encuentran marcados en la columna de los SI.

Tabla 5. Lista de requisitos para verificación de cortocircuito por comparación con un diseño previo.

Fuente. IEC 61439-1 Tabla 13

Ítem	Requisito	SI	NO
1	¿El valor nominal de resistencia a cortocircuitos de cada circuito del tablero evaluado es inferior o igual a la del diseño de referencia?		
2	¿Las dimensiones de la sección transversal del embarrado y las conexiones de cada circuito del tablero evaluado son mayores o iguales que las del diseño de referencia?		
3	¿La distancia de separación de los embarrados y las conexiones de cada circuito del tablero evaluado son mayores o iguales que las del diseño de referencia?		
4	¿Los soportes de los embarrados de cada circuito del tablero evaluado son del mismo tipo, perfil y material, y tienen la misma - o menor - separación a lo largo del embarrado, que los del diseño de referencia?		
5	¿El material y las propiedades del material de los conductores de cada circuito del tablero evaluado son idénticos a los del diseño de referencia?		
6	¿Los dispositivos de protección contra cortocircuitos de cada circuito del tablero evaluado son equivalentes, es decir de la misma marca y serie a), con las mismas o mejores características de limitación (${I_{cw}}^2 * t$, I_{pk}), según los datos del fabricante de los dispositivos, y tienen la misma disposición que los del diseño de referencia?		
7	¿La longitud de los conductores con tensión desprotegidos, conforme a 8?6.4, de cada circuito no protegido del tablero evaluado es inferior o igual a la de los del diseño de referencia?		
8	Si el TABLERO evaluado incluye una envolvente, ¿el diseño de referencia incluía igualmente una envolvente cuando se verificó en la prueba?		
9	¿La envolvente del tablero evaluado es del mismo diseño, tipo y, como mínimo, las mismas dimensiones que la del diseño de referencia?		
10	¿Los compartimentos de cada circuito del tablero evaluado son del mismo diseño mecánico y, como mínimo, las mismas dimensiones que los del diseño de referencia?		

El segundo método es por medio del cálculo y la comparación con el diseño, a continuación, se muestra las ecuaciones a emplear para posteriormente hacer la descripción y significado de cada una:

$$\mathrm{I_{pk}} = \mathrm{I_{cw}} * \mathrm{n}$$

Ecuación 1 Corriente pico de corto circuito

Fuente. IEC 61439-1 9.3.3 Relación entre la corriente de pico y la corriente de corta duración

$$I^2 * t = {I_{cw}}^2 * t$$

Ecuación 2 Tiempo de duración corto circuito

Fuente. IEC 61439-1 9.3.2 Información relativa a la resistencia a cortocircuitos

La Ecuación 1 representa la corriente pico de corto circuito (I_{pk}) que relaciona la corriente I_{cw} del tablero multiplicada por un factor n que va determinado por la Tabla 6 donde se relaciona la corriente I_{cw},. La segunda ecuación 2 relaciona la corriente I_{cw} con la duración del cortocircuito, el cual generalmente se toma de 1 segundo (t=1). El criterio de aceptación comprende en tener un dispositivo que tenga una menor corriente de corto circuito que las dos ecuaciones anteriores ya que protegerá los equipos instalados aguas abajo del mismo.

Tabla 6. Valores para el factor n.

Fuente. IEC 61439-1 Tabla 7

Valor R.M.S. de la corriente de corto circuito	$Cos(\varphi)$	N
$I \leq 5$	0.7	1.5
$5 < I \leq 10$	0.5	1.7
$10 < I \leq 20$	0.3	2
$20 < I \leq 50$	0.25	2.1
$50 < I$	0.2	2.2

1.4. Instalación de dispositivos y componentes de maniobra.

La instalación de dispositivos y componentes debe ser verificada por el fabricante haciendo uso de las instrucciones de instalación del fabricante original. Los dispositivos y componentes del circuito principal deben ser instalados bajo la ausencia de tensión; en caso de no poder garantizar esta condición se deben tomar las precauciones necesarias para disminuir los riesgos en la instalación.

La selección de los dispositivos de maniobra deberá ser acorde a parámetros de la instalación donde van a funcionar; dichos parámetros son tensión de operación, tensión de aislamiento, corriente de cortocircuito, entre otros. La selección va acompañada de una buena coordinación entre los dispositivos para que la instalación sea protegida.

En cuanto a la disposición de los componentes dentro del tablero se tienen cuatro pautas, las cuales son:

- Las terminales, descartando las terminales del circuito de protección, deben estar situadas a al menos una distancia de 0.2 m sobre la base del tablero garantizando la fácil conexión y desconexión de conductores.
- Los instrumentos e indicadores que requieren ser leídos deben ser instalados en un área entre 0.2 m y 2 m respecto a la base del tablero.
- Los mecanismos de manipulación deben estar centralizados en un área entre 0.2 m y 2 m respecto a la base del tablero; solo los mecanismos que no son muy frecuentemente manipulados pueden ser instalados a una altura máxima de 2.2 m.
- Los mecanismos de maniobra de emergencia deben ser instalados en un área de 0.8 m y 1.6 m respecto a la base del tablero.

1.5. Circuitos y conexiones eléctricas internas.

Las barras colectoras, bien sean aisladas o no, del circuito principal deben ser dimensionadas o diseñadas para que la posibilidad de un cortocircuito sea mínima, además de ser capaces de resistir el las sobretensiones y cortocircuitos de los dispositivos de protección dispuestos en el tablero.

El área del conductor de neutro debe cumplir las siguientes condiciones, a menos que exista un acuerdo entre el fabricante del tablero y el usuario final:

- Para circuitos con un área transversal menor o igual a 16 mm^2, aproximadamente 5 AWG, en su conductor de fase, el conductor de neutro debe ser igual al 100% del área del conductor de fase.

- Para circuitos con un área transversal mayor a 16 mm^2, aproximadamente 5 AWG, en su conductor de fase, el conductor de neutro debe ser igual al 50% del área del conductor de fase.

Lo anterior se debe cumplir siempre y cuando la corriente en el neutro no exceda el 50% de la corriente en las fases.

Las características de diseño anteriormente mencionadas para el conductor de neutro en el cableado de un sistema trifásico; se deben principalmente a que en algunas aplicaciones se tienen altos valores en los armónicos de secuencia cero (armónicos de tercer orden), dichos armónicos se adicionan en el conductor de neutro generando corrientes de altas frecuencia.

1.5.1. Conductores desnudos y aislados

Las conexiones, realizadas por medio de conductores que transportan corriente, no se deben ver modificadas por el incremento de temperatura, desgaste de los materiales aislantes y vibraciones ocasionadas durante la operación normal.

El incremento de temperatura no es el único parámetro para la selección de conductores; dicha selección también tiene parámetros como:

- Las fuerzas mecánicas a las cuales se va a someter el tablero.
- El método para la sujeción del conductor.
- El tipo de aislamiento.
- El tipo de componentes que van a ir conectados en los extremos del conductor.

Para el caso de cables de alambre o hilos de material conductor, se deben atender los siguientes requerimientos:

- Deben tener el mínimo de la tensión de aislamiento del circuito donde estarán conectados.
- No deben existir añadiduras en el total de la longitud del conductor.
- Los conductores con un nivel básico de aislamiento deben estar alejados de las partes energizadas de diferente potencial.
- Estar separados de bordes filosos que arriesguen la integridad del conductor.
- Para los conductores que conectan a dispositivos instalados en las partes móviles del tablero, como las puertas, se debe garantizar que la operación no va a modificar la integridad del conductor.
- Las conexiones realizadas por medio de soldadura, solo se permitirán en los casos donde el componente lo permita y se utilice el tipo de conductor adecuado.
- La conexión por medio de soldadura no se permite en situaciones donde existan vibraciones durante la operación normal.
- Solo se conectará un conductor por terminal, a menos que la terminal del componente a conectar permita y especifique la conexión de más de un conductor.

1.6. Propiedades dieléctricas

Para esta prueba todos los dispositivos deben ser conectados, excepto los componentes que no están diseñados para trabajar en condiciones de alto voltaje o que pueden llegar a sufrir daños durante la prueba, por ejemplo, los instrumentos de medida, descargadores de sobretensiones, entre otros. Estos dispositivos deben ser desconectados en las terminales que no pueden soportar una alta tensión; puede ser el caso de que todas las terminales de un componente se deban desconectar.

1.6.1. Prueba para sobretensiones a frecuencia industrial

Para el circuito principal se debe aplicar el valor especificado en la Tabla 7, que será seleccionado por el mínimo valor de aislamiento de todos los dispositivos conectados al circuito principal.

Tabla 7. Valor de la sobretensión para la prueba a frecuencia industrial en circuitos principales.

Fuente. IEC 61439-1 Anexo F Tabla 8

Rango de tensión de aislamiento U_i (línea a línea AC. o DC	Tensión de prueba en a.c. valor RMS	Tensión de prueba en DC
$U_i \leq 60$	1000	1415
$60 < U_i \leq 300$	1500	2120
$300 < U_i \leq 690$	1890	2670
$690 < U_i \leq 800$	2000	2830
$800 < U_i \leq 1000$	2200	3110
$1000 < U_i \leq 1500$		3820

Para los circuitos auxiliares que no están conectados al circuito principal se deben tomar los valores de la Tabla 8 bajo el mismo criterio de la menor tensión de aislamiento de los dispositivos conectados.

Tabla 8. Valor de la sobretensión a frecuencia industrial.

Fuente. IEC 61439-1 Tabla 9

Rango de tensión de aislamiento U_i (línea a línea)	Tensión de prueba en a.c. valor RMS
$U_i \leq 12$	250
$12 < U_i \leq 60$	500
$60 < U_i$	Ir a la tabla 8 de la IEC 61439-1

La prueba de voltaje en A.C., debe ser realizada con una forma de onda cuasi senoidal, con una frecuencia entre 45 Hz y 65 Hz. El transformador utilizado debe suministrar como máximo 200 mA cuando las terminales del lado de alta tensión se encuentren en corto circuito. Como protección se debe disponer de una protección contra sobre corriente de un valor de 100 mA. El valor de tolerancia en la tensión aplicada para la prueba descrita en la Tabla 5 o 6, según sea el caso, debe ser de ± 3%.

En el momento de realizar la prueba se debe ajustar la tensión del equipo de prueba al 50% de la tensión seleccionada en la Tabla 5 o 6, según sea el caso. Después se debe incrementar gradualmente la tensión hasta llegar al 100% y mantenerla por 5 segundos. El proceso anterior se aplica en los siguientes escenarios:

- Entre las partes conductoras de corriente del circuito principal y las partes expuestas conductoras del tablero, garantizando que todos los contactos o seccionamientos están cerrado o puenteados.
- Entre cada parte de diferente potencial del circuito principal, garantizando que todos los contactos o seccionamientos están cerrado o puenteados.
- Igual que las descripciones anteriores, pero para los circuitos auxiliares.

El criterio de aceptación de la prueba será el no accionamiento de la protección de sobre corriente y la no descarga disruptiva entre las partes.

1.6.2. Prueba de sobretensión al impulso

La forma de onda para esta prueba corresponde a una 1.2 us/50 us si la tensión de prueba es suministrada por un equipo capaz de realizarla; también se puede realizar mediante la utilización de una señal DC, con los valores especificados en la Tabla 9 además en esta tabla se encuentran los datos para la prueba alternativa que se puede realizar en caso de no tener un generador de onda tipo 1.2 us/50 us; esta prueba alternativa se describirá más adelante.

La prueba debe ser realizada en los siguientes escenarios:

- Entre las partes conductoras de corriente del circuito principal y las partes expuestas conductoras del tablero, garantizando que todos los contactos o seccionamientos están cerrado o puenteados.
- Entre cada parte de diferente potencial del circuito principal, garantizando que todos los contactos o seccionamientos están cerrado o puenteados.
- Igual que las descripciones anteriores, pero para los circuitos auxiliares.

Tabla 9. Tensión de la prueba de sobretensión al impulso.

Fuente. IEC 61439-1 Tabla 10

Rango de tensión de impulso U_{imp} en KV	Valor de la tensión de prueba a su correspondiente altitud									
	$U_{1.2/50}$ AC pico y DC. KV					Valor RMS a.c. en KV				
	A nivel del mar	200 m	500 m	1000 m	2000 m	A nivel del mar	200 m	500 m	1000 m	2000 m
2.5	2.95	2.8	2.8	2.7	2.5	2.1	2	2	1.9	1.8
4	4.8	4.8	4.7	4.4	4	3.4	3.4	3.3	3.1	2.8
6	7.3	7.2	7	6.7	6	5.1	5.1	5	4.7	4.2
8	9.8	9.6	9.3	9	8	6.9	6.8	6.6	6.4	5.7
12	14.8	14.5	14	13.3	12	10.5	10.3	9.9	9.4	8.5

Para el caso de que la prueba se realice por medio de un generador de onda 1.2 us/50 us, se debe suministrar la onda cinco veces por cada polaridad en intervalos de un segundo, garantizando una toleración de ± 3% en el pico de la onda. El criterio de aceptación será la no descarga disruptiva en todos los escenarios de aplicación.

