



Ejecución de pruebas pre-FAT y FAT a IED's de protecciones de línea en la empresa HMV Ingenieros Ltda, utilizando el equipo de inyección secundaria OMICRON CMC356 o similar.

Santiago Soto Granada

Informe de práctica para optar al título de Ingeniero Eléctrico

Asesor

Jaime Alejandro Valencia, Doctor (PhD) en Ingeniería Eléctrica

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería
Ingeniería Eléctrica
Medellín, Antioquia, Colombia
2024

Cita	Soto Granada [1]
Referencia	[1] S. Soto Granada, "Ejecución de pruebas pre-FAT y FAT a IED's de protecciones de línea en la empresa HVM Ingenieros Ltda, utilizando el equipo de inyección secundaria Omicron CMC356 o similar.", Trabajo de grado profesional, Ingeniería Eléctrica, Universidad de Antioquia, Medellín, Antioquia, Colombia, 2024.
Estilo IEEE (2020)	



Créditos a HVM Ingenieros Ltda.



Biblioteca Carlos Gaviria Díaz

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

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Céspedes

Decano/Director: Julio César Saldarriaga Molina

Jefe departamento: Noé Alejandro Mesa

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

Dedicatoria

Dedico este informe con profunda gratitud y aprecio a la Universidad de Antioquia, cuya excelencia académica y compromiso con la formación integral de sus estudiantes han sido el pilar fundamental en mi desarrollo profesional.

Agradecimientos

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento especialmente a Dios, a mi familia y a Karhina Herrera por su paciencia, apoyo y comprensión durante este período de intenso trabajo. Su presencia y ánimo han sido una fuente invaluable de motivación y fortaleza. Igualmente quiero agradecer al equipo de protecciones de HVM, especialmente Lissete Arvelaez y Juan Guillermo Gallego por su colaboración y profesionalismo durante las pruebas y la realización del proyecto. Su experiencia y dedicación han sido cruciales para el éxito de las pruebas pre-FAT y la elaboración del presente informe.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	11
ABSTRACT	12
I. INTRODUCCIÓN	13
II. OBJETIVOS	14
A. Objetivo general	14
B. Objetivos específicos	14
III. MARCO TEÓRICO	14
Relé de protección o IED´s	14
Relés Secundarios	15
Equipos de inyección secundaria.	16
Pruebas FAT.....	16
Funciones de protección.....	16
Distancia 21/21N	16
Verificación de Sincronismo 25.....	17
Subtensión 27.....	17
Sobretensión 59.....	17
Switch Onto Fault SOTF	17
Permissive Overreaching Transfer Trip POTT	18

Sobrecorriente direccional 67/67N	18
Función de recierre 79	19
Equipos de pruebas.....	19
Equipo de pruebas de inyección secundaria OMICRON CMC 356.....	19
Equipo de simulación de estados	20
67NCD	20
IV. METODOLOGÍA	20
V. RESULTADOS	25
Subtensión 27	25
Sobretensión 59	27
Sobrecorriente direccional 67.....	31
Sobrecorriente direccional de neutro 67N.....	38
Sobrecorriente temporizada 51.....	40
Sobrecorriente de neutro temporizada 51N.....	43
Función Distancia 21.....	43
Permissive Overreaching Transfer Trip POTT	51
Recierre 79	53
Switch Onto Fault SOTF.....	54
Sincronismo 25.....	55
Esquema de Disparo por Comparación Direccional 67NCD.....	57
VI. ANÁLISIS	59
VII. CONCLUSIONES.....	60
VIII. RECOMENDACIONES	61
REFERENCIAS	62

LISTA DE TABLAS

TABLA I PARÁMETROS DEL RELÉ F003	24
TABLA II. EVALUACIÓN DE TIEMPO 27	27
TABLA III. EVALUACIÓN DE TIEMPO 59 ET 1	29
TABLA IV. EVALUACIÓN DE TIEMPO 59 ET 2	30
TABLA V. PARÁMETROS DE PRUEBA FUNCIÓN 67	32
TABLA VI. RESULTADOS FUNCIÓN 67 VARIANDO ÁNGULO	35
TABLA VII. RESULTADOS FUNCIÓN 67 VARIANDO MAGNITUD DE CORRIENTE	37
TABLA VIII. RESULTADOS FUNCIÓN 67N VARIANDO ÁNGULO	39
TABLA IX. RESULTADOS FUNCIÓN 67N VARIANDO MAGNITUD.....	40
TABLA X. RESULTADOS FUNCIÓN 51 VARIANDO ÁNGULO.....	42
TABLA XI. RESULTADOS FUNCIÓN 51N VARIANDO LA MAGNITUD DE LA CORRIENTE	43
TABLA XII. RESULTADOS FUNCIÓN 21 FALLA L1-L2 DISPAROS INDIVIDUALES	50
TABLA XIII. RESULTADOS FUNCIÓN 21 FALLA L1-L2 DISPAROS ENTRE ZONAS	51
TABLA XIV. EVALUACIÓN TEMPORAL 21 POTT	53
TABLA XV. EVALUACIÓN TEMPORAL FUNCIÓN 79	54
TABLA XVI. EVALUACIÓN TEMPORAL FUNCIÓN SOTF	55
TABLA. XVII EVALUACIÓN DE TIEMPO PARA PRUEBA DE SINCRONISMO	56
TABLA XVIII. RAMPA DE FRECUENCIA PARA PRUEBA DE SINCRONISMO EN EL TEST UNIVERSE.....	57
TABLA XIX. EVALUACIÓN TEMPORAL DE LA FUNCIÓN 67NCD.....	58

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1 Esquema de la función Distancia[10]	18
Fig. 2. Diagrama esquemático de alimentación de servicios auxiliares.....	21
Fig. 3. Diagrama Unifilar SE 115 kV.....	23
Fig. 4. Global hardware configuration en el Test Universe	24
Fig. 5. Medidas Balanceadas.....	25
Fig. 6. Parámetros del Módulo UV2PUV en el PCM600	26
Fig. 7. State Sequencer para 27 en el Test Universe	26
Fig. 8. Registro Oscilográfico para 27	27
Fig. 9. Parámetros del 59 ET I en el PCM600	28
Fig. 10.State Sequencer para 59 Etapa I en el Test Universe.....	29
Fig. 11. Registro Oscilográfico para 59 ET I	29
Fig. 12. Parámetros del 59 ET II en el PCM600.....	30
Fig. 13. State Sequencer para 59 Etapa II en el Test Universe	30
Fig. 14. Registro Oscilográfico para 59 ET II.....	30
Fig. 15. Parámetros del bloque de sobrecorrientes en el Test Universe.....	31
Fig. 16. Elementos del módulo de Sobrecorrientes en el Test Universe.....	32
Fig. 17. Parámetros de la función 67 en el PCM600.....	33
Fig. 18. Selección del tipo de falla en el Test Universe	34
Fig. 19. Elementos de prueba para 67 variando ángulo en el Test Universe	36
Fig. 20. Registro Oscilográfico para 51 y 67	37
Fig. 21. Elementos de prueba para 67 en el Test Universe	38
Fig. 22. Parámetros del 67N en el PCM600.....	39
Fig. 23. Parámetros del 51 en el PCM600.....	41
Fig. 25. Elementos de prueba para 51 variando corriente en el Test Universe	42
Fig. 26. Parámetros de la Zona 1 de la función 21/21N en el PCM600.....	43

Fig. 27. Parámetros del 21 Z2 en el PCM600	44
Fig. 28. Parámetros del 21 Z3 en el PCM600	45
Fig. 29. Parámetros del 21 en el Test Universe.....	45
Fig. 30. Parámetros del 21 Z5 en el PCM600	46
Fig. 31. Registro Oscilográfico para 21 Z1	47
Fig. 32. Registro Oscilográfico para 21 Z2.....	47
Fig. 33. Registro Oscilográfico para 21 Z3.....	47
Fig. 34. Registro Oscilográfico para 21 Z5.....	48
Fig. 35. Puntos de falla para 21 en Test Universe.....	49
Fig. 36. Función Search para prueba de 21 en Test Universe.....	50
Fig. 37. Esquema para protección 21 POTT	52
Fig. 38. Elementos de prueba para POTT en el Test Universe	52
Fig. 39. Estados de prueba para la función 79 en el Test Universe	53
Fig. 40. Elementos de validación en la prueba de la función 79 en el Test Universe.....	53
Fig. 41. Elementos de prueba para la función 79 en el Test Universe	54
Fig. 42. Estados de prueba para SOTF en el Test Universe.....	55
Fig. 43. Rampa de ángulo para prueba de Sincronismo en Test Universe.....	56
Fig. 44. Rampa de Frecuencia para prueba de sincronismo en el Test Universe.....	57
Fig. 46. Estados de prueba para la función 67NCD	58
Fig. 47. Activación de la señal EFC_CR en el State Sequencer	58

SIGLAS, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
UdeA	Universidad de Antioquia
A	Amperios
AC	Corriente Alterna
ANSI	American National Standards Institute
ECAP	Estudio de Coordinación y Ajuste de Protecciones
IED	Intelligent Electronics Devices
kV	Kilovoltios
POTT	Permissive Overreaching Transfer Trip POTT
SE	Subestación
S	Segundos
SOTF	Zona 1 de la función distancia
VA	Voltiamperios
Z1	Zona 1 de la función distancia
Z2	Zona 2 de la función distancia
Z3	Zona 3 de la función distancia
Z5	Zona 5 de la función distancia

RESUMEN

La fiabilidad y seguridad en los sistemas de potencia son esenciales para asegurar el funcionamiento continuo de la producción y los servicios básicos. Para evitar interrupciones y mantener la estabilidad de las subestaciones y el sistema interconectado, es fundamental que los sistemas de control y protección se encuentren configurados y operativos, cumpliendo con los estándares establecidos de las entidades regulatorias. Este informe, como parte del requisito para obtener el grado de ingeniero electricista de la UdeA, detalla los resultados de las pruebas pre-FAT realizadas a un IED de protección de línea en una subestación de 115 kV. Las pruebas incluyeron la validación de la programación del IED y su capacidad para interactuar con otros componentes del sistema, empleando el equipo de inyección secundaria: OMICRON CMC 356, para efectuar la simulación de los canales analógicos, entradas y salidas binarias, con el fin de validar el funcionamiento de los equipos de patio, tales como interruptores y seccionadores. Así mismo, se realizó la revisión de su configuración y parámetros de ajuste de las funciones de protección en el equipo.

***Palabras clave* — Protección y control, subestación, equipos de inyección secundaria, FAT, funciones de protección, IED's.**

ABSTRACT

Reliability and safety in power systems are essential to ensure the continuous operation of production and basic services. To avoid interruptions and maintain the stability of substations and the interconnected system, it is essential that engineers meet high quality standards in protection and control. This report, as part of the requirement to obtain an electrical engineering degree from UdeA, details the results of pre-FAT tests performed on a line protection IED at CHEC's Purnio 115 kV substation. The tests included the validation of the IED programming and its ability to interact with other system components, using the secondary injection equipment: OMICRON CMC 356, to perform the simulation of analog channels, binary inputs and outputs, in order to validate the operation of the yard equipment, such as switches and disconnectors. Likewise, the configuration and adjustment parameters of the protection functions in the equipment were reviewed. **Keywords** — **Protection and control, substation, secondary injection equipment, FAT, protection functions, IEDs.**

I. INTRODUCCIÓN

La confiabilidad y seguridad en los sistemas de potencia son primordiales para garantizar la operación de las cadenas productivas y el funcionamiento de los servicios básicos en los centros poblados. Es por esto por lo que los ingenieros deben garantizar los más altos estándares de calidad para evitar salidas de servicio de las subestaciones o disparos no deseados que puedan significar riesgo, en términos de estabilidad, para los demás componentes de la subestación y del sistema interconectado. En ese sentido, cuando se ejecuta un proyecto de control y protección de subestaciones, se deben hacer pruebas de aceptación FAT (Factory Acceptance Test) a los IED's para verificar que la programación está correctamente diseñada, que el equipo sea capaz de interactuar con los demás elementos, tomar decisiones y ejecutar los mandos cuando sea necesario.

En este informe, presentado como requisito de práctica empresarial para aspirar al grado de ingeniero electricista de la UdeA, se resumen los resultados de las pruebas pre-FAT realizados a un IED de protección típico de línea en el nivel de tensión de 115 kV. El cual hace parte del esquema de control y protección. Se trabajaron protecciones típicas de una bahía de línea para las cuales se verificaron la funcionalidad de las protecciones, a través de los disparos y el reporte de oscilografías; para esto se utilizó el equipo de inyección secundaria OMICRON CMC 356, el cual permite simular entradas y salidas binarias, así como la inyección de canales analógicos. De igual manera, se usó un equipo de pruebas para simular las posiciones y mandos de los equipos de patio como interruptores y seccionadores.

De manera inicial, es necesario conocer las características de la subestación, tal como la configuración de esta, y garantizar que se cuenta con la información propia como: el diagrama unifilar, diagrama de principio, diagramas de circuito de la bahía a trabajar y el estudio de coordinación de protecciones, entre otros. De igual manera, para la realización de las pruebas se debe contar con los gabinetes completamente cableados, amarillados, y con sus respectivas conexiones de alimentación provisional tanto en AC como en DC, puesta tierra, entre otros requerimientos.

II. OBJETIVOS

A. Objetivo general

Apoyar al equipo de protecciones de la empresa HVM Ingenieros Ltda, en la ejecución de las pruebas pre-FAT y FAT (Factory Acceptance Test) a IED's de protección de una bahía de línea típica de una subestación eléctrica en el nivel de tensión de 115 kV, con el fin de validar su correcto funcionamiento y garantizar su eficacia en la detección de posibles fallas que se puedan presentar en el sistema eléctrico.

B. Objetivos específicos

1. Evaluar la correcta configuración de los relés de protección, verificando que se ajusten a las especificaciones técnicas y normativas establecidas según el cliente y el país.
2. Comprobar la respuesta de los relés ante diferentes escenarios de falla simulados, a partir de pruebas de funcionalidad.
3. Analizar la sensibilidad de los relés ante variaciones de parámetros eléctricos, como corriente, voltaje y frecuencia.
4. Documentar y registrar los resultados de las pruebas realizadas, identificando posibles desviaciones respecto a las especificaciones técnicas y proponiendo acciones correctivas si es necesario.

III. MARCO TEÓRICO

Relé de protección o IED's

Los relés de protección, también conocidos en la industria de la energía eléctrica como IED's (Dispositivos Electrónico Inteligente), son dispositivos electrónicos diseñados para detectar con precisión fallas o condiciones indeseadas en una parte del sistema eléctrico. Estos se encargan de verificar si los parámetros de tensión, corriente, frecuencia, factor de potencia y en general las variables eléctricas de un equipo se encuentran dentro de un rango deseable de

operación o si por el contrario se encuentran dentro de un rango anormal para lo cual el equipo deberá indicar que hay una falla según la configuración del sistema. [1]

Los relés de protección deben cumplir con los siguientes requisitos funcionales.

1. **Fiabilidad:** La característica más crítica para la configuración de los relés de protección en los sistemas eléctricos de potencia es la fiabilidad. Estos dispositivos pueden permanecer inactivos durante largos períodos, pero cuando se enfrentan a una falla, deben responder de manera instantánea y precisa.

2. **Selectividad:** La selectividad se refiere a la capacidad de los relés de protección para identificar con precisión la sección con una condición de falla en el sistema sin afectar al resto. Un relé bien diseñado y eficaz debe ser selectivo, es decir, debe poder detectar el punto exacto de la falla y activar los interruptores más cercanos con el mínimo o nulo daño para el sistema.

3. **Sensibilidad:** Es fundamental que el equipo de relé sea lo suficientemente sensible como para funcionar de manera confiable incluso cuando el nivel de la condición de falla apenas supere el límite predefinido.

4. **Velocidad:** La rapidez en la respuesta de los relés de protección es esencial. Debe existir una coordinación apropiada entre los diferentes relés del sistema para garantizar que, en caso de una falla en una parte del sistema, no se vea afectada la sección sin falla.[1]

Relés Secundarios

A diferencia de los relés primarios, en los cuales la corriente de falla circula en forma directa por el relé, actuando de igual forma sobre el interruptor. Para valores de corrientes nominales mayores, y/o tensiones que superan los 1000 V, la medición se realiza a través de transformadores de corriente, en consecuencia, en los relés Secundarios la medición de la corriente de falla se realiza en forma indirecta, a través de transformadores de corriente. El relé mide una corriente proporcional a la nominal. Dicha corriente nominal está establecida en 5 A o 1 A. En consecuencia, la corriente de falla (cortocircuito), que mide los relés estará en el orden de los 50 A o 10 A (o más) respectivamente.

Equipos de inyección secundaria.