1.6.2.1. Prueba alternativa a frecuencia industrial

Para la prueba alternativa es necesario contar con un equipo que tenga las siguientes características: Permita suministrar los valores de tensión de la Tabla 9, la señal de salida tenga forma senoidal con frecuencia entre 45 y 65 Hz, la corriente máxima que puede suministrar el equipo utilizado para la prueba es de 200 mA y debe contar con una protección de 100 mA. Durante la prueba se debe garantizar una tolerancia en la magnitud de la prueba de ± 3%.

El proceso de la prueba consiste en suministrar el 100% del valor asignado por la Tabla 7 y debe ser mantenido por lo menos 15 ms. El criterio de aceptación de la prueba consiste en el no accionamiento de la protección y la no visualización de disrupción entre los puntos de diferente potencial.

Esta prueba debe ser aplicada en los siguientes escenarios:

- Entre las partes conductoras de corriente del circuito principal y las partes expuestas conductoras del tablero, garantizando que todos los contactos o seccionamientos están cerrado o puenteados.
- Entre cada parte de diferente potencial del circuito principal, garantizando que todos los contactos o seccionamientos están cerrado o puenteados.
- Igual que las descripciones anteriores, pero para los circuitos auxiliares.

1.7. Límites del incremento de temperatura

Esta prueba de verificación puede ser realizada por medio de los tres métodos, el primero, método de cálculo, método de comparación con diseño y el método de prueba. Esta prueba de verificación es una de las más importantes debido a que la temperatura es una de las variables que más afecta a los equipos instalados dentro del tablero eléctrico debido a que todos los componentes eléctricos tienen una disipación de potencia en forma de calor.

Los componentes eléctricos que trabajan por encima de su límite de temperatura degradan su vida útil y esto desencadena en aumentar el riesgo de fallas del tablero eléctrico.

1.7.1. Verificación por medio del calculo

Existen dos clasificaciones generales para implementar este método de verificación, los cuales están determinados por la magnitud de la corriente dentro del tablero; La primera es la magnitud de 630 A y la segunda de 1600 A. Cada magnitud de corriente tiene unas condiciones especiales las cuales están indicadas en la Tabla 10.

Tabla 10. Condiciones que cumplir para realizar el método de verificación por medio de cálculo.

Fuente. IEC 61439-1 Numerales 10.10.4.2 y 10.10.4.3

Tableros con corriente no mayor a 630A	**Tableros con corriente no mayor a 1600[a]**
El tablero eléctrico debe contar con un solo compartimiento, de tener más de uno se debe aplicar el método a cada partición de forma individual.	El tablero eléctrico puede tener uno o varios compartimientos en su interior sin presentar más de tres particiones horizontales en su interior.
Perdidas de potencia de los componentes están indicadas por el fabricante original.	Perdidas de potencia de los componentes están indicadas por el fabricante original.
La distribución de las pérdidas de potencia debe ser uniforme en todo el tablero eléctrico.	La distribución de las pérdidas de potencia debe ser uniforme en todo el tablero eléctrico.
Los equipos y partes mecánicas instaladas no afectan la circulación del aire.	Los equipos y partes mecánicas instaladas no afectan la circulación del aire.
Los conductores que exceden los 200 A se encuentran instalados de manera que se encuentran minimizadas las perdidas por histéresis.	Los conductores que exceden los 200 A se encuentran instalados de manera que se encuentran minimizadas las perdidas por histéresis.
Todos los conductores tienen un área trasversal que permite la circulación de al menos el 125% de la corriente nominal de los circuitos.	Todos los conductores tienen un área trasversal que permite la circulación de al menos el 125% de la corriente nominal de los circuitos.
	En tableros con ventilación natural el área de sus salidas de aire debe ser 1.1 veces mayores que las entradas de aire.
	Las particiones horizontales con las que cuente el tablero deben tener un área de ventilación de al menos el 50% del total del área del tablero eléctrico.

Luego de comprobar el cumplimiento de las condiciones según la magnitud de la corriente se procede a utilizar el método de cálculo expuesto en la IEC 60890 “Método de verificación de aumento de temperatura de conjuntos de equipos de baja tensión y control mediante cálculo”.

1.7.2. Verificación por medio de prueba

Este método es el más acertado ya que consiste en aplicar, al menos, el 80% de la corriente térmica convencional al aire libre o la corriente nominal de los equipos de interrupción y seccionamiento, la prueba debe tener una duración de al menos ocho (8) horas.

La verificación por medio de prueba debe estar implementada en alguna de las tres opciones siguientes:

1. Verificación completa del tablero eléctrico: Consiste en realizar la prueba simultanea de todos los circuitos y unidades funcionales para realizar la validación de todo el conjunto teniendo en cuenta las contribuciones de calor que cada uno aporta al interior del tablero eléctrico. Este método no es de aceptación para un rango de tableros.
2. Verificación individual de unidades funcionales y del tablero completo: se considera un factor de diversificación en la carga, teniendo en cuenta la relevancia de los circuitos o las salidas del tablero.
3. Verificación considerando la unidad funcional individual, barraje principal y de distribución y el talero completo: esta prueba, al realizar más verificaciones que los métodos 1 y 2 certifica el modularidad de todo el sistema.

2. Generalidades NFPA 70E

La Asociación Nacional de Protección contra Incendios (NFPA), desarrolla y publica normas y códigos de consenso con el objetivo de evitar muertes, lesiones, pérdidas de propiedad y económicas debido a incendios, problemas eléctricos y peligros relacionados. Estas normas tienen como objetivo brindar un área de trabajo práctico y seguro para los empleados en relación a los peligros que surgen del uso de la electricidad. [7]

La norma NFPA 70E aborda las prácticas de trabajo relacionadas con la seguridad eléctrica para los empleados contra los peligros implícitos de la energía eléctrica durante actividades como instalación, inspección, operación, mantenimiento de equipo eléctrico, señalización, equipo y conductores de comunicaciones, y canales. Esta norma también incluye las prácticas de trabajo seguras para los empleados que realizan otras actividades laborales que pueden exponerlos a riesgos eléctricos tales como:

- Instalación de conductores y equipos que se conectan al suministro de electricidad.
- Instalaciones que utiliza la compañía eléctrica, como edificios de oficinas, almacenes, garajes, talleres de maquinarias y edificios de recreación que no son una parte integral de una planta generadora, subestación ni centro de control.

En cuanto a la ejecución de pruebas FAT en tableros eléctricos de baja tensión, la NFPA 70E aplica en dos tipos de trabajos:

- Trabajos energizados
- Trabajos des energizados

2.1. Cálculo de la energía calorífica incidente sobre un trabajador

Un arco eléctrico es una descarga disruptiva generada por la ionización de un medio gaseoso (por ejemplo, el aire) entre dos superficies o elementos a diferente potencial. El arco es un fenómeno caótico, y que puede originarse, tanto por un fallo técnico como por un error humano (caída de herramientas, maniobra inadecuada, etc.). La NFPA 70E establece la necesidad de evaluar el riesgo asociado al arco eléctrico, en trabajos próximos a instalaciones, donde existan tensiones superiores a 250 V. Cuando tiene lugar un arco eléctrico se produce una gran liberación de energía y sustancias peligrosas, entre las que destacan [8]:

-Energía térmica: Produce gran aumento de temperatura en las inmediaciones del arco.

-Onda de presión: Produce destrucciones mecánicas sobre las instalaciones y daños físicos sobre los trabajadores.

-Gases tóxicos y metralla: Se produce debido a las altas temperaturas que se alcanzan durante el arco.

-Radiaciones electromagnéticas: Genera radiación principalmente del tipo ultravioleta (UV) e infrarroja (IR).

La NFPA 70E establece métodos para calcular la energía calorífica incidente sobre los trabajadores expuestos a este fenómeno y ofrece recomendaciones para la selección y uso de EPP`s que deben usarse dentro de la "Zona de peligro frente al arco", que queda delimitada a partir del "Limite de protección frente al arco FPB". En la Figura 3 se muestran las diferentes zonas existentes durante un evento de arco eléctrico.

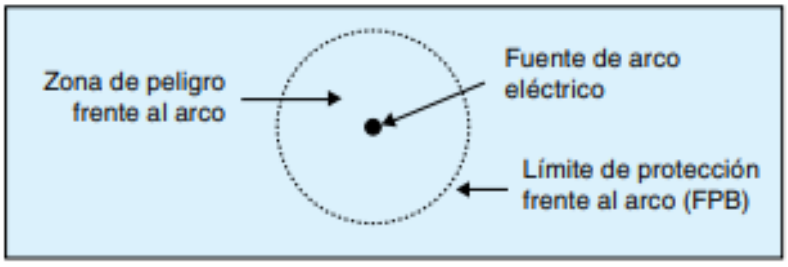


Figura 3. IEEE 1584-2002 Guía para el cálculo de los riesgos derivados del arco eléctrico.

Fuente. IEEE 1584-2002

En la Figura 4 se presenta el procedimiento de estimación del riesgo térmico asociado al arco eléctrico; el cual indica la necesidad de estimar el riesgo, así como los métodos estipulados por la norma para el cálculo de la energía incidente.

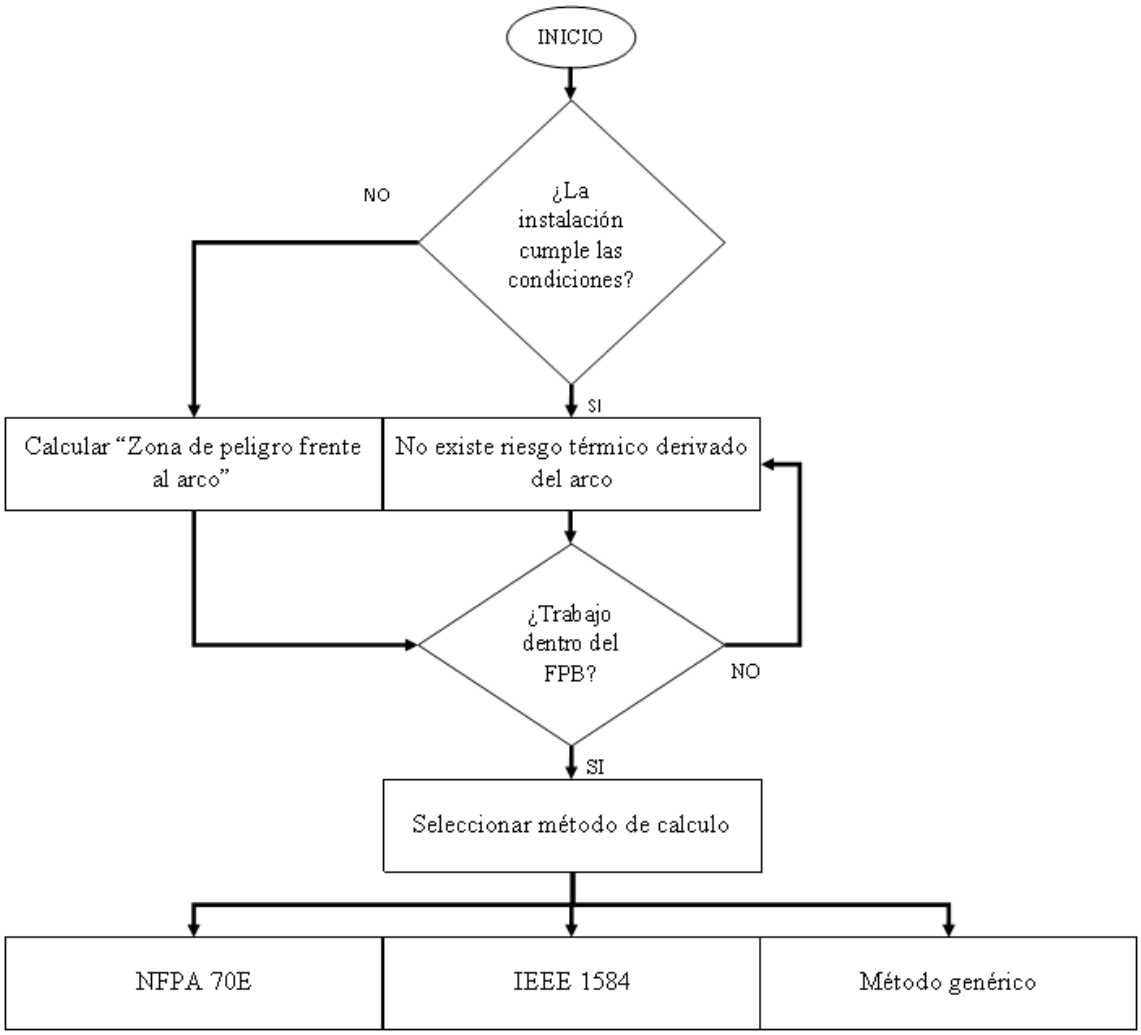


Figura 4. Procedimiento de estimación del riesgo térmico asociado al arco eléctrico.

Fuente. NFPA 70E Apartado 130.3

Nota: (*):

Si la instalación eléctrica cumple simultáneamente las siguientes condiciones:

- Tensión de la instalación < 250 V (C.A. o C.C.).
- El circuito eléctrico está alimentado por un único transformador de menos de 125 kVA.