Un dispositivo de inyección secundaria, conocido también como maleta de inyección, está constituido por componentes electrónicos que son controlados mediante un software licenciado, el cual ofrece una amplia gama de herramientas. Estas herramientas, correctamente ajustadas, permiten simular cualquier tipo de falla en un sistema de potencia. El equipo de inyección incluye un hardware que principalmente consta de una fuente trifásica de tensión, una fuente monofásica de tensión, una o dos fuentes trifásicas de corriente, entradas y salidas binarias, así como una salida de tensión continua con una potencia significativa para alimentar cargas como un relé. [2]

Pruebas FAT

Las pruebas de aceptación en fábrica, conocidas como FAT 'Factory Acceptance Test' por sus siglas en inglés, son evaluaciones que se llevan a cabo en las instalaciones del proveedor para analizar un producto o solución antes de su envío al cliente. Estas pruebas se basan en criterios predefinidos relacionados con el funcionamiento, desempeño y calidad del producto. [3]

Funciones de protección

Para diseñar los sistemas eléctricos de potencia, se deben seguir ciertas pautas establecidas, como la norma ANSI/IEEE C37.2-2008, la cual proporciona información sobre los componentes de un esquema de protección. Estos componentes, de diversas formas, protegerán los elementos o equipos del sistema eléctrico, tales como líneas eléctricas, generadores y transformadores, de posibles daños causados por fallas como cortocircuitos, sobretensiones u otros eventos eléctricos como pérdida de sincronización, baja frecuencia, sobrecargas, oscilaciones de potencia, entre otros. [4]

Distancia 2I/2IN

La función distancia, es una función de protección direccional por naturaleza, con selectividad relativa que tiene como órgano de medición un relé de impedancia, que opera contra los cortocircuitos en la línea que protege. Dicha función de protección determina la razón entre la tensión y la corriente (impedancia) de la línea en donde se encuentra conectada, que en condiciones de falla trifásica no es más que la distancia entre el punto de conexión y la falla.[5]

Verificación de Sincronismo 25

La función de verificación de sincronismo, consiste en la validación de dos circuitos de corriente alterna, los cuales deberán estar en igualdad de frecuencia, fase o tensión, permitiendo conectar o conectando ambos en paralelo.[6]

Subtensión 27

La función de subtensión (código ANSI 27) supervisa constantemente la tensión del sistema. Si el nivel de tensión del elemento protegido sale de sus límites aceptables. Para efectos de una línea de transmisión, la función de subtensión nos ayuda a supervisar dicho valor de tensión para permitir el cierre de la cuchilla de puesta a tierra de la línea, una vez esta resulta inferior al valor de ajuste implementado. En otras palabras, se utiliza para generar alarmas y el permisivo de maniobra de la cuchilla cuando sea necesario. Además, la supervisión constante de las tensiones de fase a fase o de fase a neutro permite iniciar medidas apropiadas para salvaguardar el funcionamiento de la instalación durante situaciones anormales o críticas (por ejemplo, deslastre de cargas, cambio de fuente y arranque del generador de emergencia).[7]

Sobretensión 59

La función de sobretensión (código ANSI 59) supervisa constantemente el nivel de tensión de operación del elemento protegido. Si el nivel de tensión sale de sus límites aceptables, la información proporcionada por la función de sobretensión se utiliza para generar alarmas y el disparo del interruptor de potencia cuando sea necesario. Además, la supervisión constante de las tensiones de fase a fase o de fase a neutro permite iniciar medidas apropiadas para salvaguardar el funcionamiento de la instalación durante situaciones anormales o críticas (por ejemplo, deslastre de cargas, cambio de fuente y arranque del generador de emergencia).[8]

Switch Onto Fault SOTF

La función de protección de cierre en falla, Switch onto fault, por sus siglas en inglés (aplicada a esquemas con transformadores de tensión [TT] en el lado de línea del interruptor) proporciona un disparo instantáneo de la línea si el interruptor se cierra en caso de falla. Se pueden proporcionar varios tipos de lógica para implementar este tipo de función. La función

cierre sobre falla SOTF también se aplica a los esquemas de protección de distancia escalonada.[9]

Permissive Overreaching Transfer Trip POTT

Aceleración de disparo por sobre-alcance permisivo (POTT: Permissive Overreaching Transfer Trip) En este esquema, si la protección de distancia del extremo A identifica una falla dentro de la Zona 2 (Z2), envía primero una señal de autorización al extremo B. Si el extremo B igualmente identifica una falla dentro de su Z2, entonces se conduce una señal de disparo al relé de mando. Es decir, la condición para una desconexión rápida es que en ambos extremos de la línea sea detectada una falla dentro de la zona Z2 en dirección hacia adelante (hacia la línea protegida) como se muestra en la Fig. 1[10]

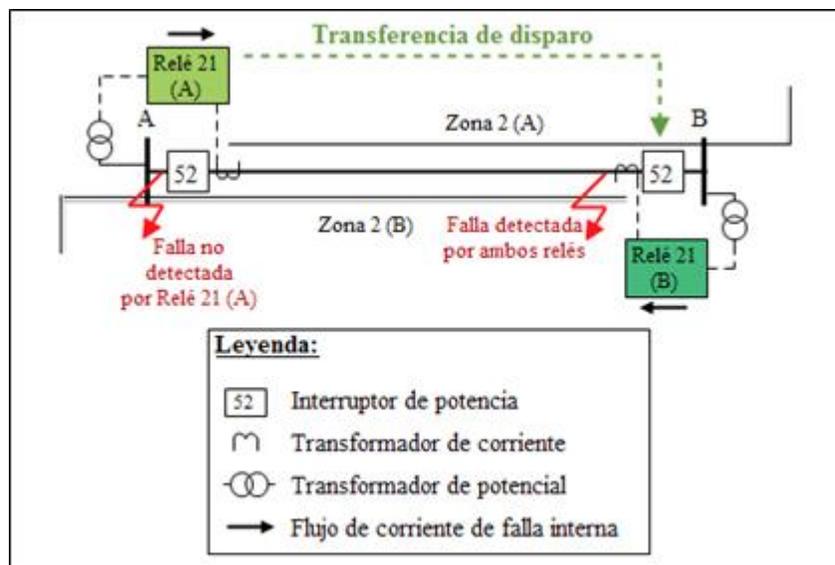


Fig. 1 Esquema de la función Distancia[10]

Sobrecorriente direccional 67/67N

La función de protección de sobrecorriente direccional de fases y tierra, puede ser usada para medir no solamente la magnitud de la intensidad sino también su sentido; es decir, el sentido del flujo de la potencia entregada, para lo cual se toma como referencia la tensión del sistema, conformando una protección de sobrecorriente direccional. El código ANSI es 67/67N.

Esta función tiene diversas aplicaciones como protección principal de líneas aéreas y cables, de transformadores de distribución, motores entre otras muchas. También es usada como función de protección de respaldo para transformadores de potencia y generadores grandes, y como función de emergencia para protecciones de distancia y diferenciales de línea.[11]

Función de recierre 79

La función de recierre automático de línea, se usa porque alrededor del 80 al 90% de las fallas en las líneas aéreas son transitorias, generalmente causadas por rayos, los cuales generan tensiones transitorias y a su vez ocasionan descargas disruptivas. Adicionalmente, pueden ser causadas por el viento, el cual hace que los conductores se muevan y se junten hasta generar una descarga disruptiva. Por tanto, si se desenergiza la línea el tiempo suficiente para que desaparezca la fuente de la falla y se desionice el arco de falla y se cierra automáticamente el interruptor de potencia, se podrá restaurar rápidamente la continuidad del servicio.

Sin embargo, el recierre debe estar acompañado de la función de verificación de sincronismo, con el objetivo de garantizar que la magnitud y ángulo de fase de las tensiones en ambos terminales del interruptor estén sincronizados y no se genere una falla al momento del recierre.[12]

Equipos de pruebas

Equipo de pruebas de inyección secundaria OMICRON CMC 356

El equipo OMICRON CMC 356, es un equipo de inyección secundaria que cuenta con seis potentes fuentes de corriente (modo trifásico: hasta 64 A / 860 VA por canal) con un gran rango dinámico, permiten probar hasta los relés electromecánicos de alta carga con una demanda de potencia muy alta.

La unidad CMC 356 es un equipo versátil que permite simular las entradas analógicas, es decir, corrientes y tensiones, que en una subestación llegarían desde los CT's y PT's a las protecciones. De igual manera, permite simular entradas y salidas binarias como señalización, posiciones y disparos de los equipos de patio. [13]

Equipo de simulación de estados

El dispositivo de simulación de estados, es un equipo diseñado por HMV para realizar pruebas a equipos de control y protección, este permite simular las posiciones y recibir los mandos que salgan de los IED's. Así mismo, permite simular señales a través de switchers y relés repetidores; son especialmente útiles para para las pruebas de controladores de bahía ya que permiten simular las señales para los enclavamientos de comandos en los equipos de patio.

67NCD

El esquema de disparo con sobrecorriente por comparación direccional, consiste en que los relés de protección que se encuentran asociados a ambos extremos de la línea de transmisión, detectan de manera simultánea el arranque de la función de sobrecorriente direccional de tierra (67N) y efectúan al mismo tiempo el envío de la señal de aceleración de disparo por comparación direccional (TX-67NCD) al IED del extremo remoto. Lo anterior origina que al momento de evidenciarse esta falla a tierra, ambos relés también van a recibir la señal permisiva de aceleración de disparo por comparación direccional (RX-67NCD), lo que entonces permitirá que ambos IED's de cada extremo, generen la apertura instantánea y simultánea de sus interruptores asociados y por ende la desconexión completa de la línea. Se debe resaltar, que para que se efectúe la aceleración del disparo de la función de sobrecorriente direccional de tierra (67N), ambos IED's deben presentar al mismo tiempo tanto el envío del permisivo (TX) como la recepción de este (RX), lo que garantizará además que la apertura instantánea de la línea se está generando por una falla dentro de esta.

IV. METODOLOGÍA

El primer paso para realizar las pruebas a relés de control y protección consiste en identificar la configuración que previamente se ha elaborado de la bahía de la subestación en la cual se está trabajando, que deberá encontrarse en el software de gestión que posee el fabricante del IED. En esta configuración se deben verificar las conexiones de los PT's y CT's (con sus respectivas relaciones de transformación) de acuerdo al diagrama unifilar de la subestación, así como las funciones de protección se encuentren configuradas y ajustadas de acuerdo a lo especificado en el Estudio de Coordinación de Protecciones.

Posteriormente, se deben conectar las fuentes de corriente y/o tensiones requeridas para cada relé de protección a los terminales dispuestos en el tablero y garantizar que los circuitos que alimentan las entradas y salidas binarias del relé estén energizados. Dicha energización se hace en DC (Generalmente 115 a 125 VDC) ya que los servicios auxiliares de una subestación, de los que hacen parte los equipos de control y protección, cuentan con un banco de baterías de emergencia que alimentaría el sistema de protección ante una falla eventual de la alimentación en AC. Un ejemplo de lo anterior puede verse en la Fig. 2.

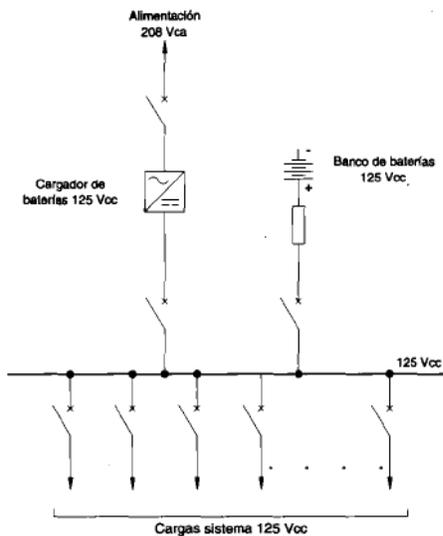


Fig. 2. Diagrama esquemático de alimentación de servicios auxiliares

Una vez conectadas al equipo de inyección las entradas analógicas, se deben conectar las entradas y salidas binarias que deben generarse y/o censarse para probar las diferentes funciones de protección, estas pueden ser disparos, posiciones, señales de enclavamientos, etc. Así mismo, debe considerarse que dichas señales no solo deben estar conectadas o generadas por el equipo de pruebas, sino que también algunas deben ser fácilmente identificables en los registros oscilográficos de los IED's. Lo anterior es un elemento fundamental en las pruebas como se verá más adelante.

Teniendo las entradas y salidas debidamente energizadas y conectadas al equipo de pruebas, se deben abrir los diferentes softwares de simulación, para el caso específico del presente informe es el PCM600 3.0, utilizado para configurar los IED's de marca HITACHI y el Test Universe, que sirve de interfaz para controlar el equipo de inyección OMICRON CMC356.

Después de garantizar que todas las funciones de protección indicadas en el Estudio de Coordinación de Protecciones se encuentren correctamente ajustadas y habilitadas en el software de gestión PCM600, se debe efectuar la configuración en el software Test Universe, el módulo adecuado para validar el comportamiento de la función objeto de pruebas, esto incluye las respectivas entradas analógicas y entradas y salidas binarias, así como la definición de los diferentes parámetros de aceptación de la prueba a ejecutar, tal como lo son el tiempo de disparo y/o de actuación de la función, el tipo de curva a utilizar, la señal que se debe censar para detener la prueba, la desviación aceptable, entre otros.

Las siguientes funciones de protección fueron probadas por el equipo de Protecciones de la empresa HMV Ingenieros Ltda, para un IED de bahía de la línea típica en el nivel de tensión de 115 kV, en configuración de barra sencilla más barra de transferencia como se muestra en la Fig. 3, con aislamiento tipo AIS. Cabe resaltar que para la etapa de pruebas pre-FAT no se contaba con el estudio de coordinación de protecciones y por tanto se utilizaron valores de ajustes típicos para una línea en este nivel de tensión. En este informe solo se presentarán los resultados obtenidos para un relé de protección HITACHI RED670 que corresponde a una bahía de línea de 115 kV, en el cual se configuraron las siguientes funciones (según código ANSI)

POTT	51/51N
21/21N	59
25	67/67N
27	79
50/50N	67NCD

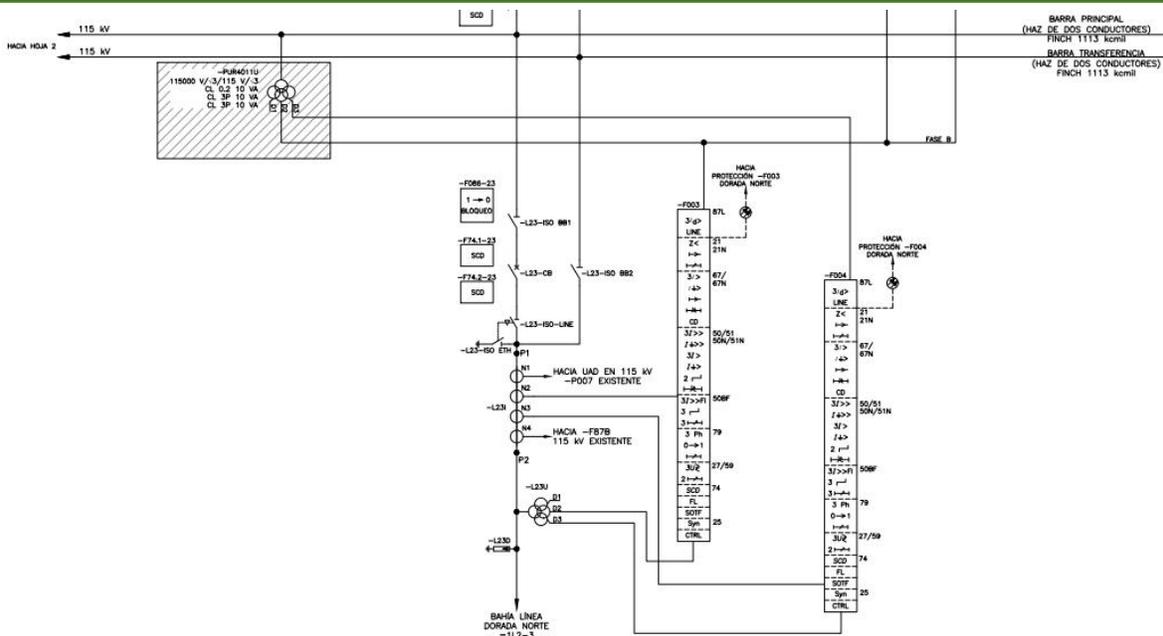


Fig. 3. Diagrama Unifilar SE 115 kV

Inicialmente se debe efectuar una comprobación preliminar para garantizar que las conexiones entre el equipo de inyección y las respectivas borneras del tablero quedaron correctamente conectadas en los canales asignados y que el IED esté midiendo las magnitudes y fases correctas cuando se inyectan tensiones y corrientes con el equipo CMC. El módulo del Test Universe llamado QuickCMC, facilita la verificación de los parámetros iniciales. La TABLA I presenta los parámetros que deben ingresarse en el Test Universe para la identificación del equipo y la asignación de las relaciones de corrientes y tensiones nominales. Además, se definen los límites de magnitudes tolerables con el fin de evitar causar daño a los equipos.

Con los parámetros iniciales ingresados en el Test Universe se procede a seleccionar el QuickCMC y se genera la apertura del módulo “Hardware Configuration” para definir las fuentes de corriente y tensión que se utilizarán en la prueba, para este caso solo se necesitan una fuente de corriente y una de tensión ya que solo se van a comprobar las conexiones. En la Fig. 4 se muestra en entorno del Test Universe en el cual se ingresa la información. En la sección de Analog Outputs se seleccionan una fuente de tensión y una de corriente. En la sección de Test Set se selecciona el equipo de pruebas con el cual se va a trabajar.

TABLA I
PARÁMETROS DEL RELÉ F003

Substation/Bay:			
Substation:	SE 115 kV	Substation address:	
Bay:		Bay address:	
Device:			
Name/description:	F003	Manufacturer:	HITACHI
Device type:	RED670	Device address:	=1L2-3+R23
Serial/model number:	T2350***		
Nominal Values:			
f nom:	60,00 Hz	Number of phases:	3
V nom (secondary):	115,0 V	V primary:	115,0 kV
I nom (secondary):	1,000 A	I primary:	1,000 kA
Residual Voltage/Current Factors:			
VLN / VN:	1,000	IN / I nom:	10,00
VN (secondary):	115,0 V	IN (secondary):	5,000 A
Residual Voltage-3 * V0		Residual Current-3 * I0	
Direction:		Direction:	
Limits:			
V max:	200,0 V	I max:	50,00 A

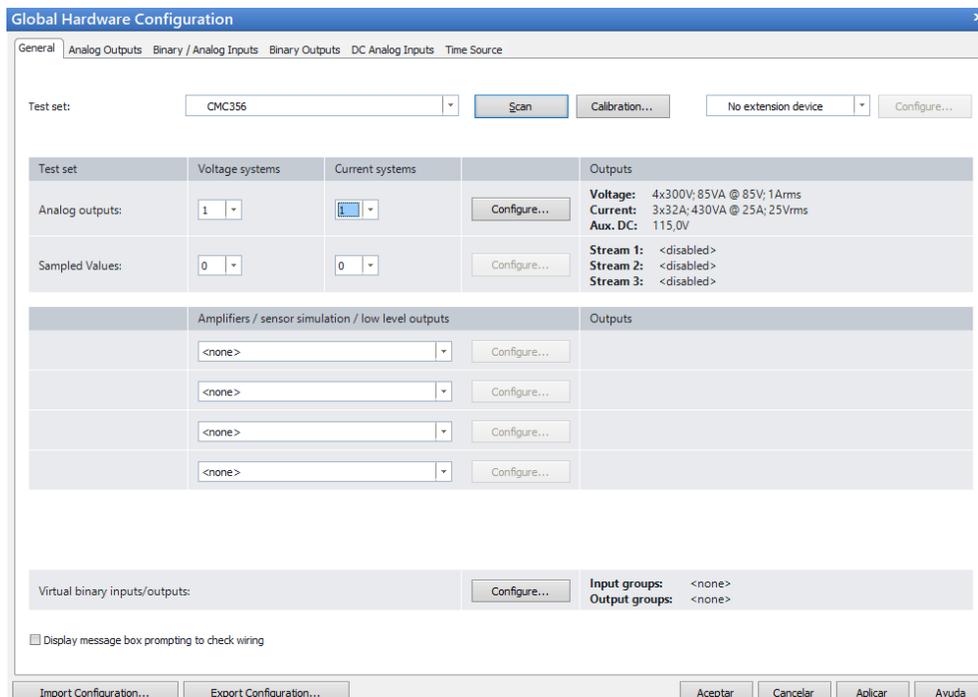


Fig. 4. Global hardware configuration en el Test Universe

Inicialmente se inyectan magnitudes de corriente y tensión pequeñas (las cuales serán vistas desde el secundario) para que en caso de que haya una mala conexión y se produzca un corto o una sobrecarga se genere el menor daño posible. Para el caso de las presentes pruebas

todas las conexiones se realizaron correctamente y no hubo ningún inconveniente durante las mismas. Seguidamente, como se muestra en la Fig. 5 se inyectan valores nominales de corriente y tensión (por el secundario). Adicionalmente, se procede a inyectar potencia en los cuatro cuadrantes del plano de potencia con el fin de contrastar la sensibilidad y direccionalidad.

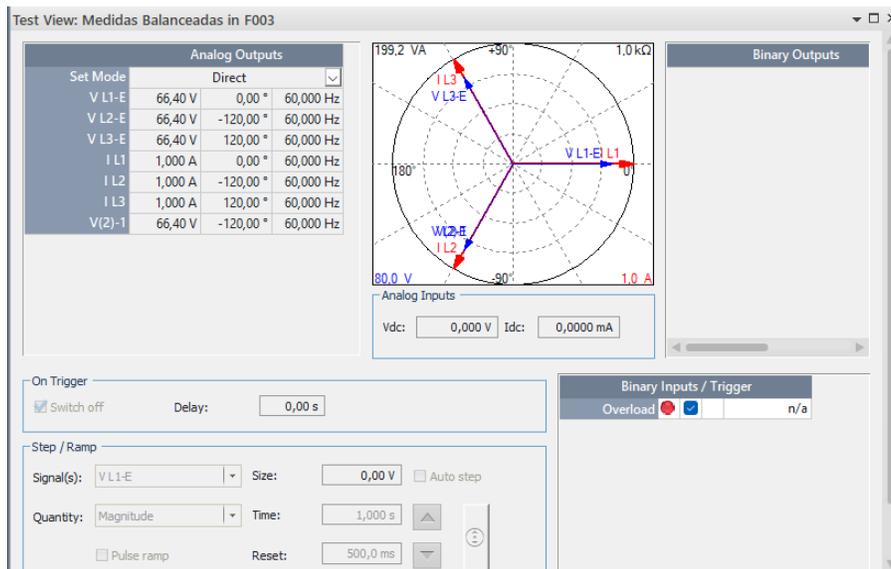


Fig. 5. Medidas Balanceadas

V. RESULTADOS

Subtensión 27

La función ANSI 27 o subtensión es probada típicamente utilizando el módulo State Sequencer del Test Universe, en él se debe configurar el nivel de tensión al cuál la función debe efectuar disparo, así como los tiempos de arranque y disparo de la misma. Para el caso del presente informe, la prueba se realizó con un arranque al 70% de la tensión nominal 115 kV y disparo a los 5 segundos. Los parámetros de la función configurados en el relé se pueden ver en la Fig. 6, la cual presenta el “Parameter setting” (sección de configuración de parámetros) del módulo de la función 27 llamado en el IED RED670 UV2PTUV.

F003 - Parameter Setting					
Group / Parameter Name	IED Value [SG1/Common]	PC Value [SG1/Common]	Unit	Min	Max
UV2PTUV: 1					
General					
GlobalBaseSel		1		1	12
ConnType		PhN DFT			
Setting Group1					
✓ Operation		On			
Step 1					
Setting Group1					
OperationStep1		On			
Characterist1		Definite time			
OpMode1		1 out of 3			
U1<		70,0	%UB	1,0	100,0
t1		5,00	s	0,00	6000,00

Fig. 6. Parámetros del Módulo UV2PUV en el PCM600

En la Fig. 7 Se puede observar como en la primera etapa se presentan condiciones normales de tensiones, vistos desde el secundario, durante 10 segundos; en la segunda se presenta la subtensión al 70% de la tensión nominal de operación y pasados 5 segundos se presenta el disparo, por último, se muestra el estado postfalla en el cual no es necesario medir corrientes y las tensiones deben quedar en su magnitud y fase nominales. En el registro oscilográfico mostrado en la Fig. 8 se puede ver cuando la función arranca, denotada por la señal 27-START y posteriormente se activa la señal 27-TRIP que representa el disparo de la protección por la función 27.

Table View: 27 in F003									
Name	1			2			3		
	Condiciones Normales			Falla 27			Post Falla		
V L1-E	66,40 V	0,00 °	60,000 Hz	46,47 V	0,00 °	60,000 Hz	66,40 V	0,00 °	60,000 Hz
V L2-E	66,40 V	-120,00 °	60,000 Hz	46,47 V	-120,00 °	60,000 Hz	66,40 V	-120,00 °	60,000 Hz
V L3-E	66,40 V	120,00 °	60,000 Hz	46,47 V	120,00 °	60,000 Hz	66,40 V	120,00 °	60,000 Hz
I L1	100,0 mA	0,00 °	60,000 Hz	100,0 mA	0,00 °	60,000 Hz	0,00 A	0,00 °	60,000 Hz
I L2	100,0 mA	-120,00 °	60,000 Hz	100,0 mA	-120,00 °	60,000 Hz	0,00 A	-120,00 °	60,000 Hz
I L3	100,0 mA	120,00 °	60,000 Hz	100,0 mA	120,00 °	60,000 Hz	0,00 A	120,00 °	60,000 Hz
V(2)-1	66,40 V	0,00 °	60,000 Hz	66,40 V	0,00 °	60,000 Hz	66,40 V	0,00 °	60,000 Hz
Trigger	↻	10,00 s		↻			↻	10,00 s	

Fig. 7. State Sequencer para 27 en el Test Universe

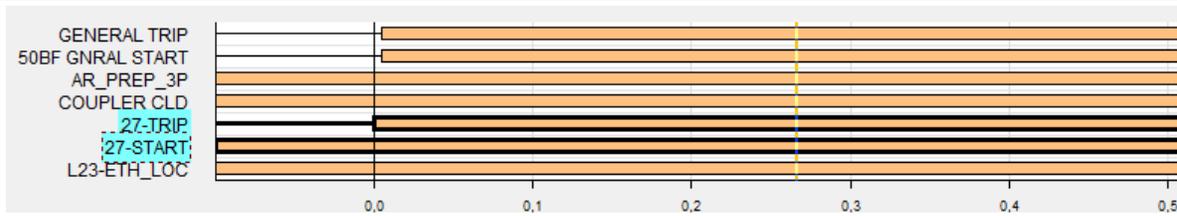


Fig. 8. Registro Oscilográfico para 27

En la TABLA II se presenta la evaluación de los tiempos de arranque y operación de la función; se puede ver, además, que el tiempo de actuación de la función, es decir, el tiempo que pasó desde que se dio la orden y se activó la señal de disparo TRIP1_CD1 es de solo 5,036 s, lo cual implica una desviación de solo 36 ms.

TABLA II.
EVALUACIÓN DE TIEMPO 27

Name	Ignore before	Start	Stop	Tnom	Tdev-	Tdev+	Tact	Tdev	Assess
Falla 27	Falla 27	Falla 27	TRIP 1_CD1 0>1	5,000 s	500,0 ms	500,0 ms	5,036 s	36,10 ms	+

Sobretensión 59

La función 59 o de sobretensión se prueba, similar a la función 27, con el módulo State Sequencer del Test Universe. Las características de la función asociadas al relé F003 se muestran en la Fig. 9. Se puede observar que para esta función se tienen dos etapas, una lenta, en la que el relé aguarda un tiempo en el que esté presente la sobretensión de 110% la cual se denota como Step 1; y la etapa rápida en el cual el tiempo de espera para disparo se disminuye y la tensión de arranque es de 115% de la nominal, llamada Step 2. Esto se debe a que los picos altos de tensión tienden a desestabilizar el sistema de potencia y entre mayor sea la sobretensión, mayor será el impacto en el sistema, por tanto, las fallas deben despejarse en el menor tiempo posible. Para las dos etapas, rápida y lenta, se tiene el mismo esquema de pruebas y se diferencian únicamente en el umbral de arranque y tiempo de actuación.

La Fig. 10 presenta los 3 estados en los que se divide la prueba de sobretensión. En el primero, se presentan condiciones de operación normal con magnitudes y ángulos nominales, en el segundo se presenta una sobretensión de 110%, como se ve en la Fig. 9g. El parámetro $t_1=10$ s quiere decir que la sobretensión debe estar activa por 10 s para que se genere el disparo. La etapa 3 muestra la condición postfalla en la que se ve activa únicamente la tensión de barra denotada por la señal V (2)-1; las demás tensiones son las de línea y al quedar abierto el interruptor queda completamente desenergizado.

F003 - Parameter Setting					
Group / Parameter Name	IED Value [SG1/Common]	PC Value [SG1/Common]	Unit	Min	Max
27_59					
Voltage protection					
OverVoltage2Step(59,2(3U>))					
OV2PTOV: 1					
General					
GlobalBaseSel		1		1	12
ConnType		PhN DFT			
Setting Group1					
Operation		On			
Step 1					
Setting Group1					
OperationStep1		On			
Characterist1		Definite time			
OpMode1		1 out of 3			
U1>		110,0	%UB	1,0	200,0
t1		10,00	s	0,00	6000,00
tReset1		0,025	s	0,000	60,000
t1Min		0,000	s	0,000	60,000
ResetTypeCrv1		Instantaneous			

Fig. 9. Parámetros del 59 ET I en el PCM600

Las señales 59-START1 y 59-TRIP1, vistas en la Fig. 11, corresponden al arranque y disparo de la función 59 etapa 1 respectivamente, queda comprobada su actuación en el registro oscilográfico.

En la TABLA III se muestra la evaluación de tiempo para la función 59 Etapa 1, así mismo, se observa que el tiempo de actuación de 10,04 s está dentro de la desviación definida para la prueba.

Table View: 59 Etapa I in F003									
Name	1			2			3		
	Condiciones Normales			Falla 59			Falla 59		
V L1-E	66,40 V	0,00 °	60,000 Hz	73,11 V	0,00 °	60,000 Hz	0,00 V	0,00 °	60,000 Hz
V L2-E	66,40 V	-120,00 °	60,000 Hz	73,11 V	-120,00 °	60,000 Hz	0,00 V	-120,00 °	60,000 Hz
V L3-E	66,40 V	120,00 °	60,000 Hz	73,11 V	120,00 °	60,000 Hz	0,00 V	120,00 °	60,000 Hz
I L1	100,0 mA	0,00 °	60,000 Hz	100,0 mA	0,00 °	60,000 Hz	0,00 A	0,00 °	60,000 Hz
I L2	100,0 mA	-120,00 °	60,000 Hz	100,0 mA	-120,00 °	60,000 Hz	0,00 A	-120,00 °	60,000 Hz
I L3	100,0 mA	120,00 °	60,000 Hz	100,0 mA	120,00 °	60,000 Hz	0,00 A	120,00 °	60,000 Hz
V(2)-1	66,40 V	0,00 °	60,000 Hz	66,40 V	0,00 °	60,000 Hz	66,40 V	0,00 °	60,000 Hz
Trigger		3,000 s						3,000 s	

Fig. 10.State Sequencer para 59 Etapa I en el Test Universe

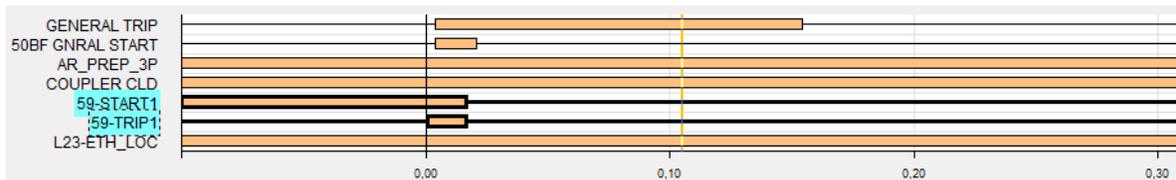


Fig. 11. Registro Oscilográfico para 59 ET I

TABLA III.
EVALUACIÓN DE TIEMPO 59 ET 1

Name	Ignore before	Start	Stop	Tnom	Tdev-	Tdev+	Tact	Tdev	Assess
Falla 59	Falla 59	Falla 59	TRIP	10,00 s	2,000 s	2,000 s	10,04 s	35,40 ms	+

La función 59 Etapa 2, cuyos parámetros se presentan en la Fig. 12, se prueba de la misma manera que la Etapa 1, con los tres estados definidos en la Fig. 13, con la única diferencia en el nivel de tensión para el arranque y el tiempo de actuación.

En el registro oscilográfico representado en la Fig. 14, se confirma la activación de las señales 59-START1, 59-START2 Y 59-TRIP2. Es de anotar que la primera señal corresponde a la Etapa 1 ya que el relé igual censa una sobretensión mayor al 110%, sin embargo, simultáneamente se activa la Etapa 2 y posteriormente se activa su respectivo disparo, debido a que el tiempo de actuación de la segunda etapa es mucho menor por ser el umbral de un valor mayor, respecto a la Etapa 1.

En la evaluación temporal resumida en la TABLA IV se observa un Tnom= 2 s lo cual corresponde con el valor de t2 en la Fig. 12, es decir, que el relé va a esperar 2 s con la sobretensión activa para enviar el disparo, el tiempo que pasa entre el envío del disparo desde el relé y la recepción de este por parte del equipo CMC es de solo 29 ms.

F003 - Parameter Setting					
Group / Parameter Name	IED Value [SG1/Common]	PC Value [SG1/Common]	Unit	Min	Max
HystAbs1		1,0	%UB	0,0	50,0
Step 2					
Setting Group1					
OperationStep2		On			
Characterist2		Definite time			
OpMode2		1 out of 3			
U2>		115,0	%UB	1,0	200,0
t2		2,000	s	0,000	60,000
tReset2		0,025	s	0,000	60,000
t2Min		0,000	s	0,000	60,000
ResetTypeCrv2		Instantaneous			

Fig. 12. Parámetros del 59 ET II en el PCM600

Table View: 59 Etapa II in F003									
Name	1			2			3		
	Condiciones Normales			Falla 59			Falla 59		
V L1-E	66,40 V	0,00 °	60,000 Hz	76,36 V	0,00 °	60,000 Hz	0,00 V	0,00 °	60,000 Hz
V L2-E	66,40 V	-120,00 °	60,000 Hz	76,36 V	-120,00 °	60,000 Hz	0,00 V	-120,00 °	60,000 Hz
V L3-E	66,40 V	120,00 °	60,000 Hz	76,36 V	120,00 °	60,000 Hz	0,00 V	120,00 °	60,000 Hz
I L1	100,0 mA	0,00 °	60,000 Hz	100,0 mA	0,00 °	60,000 Hz	0,00 A	0,00 °	60,000 Hz
I L2	100,0 mA	-120,00 °	60,000 Hz	100,0 mA	-120,00 °	60,000 Hz	0,00 A	-120,00 °	60,000 Hz
I L3	100,0 mA	120,00 °	60,000 Hz	100,0 mA	120,00 °	60,000 Hz	0,00 A	120,00 °	60,000 Hz
V(2)-1	66,40 V	0,00 °	60,000 Hz	66,40 V	0,00 °	60,000 Hz	66,40 V	0,00 °	60,000 Hz
Trigger		3,000 s						3,000 s	

Fig. 13. State Sequencer para 59 Etapa II en el Test Universe

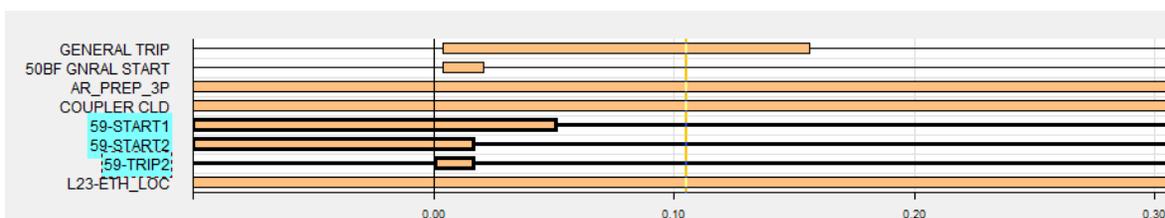


Fig. 14. Registro Oscilográfico para 59 ET II

TABLA IV.
EVALUACIÓN DE TIEMPO 59 ET 2

Name	Ignore before	Start	Stop	Tnom	Tdev-	Tdev+	Tact	Tdev	Assess
Falla 59	Falla 59	Falla 59	TRIP 1_CD1 0>1	2,000 s	500,0 ms	500,0 ms	2,029 s	29,00 ms	+

Sobrecorriente direccional 67

Haciendo uso del módulo “Overcurrent” del TEST Universe se probaron las funciones 67 y 67N. Para ello el primer paso es seleccionar el módulo y configurar los ajustes en el Test Object, en este se encuentra la sección de Overcurrent en la que se ingresan los parámetros iniciales como se ve en la Fig. 15.

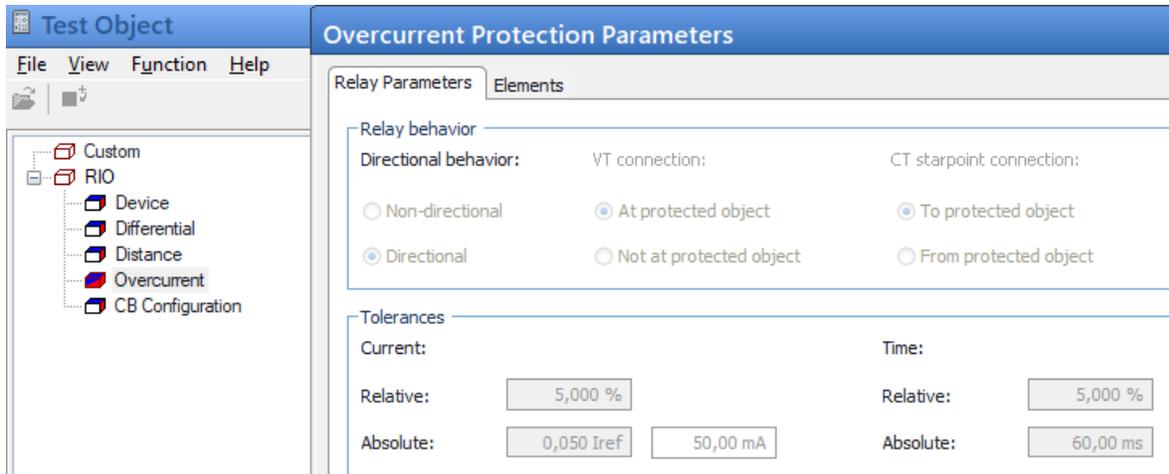


Fig. 15. Parámetros del bloque de sobrecorrientes en el Test Universe

En la sección Relay Parameters, se debe seleccionar el comportamiento en “direccional” para la función 67; el VT connection hace referencia a la conexión de tensión cuando el PT está conectado hacia la barra o hacia la línea. El punto de estrella del CT indica hacia qué dirección ve el relé, es decir, hacia el objeto protegido o desde el objeto protegido. La sección de tolerancias indica el error máximo en magnitud de corriente y tiempo aceptados para la prueba.