La NFPA 70E establece que no es necesario evaluar los riesgos asociados al arco eléctrico, ya que es muy difícil que la energía que porte el arco sea peligrosa.

2.1.1 Método de calculo

- NFPA 70E:

- Arco libre:

$$E = 5271 \cdot D^{-1,9593} \cdot t \cdot [0,0016 \cdot lbf^2 - 0,0076 \cdot lbf + 0,8938]$$

Ecuación 3 Calculo de energía incidente NFPA 70E arco libre

Fuente. NFPA 70E Apartado 130.3

- Arco en Caja (Caja de 20'') (*)

$$E = 1038,7 \cdot D^{-1,4738} \cdot t \cdot [0,0093 \cdot lbf^2 - 0,3453 \cdot lbf + 5,9675]$$

Ecuación 4 Calculo de energía incidente NFPA 70E arco en caja

Fuente. NFPA 70E Apartado 130.3

Donde:

E, energía calorífica incidente (cal/cm^2)

D, distancia de trabajo (pulgadas)

Ibf, corriente de falla (kA)

t, tiempo de duración del arco (s)

Nota: (*): Cuando se tienen tableros eléctricos y envolventes de tamaño superior a 20 pulgadas, su valor se situará entre el valor estimado a partir de un arco libre y del arco en caja.

- IEEE 1584:

$$E = Cf \cdot En \left(\frac{t}{0,2}\right) \cdot \left(\frac{610^x}{D^x}\right)$$

Ecuación 5 Calculo de energía incidente IEEE 1584

Fuente. NFPA 70E Apartado 130.3

$$\mathrm{En} = 10^{\log(En)}$$

$$\log(\mathrm{Ia}) = \mathrm{K} + 0{,}662 \cdot \log(\mathrm{Ibf}) + 0{,}0966 \cdot \mathrm{V} + 0{,}000526 \cdot \mathrm{G} + 0{,}5588 \cdot \mathrm{V} \cdot (\log(\mathrm{Ibf})) - 0{,}00304 \cdot \mathrm{G} \cdot \log(\mathrm{Ibf}))$$

Ecuación 6 Calculo de energía incidente normalizada IEEE 1584

Fuente. NFPA 70E Apartado 130.3

Donde:

E, energía calorífica incidente (cal/cm^2)

En, energía calorífica incidente normalizada (J/cm2)

G, distancia entre conductores (mm)

V, tensión nominal (kV)

Ibf, corriente de falla (kA)

D, distancia de trabajo (mm)

t, tiempo de duración del arco (s)

K, K1, K2, constantes dependientes del sistema de puesta a tierra

K: -0,153 (aire libre); -0,097 (en caja)

K1: -0,792 (aire libre); -0,555 (en caja)

K2: 0 (para sistemas sin tierra y con tierra de alta impedancia); -0,113 (para sistemas con tierra)

Cf: factor de cálculo 1.0 para tensiones superiores a 1 kV, 1.5 para tensiones inferiores a 1 kV

x, factor de distancia

En la Tabla 11 se muestra el factor de distancia dependiendo de la aplicación de la solución tecnológica y de las distancias entre los conductores de potencia.

Tabla 11.Factor de distancia en tableros de baja tensión IEEE 1584

Fuente. NFPA 70E Apartado 130.3

Tipo de tablero eléctrico	Distancia entre conductores (mm)	x, Factor de distancia
Aire libre	10 – 40	2,000
Elementos de interrupción	32	1,473
Cuadros generales y de control de motores (CCM)	25	1,641
Cable	13	2,000

- Método genérico:

$$E = 5{,}12 \cdot 10^5 \cdot V \cdot Ibf \cdot \left(\frac{t}{D^2}\right)$$

Ecuación 7 Calculo de energía incidente método genérico

Fuente. NFPA 70E Apartado 130.3

Donde:

E, energía calorífica incidente (cal/cm^2)

V, tensión nominal (kV)

Ibf, corriente de falla (kA)

D, distancia de trabajo (mm)

t, tiempo de duración del arco (s)

2.1.2 Medidas y recomendación contra arco eléctrico

- Medidas que disminuyen la energía del arco:

-Planificar la ejecución del trabajo sin tensión.

-Ajustar las impedancias del sistema de tierra de la instalación.

-Aumentar la impedancia del transformador de alimentación de la instalación.

-Ajustar la coordinación de los dispositivos de protección de la instalación con el fin de reducir los tiempos de despeje de falla.

-Realizar filiación el sistema de protecciones de la instalación.

- Medidas que aumentan la distancia al arco:

-Realizar las maniobras de forma remota.

-Situar los dispositivos de interrupción y control alejados de los elementos sobre los que actúan.

-Utilizar equipos eléctricos que soporte los fenómenos y energías asociadas al arco.

-Señalizar adecuadamente los lugares de trabajo, para indicar la entrada en los límites de la zona de seguridad frente al arco (FPB).

- Medidas de equipos de protección individual:

Utilización de los elementos de protección personal, que ofrezcan un nivel de protección adecuado a la energía incidente sobre el trabajador.

2.1.3 Metodología selección de EPP`s (Elementos de protección personal)

Cada uno de las labores anteriormente mencionadas implica estrictamente el uso adecuado de elementos de protección personal; en consecuencia, la norma NFPA 70 E establece una metodología para la selección adecuada de los EPP`s en concordancia a la labor a realizar y los riesgos asociados a la misma. A continuación, se muestran las características y consideraciones a tener en cuenta para la selección adecuada de los elementos de protección personal. [7]

-Características de los EPP`s

Los elementos de protección personal tienen como objetivo:

- Limitar o evitar las heridas o daños a la salud.
- Reducir la cantidad de eventos peligrosos.
- Genera barreras para que el trabajo se complete de manera efectiva.

-Criterios de selección

Toda actividad de verificación, mantenimiento preventivo y correctivo debe realizarse con el uso adecuado de los elementos de protección personal, en relación con los siguientes criterios:

- Tarea o labor: Planificar e Identificar claramente la actividad a realizar sobre el equipo.
- Nivel de tensión: Identificar el nivel de tensión al que se verá expuesto al realizar la labor.
- Frontera de relámpago de arco: Identificar la distancia mínima dentro de la cual una persona puede recibir una quemadura si ocurriera un relámpago de arco eléctrico.
- Categoría de EPP: Identificar la categoría del EPP que provea un nivel de protección adecuado frente a un eventual relámpago de arco eléctrico.
- Selección EPP`s: Seleccionar los EPP`s que cumplan con los criterios anteriormente mencionados

2.2. Trabajos des-energizados

Las actividades de verificación, mantenimiento y ejecución de cualquier maniobra de operación realizada en instalaciones des-energizadas, debe tener en cuenta la metodología presentada a continuación, la cual está encaminada a velar por la seguridad de los trabajadores. En primera instancia es necesario diligenciar el permiso de trabajo el cual tiene como objetivo identificar los riesgos asociados a la actividad a realizar, posteriormente se establecen los siguientes pasos: [7]

- Efectuar el corte visible de todas las fuentes de tensión:

Identificar todas las fuentes de energía, por ejemplo, UPS´s (Sistemas de alimentación ininterrumpida), rectificadores, bancos de baterías, bancos de condensadores, grupos electrógenos, entre otros, que se encuentran conectadas o que puedan servir de suministro eléctrico para el equipo o parte del circuito en el cual se va a realizar el trabajo; todo esto se debe realizar siguiendo los planos eléctricos actualizados. Una vez identificada todas las posibles fuentes se procederá a abrir los circuitos para garantizar la ausencia de tensión de los circuitos.

- Enclavamiento, bloqueo y señalización:

Se procede a aplicar el procedimiento de bloqueo y etiquetado siguiendo lo expuesto en la NFPA 70E artículo 120.2.

-Revisar los planos actuales (o su equivalente), etiquetas, rótulos y señales, para identificar y localizar todos medios de desconexión a fin de determinar que la energía se encuentra interrumpida, a través de un interruptor físico y no des-energizado por un enclavamiento mecánico. Haga una lista de los medios a los que se debe poner bloqueo/etiqueta.

-Revise los medios de desconexión para determinar si su capacidad de interrupción es la adecuada. Determine si será posible verificar un punto abierto visible o si serán necesarias otras medidas.

-Revisar otras actividades de trabajo para identificar dónde y cómo otras personas pueden estar expuestas a peligros eléctricos. Revisar otras fuentes de energía en el área física para determinar la exposición de los empleados a esas fuentes de otro tipo de energías. Establezca métodos de control de energía para el control de otras fuentes de energías peligrosas en el área.

-Provea un instrumento de prueba con los valores nominales adecuados para probar cada conductor de fase o parte del circuito. Verificar que el instrumento de prueba opera satisfactoriamente.

-Si la fuente de energía eléctrica se encuentra energizada, la persona calificada debe des-energizar y desconectar la alimentación de energía y debe asimismo liberar toda la energía almacenada. Donde pueda existir la posibilidad de tensiones inducidas o energía eléctrica almacenada, es necesario poner a tierra los conductores de fase antes de tocarlos.

-Se debe notificar a los empleados que se va a implementar el sistema bloqueo/etiqueta y el motivo del mismo. El empleado calificado que implementa el bloqueo/etiqueta debe conocer la localización de los medios de desconexión para todas las fuentes de energía eléctrica y el lugar de todas las fuentes de energía almacenada.

-Ponga bloqueo/etiqueta a todos los medios de desconexión.

-Intente operar los medios de desconexión para determinar que la operación está prohibida.

- Se debe utilizar un instrumento de prueba, verifique el estado del instrumento. No siga adelante si hay alguna indicación de daño en el instrumento hasta que se disponga de un dispositivo que no presente daños. Pruebe la ausencia de tensión.

-Realice su trabajo de manera segura

- Verificar ausencia de tensión en cada una de las fases:

Para verificar que el circuito se encuentra totalmente des-energizado, se debe contar con una herramienta de medición y posteriormente realizar los siguientes pasos que se encuentran descritos en el artículo 120 inciso 5 de la NFPA 70E, los cuales son:

-Ajustar el medidor en la escala adecuada para el valor nominal del punto de medida.

-Comprobar el funcionamiento del equipo en una fuente conocida de tensión conocida.

-Ubicar en el punto de medida las puntas o electrodos de medida y realizar la verificación del valor esperado de medida.

-Volver a comprobar el funcionamiento del equipo en la fuente de tensión conocida.

- Puesta a tierra y en cortocircuito de todas las posibles fuentes de tensión que incidan en la zona de trabajo:

Se procede a cortocircuitar todas las fases del circuito de alimentación y aterrizarlas con el fin de drenar la energía almacenada y evitar tensiones inducidas. Para fuentes que almacenen energía, como por ejemplo condensadores, es necesario drenar la energía almacenada según indique el fabricante y realizar el proceso de bloqueo y etiquetado.

- Señalizar y delimitar la zona de trabajo:

Se debe realizar una demarcación del área de trabajo con elementos como barricadas, cintas de señalización o etiquetas tal como se ilustra en la Figura 5 para que el personal que se encuentre laborando cerca del área en donde se ejecuta la tarea tome las medidas necesarias.



Figura 5. Procedimiento de estimación del riesgo térmico asociado al arco eléctrico.

Fuente. Página web http://riesgoelectric.blogspot.com

2.3. Trabajos energizados

Las actividades de verificación, mantenimiento y ejecución de cualquier maniobra de operación realizada en instalaciones energizadas deben tener en cuenta la metodología presentada a continuación. [7]

- Diagnóstico

Efectuar un diagnóstico previo de la condición operativa y de seguridad del equipo o instalación a intervenir, el acceso y condiciones del sitio de trabajo, las estrategias de atención en caso de presentarse una emergencia debido a los riesgos asociados a la tarea a ejecutar

- Planeación

La actividad de verificación, operación y mantenimiento debe ser documentada en un plan de trabajo, en cual debe presentarse para aprobación de las instancias y personas calificadas.

- Preparación y comunicación

Designar un jefe de trabajo quien será el responsable de recibir el equipo o instalación a intervenir en las condiciones operativas definidas y aprobadas. Se debe comunicar a todo el personal que estará asociado a la tarea y a quienes se encuentren en zonas aledañas del sitio a intervenir sobre la actividad que se va a realizar. El personal debe contar con el perfil requerido para la realización de la tarea y estar preparado para tomar decisiones en cualquier momento por si se llega a presentar una situación que ponga en peligro a quienes intervienen el equipo.

- Cálculo de energía incidente

Se debe identificar datos del equipo a intervenir como por ejemplo tensión de operación, corriente del circuito, corriente de falla, potencia. Con estos datos se procede a calcular el análisis de riesgo de choque y riesgo de relámpago.

- Señalización y demarcación del área

Se debe señalizar el área exterior o interiormente. La delimitación del área se puede hacer con ayuda de barricadas para aislar la zona y evitar que personas que estén pasando por el lugar no se expongan a un riesgo como contacto directo o indirecto. Así mismo se realizarán demarcación del área con etiquetas de informativas, preventivas o de restricción dependiendo del área de trabajo.