La Fig. 16 muestra la sección de elementos del módulo Overcurrent en el cual se debe seleccionar el tipo de curva, la corriente de pick-up, el tiempo y la dirección entre otros. Los parámetros utilizados para las pruebas del presente informe se muestran en la TABLA V.

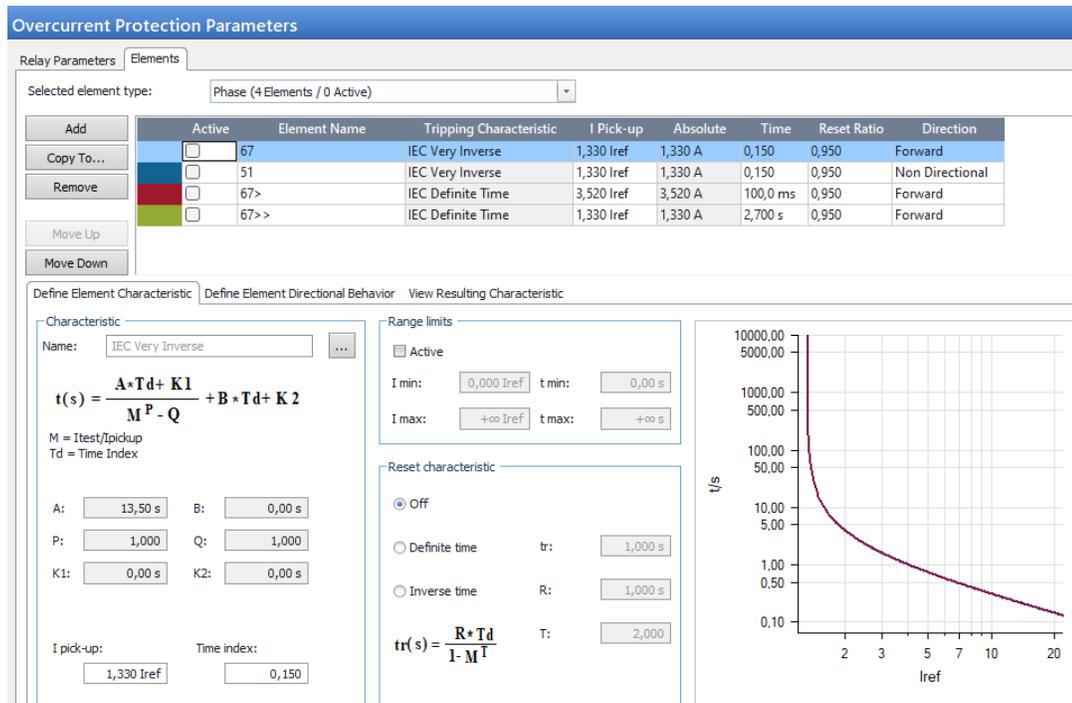


Fig. 16. Elementos del módulo de Sobrecorrientes en el Test Universe

TABLA V.
PARÁMETROS DE PRUEBA FUNCIÓN 67

Active	Name	Tripping characteristic	I Pick-up	Time	Reset Ratio	Direction
Yes	67	IEC Very Inverse	1,33 Iref	0,15	0,95	Forward

Los ajustes del módulo de sobrecorrientes OC4PTOC del relé F003 RED670, se muestran en la Fig. 17, en donde se destacan: la dirección en sentido hacia adelante, el tipo de curva IEC muy inversa y la corriente de pick-up de 133% de la corriente nominal de la línea.

F003 - Parameter Setting		F003 - Application Configuration			
Group / Parameter Name	IED Value [SG1/Common]	PC Value [SG1/Common]	Unit	Min	Max
✓ Setting Group1					
✓ DirMode1		Forward			
✓ Characterist1		IEC Very inv.			
✓ I1>		133	%IB	5	2500
✓ I1>Max		2500	%IB	5	2500
✓ I1>Min		5	%IB	5	2500
✓ t1		0,000	s	0,000	60,000
✓ k1		0,15		0,01	999,00
✓ IMin1		50	%IB	1	1000
✓ t1Min		0,000	s	0,000	60,000
✓ I1Mult		2,0		1,0	10,0
✓ ResetTypeCrv1		Instantaneous			
✓ tReset1		0,020	s	0,000	60,000
✓ tPCrv1		1,000		0,005	3,000
✓ tACrv1		13,500		0,005	200,000
✓ tBCrv1		0,00		0,00	20,00
✓ tCCrv1		1,0		0,1	10,0
✓ tPRCrv1		0,500		0,005	3,000
✓ tTRCrv1		13,500		0,005	100,000
✓ tCRCrv1		1,0		0,1	10,0
✓ HarmBlock1		Off			

Fig. 17. Parámetros de la función 67 en el PCM600

El siguiente paso consiste en seleccionar en la curva de operación, un punto de referencia para indicar el valor de corriente y el tiempo de actuación de la función que serán evaluados durante la prueba, tal como se muestra en la Fig. 18, para este caso se utilizó una corriente de 2,085 A; la cual, según la curva, completa automáticamente un tiempo de actuación de 3,566 s. Posteriormente, se agregan los puntos de prueba haciendo clic en Add Multiple como se ven en la Fig. 18. Se debe seleccionar además el tipo de falla que será validado (entre fases o fase a tierra), la magnitud de corriente, en ángulo de inicio y fin; por último, el paso de ángulo (Step Size). Una vez completado lo anterior de agregan los diferentes puntos para iniciar la prueba.

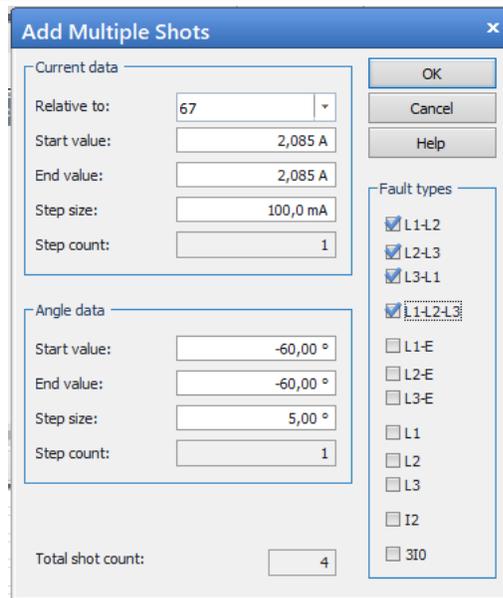


Fig. 18. Selección del tipo de falla en el Test Universe

La prueba consiste entonces en inyectar una magnitud de sobrecorriente fija, de 2,085 A por el secundario del relé, y se va rotando el ángulo de esta. Como se ve en la Fig. 19, la zona de color fucsia corresponde a una zona de operación de la función (hacia adelante) y por tanto en dichos puntos habrá disparo de la función. La zona opuesta corresponde a la zona de no operación (hacia atrás) y no se deben presentar disparos. El objetivo de la prueba es verificar la direccionalidad del relé (según los ajustes de su configuración) ya que dependiendo de los ajustes de la función, esta deberá actuar ante las fallas que son simuladas hacia adelante del equipo protegido, es decir, de la línea o hacia atrás de esta. En los puntos en los que se deba dar el disparo la prueba individual iniciará en tiempo cero y finalizará cuando la señal TRIP 1_CD1, emitida por el relé, sea detectada por el equipo CMC356. En caso de que el punto no esté en la zona de operación, simplemente después de transcurrido el tiempo máximo de falla ajustado en el módulo de prueba, se verifica que la señal de disparo no haya activado.

En la TABLA VI se presentan los resultados de la prueba. Se indica el tipo de falla, monofásica o trifásica (A, B o C); el tiempo de actuación y si hubo o no disparo dependiendo de la región de operación en la que se encuentra cada punto de falla. Por último, se muestra el resultado arrojado por el equipo de inyección en el que se indica si la prueba resultó o no correcta.

TABLA VI.
RESULTADOS FUNCIÓN 67 VARIANDO ÁNGULO

Type	Relative To	Factor	Magnitude	Angle	tnom	tact	Deviation	Overload	Result
L1-L2	67	1,568	2,085 A	0,00 °	3,566 s	3,582 s	0,4649 %	No	Passed
L1-L2	67	1,568	2,085 A	30,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L1-L2	67	1,568	2,085 A	60,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L1-L2	67	1,568	2,085 A	90,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L1-L2	67	1,568	2,085 A	120,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L1-L2	67	1,568	2,085 A	150,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L1-L2	67	1,568	2,085 A	180,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L1-L2	67	1,568	2,085 A	-150,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L1-L2	67	1,568	2,085 A	-120,00 °	3,566 s	3,584 s	0,5126 %	No	Passed
L1-L2	67	1,568	2,085 A	-90,00 °	3,566 s	3,581 s	0,4313 %	No	Passed
L1-L2	67	1,568	2,085 A	-60,00 °	3,566 s	3,583 s	0,4930 %	No	Passed
L1-L2	67	1,568	2,085 A	-30,00 °	3,566 s	3,575 s	0,2518 %	No	Passed
L2-L3	67	1,568	2,085 A	0,00 °	3,566 s	3,576 s	0,2854 %	No	Passed
L2-L3	67	1,568	2,085 A	30,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L2-L3	67	1,568	2,085 A	60,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L2-L3	67	1,568	2,085 A	90,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L2-L3	67	1,568	2,085 A	120,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L2-L3	67	1,568	2,085 A	150,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L2-L3	67	1,568	2,085 A	180,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L2-L3	67	1,568	2,085 A	-150,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L2-L3	67	1,568	2,085 A	-120,00 °	3,566 s	3,584 s	0,5042 %	No	Passed
L2-L3	67	1,568	2,085 A	-90,00 °	3,566 s	3,577 s	0,3331 %	No	Passed
L2-L3	67	1,568	2,085 A	-60,00 °	3,566 s	3,582 s	0,4621 %	No	Passed
L2-L3	67	1,568	2,085 A	-30,00 °	3,566 s	3,581 s	0,4200 %	No	Passed
L3-L1	67	1,568	2,085 A	0,00 °	3,566 s	3,578 s	0,3527 %	No	Passed
L3-L1	67	1,568	2,085 A	30,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L3-L1	67	1,568	2,085 A	60,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L3-L1	67	1,568	2,085 A	90,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L3-L1	67	1,568	2,085 A	120,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L3-L1	67	1,568	2,085 A	150,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L3-L1	67	1,568	2,085 A	180,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L3-L1	67	1,568	2,085 A	-150,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L3-L1	67	1,568	2,085 A	-120,00 °	3,566 s	3,577 s	0,3219 %	No	Passed
L3-L1	67	1,568	2,085 A	-90,00 °	3,566 s	3,585 s	0,5435 %	No	Passed
L3-L1	67	1,568	2,085 A	-60,00 °	3,566 s	3,581 s	0,4341 %	No	Passed
L3-L1	67	1,568	2,085 A	-30,00 °	3,566 s	3,577 s	0,3247 %	No	Passed
L1-L2-L3	67	1,568	2,085 A	0,00 °	3,566 s	3,574 s	0,2462 %	No	Passed
L1-L2-L3	67	1,568	2,085 A	30,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L1-L2-L3	67	1,568	2,085 A	60,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L1-L2-L3	67	1,568	2,085 A	90,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L1-L2-L3	67	1,568	2,085 A	120,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L1-L2-L3	67	1,568	2,085 A	150,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L1-L2-L3	67	1,568	2,085 A	180,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L1-L2-L3	67	1,568	2,085 A	-150,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L1-L2-L3	67	1,568	2,085 A	-120,00 °	3,566 s	3,572 s	0,1901 %	No	Passed
L1-L2-L3	67	1,568	2,085 A	-90,00 °	3,566 s	3,572 s	0,1704 %	No	Passed
L1-L2-L3	67	1,568	2,085 A	-60,00 °	3,566 s	3,577 s	0,3275 %	No	Passed
L1-L2-L3	67	1,568	2,085 A	-30,00 °	3,566 s	3,574 s	0,2377 %	No	Passed

Por ejemplo, en la primera línea se puede observar una falla entre las fases A y B, y un tiempo de disparo a los 3,582 s, considerando que el nominal para la corriente de falla inyectada y según el punto de operación de la curva ajustada, es de 3,566 s lo que representa un error de tan solo 0,465%. Similarmente, en la segunda fila, se observa una falla entre las mismas fases A y B, sin embargo, como el punto está dentro de la zona de no operación (hacia atrás o zona de reversa), no se presenta ningún disparo. Se confirma entonces que el relé completó la prueba de manera satisfactoria teniendo en cuenta la desviación previamente establecida y los parámetros configurados.

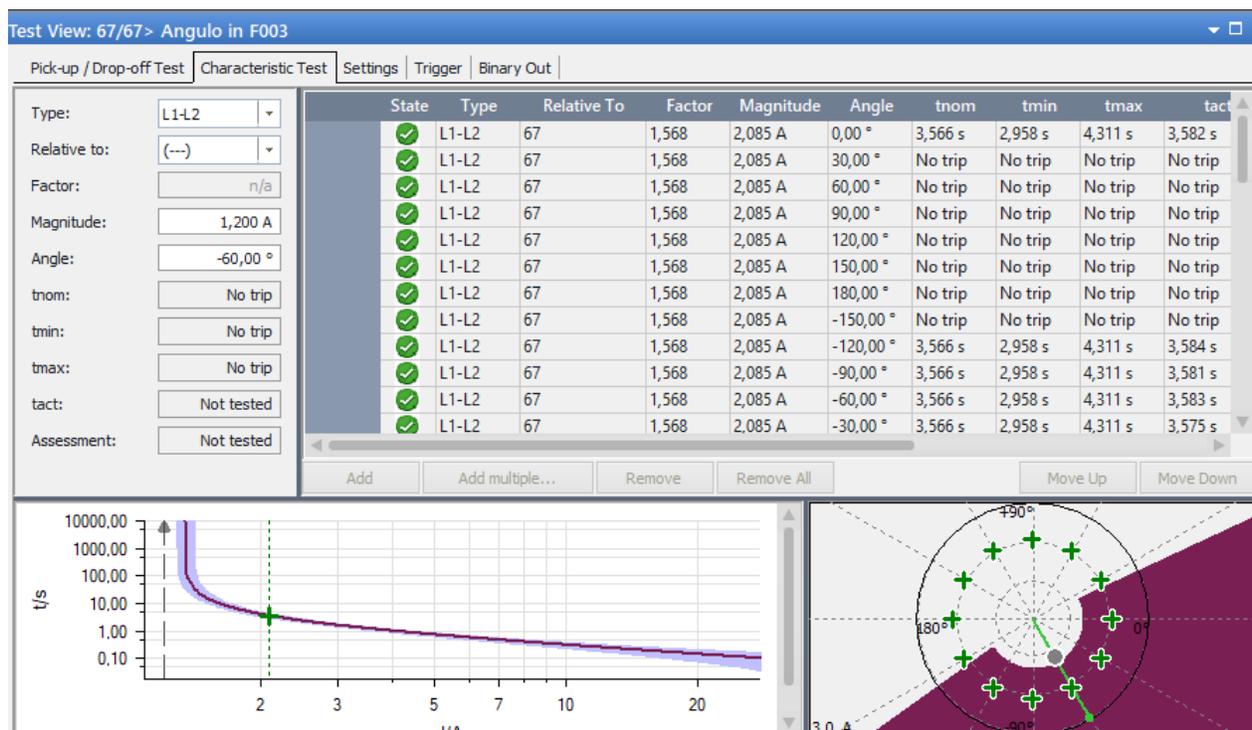


Fig. 19. Elementos de prueba para 67 variando ángulo en el Test Universe

Es importante resaltar que para las pruebas de sobrecorriente no se registraron las oscilografías, esto debido a la gran cantidad de disparos. En su lugar, se hace una prueba individual para obtener el registro de una sola en la que aparezca el arranque y el disparo denotados por las señales 51/67-START y 51/67-TRIP respectivamente. Teniendo en cuenta que los funciones 51/51N y 67/67N tienen las señales de arranques y disparos generales y/o similares, la Fig. 20 se establece para representar la activación de dichas señales para las funciones de sobrecorriente mencionadas.

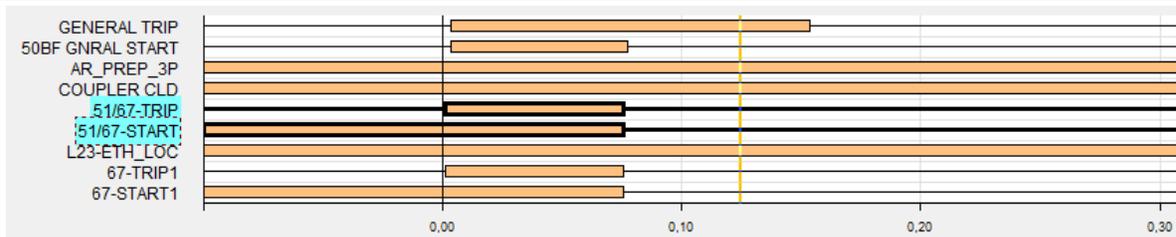


Fig. 20. Registro Oscilográfico para 51 y 67

Se realiza una prueba similar dejando el ángulo de la corriente fijo en -49° y variando su magnitud desde 2,085 A hasta 2,985 A. Los resultados de dicha prueba están representados en la TABLA VII.

La Fig. 21 simboliza lo comentado anteriormente, en la esquina inferior derecha se simbolizan los diferentes disparos con una cruz de color verde, los cuales se encuentran todos dentro de la zona de operación de la función (hacia adelante). Además, se puede verificar que a medida que la magnitud de corriente aumenta, el tiempo de disparo disminuye siguiendo la característica de la curva IEC Very Inverse ajustada para la función.

TABLA VII.
RESULTADOS FUNCIÓN 67 VARIANDO MAGNITUD DE CORRIENTE

Type	Relative To	Factor	Magnitude	Angle	tnom	tact	Deviation	Overload	Result
L1-L2	67	1,568	2,085 A	$-49,00^\circ$	3,566 s	3,576 s	0,2938 %	No	Passed
L1-L2	67	1,794	2,385 A	$-49,00^\circ$	2,552 s	2,562 s	0,4046 %	No	Passed
L1-L2	67	2,019	2,685 A	$-49,00^\circ$	1,987 s	2,006 s	0,9254 %	No	Passed
L1-L2	67	2,245	2,985 A	$-49,00^\circ$	1,627 s	1,638 s	0,6830 %	No	Passed
L2-L3	67	1,568	2,085 A	$-49,00^\circ$	3,566 s	3,578 s	0,3527 %	No	Passed
L2-L3	67	1,794	2,385 A	$-49,00^\circ$	2,552 s	2,562 s	0,4046 %	No	Passed
L2-L3	67	2,019	2,685 A	$-49,00^\circ$	1,987 s	2,003 s	0,7996 %	No	Passed
L2-L3	67	2,245	2,985 A	$-49,00^\circ$	1,627 s	1,636 s	0,5539 %	No	Passed
L3-L1	67	1,568	2,085 A	$-49,00^\circ$	3,566 s	3,582 s	0,4733 %	No	Passed
L3-L1	67	1,794	2,385 A	$-49,00^\circ$	2,552 s	2,562 s	0,3850 %	No	Passed
L3-L1	67	2,019	2,685 A	$-49,00^\circ$	1,987 s	2,002 s	0,7291 %	No	Passed
L3-L1	67	2,245	2,985 A	$-49,00^\circ$	1,627 s	1,650 s	1,384 %	No	Passed
L1-L2-L3	67	1,568	2,085 A	$-49,00^\circ$	3,566 s	3,570 s	0,1256 %	No	Passed
L1-L2-L3	67	1,794	2,385 A	$-49,00^\circ$	2,552 s	2,559 s	0,2753 %	No	Passed
L1-L2-L3	67	2,019	2,685 A	$-49,00^\circ$	1,987 s	2,005 s	0,9002 %	No	Passed
L1-L2-L3	67	2,245	2,985 A	$-49,00^\circ$	1,627 s	1,635 s	0,5109 %	No	Passed

Al igual que en la prueba anterior, la prueba individual inicia en tiempo cero cuando se inyecta la corriente de falla y finaliza cuando se activa la señal de disparo. De esta manera se

comprueba la capacidad del relé de actuar ante diferentes niveles de corriente para todas las fallas entre fases.

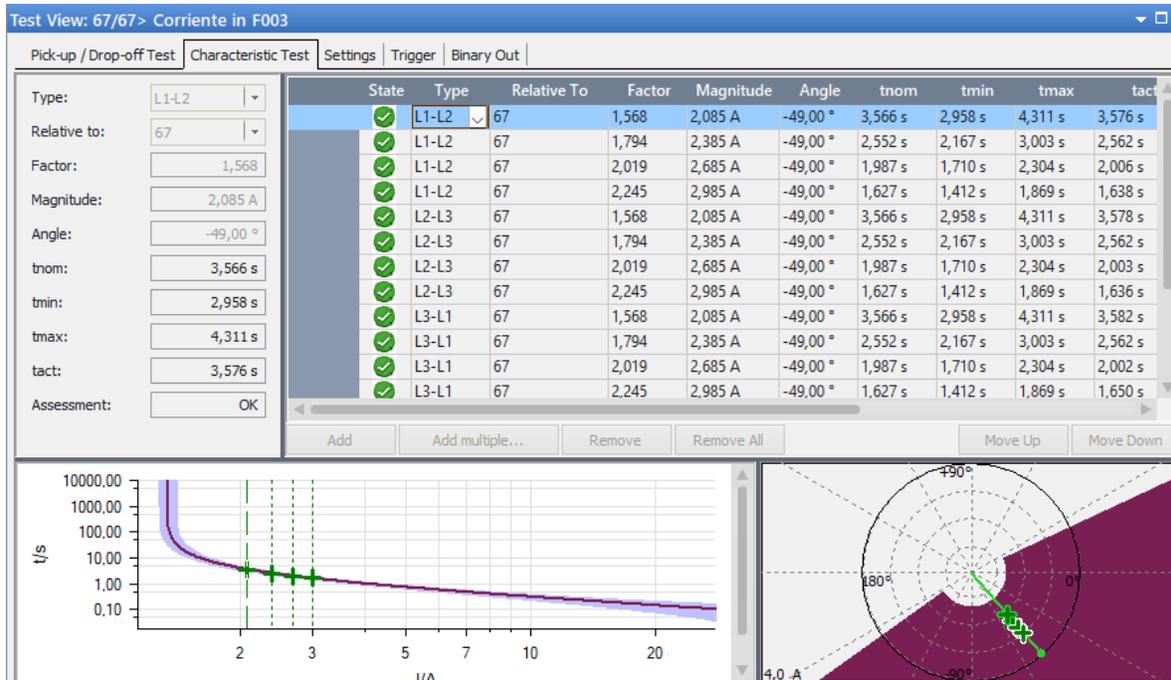


Fig. 21. Elementos de prueba para 67 en el Test Universe

Sobrecorriente direccional de neutro 67N

La función 67N se prueba de manera análoga a la función 67 y por tanto no se profundizará en su procedimiento en el presente informe y se limitará a mostrar los resultados con algunas apreciaciones relevantes. En la TABLA VIII se presentan los resultados obtenidos para la prueba cuando se presenta una variación del ángulo de la corriente de falla. Se debe tener en cuenta que la función 67N se prueba ante fallas a tierra y por tanto la corriente de pick-up es mucho menor, para el caso específico del presente informe, es de 80% como se indica en la Fig. 22.

F003 - Parameter Setting		F003 - Application Configuration			
Group / Parameter Name	IED Value [SG1/Common]	PC Value [SG1/Common]	Unit	Min	Max
✓ Step 1					
✓ Setting Group1					
✓ DirMode1		Off			
✓ Characterist1		IEC Very inv.			
✓ IN1>		80	%IB	1	2500
✓ IN1>Max		2500	%IB	1	2500
✓ IN1>Min		1	%IB	1	2500
✓ t1		0,000	s	0,000	60,000
✓ k1		0,16		0,01	999,00
✓ IMin1		100,00	%IB	1,00	2000,00
✓ t1Min		0,000	s	0,000	60,000
✓ IN1Mult		2,0		1,0	10,0
✓ ResetTypeCrv1		Instantaneous			

Fig. 22. Parámetros del 67N en el PCM600

TABLA VIII.
RESULTADOS FUNCIÓN 67N VARIANDO ÁNGULO

Type	Relative To	Factor	Magnitude	Angle	tnom	tact	Deviation	Overload	Result
L1-E	67N	1,404	1,123 A	0,00 °	5,344 s	5,352 s	0,1577 %	No	Passed
L1-E	67N	1,404	1,123 A	40,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L1-E	67N	1,404	1,123 A	80,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L1-E	67N	1,404	1,123 A	120,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L1-E	67N	1,404	1,123 A	160,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L1-E	67N	1,404	1,123 A	-160,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L1-E	67N	1,404	1,123 A	-120,00 °	5,344 s	5,346 s	0,03790 %	No	Passed
L1-E	67N	1,404	1,123 A	-80,00 °	5,344 s	5,340 s	-0,06500 %	No	Passed
L2-E	67N	1,404	1,123 A	0,00 °	5,344 s	5,349 s	0,09590 %	No	Passed
L2-E	67N	1,404	1,123 A	40,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L2-E	67N	1,404	1,123 A	80,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L2-E	67N	1,404	1,123 A	120,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L2-E	67N	1,404	1,123 A	160,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L2-E	67N	1,404	1,123 A	-160,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L2-E	67N	1,404	1,123 A	-120,00 °	5,344 s	5,354 s	0,2045 %	No	Passed
L2-E	67N	1,404	1,123 A	-80,00 °	5,344 s	5,346 s	0,04730 %	No	Passed
L3-E	67N	1,404	1,123 A	0,00 °	5,344 s	5,340 s	-0,07250 %	No	Passed
L3-E	67N	1,404	1,123 A	40,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L3-E	67N	1,404	1,123 A	80,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L3-E	67N	1,404	1,123 A	120,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L3-E	67N	1,404	1,123 A	160,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L3-E	67N	1,404	1,123 A	-160,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L3-E	67N	1,404	1,123 A	-120,00 °	5,344 s	5,348 s	0,07540 %	No	Passed
L3-E	67N	1,404	1,123 A	-80,00 °	5,344 s	5,342 s	-0,02200 %	No	Passed

Nuevamente se hace una variación de la magnitud de la corriente de falla entre 1,091 A y 1,691 A y se deja el ángulo fijo en -60° para la prueba de la 67N cuyos resultados se presentan en la TABLA IX.

TABLA IX.
RESULTADOS FUNCIÓN 67N VARIANDO MAGNITUD

Type	Relative To	Factor	Magnitude	Angle	tnom	tact	Deviation	Overload	Result
L1-E	67N	1,364	1,091 A	-60,00 °	5,939 s	5,951 s	0,2094 %	No	Passed
L1-E	67N	1,739	1,391 A	-60,00 °	2,924 s	2,918 s	-0,2012 %	No	Passed
L1-E	67N	2,114	1,691 A	-60,00 °	1,940 s	1,935 s	-0,2552 %	No	Passed
L1-E	67N	2,489	1,991 A	-60,00 °	1,451 s	1,449 s	-0,1525 %	No	Passed
L2-E	67N	1,364	1,091 A	-60,00 °	5,939 s	5,948 s	0,1488 %	No	Passed
L2-E	67N	1,739	1,391 A	-60,00 °	2,924 s	2,913 s	-0,3791 %	No	Passed
L2-E	67N	2,114	1,691 A	-60,00 °	1,940 s	1,930 s	-0,4718 %	No	Passed
L2-E	67N	2,489	1,991 A	-60,00 °	1,451 s	1,449 s	-0,1043 %	No	Passed
L3-E	67N	1,364	1,091 A	-60,00 °	5,939 s	5,942 s	0,06120 %	No	Passed
L3-E	67N	1,739	1,391 A	-60,00 °	2,924 s	2,913 s	-0,3791 %	No	Passed
L3-E	67N	2,114	1,691 A	-60,00 °	1,940 s	1,931 s	-0,4305 %	No	Passed
L3-E	67N	2,489	1,991 A	-60,00 °	1,451 s	1,443 s	-0,5385 %	No	Passed

Se puede ver que en algunos casos el disparo se dio antes del tiempo nominal de la curva, no obstante, dicho comportamiento es algo completamente normal y corresponde a la sensibilidad del relé y la tolerancia establecida para la prueba.

Sobrecorriente temporizada 51

Al igual que la función 67, la función de sobrecorriente de fases de tiempo inverso 51, se probó haciendo uso del módulo Overcurrent del Test Universe, no obstante, se debe considerar la diferencia entre ambas funciones, la primera es direccional y la segunda no; lo cual quiere decir que el relé actuará sin importar en qué sentido fluya la corriente de falla cuando se supera una magnitud determinada. En el relé F003 RED670, las funciones de sobrecorriente de fase fueron configuradas en el módulo OC4PTOC, para el caso específico de la función 51 se utilizó el Step 2 cuyos parámetros se muestran en la Fig. 23. Destacan el tipo de curva, IEC Very Inverse y la corriente de pick up ($I_{2>}$) de 133% de la corriente nominal del sistema.

F003 - Parameter Setting		F003 - Application Configuration			
Group / Parameter Name	IED Value [SG1/Common]	PC Value [SG1/Common]	Unit	Min	Max
Step 2					
Setting Group1					
DirMode2		Non-directional			
Characterist2		IEC Very inv.			
I2>		133	%IB	5	2500
I2>Max		2500	%IB	5	2500
I2>Min		5	%IB	5	2500
t2		0,000	s	0,000	60,000
k2		0,15		0,01	999,00
IMin2		50	%IB	1	1000
t2Min		0,000	s	0,000	60,000
I2Mult		2,0		1,0	10,0
ResetTypeCrv2		Instantaneous			
tReset2		0,020	s	0,000	60,000
tPCrv2		1,000		0,005	3,000
tACrv2		13,500		0,005	200,000
tBCrv2		0,00		0,00	20,00
tCCrv2		1,0		0,1	10,0
tPRCrv2		0,500		0,005	3,000
tTRCrv2		13,500		0,005	100,000
tCRCrv2		1,0		0,1	10,0
HarmBlock2		Off			

Fig. 23. Parámetros del 51 en el PCM600

Al igual que en la prueba de la función 67, la prueba de la función 51 también se realiza variando la magnitud de la corriente.

Cabe destacar nuevamente que cada prueba se inicia en tiempo cero y se considera exitosa cuando la señal TRIP 1_CD1 se activa en el relé de protección. Esta activación es monitoreada por el equipo de pruebas para asegurar que el relé responde correctamente bajo las condiciones establecidas.

La prueba se efectúa cambiando la magnitud de la corriente y dejando el ángulo fijo, es similar a las pruebas anteriores como se puede ver en la Fig. 24. En la curva, se presentan varios puntos de corriente a 2,211 A; 2,511 A y 2,811 A, con tiempos de actuación de 3,059 s, 2,281 s y 1,819 s respectivamente. Se comprueba el comportamiento esperado según la curva ya que al aumentar la magnitud de la corriente de falla el relé envía el disparo cada vez más rápido.

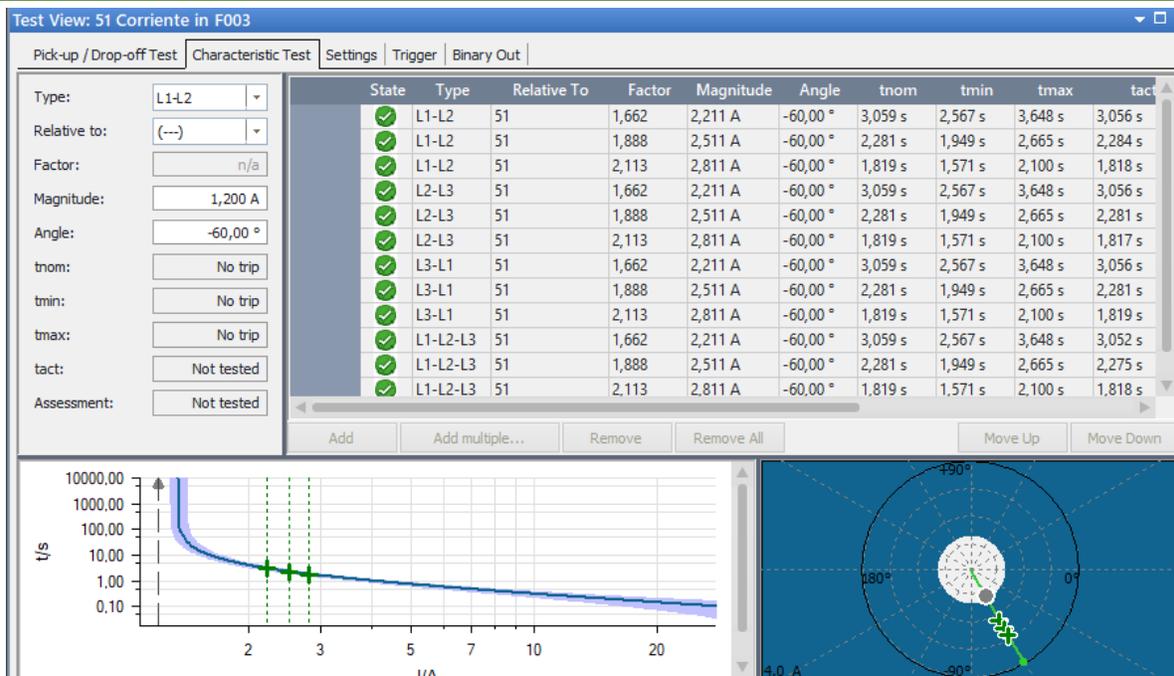


Fig. 24. Elementos de prueba para 51 variando corriente en el Test Universe

En la TABLA X se resumen los resultados obtenidos para la prueba. Al observar los resultados de las diferentes combinaciones de fallas (L1-L2, L2-L3, L3-L1 y L1-L2-L3), se nota que la desviación porcentual entre los tiempos nominales y los tiempos reales es consistentemente baja en todos los casos. Esto refleja la fiabilidad del relé en detectar y reaccionar ante las condiciones de sobrecorriente con uniformidad, independientemente de las fases involucradas en la falla.

TABLA X.
RESULTADOS FUNCIÓN 51 VARIANDO ÁNGULO

Type	Relative To	Factor	Magnitude	Angle	tnom	tact	Deviation	Overload	Result
L1-L2	51	1,662	2,211 A	-60,00 °	3,059 s	3,056 s	-0,08930 %	No	Passed
L1-L2	51	1,888	2,511 A	-60,00 °	2,281 s	2,284 s	0,1177 %	No	Passed
L1-L2	51	2,113	2,811 A	-60,00 °	1,819 s	1,818 s	-0,05850 %	No	Passed
L2-L3	51	1,662	2,211 A	-60,00 °	3,059 s	3,056 s	-0,09260 %	No	Passed
L2-L3	51	1,888	2,511 A	-60,00 °	2,281 s	2,281 s	-0,009400 %	No	Passed
L2-L3	51	2,113	2,811 A	-60,00 °	1,819 s	1,817 s	-0,09690 %	No	Passed
L3-L1	51	1,662	2,211 A	-60,00 °	3,059 s	3,056 s	-0,09910 %	No	Passed
L3-L1	51	1,888	2,511 A	-60,00 °	2,281 s	2,281 s	-0,009400 %	No	Passed
L3-L1	51	2,113	2,811 A	-60,00 °	1,819 s	1,819 s	-0,02550 %	No	Passed
L1-L2-L3	51	1,662	2,211 A	-60,00 °	3,059 s	3,052 s	-0,2103 %	No	Passed
L1-L2-L3	51	1,888	2,511 A	-60,00 °	2,281 s	2,275 s	-0,2592 %	No	Passed
L1-L2-L3	51	2,113	2,811 A	-60,00 °	1,819 s	1,818 s	-0,06400 %	No	Passed

Sobrecorriente de neutro temporizada 51N

La función 51N se probó de manera similar a las demás funciones de sobrecorriente y por tanto solo se presentan los resultados. En la TABLA XI se presenta la prueba variando la magnitud de corriente.