- Ejecución

Se debe identificar la instalación en donde se va a realizar la labor. Además, se debe revisar el estado del equipo a intervenir, verificar que el equipo no tenga daños que puedan generar una condición insegura al momento de maniobrarlo.

- Supervisión y control

Se debe ejercer control y supervisión constante en la ejecución de la tarea por parte del personal a cargo de la labor, con ello se minimiza el riesgo de algún incidente por descuido o por no acatar las normas establecidas por quien está a cargo de la tarea

3. Generalidades protocolos existentes

En la actualidad la compañía cuenta con una serie de procedimientos que tienen como objetivo verificar el correcto funcionamiento de los productos ofrecidos y cumplir con los estándares solicitados por la norma en cuanto a la elaboración de tableros eléctricos en baja tensión. Se identifica que los procedimientos usados por el personal de pruebas de la compañía están basados en la IEC 61439-1, los cuales se encuentran enfocados a los productos comúnmente elaborados por la compañía, como lo son centro de control de motores (CCMs), unidad terminal remota (RTUs), circuitos de distribución, tableros de control de procesos, tableros de comunicaciones y calidad de energía (banco de condensadores, filtros de armónicos).

Los procedimientos usados en la compañía son los siguientes:

- Inspección visual y grado de protección
- Verificación de dimensiones de juegos de barras y torque de juntas
- Verificación de separación y distancias de fuga
- Prueba de aislamiento de conductores y barrajes
- Pruebas de elevación de Tensión (HIPOT)
- Operación de equipos
- Prueba de continuidad de circuito de protección, descargas eléctricas y amarillado de planos
- Prueba de cableado de interconexión de tableros (Prueba de continuidad)
- Secuencia de energización Conforme a características de operación de equipo
- Pruebas de comunicaciones Conforme a características de operación de equipo
- Pruebas de funcionamiento Conforme a especificación funcional

3.1. Deficiencias presentes en los protocolos

En primera instancia se observa que los documentos existentes en la compañía cumplen a cabalidad lo exigido por la norma, pero los procedimientos se ven limitados al no poseer un orden correcto de acuerdo al tipo de prueba a ejecutar, puesto que existen procedimientos que actúan como complemento a una prueba principal y estos se encuentran documentalmente desligados. Por otro lado ninguno de los procedimientos cuenta con una explicación del objetivo de la prueba; esto dificulta la labor para el personal nuevo de pruebas puesto que no es claro los posibles errores de producción que se puedan identificar en el desarrollo de verificaciones; de igual forma no se presentan los elementos de protección personal necesarios para la labor y por último, en diversas pruebas es necesario apoyarse en tablas o anexos de la norma IEC 61439-1 que no son de fácil acceso, lo que hace ineficiente la ejecución de pruebas FAT en tableros de baja tensión.

XIII. PROCEDIMIENTOS DE PRUEBAS FAT SMART-ING

1. Generalidades

Los procedimientos que a continuación se describen tiene como objetivo detallar la metodología que rige el desarrollo de pruebas FAT a cada una de las familias de productos ensamblados.

A continuación, se muestra el personal autorizado para la asistencia y ejecución de pruebas:

- Coordinador de ingeniera de diseño

- Coordinador de montaje

-Ingeniero de proyectos

-Auxiliar de ingeniería

Nota: En caso de ser necesario que ingrese al área otra persona fuera de las autorizadas, el ingeniero responsable deberá dar la autorización bajo su responsabilidad.

Smart Ing comprometida con la integridad de sus colaboradores exige el correcto diligenciamiento del ATS (Análisis de trabajo seguro) antes de ejecutar cualquier tipo de labor, esto con el fin de identificar los peligros existentes en el desarrollo de cualquier trabajo y sus métodos de mitigación.

Entre esos métodos de reducción de peligros se encuentran los elementos de protección personal, que como mínimo se deben usar para el desarrollo del procedimiento de pruebas, a continuación, se presentan dichos elementos:

-Guantes de nitrilo

-Botas dieléctricas

-Protección auditiva

Nota: En casos específicos se requiere usar elementos de protección personal adecuados para su ejecución, estos elementos actúan como complemento al mínimo requerido y se presentaran en su correspondiente procedimiento

1.1. Inspección visual y grado de protección

En la Tabla 12 se presenta la metodología para realizar la inspección visual y grado de protección de los productos elaborados por la compañía.

Tabla 12. Inspección visual y grado de protección

Fuente. Autores del documento

Objetivo	Establecer la metodología para realizar la inspección visual del tablero eléctrico, verificando dimensiones, acabados, certificación del grado IP de la envolvente y nomenclatura de cada uno de componentes presentes en el tablero eléctrico, lo anteriormente mencionado con referencia a los estándares de diseño suministrados por el departamento de ingeniería.
Alcance	Todos los productos elaborados por Smart-Ing
Elementos de protección personal	-Guantes de nitrilo -Botas dieléctricas -Protección auditiva
Responsables	-Gerente Ingeniería y/o Ingeniero de proyectos
Suministro y herramientas	- Planos mecánicos emitidos para fabricación -Calibrador y/o flexómetro
Normativa	- IEC 61439-1 10.3, 11.2
Diagrama de flujo	Anexo B.1. Inspección visual y grado de protección
Metodología	-Contar con los EPP y los suministros necesarios para la ejecución de la prueba -Verificar la referencia, dimensiones y acabado de los tableros, y que éstos cumplan con lo establecido en el diseño y el listado de materiales.

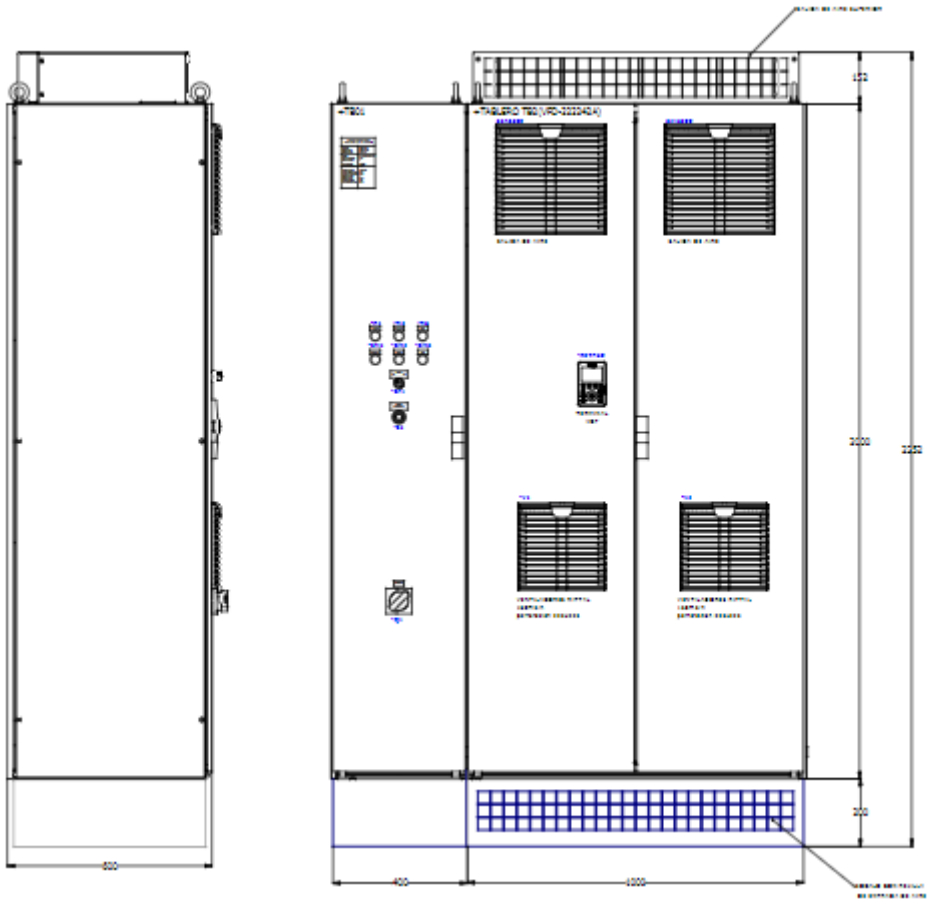


Figura 6. Dimensiones tablero eléctrico

Fuente. Autores del documento

-Verificar el grado de protección del tablero. Esta verificación se logra consultando el catálogo del fabricante de la envolvente.

-Verificar la disposición e instalación de los equipos en el tablero, en concordancia a los diseños mecánicos internos.

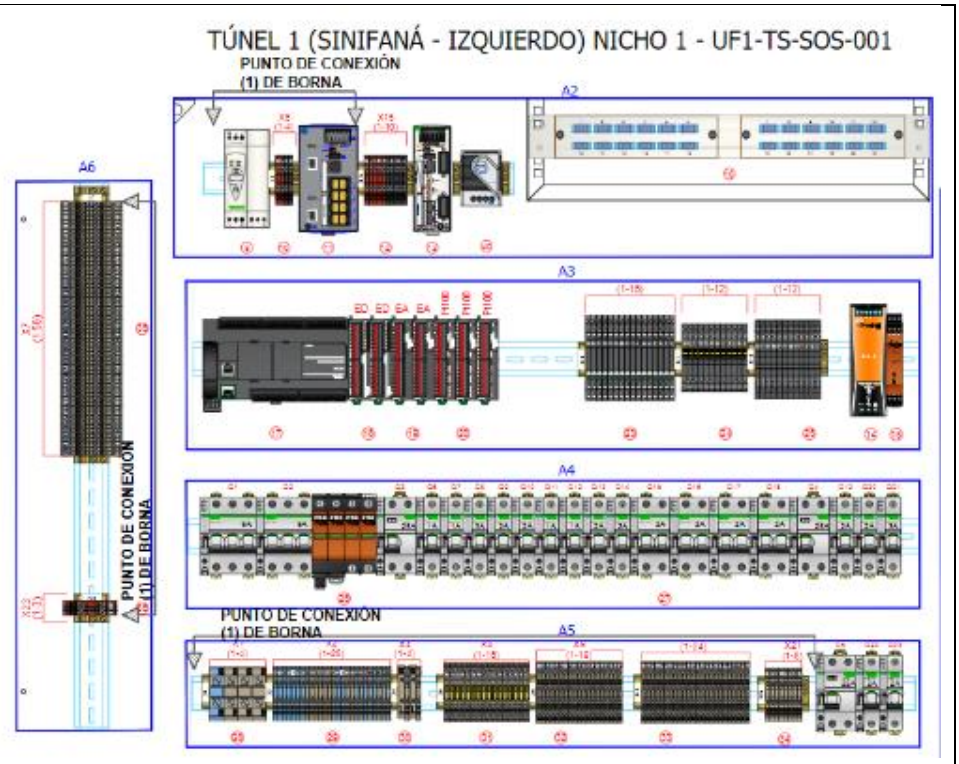


Figura 7. Disposición mecánica interna

Fuente. Autores del documento

-Comprobar la operación de puertas, la sujeción de los equipos y el estado en general de los accesos de cables de los tableros.

-Verificar las placas y etiquetas de identificación instaladas en el tablero.

-Verificar el listado de materiales del proyecto, asegurando que las referencias instaladas corresponden con lo emitido por el departamento de ingeniería.

1.1.1. Verificación dimensiones de barras y torque de juntas

En la Tabla 13 se presenta la metodología para realizar la verificación dimensiones de barras y torque de juntas de los productos elaborados por la compañía

Tabla 13.Verificación dimensiones de barras y torque de juntas

Fuente. Autores del documento

Objetivo	Corroborar las dimensiones y correcto torque de las juntas de barras y aisladores presentes en la envolvente.
Alcance	- Smart motor control center (SMCC) - Switchgear Baja tensión-Smart Power - Smart capacitor-harmonics
Elementos de protección personal	-Guantes de nitrilo -Botas dieléctricas -Protección auditiva
Responsables	-Gerente Ingeniería y/o Ingeniero de proyectos
Suministro y herramientas	- Planos mecánicos emitidos para fabricación –Torquímetro
Diagrama de flujo	Anexo B.2. Verificación de dimensiones de barras y torque de juntas
Normativa	-IEC 61439-1 11.5
Metodología	-Contar con los EPP y los suministros necesarios para la ejecución de la prueba -Verificar las dimensiones del barraje, las cuales están definidas en los cálculos del diseño y en los planos eléctricos.

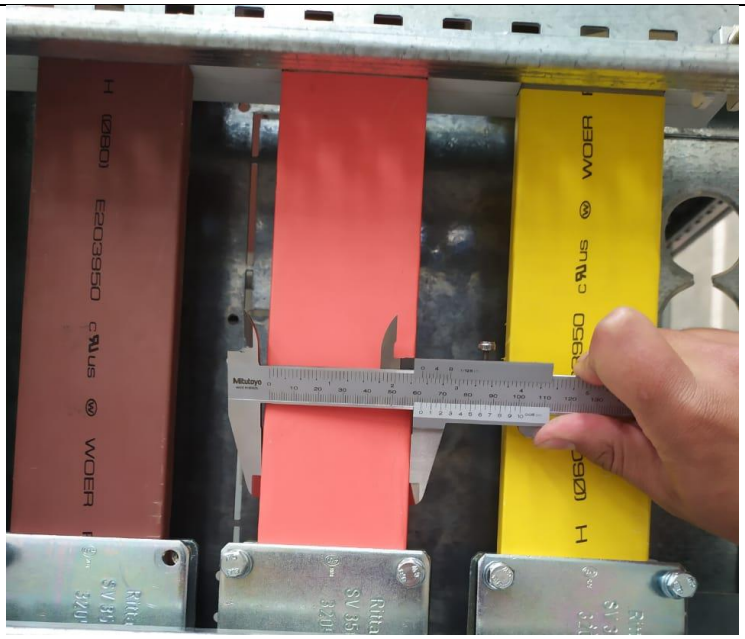


Figura 8. Dimensiones barraje

Fuente. Autores del documento

-Verificar el cumplimiento de la norma IEC61439-1 en cuanto a las tablas 11 y 12, adjuntas en el anexo tal.

-Finalmente se debe hacer la verificación del torque de circuitos eléctricos (juntas de barras, aisladores), de acuerdo a las tablas del fabricante.

1.2. Verificación de separación y distancias de fuga

En la Tabla 14 se presenta la metodología para realizar la verificación de separación y distancias de fuga de los productos elaborados por la compañía

Tabla 14.Verificación de separación y distancias de fuga

Fuente. Autores del documento

Objetivo	Establecer la metodología que permita corroborar las distancias mínimas en el aire y superficiales establecidos por la norma, dichas medidas se realizan entre elementos que se encuentren energizados a diferente potencial y la estructura de la envolvente.
Alcance	- Smart motor control center (SMCC) - Switchgear Baja tensión-Smart Power - Smart capacitor-harmonics
Elementos de protección personal	-Guantes de nitrilo -Botas dieléctricas -Protección auditiva
Responsables	-Gerente Ingeniería y/o Ingeniero de proyectos
Suministro y herramientas	- Planos mecánicos emitidos para fabricación -Calibrador y/o flexómetro
Diagrama de flujo	Anexo B.3. Verificación de separación y distancias de fuga
Normativa	- IEC 61439-1 11.3, 11.5, 10.4
Metodología	-Contar con los EPP y los suministros necesarios para la ejecución de la prueba -Realizar la medición de la distancia existente entre los barrajes de diferente potencial.

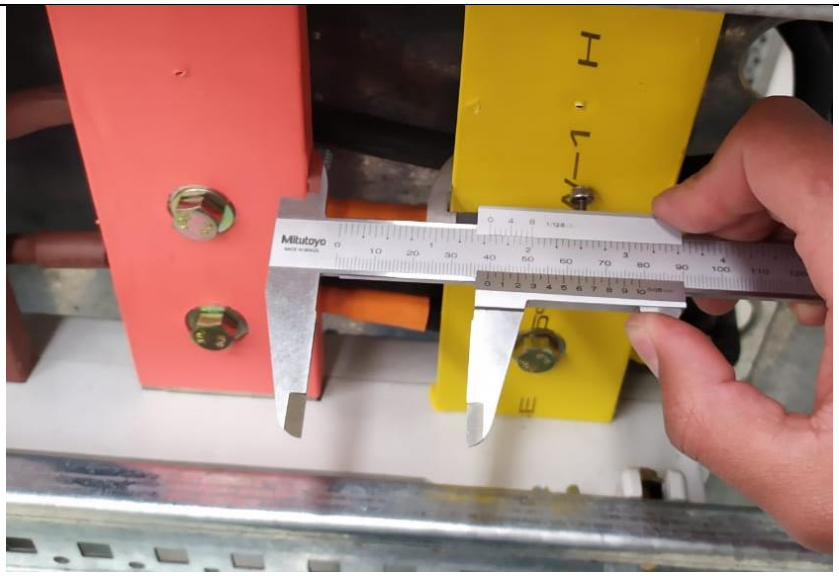


Figura 9. Distancia entre barrajes

Fuente. Autores del documento

- Realizar la medición de la distancia existente entre los barrajes y cualquier parte metálica cercana que esté conectada con la tierra del tablero.

- Verificar que las medidas tomadas cumplan con lo establecido en la norma IEC 61439-1 tabla 1 y tabla F.1

1.3. Protección contra descarga eléctrica e integridad del circuito de protección

En la Tabla 15 se presenta la metodología para realizar la inspección del sistema de protección contra descarga eléctrica e integridad del circuito de protección de los productos elaborados por la compañía.

Tabla 15.Protección contra descarga eléctrica e integridad del circuito de protección

Fuente. Autores del documento

Objetivo	Establecer la metodología que garantice el correcto funcionamiento del circuito de protección para actuar ante fallas internas y externas.
Alcance	Todos los productos elaborados por Smart-Ing
Elementos de protección personal	-Guantes de nitrilo -Botas dieléctricas -Protección auditiva
Responsables	-Gerente Ingeniería y/o Ingeniero de proyectos
Suministro y herramientas	- Planos eléctricos emitidos para fabricación -Multímetro
Diagrama de flujo	Anexo B.4. Protección contra descarga eléctrica e integridad del circuito de protección
Normativa	- RETIE, IEC 61439-1 10.5, 11.4
Metodología	-Contar con los EPP y los suministros necesarios para la ejecución de la prueba -Para esta prueba se deben realizar los pasos anteriores de verificación inicial, antes de conectar cualquier equipo de medición; cerciorándose de que las puertas, tapas y frentes muertos estén aterrizados y de la continuidad de la estructura a tierra. -Verificar la continuidad del circuito de descarga eléctrica, incluyendo chasis de dispositivos aterrizados, transformadores de control y potencia aterrizados. -Amarillar

1.4. Propiedades dieléctricas conductores y barrajes

En la Tabla 16 se presenta la metodología para realizar la verificación de las propiedades dieléctricas conductores y barrajes de los productos elaborados por la compañía.

Tabla 16. Propiedades dieléctricas conductores y barrajes

Fuente. Autores del documento

Objetivo	Establecer la metodología que permita verificar la cantidad de aislamiento presente en los conductores y barrajes de la instalación, esto se lograra mediante el uso del instrumento de medida Megóhmetro, el cual está constituido por un generador de tensión y un bloque de medición el cual establece el valor de impedancia existente.
Alcance	- Smart motor control center (SMCC) - Switchgear Baja tensión-Smart Power - Smart capacitor-harmonics
Elementos de protección personal	-Guantes de nitrilo -Botas dieléctricas -Protección auditiva
Responsables	-Gerente Ingeniería y/o Ingeniero de proyectos
Suministro y herramientas	- Planos eléctricos emitidos para fabricación - Megóhmetro
Diagrama de flujo	Anexo B.5. Propiedades dieléctricas conductores y barrajes
Normativa	- IEC 61439-1 10.9, 11.9
Metodología	-Contar con los EPP y los suministros necesarios para la ejecución de la prueba - Verificar el estado de los instrumentos de medida, es importante realizar la prueba con un equipo que se encuentre calibrado. -Acordonar el área o la unidad funcional a la cual se le está realizando la prueba. -Aislar eléctricamente los equipos electrónicos sensibles (variadores de velocidad, arrancadores suaves, medidores, DPS, etc.) ya que los niveles de tensión aplicada para la prueba no son soportados por la mayoría de estos componentes. -Medir entre barrajes y posteriormente de cada uno de los barrajes a tierra o carcasa de la envolvente.



Figura 10. Medición Megóhmetro

Fuente. Imagen vinculada a https://media.megger.com/mediacontainer/medialibraries/meggerglobal/product-catagories/cable%20fault%20test%20and%20diagnostics/telecom%20testing/insulation%20testers/mit-in-use2.jpg

-Dependiendo de la tensión de alimentación del equipo seleccionar la tensión para la prueba de aislamiento. Valor esperado 1000Ω/V según la tabla 8 IEC 61439-1.

-Verificar que las medidas tomadas cumplan con lo establecido en la norma IEC 60439 – 1 numerales 10.9, 11.9 Tabla 8.

1.4.1. Prueba de rigidez dieléctrica a 60 Hz elevación de Tensión (HIPOT)

En la Tabla 17 se presenta la metodología para realizar la prueba de rigidez dieléctrica a 60 Hz (HIPOT) de los productos elaborados por la compañía

Tabla 17. Prueba de rigidez dieléctrica a 60 Hz elevación de Tensión (HIPOT)

Fuente. Autores del documento

Objetivo	Establecer la metodología que permita verificar la calidad de aislamiento de la instalación, esto se lograra mediante el uso del equipo de medida HIPOT
Alcance	- Smart motor control center (SMCC) - Switchgear Baja tensión-Smart Power - Smart capacitor-harmonics
Elementos de protección personal	-Guantes categoría II -Botas dieléctricas -Protección auditiva –protección facial
Responsables	-Gerente Ingeniería y/o Ingeniero de proyectos
Suministro y herramientas	- Planos eléctricos emitidos para fabricación – Multímetro -HIPOT
Diagrama de flujo	Anexo B.6. Prueba de rigidez dieléctrica a frecuencia industrial
Normativa	- IEC 61439-1 10.9.3.3
Metodología	-Contar con los EPP y los suministros necesarios para la ejecución de la prueba -Informar a todos los involucrados en la actividad los riesgos existentes en el desarrollo de la prueba. -Realizar esta prueba con asistencia de al menos un colaborador capacitado, el cual tiene la función de asistir y verificar cada uno de los pasos que se llevan a cabo en la prueba. -Verificar la apertura de protecciones asociadas a circuitos electrónicos sensibles (variadores, arrancadores suaves, medidores, DPS, etc.) - Verificar la posición del selector en off y paro de emergencia accionado en el equipo HIPOT



Figura 11. Equipo de medida HIPOT

Fuente. Autores del documento

-Conectar las 2 puntas del HIPOT a cada uno de los barrajes de distribución.

-Alimentar el equipo HIPOT

-Ajustar la tensión inyectada en un valor no mayor a 50V

-Rearmar el paro de emergencia y colocar el selector en posición HIPOT

-Verificar la existencia en los barrajes asociados la tensión indicada de 50V aprox

-Incrementar paulatinamente y de manera constante la tensión aplicada hasta un valor de 400V

- Verificar la existencia en los barrajes asociados la tensión indicada de 4000V aprox

-Incrementar la tensión aplicada hasta 1800V y mantener este valor durante 30 segundos.

-Tomar registro de la tensión aplicada y la duración de la prueba

-Reducir la tensión a un nivel de 50V, colocar el selector en off y por último accionar el paro de emergencia

-Realizar los pasos anteriormente mencionados, tomando medida entre los barrajes de diferente potencial y posteriormente cada uno de los barrajes respecto a tierra.

-Verificar en cada uno de los pasos que el HIPOT no se dispare.

1.5. Circuitos y conexiones eléctricas internas

En la Tabla 18 se presenta la metodología para realizar la verificación de circuitos y conexiones eléctricas internas de los productos elaborados por la compañía

Tabla 18. Circuitos y conexiones eléctricas internas

Fuente. Autores del documento

Objetivo	Establecer la metodología para verificar el estado físico de las conexiones internas del tablero eléctrico y garantizar las características funcionales establecidas en la etapa de diseño.
Alcance	Todos los productos elaborados por Smart-Ing
Elementos de protección personal	-Guantes de nitrilo -Botas dieléctricas -Protección auditiva
Responsables	-Gerente Ingeniería y/o Ingeniero de proyectos
Suministro y herramientas	- Planos eléctricos emitidos para fabricación – Multímetro
Normativa	- IEC 61439-1 11.6 –RETIE
Metodología	-Contar con los EPP y los suministros necesarios para la ejecución de la prueba -Verificar el estado y funcionamiento del equipo empleado para realizar la medida de continuidad entre las diferentes conexiones. -Verificar el estado físico del cable, que no presente fisuras y todos estén debidamente ponchados y marquillado. El cable debe tener una conexión sólida con el equipo. (correctamente torqueado).

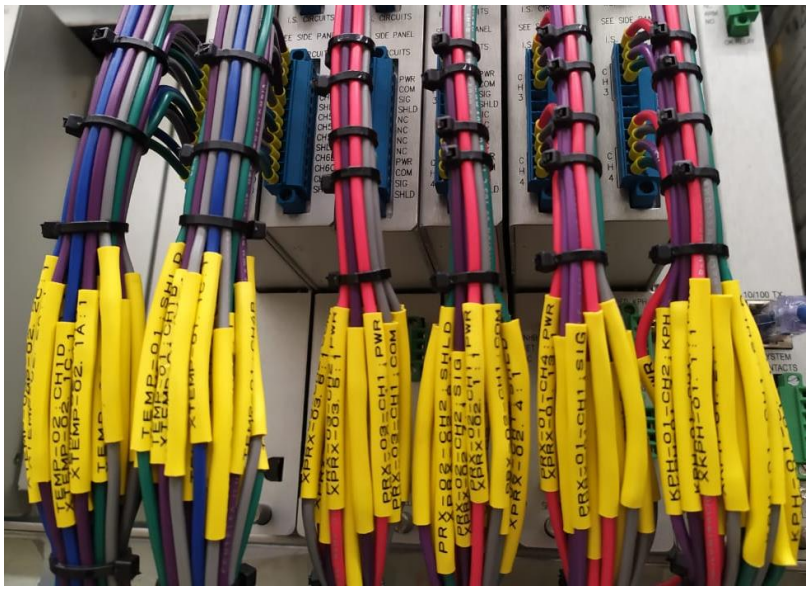


Figura 12. Marquillado de cables

Fuente. Autores del documento

-Realizar la prueba de continuidad de las conexiones eléctricas internas de los tableros y demás elementos que estén conectados en el sistema, en concordancia con los planos eléctricos actualizados.