TABLE XI.
RESULTADOS FUNCIÓN 51N VARIANDO LA MAGNITUD DE LA CORRIENTE

Type	Relative To	Factor	Magnitude	Angle	tnom	tact	Deviation	Overload	Result
L1-E	51N	1,447	1,158 A	-60,00 °	4,830 s	4,835 s	0,09400 %	No	Passed
L1-E	51N	1,822	1,458 A	-60,00 °	2,627 s	2,628 s	0,02940 %	No	Passed
L1-E	51N	2,197	1,758 A	-60,00 °	1,804 s	1,799 s	-0,3062 %	No	Passed
L1-E	51N	2,572	2,058 A	-60,00 °	1,374 s	1,369 s	-0,3770 %	No	Passed
L2-E	51N	1,447	1,158 A	-60,00 °	4,830 s	4,831 s	0,01740 %	No	Passed
L2-E	51N	1,822	1,458 A	-60,00 °	2,627 s	2,626 s	-0,03920 %	No	Passed
L2-E	51N	2,197	1,758 A	-60,00 °	1,804 s	1,803 s	-0,07890 %	No	Passed
L2-E	51N	2,572	2,058 A	-60,00 °	1,374 s	1,367 s	-0,4716 %	No	Passed
L3-E	51N	1,447	1,158 A	-60,00 °	4,830 s	4,837 s	0,1375 %	No	Passed
L3-E	51N	1,822	1,458 A	-60,00 °	2,627 s	2,623 s	-0,1534 %	No	Passed
L3-E	51N	2,197	1,758 A	-60,00 °	1,804 s	1,796 s	-0,4725 %	No	Passed
L3-E	51N	2,572	2,058 A	-60,00 °	1,374 s	1,373 s	-0,07860 %	No	Passed

Función Distancia 21

La función distancia (21) es una de las funciones más importante para una línea de transmisión y por tanto su evaluación es más compleja que las funciones anteriores. Para el relé del presente informe se configuró la función distancia utilizando el módulo ZMFPDIS, propio del RED670.

Group / Parameter Name	IED Value [SG1/Common]	PC Value [SG1/Common]	Unit	Min	Max
Zone 1					
Setting Group1					
OpModePPZ1		Quadrilateral			
OpModePEZ1		Quadrilateral			
X1PPZ1		4,17	Ohm/p	0,01	3000,00
R1PPZ1		1,50	Ohm/p	0,00	1000,00
X1PEZ1		4,17	Ohm/p	0,01	3000,00
R1PEZ1		1,50	Ohm/p	0,00	1000,00
X0Z1		8,17	Ohm/p	0,01	9000,00
R0Z1		3,25	Ohm/p	0,00	3000,00
X0MZ1		0,00	Ohm/p	0,00	9000,00
R0MZ1		0,00	Ohm/p	0,00	3000,00
RFPZ1		17,58	Ohm/l	0,01	9000,00
RFPEZ1		16,42	Ohm/l	0,01	9000,00
TimerModeZ1		Enable Ph-E PhPh			
TimerLinksZ1		LoopLink (tPP & tPE)			
tPPZ1		0,000	s	0,000	60,000
tPEZ1		0,000	s	0,000	60,000
IMinOpPPZ1		20	%IB	10	6000
IMinOpPEZ1		20	%IB	5	6000

Fig. 25. Parámetros de la Zona 1 de la función 21/21N en el PCM600

Se configuraron 4 zonas de protección Zona1, Zona2, Zona3 y Zona5 usando el tipo de curva característica Cuadrilateral; las primeras tres zonas miran hacia delante de la línea y la Z5, denominada zona de reversa, verifica las fallas que se generan hacia atrás de la línea. En las Fig. 25, Fig. 26, Fig. 27 y Fig. 29 se resumen las características asociadas al relé F003 RED670 para cada una de las zonas de protección. Así mismo, el Test Universe debe recopilar la misma información para que coincidan las zonas de protección y el tiempo de actuación de la función.

F003 - Application Configuration		F003 - Parameter Setting			
Group / Parameter Name	Parameter layer: Advanced parameters [default layer]	Unit	Min	Max	
Zone 2					
Setting Group1					
OpModePPZ2	Quadrilateral				
OpModePEZ2	Quadrilateral				
DirModeZ2	Forward				
X1Z2	12,83	Ohm/p	0,01	3000,00	
R1Z2	4,58	Ohm/p	0,00	1000,00	
X0Z2	39,08	Ohm/p	0,01	9000,00	
R0Z2	15,50	Ohm/p	0,00	3000,00	
X0MZ2	39,08	Ohm/p	0,00	9000,00	
R0MZ2	15,50	Ohm/p	0,00	3000,00	
RFPPZ2	57,83	Ohm/l	0,01	9000,00	
RFPEZ2	57,83	Ohm/l	0,01	9000,00	
TimerModeZ2	Enable Ph-E PhPh				
TimerLinksZ2	LoopLink (tPP & tPE)				
tPPZ2	0,250	s	0,000	60,000	
tPEZ2	0,250	s	0,000	60,000	
IMinOpPPZ2	20	%IB	10	6000	
IMinOpPEZ2	20	%IB	5	6000	

Fig. 26. Parámetros del 21 Z2 en el PCM600

F003 - Application Configuration		F003 - Parameter Setting			
Group / Parameter Name	IED Value [SG1/Common]	PC Value [SG1/Common]	Unit	Min	Max
✓ Zone 3					
✓ Setting Group1					
✓ OpModePPZ3		Quadrilateral			
✓ OpModePEZ3		Quadrilateral			
✓ DirModeZ3		Forward			
✓ X1Z3		12.83	Ohm/p	0.01	3000.00
✓ R1Z3		4.58	Ohm/p	0.00	1000.00
✓ X0Z3		60.67	Ohm/p	0.01	9000.00
✓ R0Z3		24.00	Ohm/p	0.00	3000.00
✓ RFPPZ3		57.83	Ohm/l	0.01	9000.00
✓ RFPEZ3		57.83	Ohm/l	0.01	9000.00
✓ TimerModeZ3		Enable Ph-E PhPh			
✓ TimerLinksZ3		LoopLink (tPP & tPE)			
✓ tPPZ3		0.800	s	0.000	60.000
✓ tPEZ3		0.800	s	0.000	60.000
✓ IMinOpPPZ3		20	%IB	10	6000
✓ IMinOpPEZ3		20	%IB	5	6000

Fig. 27. Parámetros del 21 Z3 en el PCM600

La representación gráfica de la parametrización del relé F003 RED670 en el plano de impedancia, se muestra en la Fig. 28, en él se pueden ver de adentro hacia afuera las diferentes zonas de protección para fallas línea a línea (L-L) y las fallas línea a tierra (L-E). Las zonas 1, 2 y 3 se encuentran principalmente en el primer cuadrante y la Z5 se presenta en el tercer cuadrante.

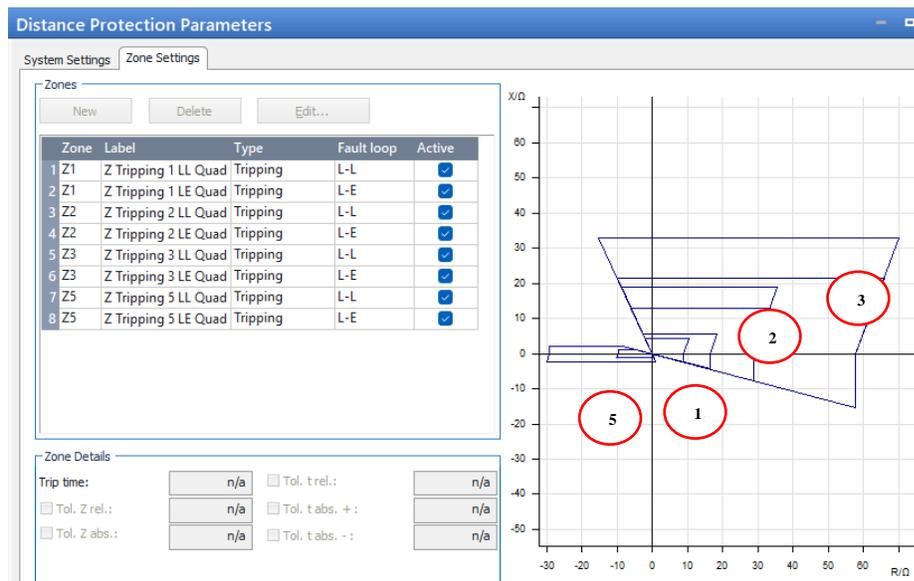


Fig. 28. Parámetros del 21 en el Test Universe

Se realiza una verificación inicial de la actuación de cada una de las zonas de protección para lo cual se requiere la obtención de registros oscilográficos individuales. Lo anterior, se realiza utilizando el módulo State Sequencer del Test Universe, en él se presentan tres estados, el de condiciones normales, la falla y postfalla con diferentes niveles de tensiones y corrientes, el objetivo de la prueba es iniciar y disparar cada una de las zonas de la función distancia en los tiempos específicos. El tiempo de arranque debe iniciar cuando se presente el estado de falla y la prueba se debe terminar cuando se active la señal de disparo desde el relé. Teniendo en cuenta que para las 4 zonas se presentó un procedimiento similar, solo se mostrará el módulo de prueba State Sequencer de la zona 1, para las demás zonas solo se presentará el registro oscilográfico.

En la Fig. 30 se muestra el registro para la Z1 en la cual se pueden observar los arranques de todas las zonas representado con las señales Z1,2,3-START, no obstante, al ser una zona instantánea, como se indica en el parámetro tPPZ1=0, el disparo se da por Z1 identificado con la activación de la señal Z1-TRIP.

F003 - Application Configuration		F003 - Para...ter Setting			
Group / Parameter Name	IED Value [SG1/Common]	PC Value [SG1/Common]	Unit	Min	Max
✓ Zone 5					
✓ Setting Group1					
✓ OpModePPZ5		Quadrilateral			
✓ OpModePEZ5		Quadrilateral			
✓ DirModeZ5		Reverse			
✓ X1Z5		1,25	Ohm/p	0,01	3000,00
✓ R1Z5		0,50	Ohm/p	0,00	1000,00
✓ X0Z5		4,17	Ohm/p	0,01	9000,00
✓ R0Z5		1,33	Ohm/p	0,00	3000,00
✓ RFPPZ5		19,50	Ohm/l	0,01	9000,00
✓ RFPEZ5		29,25	Ohm/l	0,01	9000,00
✓ TimerModeZ5		Enable Ph-E PhPh			
✓ TimerLinksZ5		LoopLink (tPP & tPE)			
✓ tPPZ5		1,200	s	0,000	60,000
✓ tPEZ5		1,200	s	0,000	60,000
✓ IMinOpPPZ5		20	%IB	10	6000
✓ IMinOpPEZ5		20	%IB	5	6000

Fig. 29. Parámetros del 21 Z5 en el PCM600

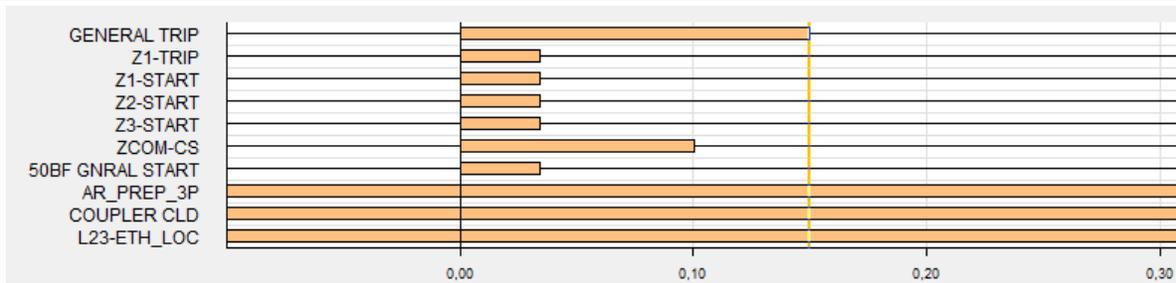


Fig. 30. Registro Oscilográfico para 21 Z1

Para la Z2, cuyo registro aparece en la Fig. 31, se puede observar la activación de todos los arranques de las zonas, sin embargo, la activación de la señal Z2-TRIP indica que el disparo se generó por Z2. Se puede observar, además, que el tiempo entre la activación del arranque Z2-START y el disparo es de 250 ms y por tanto cumple con el tiempo de actuación establecido en la configuración de la zona $t_{PPZ2}=0,250$ s

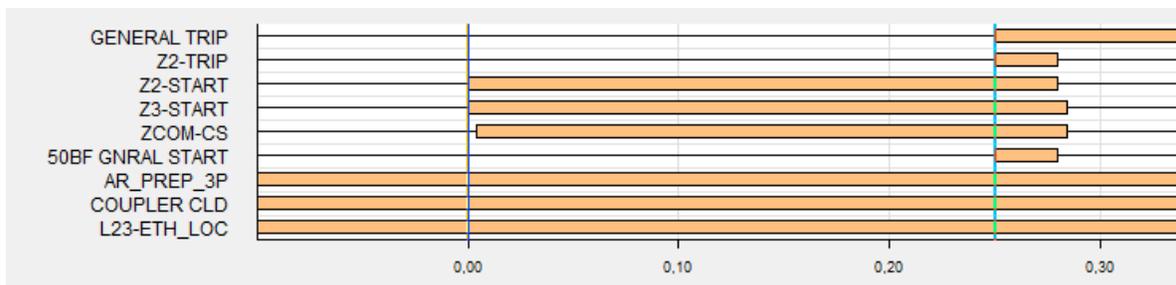


Fig. 31. Registro Oscilográfico para 21 Z2

En la Fig. 32 se presenta la activación del arranque Z3_START y disparo Z3-TRIP correspondientes a la zona 3 con una diferencia de 800ms lo cual corresponde con la línea $t_{PPZ3}=0.8$ s.

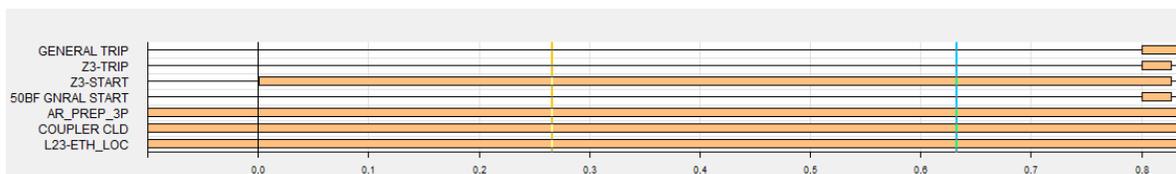


Fig. 32. Registro Oscilográfico para 21 Z3

Para la Z5 se simula una falla en zona de reversa (hacia atrás de la línea), como se ve en la Fig. 33 se evidencia que el arranque de la Z5, Z5-START venía activo desde antes del inicio en cero del registro mostrado, esto se debe a que el tiempo de actuación de la Z5 es de 1,2 s como se

mostró anteriormente en la Fig. 29 y el registro de oscilografía solo muestra 1s de la falla, de acuerdo a los ajustes que típicamente se dejan para los registros oscilográficos en los relés de protección, lo que origina que para estos casos se genere más de una oscilografía. No obstante, se comprobó que el arranque permanecía activo por lo menos 1,2 s antes de generarse el disparo de la función.

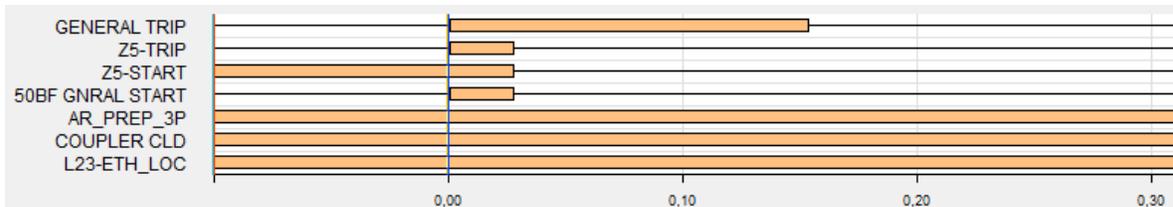


Fig. 33. Registro Oscilográfico para 21 Z5

La función distancia requiere de muchas pruebas de verificación para asegurar su correcto funcionamiento en todas las regiones de las zonas de operación, para lo cual se prueban fallas monofásicas, bifásicas y trifásicas además de las fallas a tierra. Es necesario tener en cuenta todas las condiciones que se pueden presentar en un sistema de potencia, conscientes de lo anterior, se probaron en el laboratorio diferentes casos. Sin embargo, debido a la similitud de las pruebas y para no extender el informe innecesariamente se presentarán los resultados para solo uno de los tipos de falla con el ánimo de explicar el funcionamiento de las pruebas sin caer en la superfluidad.

En la siguiente sección se presentan los resultados de las pruebas de la función 21 para fallas entre fases, teniendo en cuenta los parámetros ya establecidos para la función en la Fig. 25, Fig. 26, Fig. 27 y Fig. 29, se procede a desarrollar el montaje de la prueba en el módulo Advance Distance del Test Universe, el cual permite agregar diferentes puntos dentro de las 4 zonas de operación de la función distancia, con el fin de que el relé identifique en qué zona se está presentando la falla y actúe en el tiempo correspondiente para cada zona. Para cada punto individual la prueba inicia en cero y termina cuando el relé envía el disparo y es monitoreado por el equipo de pruebas. La Fig. 34 ilustra la situación descrita anteriormente, en ella se pueden ver cada uno de los puntos de prueba los cuales se encuentran identificados con una cruz de color verde.

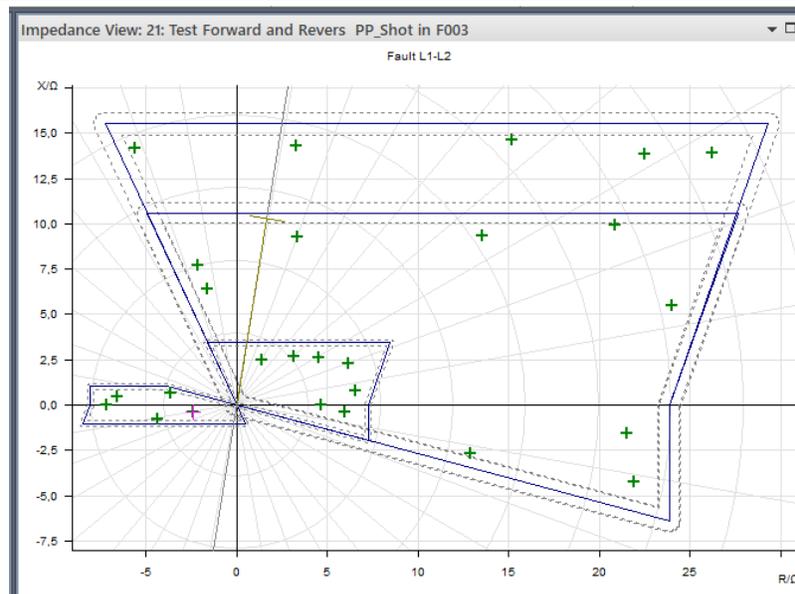


Fig. 34. Puntos de falla para 21 en Test Universe

Los datos presentados en la TABLA XII recopilan los resultados obtenidos para la prueba de la función distancia fallando las fases A y B. Si bien no se indican las zonas en las que se presentan los disparos, se pueden reconocer fácilmente si se observan los tiempos de actuación. Por ejemplo, aunque la zona 1 debe ser instantánea se incorpora un tiempo nominal de 16 ms, este tiempo es necesario para que el equipo de inyección capture el cierre del contacto por donde se genera la operación de la función en el relé de protección.