-Subrayar con resaltador amarillo la conexión verificada en el plano eléctrico, indicando así que la prueba fue exitosa. (ver anexo A.1. Plano amarillado)

-De no existir continuidad en el punto de prueba se deberá realizar una verificación del cableado y tomar las medidas necesarias para realizar la conexión faltante

-En el caso de encontrar inconsistencias en los planos eléctricos, éstas se eliminarán (conexiones subrayadas en verde), si es necesario realizar correcciones, éstas se deberán verificar y actualizar (conexiones subrayadas en rojo).

-Corregir la documentación del proyecto en caso de presentar modificaciones.

1.5.1 Prueba interconexión de tableros

En la Tabla 19 se presenta la metodología para realizar la prueba interconexión de los productos elaborados por la compañía

Tabla 19. Prueba interconexión de tableros

Fuente. Autores del documento

Objetivo	Establecer la metodología para verificar la interconexión de tableros pertenecientes a un mismo proyecto.
Alcance	- Smart motor control center (SMCC) - Switchgear Baja tensión-Smart Power - Smart capacitor-harmonics
Elementos de protección personal	-Guantes de nitrilo -Botas dieléctricas -Protección auditiva
Responsables	-Gerente Ingeniería y/o Ingeniero de proyectos
Suministro y herramientas	- Planos eléctricos emitidos para fabricación – Multímetro
Normativa	- IEC 61439-1 11.6-RETIE
Metodología	-Contar con los EPP y los suministros necesarios para la ejecución de la prueba -Verificar el estado y funcionamiento del equipo empleado para realizar la medida de continuidad entre las diferentes conexiones. -Identificar borneras de entrada y salida de cada uno de los tableros. -Verificar el estado físico del cable, que no presente fisuras y todos estén debidamente ponchados y marquillado. -Realizar la prueba de continuidad de las conexiones eléctricas internas de los tableros y demás elementos que estén conectados en el sistema, en concordancia con los planos eléctricos actualizados. -Subrayar con resaltador amarillo la conexión verificada en el plano eléctrico, indicando así que la prueba fue exitosa. -De no existir continuidad en el punto de prueba se deberá realizar una verificación del cableado y tomar las medidas necesarias para realizar la conexión faltante.

1.6. Rendimiento en servicio.

En la Tabla 20 se presenta la metodología para realizar la verificación del rendimiento en servicio de los productos elaborados por la compañía

Tabla 20. Rendimiento en servicio.

Fuente. Autores del documento

Objetivo	Establecer la metodología que permita corroborar las propiedades funcionales del tablero eléctrico, esto mediante la energización y operación de los equipos integrados en la envolvente, para llevar a cabo esta prueba es necesario que el tablero haya superado las pruebas FAT anteriormente especificadas.
Alcance	- Smart motor control center (SMCC) - Switchgear Baja tensión-Smart Power - Smart capacitor-harmonics
Elementos de protección personal	-Guantes de nitrilo -Botas dieléctricas -Protección auditiva
Responsables	-Gerente Ingeniería y/o Ingeniero de proyectos
Suministro y herramientas	- Planos eléctricos y mecánicos emitidos para fabricación - Multímetro
Normativa	- IEC 61439-1 11.10 verificar en todas las pruebas esto -RETIE
Metodología	-Contar con los EPP y los suministros necesarios para la ejecución de la prueba - Verificar condiciones mecánicas. Los interruptores y seccionadores deben abrir y cerrar perfectamente -Garantizar elcumplimiento de las cinco reglas de oro presentadas en el RETIE artículo 18.1 -Verificar el visto bueno de la prueba de inspección visual y grado de protección -Verificar el visto bueno de la prueba de protección contra descarga eléctrica e integridad del circuito de protección -verificar el visto bueno de la prueba de circuitos y conexiones eléctricas internas

	-Verificar que todos los interruptores estén abiertos. -Verificar la limpieza al interior de los tableros, estos deben estar libres de herramientas, recortes de cables y demás residuos -Garantizar el nivel de tensión adecuado de la instalación, tensión nominal de diseño balanceada para el caso de un sistema trifásico. -Verificar que todos los paros de emergencia se encuentren en posición enclavados -Verificar tensión aguas arriba y garantizar aguas abajo del interruptor que este no presente continuidad entre fases o fases-tierra -Verificar tensión aguas abajo después de accionar el interruptor, se debe tener especial cuidado en que el interruptor que se accione alimente las cargas que se indican en el plano eléctrico - Verificar tensión adecuada en las borneras y equipos -Registrar los valores de tensión obtenidos en cada movimiento -Realizar pruebas funcionales de acuerdo a los criterios de diseño establecidos (arranque parada de motores, medición de variables eléctricas, iluminación, ventilación, calefacción, etc.)

XIV. DESCRIPCION DE RESULTADOS

1. Resultados

Conforme fue desarrollada la pasantía se lograron obtener los siguientes resultados:

-Identificación de la normativa aplicable a la ejecución de pruebas FAT en tableros de baja tensión, basada en los alcances y las exigencias de los clientes estratégicos de Smart-Ing.

-Presentar las prácticas seguras de la NFPA 70E aplicables a las pruebas FAT

-Elaboración de los procedimientos para pruebas FAT de los tableros eléctricos en baja tensión, Smart motor control center (SMCC), Switchgear Baja Tensión, Smart Power, Smart capacitor-harmonics, para brindar garantía al cliente y servir de guía en futuros proyectos ejecutados por Smart-Ing.

-Creación de diagramas de flujo para la ejecución de las pruebas FAT identificando parámetros de entrada y salida, haciendo énfasis en los puntos de decisión que dan el curso a seguir durante la elaboración de cada prueba; haciendo que el proceso se enseñe de manera clara y concisa para el personal de pruebas. Abriendo la posibilidad de instruir al personal técnico a entender y conocer los criterios de aceptación de las pruebas que lleven a mejorar las practicas a la hora de realizar las actividades.

2. Análisis de resultados

Los resultados obtenidos en el transcurso de la pasantía fueron producto del estudio de las normas aplicables a las verificaciones individuales de tableros eléctricos en baja tensión, el consultar las adecuadas prácticas en la ejecución de trabajos eléctricos y del análisis de distintos aspectos como el diseño y la construcción de las soluciones tecnológicas ofrecidas por la compañía.

Para lograr obtener los resultados previamente descritos, fue necesario realizar una serie de actividades que permitieron el desarrollo del proyecto, entre las que se destacan:

- Revisión bibliográfica de la norma vigente aplicable a las verificaciones individuales de tableros eléctricos en baja tensión y guías constructivas de las compañías insignia, con el fin de identificar aspectos fundamentales aplicables en la elaboración de los procedimientos y protocolos de pruebas FAT.

- Verificación de manera detallada la documentación entregada por el departamento de ingeniería, esto con el fin de identificar aspectos funcionales y de diseño importantes; que son el objeto de verificación mediante la ejecución de las pruebas.

- Inspección de la normativa aplicable a la ejecución de trabajos eléctricos, entre los que se distinguen los trabajos energizados y los trabajos desenergizados, dicha normativa establece los elementos de protección personal necesarios para la ejecución de pruebas en función del cálculo de la energía incidente en el personal.

-Categorización de las pruebas FAT de acuerdo a las características técnicas de la solución tecnológica ofrecida por la compañía.

-Divulgación ante el personal de pruebas de la compañía atendiendo las inquietudes y recomendaciones de los ingenieros presentes.

Esta serie de actividades aporto observaciones y recomendaciones, que permitieron consolidar una documentación significativa para Smart-ing, dicha documentación busca dar respaldo en temas de garantías de los productos ofrecidos.

XV. ALCANCE E IMPACTOS DEL PROYECTO

1. Alcance

El desarrollo de esta pasantía tiene como alcance suministrar herramientas que permitan ejecutar correctamente las verificaciones individuales de las soluciones tecnológicas ofrecidas por la compañía y que sirvan de soporte legal ante posibles solicitudes de garantía.

Por otra parte, también se observa que el desarrollo de la pasantía permitió a los pasantes participar en el diseño y construcción de los tableros, otorgándoles experiencia para el correcto desarrollo de procedimientos y protocolos de pruebas FAT.

2. Impactos

El principal impacto de esta pasantía se encuentra en el mejoramiento en cuanto al planteamiento y entendimiento de los procesos que están estipulados por la norma IEC 61439 para aprobar los tableros eléctricos fabricados por la empresa Smart Ingeniería, realizando directamente el cumplimiento del RETIE a los mismos, en una segunda instancia se contribuye al fortalecimiento de las políticas internas de la empresa en cuanto a la garantía ya que el registro documental de las pruebas respalda en mayor medida eventuales situaciones por concepto de una garantía, por último, la universidad Distrital Francisco José De Caldas obtiene un documento que recopila un resumen sobre la norma IEC 61439, articulada con las buenas prácticas de la NFPA 70E, para sustentar los planteamientos a nivel de metodología y análisis de resultados de pruebas FAT en tableros eléctricos de baja tensión, considerando temas técnicos en conjunto con los conocimientos adquiridos por los autores de este documento en el proceso de formación profesional.

XVI. CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS

En la Tabla 21 se observa el cumplimiento de los objetivos propuestos, los cuales hacen referencia a la recopilación de información, estructuración y elaboración de los procedimientos y protocolos para la ejecución de pruebas FAT en tableros eléctricos de baja tensión. Se evidencia que todos los objetivos propuestos fueron desarrollados a través de una serie de actividades como se indica en el análisis de resultados. Para realizar la respectiva evaluación hay que tener presente las actividades propuestas en el anteproyecto y compararlas con las actividades desarrolladas y expuestas en la sección de análisis de resultados.

Tabla 21. Cronograma pasantía

Fuente. Autores del documento

Actividad	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1. Recopilación de las normas que se aplican a las pruebas FAT en tableros eléctricos de baja tensión													
2. Resumen de las guías técnicas de fabricantes, como Schneider, ABB, Siemens, entre otros, que suministren indicaciones para la realización de pruebas FAT.													
3. Recopilación de las normas que se aplican a la seguridad en la ejecución de trabajos eléctricos													
4. Inspección de los protocolos de prueba existentes para identificar procesos y métodos de ejecución													
5. Diseño de plantilla para los diagramas de flujo.													

6. Realización de los diagramas de flujo de cada prueba FAT.													
7. Registro fotográfico													
8. Divulgación													
9. Construcción del documento final													

XVII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. CONCLUSIONES

- La norma IEC 61439-1 presenta dos tipos de pruebas, en primera instancia se encuentras las verificaciones de diseño; cuyo objetivo es certificar una familia de soluciones tecnológicas (tableros eléctricos). Dichas pruebas tienen la característica de ser presentadas por el fabricante original mediante ensayos tipo; por tal motivo el producto de muestra no es apto para su comercialización; por otro lado la norma presenta las verificaciones particulares, las cuales deben ser llevadas a cabo por el fabricante después de integrar e instalar el cableado del tablero eléctrico. Estas verificaciones tienen como objetivo detectar fallos en los materiales y en la fabricación de los componentes o la estructura del tablero.
- La norma IEEE 1584-2002 proporciona una serie de métodos para el cálculo de la energía incidente. Tal es la relevancia de dichos métodos, que la norma NFPA 70E-2009 sugiere el uso de las ecuaciones allí presentadas y aunque utilizan más variables de la instalación en estudio, su campo de aplicación es más amplio y sus resultados más precisos.
- El riesgo térmico asociado al arco eléctrico, es el riesgo sobre el que se han diseñado más medidas preventivas. Para identificar los riesgos térmicos es fundamental establecer dos conceptos: a) la zona de peligro frente al arco, esto se logra a través del "límite de seguridad frente al arco" (FPB), y b) el cálculo de la energía incidente sobre los trabajadores que estén dentro de dicha zona.
- Las características de aislamiento son una propiedad muy importante para cualquier equipo o instalación eléctrica que este destinado a ser usado por personal calificado o no calificado, por ello se encontró que es fundamental que el personal encargado de pruebas FAT entienda y discrimine la diferencia entre la prueba de rigidez dieléctrica y medida de la resistencia del aislamiento. La prueba de rigidez dieléctrica prueba la capacidad del aislamiento de no presentar disrupción ante una sobretensión de corta o media duración, y la prueba de medida de resistencia del aislamiento entrega la cantidad de aislamiento que existe entre los puntos de prueba que se encuentra a diferente potencial eléctrico.
- Se observa que los documentos existentes en la compañía cumplen a cabalidad lo exigido por la norma, pero los procedimientos se ven limitados al no poseer un

orden correcto de acuerdo al tipo de prueba a ejecutar, puesto que existen procedimientos que actúan como complemento a una prueba principal y estos se encuentran documentalmente desligados. Por otro lado, ninguno de los procedimientos cuenta con una explicación del objetivo de la prueba; esto dificulta la labor para el personal nuevo de pruebas, puesto que no es claro los posibles errores de producción que se puedan identificar en el desarrollo de verificaciones.

- Para el diseño de procedimientos de pruebas FAT en tableros eléctricos de baja tensión, es necesario recopilar y analizar previamente toda la documentación entregada por el departamento de ingeniería (planos eléctricos, listado de conexionado, planos mecánicos, diagramas de distribución interna, listado de artículos, etc.), para así poder tener una visión completa del funcionamiento de la solución tecnológica y permitir elegir las pruebas aplicables a la misma.
- Los procedimientos presentados en este documento facilitan al personal de pruebas la detención de irregularidades presentes durante el ensamble de la solución tecnológica. Esto se logra mediante la identificación de diferentes aspectos, entre los que destacan: el objetivo de la prueba, riesgos asociados a la actividad y metodología necesaria para la ejecución de las pruebas.

2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar un repositorio de fácil acceso en donde se encuentren las normas aplicables en la elaboración de tableros eléctricos en baja tensión, manteniendo en constante actualización la información existente.
- Se sugiere manejar digitalmente los protocolos de pruebas y la documentación entregada por el departamento de ingeniería (planos eléctricos, planos mecánicos, listado de materiales, etc.), esto con el fin facilitar la trazabilidad del proyecto y optimizar el manejo de la información.
- Se recomienda la elaboración de un esquema de capacitaciones enfocado en la ejecución de pruebas FAT, aplicables como inducción al personal nuevo o de refuerzo para los colaboradores encargados de esta actividad, sirviendo estas para la consulta bibliográfica y el enriquecimiento de las bases de datos por parte de SMART-ING.

XVIII. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

[1] C. A. R. Aburto, «Instrumentos para tableros,» Universidad Nacional del Callao, 2012. [En línea]. Available: https://unac.edu.pe/documentos/organizacion/vri/cdcitra/Informes_Finales_Investigacion/IF_DICIEMBRE_2012/IF_RODRIGUEZ%20ABURTO_FIEE/LIBRO%20INSTRUMENTOS%20PARA%20TABLEROS.pdf.

[2] Reglamento técnico de instalaciones eléctricas (RETIE), Ministerio de minas y energía, 2013.

[3] ABB, «Guía para la construcción de un cuadro eléctrico de baja tensión conforme a las normas IEC 61439, Parte 1 y Parte 2,» ABB Cuaderno técnico , [En línea]. Available: https://library.e.abb.com/public/05999db1911e4c6ec125791a003cfa4f/1TXA007110G0701_CT9.pdf.

[4] Legrand, «TABLEROS A NORMA,» Marzo 2018. [En línea]. Available: https://legrand.com.pe/wp-content/uploads/2018/03/Catalogo-Tablero-A-Norma-1.pdf.

[5] M. Schell, Construcción de instalaciones de distribución y control según normativa, vol. 1, R. G. &. C. KG, Ed., Herborn, 2013.

[6] J. Pasteau, «Envolventes y grados de protección,» 2001. [En línea]. Available: https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=Cahier+Technique&p_File_Id=682511194&p_File_Name=CT166-02.pdf&p_Reference=CT-166-Z002.

[7] N. F. P. Association, «Norma para la seguridad sléctrica en lugaresde trabajo,» 2015.

[8] M. P. Formigó, «Arco eléctrico: estimación de la energía,» Centro nacional de medios de proteccion, 2010.

[9] R. A. C. Herrera, MODELAMIENTO Y EJECUCIÓN DE PRUEBAS FAT DE SIPS PARA MAXIMIZAR INYECCIÓN DE ERNC EN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN UTILIZANDO PLATAFORMAS DE SIMULACIÓN EN TIEMPO REAL, U. D. Chile, Ed., Santiago de chile, 2015.

[10] C. F. d. E. Eléctrica, Anexo: Especidficaciones técnicas generales para tableros de uso eléctrico, Buenos Aires: CFEE, 2010.

[11] E. d. M. S. E.S.P., Especificaciones técnicas de tableros de control, protección y medida, Villavicencio: EMSA, 2017.

[12] E. Codensa, Manual de seguridad eléctrica, Bogotá: ENEL, 2006.

[13] ABB, Manual técnico de instalaciones eléctricas Aparatos de protección y maniobra La instalación eléctrica, Bergamo: ABB, 2007.

[14] ABB, Generalidades de Tableros de Baja Tensión Certificados, ABB, 2016.

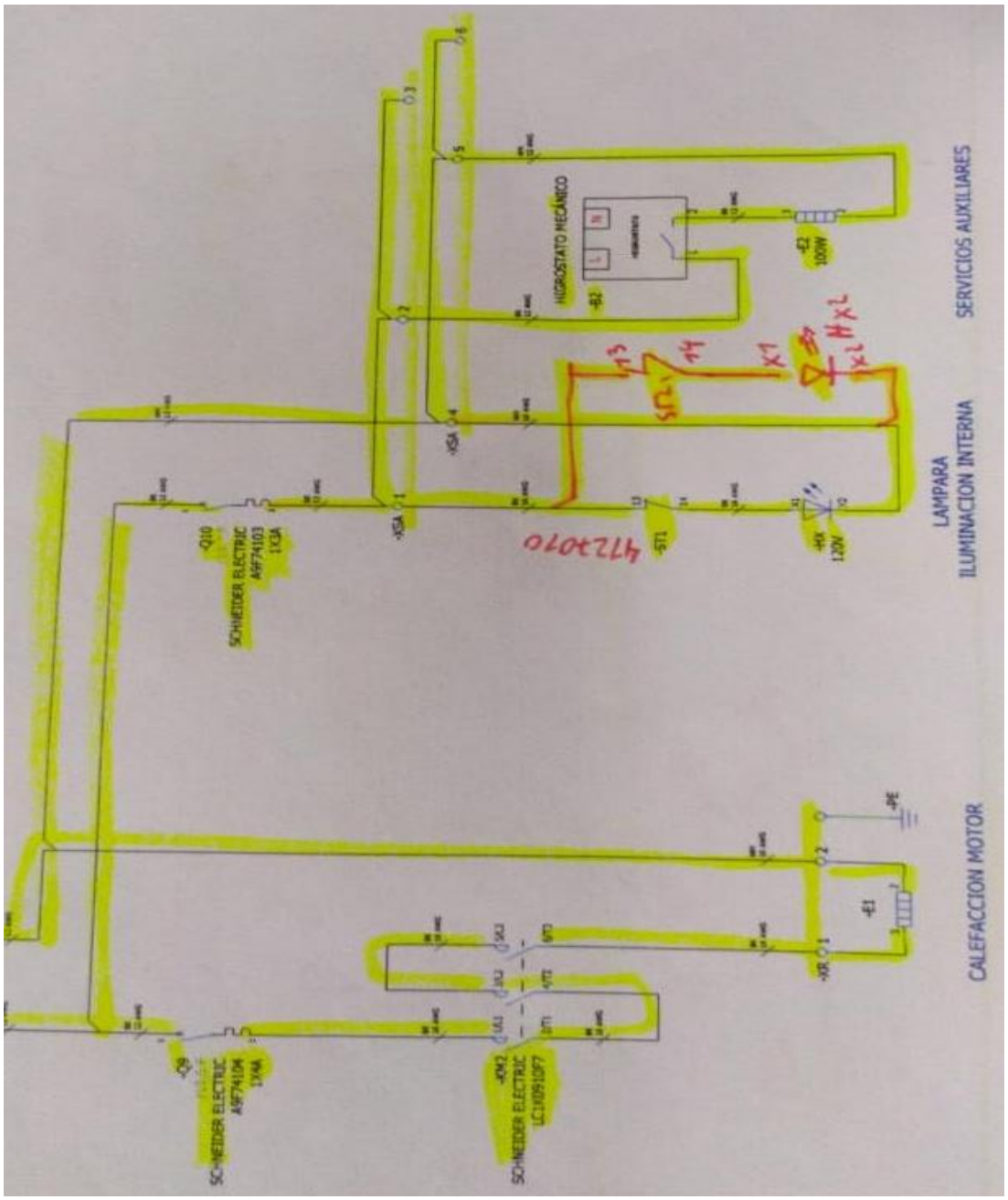
[15] Siemens, Tableros de distribución y alumbrado, centros de control de motores (CCM) y subestaciones eléctricas, Ciudad de México: SIEMENS.