Es bastante llamativo la desviación tan grande que se presenta en el tiempo de actuación para la zona 1 que corresponde a las primeras 8 filas de la TABLA XII. No obstante, el máximo error es de apenas 6,8 ms, un error bastante bajo si se considera todo el recorrido que debe hacer la señal para que se dé el disparo y por tanto se considera dentro de la tolerancia aceptable.

La siguiente prueba consiste en trazar rectas en varios ángulos del plano de impedancia para el cual el Test Universe genera automáticamente varios disparos en la dirección indicada. El objetivo de la prueba es verificar la direccionalidad y el reconocimiento de cada una de las zonas por parte del relé. Cabe resaltar que para esta prueba no se tuvo presente la evaluación temporal, sin embargo, lo que se presenta son las magnitudes de impedancia resistiva y reactiva cuyos valores límites están establecidos por el trazado de la curva característica Cuadrilateral como se ve en la Fig. 34.

TABLA XII.
RESULTADOS FUNCIÓN 21 FALLA L1-L2 DISPAROS INDIVIDUALES

Z	Phi	%	% of	t nom	t act.	Dev.	Result
2,828 Ω	60,00 °	27,08 %	Line length	16,00 ms	14,30 ms	-10,63 %	Passed
4,129 Ω	40,00 °	39,53 %	Line length	16,00 ms	22,00 ms	37,5 %	Passed
4,129 Ω	40,00 °	39,53 %	Line length	16,00 ms	22,10 ms	38,13 %	Passed
5,263 Ω	30,00 °	50,39 %	Line length	16,00 ms	21,60 ms	35 %	Passed
6,600 Ω	20,00 °	63,20 %	Line length	16,00 ms	20,70 ms	29,38 %	Passed
6,600 Ω	7,09 °	63,20 %	Line length	16,00 ms	22,80 ms	42,5 %	Passed
5,979 Ω	-3,64 °	57,25 %	Line length	16,00 ms	22,60 ms	41,25 %	Passed
4,697 Ω	0,00 °	44,98 %	Line length	16,00 ms	22,00 ms	37,5 %	Passed
6,600 Ω	104,21 °	63,20 %	Line length	266,0 ms	265,0 ms	-0,3759 %	Passed
8,003 Ω	105,42 °	76,63 %	Line length	266,0 ms	265,7 ms	-0,1128 %	Passed
9,900 Ω	70,00 °	94,79 %	Line length	266,0 ms	263,8 ms	-0,8271 %	Passed
16,50 Ω	34,61 °	157,99 %	Line length	266,0 ms	276,5 ms	3,947 %	Passed
23,10 Ω	25,37 °	221,19 %	Line length	266,0 ms	276,1 ms	3,797 %	Passed
24,60 Ω	12,90 °	235,58 %	Line length	266,0 ms	272,3 ms	2,368 %	Passed
21,58 Ω	-4,17 °	206,62 %	Line length	266,0 ms	271,7 ms	2,143 %	Passed
22,33 Ω	-11,02 °	213,81 %	Line length	266,0 ms	272,6 ms	2,481 %	Passed
13,20 Ω	-11,64 °	126,39 %	Line length	266,0 ms	270,6 ms	1,729 %	Passed
15,22 Ω	111,67 °	145,72 %	Line length	816,0 ms	824,0 ms	0,9804 %	Passed
14,68 Ω	77,01 °	140,54 %	Line length	816,0 ms	816,6 ms	0,0735 %	Passed
21,07 Ω	43,94 °	201,75 %	Line length	816,0 ms	821,7 ms	0,6985 %	Passed
26,40 Ω	31,62 °	252,78 %	Line length	816,0 ms	824,0 ms	0,9804 %	Passed
29,70 Ω	27,94 °	284,38 %	Line length	816,0 ms	822,0 ms	0,7453 %	Passed
3,669 Ω	170,00 °	35,13 %	Line length	1,216 s	1,222 s	0,5099 %	Passed
6,600 Ω	175,81 °	63,20 %	Line length	1,216 s	1,223 s	0,5428 %	Passed
7,134 Ω	-180,00 °	68,31 %	Line length	1,216 s	1,224 s	0,6579 %	Passed
4,393 Ω	-170,00 °	42,07 %	Line length	1,216 s	1,224 s	0,6414 %	Passed
2,410 Ω	-170,00 °	23,07 %	Line length	1,216 s	1,222 s	0,4934 %	Passed

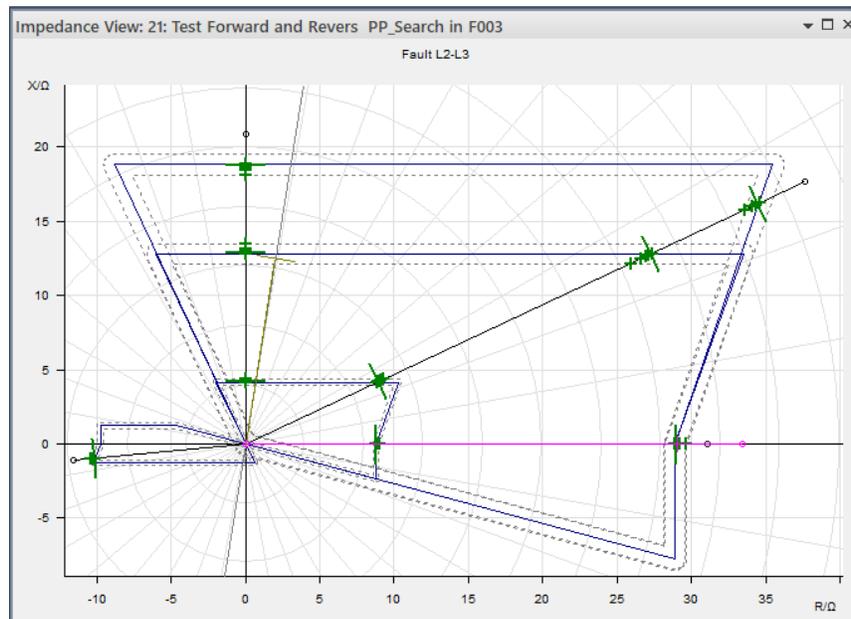


Fig. 35. Función Search para prueba de 21 en Test Universe

Las líneas que se muestran en la Fig. 35 trazan una dirección en la que se van a realizar fallas sucesivas con el fin de evaluar la selectividad de la función 21. La TABLA XIII identifica cada uno de los puntos de falla con su respectiva zona lo cual indica que el relé tiene una gran capacidad de delimitar las zonas de actuación y por tanto cumple con las características esperadas de su configuración.

TABLA XIII.
RESULTADOS FUNCIÓN 21 FALLA L1-L2 DISPAROS ENTRE ZONAS

Zone	Z act	Phi act	R act	X act	Assessed Qty.	Nom.	Dev.	Result
Z Tripping 5 LL Quad	10,21 Ω	-174,51 $^{\circ}$	-10,17 Ω	-976,9 m Ω	Z	10,19 Ω	0,2768 %	Passed
Z Tripping 1 LL Quad	8,817 Ω	0,00 $^{\circ}$	8,817 Ω	0,00 Ω	Z	8,790 Ω	0,3122 %	Passed
Z Tripping 2 LL Quad	29,00 Ω	0,00 $^{\circ}$	29,00 Ω	0,00 Ω	Z	28,92 Ω	0,3075 %	Passed
Z Tripping 1 LL Quad	9,849 Ω	25,13 $^{\circ}$	8,917 Ω	4,183 Ω	Z	9,819 Ω	0,3096 %	Passed
Z Tripping 2 LL Quad	30,11 Ω	25,13 $^{\circ}$	27,26 Ω	12,79 Ω	Z	30,21 Ω	-0,3264 %	Passed
Z Tripping 3 LL Quad	38,07 Ω	25,13 $^{\circ}$	34,47 Ω	16,17 Ω	Z	38,20 Ω	-0,3393 %	Passed
Z Tripping 1 LL Quad	4,183 Ω	90,00 $^{\circ}$	0,00 Ω	4,183 Ω	Z	4,170 Ω	0,3096 %	Passed
Z Tripping 2 LL Quad	12,87 Ω	90,00 $^{\circ}$	0,00 Ω	12,87 Ω	Z	12,83 Ω	0,3266 %	Passed
Z Tripping 3 LL Quad	18,74 Ω	90,00 $^{\circ}$	0,00 Ω	18,74 Ω	Z	18,83 Ω	-0,4918 %	Passed

Permissive Overreaching Transfer Trip POTT

Para el denominado esquema de aceleración de la función distancia se requiere la recepción y envío por parte del relé de las señales de disparo por POTT, es decir, POTT-CR y POTT-CS. Una vez enviada y recibida las respectivas señales, el relé va a acelerar la zona de la función distancia para que esta dispare inmediatamente. En una configuración real el POTT-CR sería enviado por el relé al otro extremo de la línea, como se muestra en la Fig. 36. Sin embargo, para el caso de la prueba dicha señal será enviada por el equipo de inyección CMC356 activando una de sus salidas binarias con el nombre ZCOM-CR, como se indica en la Fig. 37. En la misma figura se muestra también los ajustes de corriente y tensión correspondientes para activar la zona 2 de la función 21.

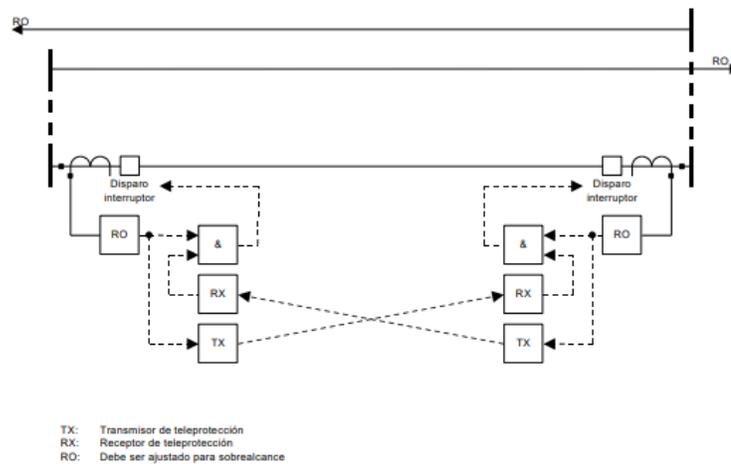


Fig. 36. Esquema para protección 21 POTT

La prueba inicia con condiciones normales de operación en el step 1, cuando se activa el step 2, presenta una falla bifásica en las fases A y B, lo cual activa el arranque de la zona 2 de la función 21 y a su vez se genera el envío del POTT-CS. Simultáneamente, se cierra el contacto de la salida binaria ZCOM-CR y activa POTT-CR en el relé lo cual activa el disparo por POTT, la prueba finaliza cuando el equipo de inyección CMC356 reconoce la activación de la señal de disparo.

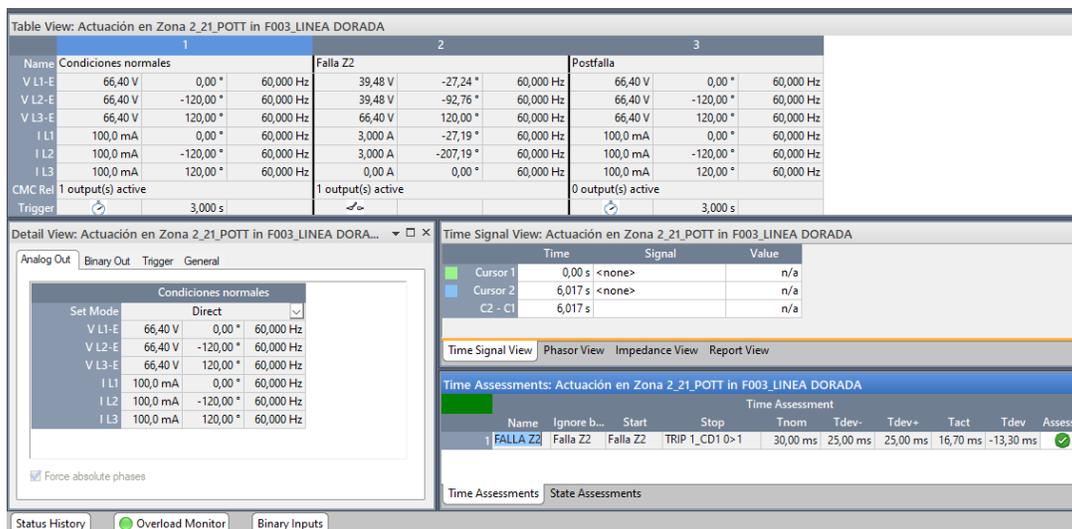


Fig. 37. Elementos de prueba para POTT en el Test Universe

La TABLA XIV presenta la evaluación temporal de la prueba para POTT. Se puede ver que la protección generó el disparo instantáneo (16,70 ms). Lo cual verifica la aceleración de la Z2 y confirma la operación de la función POTT

TABLA XIV.
EVALUACIÓN TEMPORAL 21 POTT

Name	Ignore before	Start	Stop	Tnom	Tdev-	Tdev+	Tact	Tdev	Assess
FALLA Z2	Falla Z2	Falla Z2	TRIP 1_CD1 0>1	30,0 ms	25,00 ms	25,00 ms	16,70 ms	-13,30 ms	+

Recierre 79

La función de recierre requiere de la recreación varios estados del sistema, para esto se utiliza nuevamente el módulo de prueba State Sequencer. Como se indica en la Fig. 38, en el step 1 se presentan condiciones normales de operación.

Name	1			2			3			4		
	Condicion Operación			Falla Z1			SYN CHECK			Condicion Normal		
V L1-E	66,40 V	0,00 *	60,000 Hz	33,23 V	-57,46 *	60,000 Hz	66,40 V	0,00 *	60,000 Hz	66,40 V	0,00 *	60,000 Hz
V L2-E	66,40 V	-120,00 *	60,000 Hz	33,23 V	-62,54 *	60,000 Hz	66,40 V	-120,00 *	60,000 Hz	66,40 V	-120,00 *	60,000 Hz
V L3-E	66,40 V	120,00 *	60,000 Hz	66,40 V	120,00 *	60,000 Hz	66,40 V	120,00 *	60,000 Hz	66,40 V	120,00 *	60,000 Hz
I L1	100,0 mA	0,00 *	60,000 Hz	3,000 A	-22,26 *	60,000 Hz	0,00 A	0,00 *	60,000 Hz	100,0 mA	0,00 *	60,000 Hz
I L2	100,0 mA	-120,00 *	60,000 Hz	3,000 A	-202,26 *	60,000 Hz	0,00 A	-120,00 *	60,000 Hz	100,0 mA	-120,00 *	60,000 Hz
I L3	100,0 mA	120,00 *	60,000 Hz	0,00 A	0,00 *	60,000 Hz	0,00 A	120,00 *	60,000 Hz	100,0 mA	120,00 *	60,000 Hz
V(2)-1	66,40 V	-120,00 *	60,000 Hz	66,40 V	-120,00 *	60,000 Hz	66,40 V	-120,00 *	60,000 Hz	66,40 V	-120,00 *	60,000 Hz
Trigger		12,00 s									5,000 s	

Fig. 38. Estados de prueba para la función 79 en el Test Universe

En el step 2, cuando se presenta la falla se debe abrir el interruptor y por eso se monitorea la señal de disparo TRIP 1_CD1, la cual se agrega en la lógica de disparo de la prueba como se muestra en la Fig. 39. Una vez abierto el interruptor, quedarán condiciones de tensiones normales, en el step 3 se puede ver que las tensiones de línea están en condiciones nominales, así como la tensión de barra denotada con V (2)-1.

Input	Display Name	State
1	TRIP 1_CD1	1
6	TRIP 86	X
7	79_START	X
8	79_CLOSE_CB	X
9	50BF_ET2	X

Fig. 39. Elementos de validación en la prueba de la función 79 en el Test Universe

Cuando el relé detecta las condiciones de sincronismo ok, es decir, tensión y frecuencia en condiciones nominales o aceptables para reconexión, se arranca la función de recierre para cerrar nuevamente el interruptor a través de la señal 79_CLOSE_CB como se indica en la Fig. 40. Por último, en el step 4 se recuperan las tensiones y corrientes nominales después de que el interruptor queda cerrado.

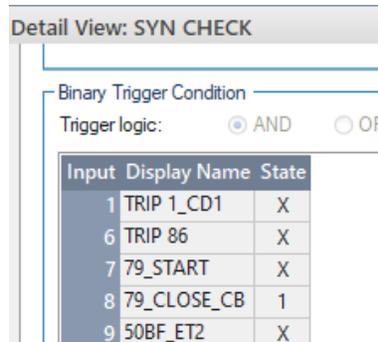


Fig. 40. Elementos de prueba para la función 79 en el Test Universe

La evaluación temporal de la prueba de la función 79 se presenta en la TABLA XV, se debe cumplir la secuencia indicada para que se determine una prueba exitosa. Se hicieron varias validaciones similares incluyendo una en la que después de la falla no se encontraban condiciones de sincronismo y por tanto no se debía generar nuevamente el cierre del interruptor. Sin embargo, debido a su similitud se omiten para el presente informe.

TABLA XV.
EVALUACIÓN TEMPORAL FUNCIÓN 79

Name	Ignore before	Start	Stop	Tnom	Tdev-	Tdev+	Tact	Tdev	Assess
RECIERR E SYN CHECK	Falla Z1	TRIP 1_CD1 0>1	79_CLOSE_CB 0>1	500,0 ms	50,00 ms	50,00 ms	517,6 ms	17,60 ms	+

Switch Onto Fault SOTF

La función SOTF actúa como un complemento de la función distancia, su operación se presenta cuando se está cumpliendo el cierre del interruptor (bien sea un ciclo de recierre o un mando de cierre local o remoto), y la función detecta un arranque de la función en Zona 2 y/o el arranque de una función de sobrecorriente no direccional ajustada únicamente para este fin,

esto ocasiona que se genere un disparo definitivo sobre el interruptor y bloqueando cualquier nuevo intento de recierre sobre la línea. Para simular la prueba se empleó una vez más el módulo State Sequencer, en la Fig. 41 se muestran cada uno de los estados configurados. El Step 2 representa una falla monofásica en la fase A durante la energización de la línea, de manera que cuando el relé detecta dicha falla, envía instantáneamente el disparo al interruptor para despejarla. En el Step 3 queda el sistema postfalla con todos los valores en cero.