XIX. ANEXOS

Anexo A

A.1. Plano amarillado

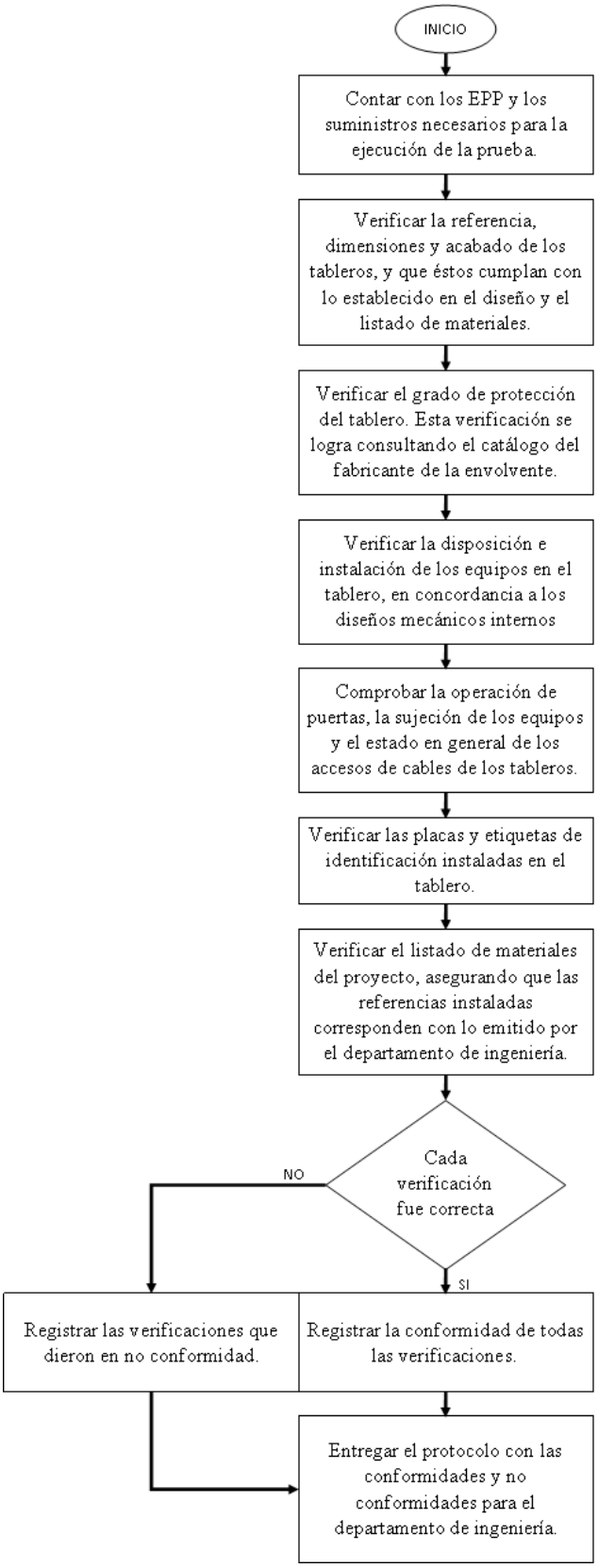
Fuente. Autores del documento



Anexo B

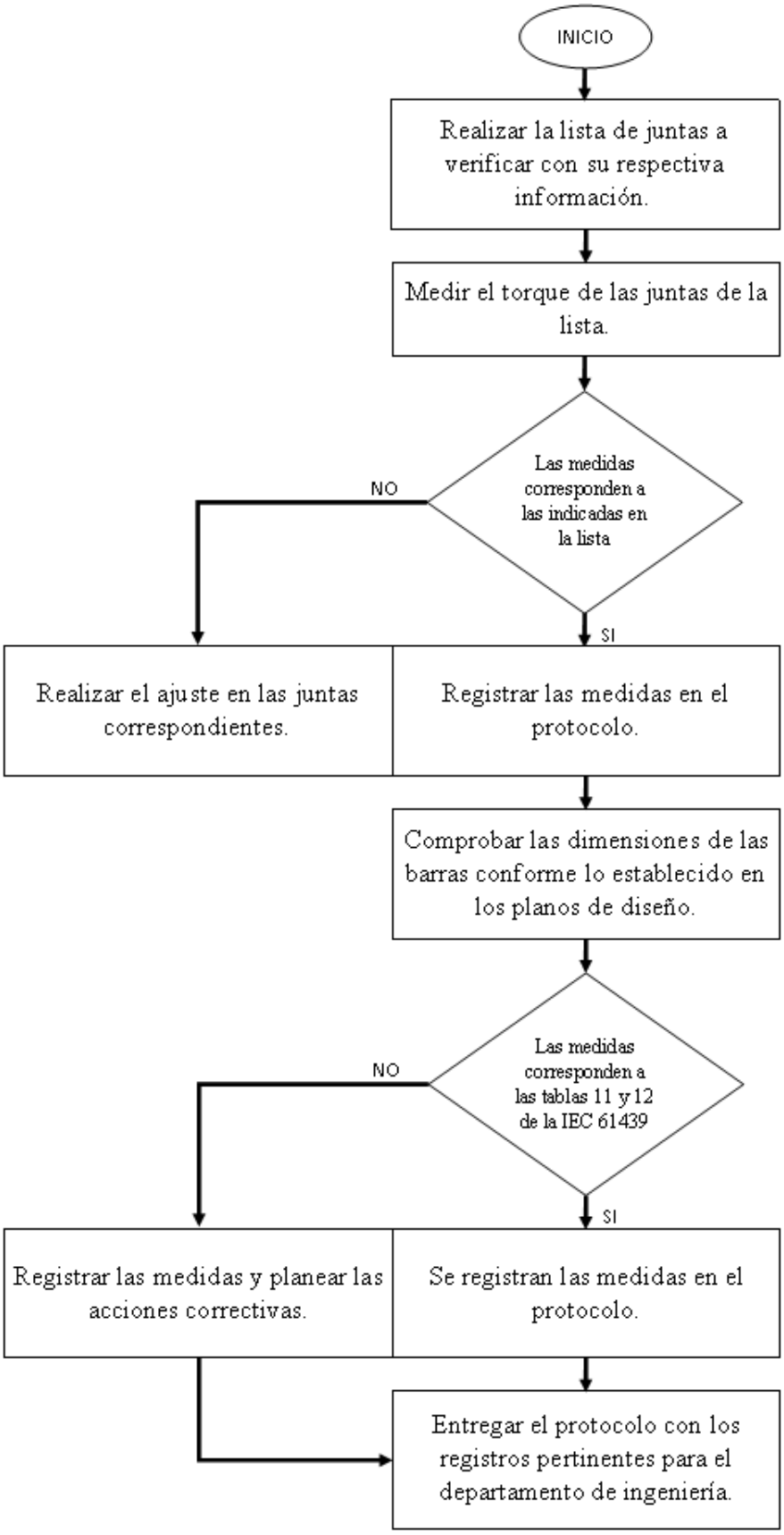
B.1. Inspección visual y grado de protección

Fuente. Autores del documento



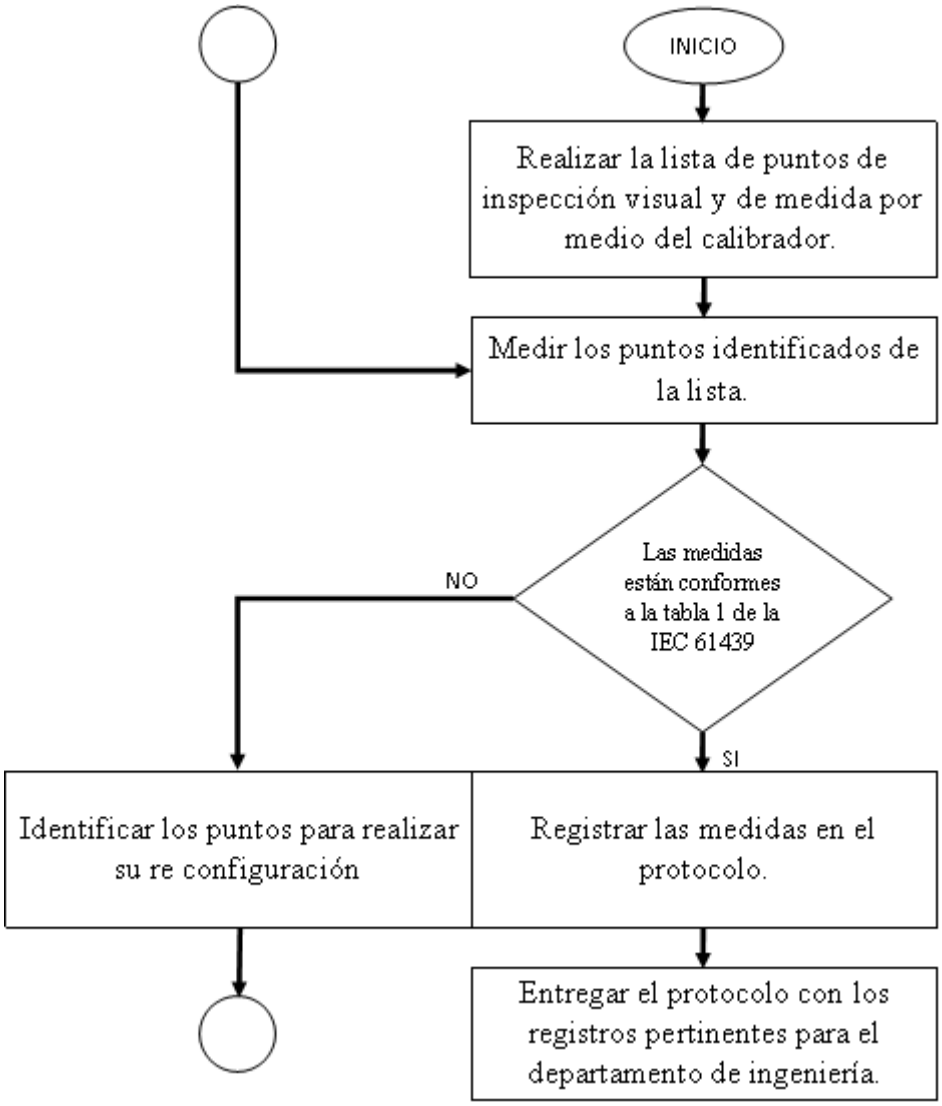
B.2. Verificación de dimensiones de barras y torque de juntas

Fuente. Autores del documento



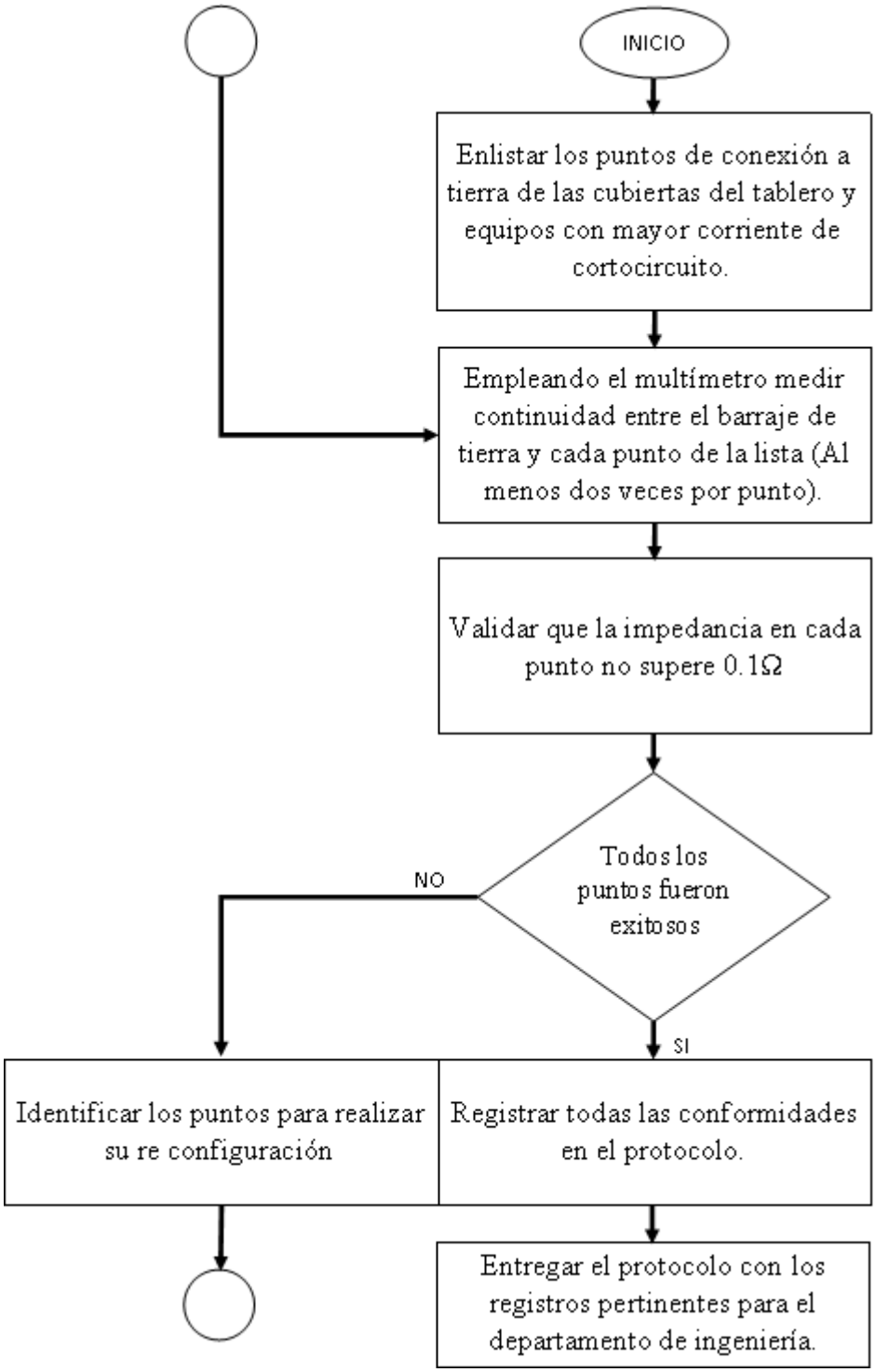
B.3. Verificación de separación y distancias de fuga

Fuente. Autores del documento



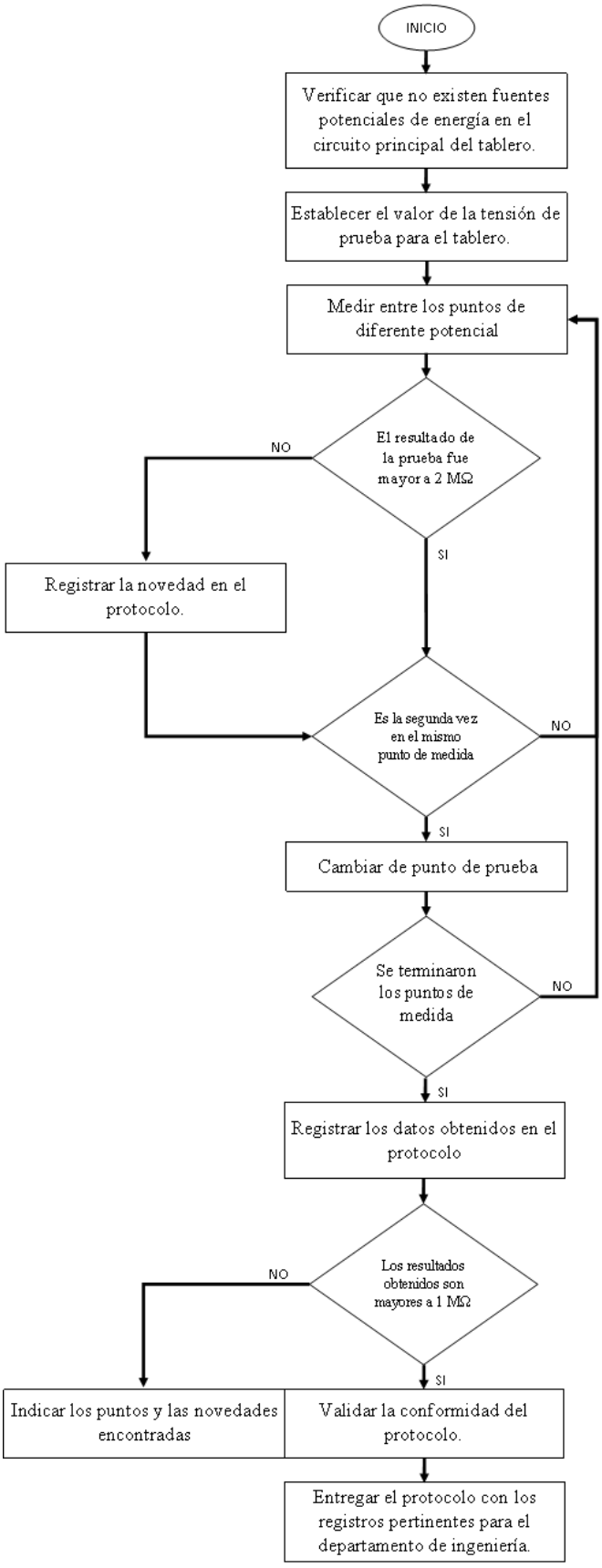
B.4. Protección contra descarga eléctrica e integridad del circuito de protección

Fuente. Autores del documento



B.5. Propiedades dieléctricas conductores y barrajes

Fuente. Autores del documento



B.6. Prueba de rigidez dieléctrica a frecuencia industrial

Fuente. Autores del documento