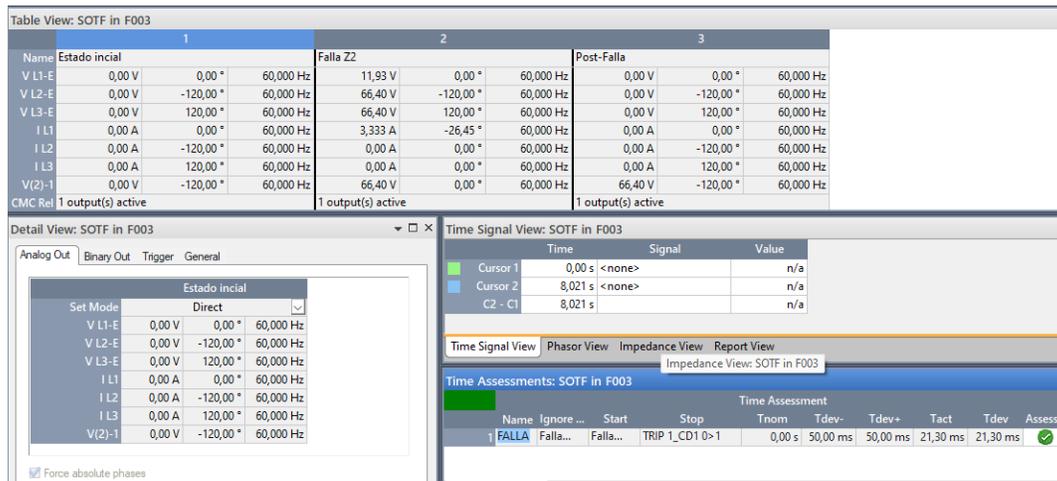


Fig. 41. Estados de prueba para SOTF en el Test Universe

La TABLA XVI muestra que se produjo una falla en Zona 2 la cual activo la función SOTF, generando un disparo definitivo sobre el interruptor, se observa que la prueba inicia en tiempo cero y termina cuando la señal TRIP 1_CD1, que representa el disparo, se activa en 21,30 ms, lo cual verifica la operación instantánea de la función.

TABLA XVI.
EVALUACIÓN TEMPORAL FUNCIÓN SOTF

Name	Ignore before	Start	Stop	Tnom	Tdev-	Tdev+	Tact	Tdev	Assess
FALLA	Falla Z2	Falla Z2	TRIP 1_CD1 0>1	0,00 s	50,00 ms	50,00 ms	21,30 ms	21,30 ms	+

Sincronismo 25

La función de verificación de sincronismo es indispensable para las líneas de transmisión pues permite proteger los equipos de daños causados por maniobras indebidas. Para la prueba de sincronismo se utilizó el módulo Ramping en el Test Universe, este permite una variación

creciente o decreciente de diferentes magnitudes según se requiera. Para el caso del presente informe se utilizaron rampas de tensión y frecuencia.

Se debe considerar que para la tensión de referencia se utiliza la fase B, denotada con la señal V(2)-1, la prueba consiste en inyectar tensiones de línea con magnitud y frecuencia nominales: Así mismo, para la tensión de barra se inyecta la magnitud nominal y el ángulo, inicialmente desfasado en -150° , se va aumentando hasta alcanzar el valor mínimo tolerable que es -145° lo cual activa la señal del de Sincronismo OK en el relé y le envía el permisivo a la función de recierre para generar el cierre del interruptor. En la Fig. 42 se muestra la rampa de variación de ángulo utilizada para la prueba.

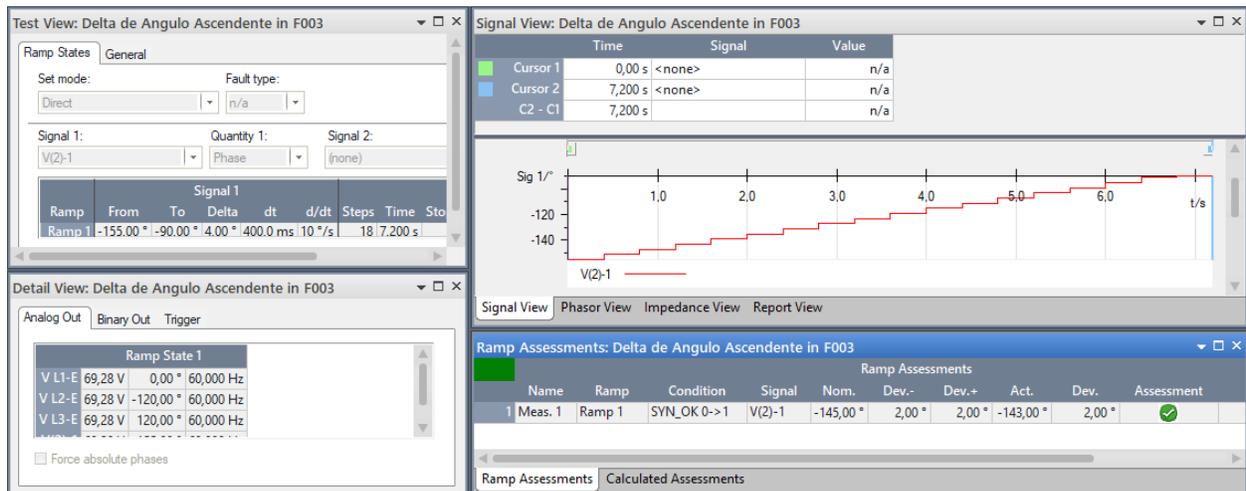


Fig. 42.Rampa de ángulo para prueba de Sincronismo en Test Universe

De igual manera, se muestra el tiempo de actuación que indica el momento en el que se activo la señal de sincronismo ok (SYN_OK). En la TABLA. XVII se muestra la evaluación de la prueba.

TABLA. XVII
EVALUACIÓN DE TIEMPO PARA PRUEBA DE SINCRONISMO

Name/ Exec.	Ramp	Condition	Sig	Nom.	Act.	Tol.-	Tol.+	Dev.	Assess	Tact
Meas. 1	Ramp 1	SYN_OK 0->1	V(2)-1	-145,00 °	-143,00 °	2,00 °	2,00 °	2,00 ° +		133,5 ms

Se realizó una prueba similar para la prueba de sincronismo variando el delta de frecuencia. En la Fig. 43 se muestra la rampa ascendente en la que se identifica la activación de la señal SYN_OK en 59,990 Hz

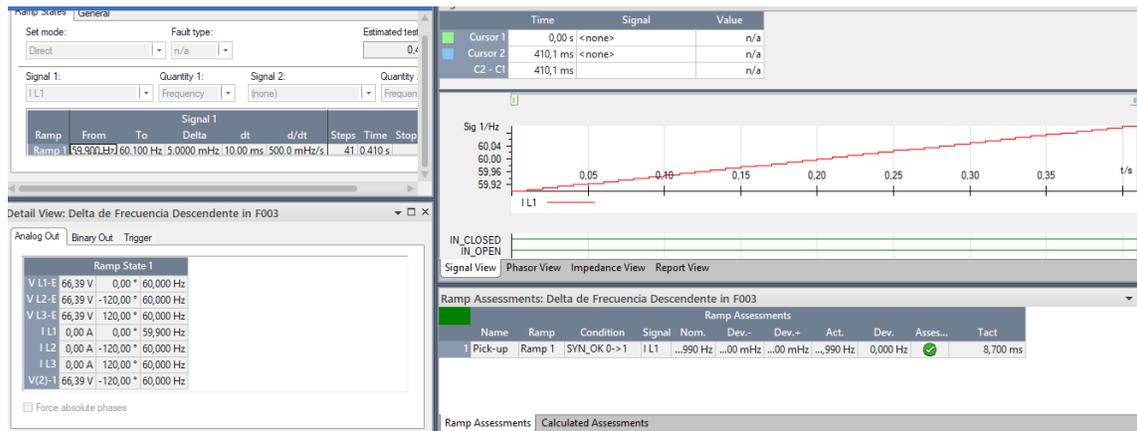


Fig. 43. Rampa de Frecuencia para prueba de sincronismo en el Test Universe
En la

TABLA XVIII se muestra la evaluación de la prueba.

TABLA XVIII.
RAMPA DE FRECUENCIA PARA PRUEBA DE SINCRONISMO EN EL TEST UNIVERSE

Name/ Exec.	Ramp	Condition	Sig	Nom.	Act.	Tol.-	Tol.+	Dev.	Assess	Tact
Pick-up	Ramp 1	SYN_OK 0->1	I L1	59,990 Hz	59,990 Hz	10,000 mHz	10,000 mHz	0,000 Hz	+	8,700 ms

Esquema de Disparo por Comparación Direccional 67NCD

La función 67NCD se probó activando una salida binaria de la CMC llamada EFC_CR en el step 2 del módulo State Sequencer. Como se ve en la Fig. 44 la prueba se divide en tres estados, el primero en condiciones normales, el segundo donde se presenta la falla y además se activa la señal de recepción de 67NCD (EFC_CR) como se ve en la Fig. 47 y el último, en que quedan condiciones normales, es de anotar que en postfalla deberían quedar las corrientes y tensiones en cero por quedar el interruptor abierto.

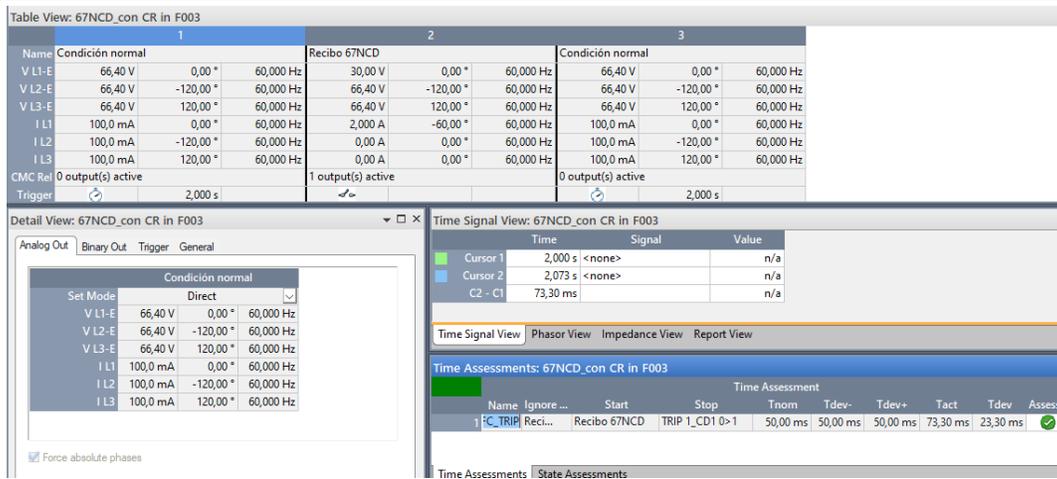


Fig. 44. Estados de prueba para la función 67NCD



Fig. 45. Activación de la señal EFC_CR en el State Sequencer

De acuerdo con la TABLA XIX la prueba de la función 67NCD, se inicia cuando en el step 2 se presenta una sobrecorriente direccional de tierra (67N) y al mismo tiempo se simula la recepción de la señal RX-67NCD de la protección ubicada en el extremo remoto de la línea. La prueba finaliza cuando se activa el disparo representado con la señal TRIP 1_CD1.

TABLA XIX.
EVALUACIÓN TEMPORAL DE LA FUNCIÓN 67NCD

Name	Ignore before	Start	Stop	Tnom	Tdev-	Tdev+	Tact	Tdev	Assess
ZEFC_TRIP	Recibo 67NCD	Recibo 67NCD	TRIP 1_CD1 0>1	50,00 ms	50,00 ms	50,00 ms	73,30 ms	23,30 ms	+

En la fig x se muestran las señales que fueron activadas en la prueba, como se indicó anteriormente se presentan las señales de 67NCD de envío (una vez se presenta el arranque de la función 67N) y de recepción (67NCD-CS y ECPSCH_CR respectivamente) y se genera la señal de disparo de la función de protección (67NCD-TRIP).

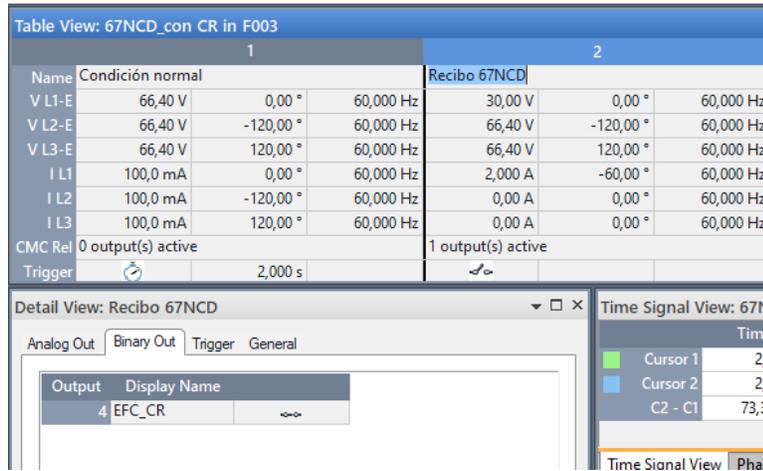


Fig. 45

Fig 1. Registro oscilográfico de la prueba de 67NCD

VI. ANÁLISIS

Se realizaron pruebas pre-FAT al relé de protección F003 RED670 correspondiente a una línea de 115 kV, en las cuales se comprobó la activación de todas las entradas y salidas binarias desde las borneras del tablero, la funcionalidad y respectivas relaciones de transformación de los canales analógicos, la selectividad y los tiempos de actuación. De igual manera, las oscilografías obtenidas mostraron que el IED respondió de acuerdo a los ajustes de finidos para las funciones de protección, con una respuesta rápida y sin desviaciones significativas. Se determina que las pruebas fueron todas exitosas y cumplieron con la configuración en términos de selectividad y rapidez para los parámetros establecidos. Sin embargo, no se debe ignorar el hecho de que no se tuvieron los ajustes reales para la coordinación de protecciones y en su lugar se utilizaron ajustes típicos para una línea de 115 kV.

Cabe anotar que al momento del término del presente informe se estaban realizando las pruebas FAT y por tal motivo los resultados no hicieron parte del presente informe.

VII. CONCLUSIONES

La evaluación exhaustiva de la configuración del relé de protección confirmó que cumple con las especificaciones técnicas requeridas. Las pruebas de funcionalidad revelaron que el relé responde adecuadamente a diversos escenarios de falla simulados, garantizando su capacidad para detectar y proteger el sistema eléctrico ante fallas. Además, se analizó la sensibilidad del relé a variaciones en parámetros eléctricos, como corriente, tensión y frecuencia, asegurando su rendimiento óptimo. La documentación y registro detallado de los resultados de las pruebas permitieron identificar y corregir desviaciones respecto a las especificaciones técnicas, garantizando la precisión y fiabilidad del sistema de protección. En conjunto, estos esfuerzos aseguran que los IED's estén listos para ser ajustados y probados en el entorno real de la subestación.

Es primordial verificar que los ajustes y/o curvas características del relé de protección, coincidan tanto con el Estudio de Coordinación de Protecciones, como con los de los módulos de prueba utilizados para la verificación de cada función de protección, con el fin de asegurar el correcto desarrollo de las pruebas y la operación del IED.

Es de vital importancia para el análisis de la actuación de una función de protección, la descarga y verificación de los registros oscilográficos. Así mismo, durante la ejecución de las pruebas de verificación de la correcta configuración del IED, los registros oscilográficos permiten identificar las señales que se activaron en cada caso y contribuye a identificar desviaciones o errores que puedan existir en la configuración previamente efectuada.

El desarrollo de las prácticas en el área de protecciones de HVM fue sin duda un ejercicio enriquecedor que me permitió adentrarme en el mundo de las subestaciones, el haber tenido la oportunidad de trabajar con personas tan talentosas e interactuando con diferentes IED's de diferentes marcas, es sin duda un privilegio que pocos tienen y yo tuve la oportunidad de aprovechar. Esta será la puerta de entrada al mundo del control y protecciones de la subestaciones del cual me quedo enteramente maravillado.

VIII. RECOMENDACIONES

Se pudo identificar que debido a la duración de los proyectos, en muchas ocasiones surgen cambios durante todo el desarrollo de los mismos, los cuales a veces no son informados a tiempo y en ocasiones generan reprocesos. Es por esto que se propone el desarrollo de un sistema de información en el que se publique en tiempo real, quién se encuentra trabajando en cada actividad específica, las modificaciones, actualizaciones o comentarios que se deben tener en cuenta para cada etapa del proyecto, así como el área encargada. Esto no solo facilitará la comunicación de las actualizaciones sino que optimiza el flujo de las actividades y disminuye los costos de producción.

Por otra parte, es importante destacar que se deben repetir las pruebas una vez se tengan los ajustes del Estudio de Coordinación de Protecciones aprobado por XM, según los cuales se definirá la habilitación final de las funciones de protección en el IED.

REFERENCIAS

- [1] “Relés de protección en un sistema eléctrico de potencia.” Accessed: Sep. 15, 2024. [Online]. Available: <https://tydelectric.com/reles-proteccion-sistema-electrico-potencia/>
- [2] F. W. Arévalo Moreno, “Guía Metodológica Para Pruebas De Relés De Protección Multifuncional Con El Equipo De Inyección Omicron CMC,” 2016. Accessed: Sep. 15, 2024. [Online]. Available: <http://hdl.handle.net/11349/4674>
- [3] “¿Cuáles son las Pruebas FAT y SAT? ¿Para qué sirven? -.” Accessed: Sep. 15, 2024. [Online]. Available: <https://www.kimuagroup.com/es/noticias/cuales-son-las-pruebas-fat-y-sat-para-que-sirven/>
- [4] “Números ANSI para dispositivos de protección.” Accessed: Sep. 15, 2024. [Online]. Available: <https://www.ingenieriaelectrica.online/numeros-ansi-para-dispositivos-de-proteccion/>
- [5] O. Pérez, O. Torres, and L. Padrón, “La protección de distancia y las condiciones de prefalla,” *Ingeniería Energética*, vol. XL, La Habana, Cuba, Feb. 15, 2019. Accessed: Sep. 15, 2024. [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/journal/3291/329159363003/html/>
- [6] “ET30 Código numérico para esquemas eléctricos IMPRIMIR VOLVER AL INDICE”.
- [7] “Protección de infratensión (código ANSI 27).” Accessed: Sep. 15, 2024. [Online]. Available: https://product-help.schneider-electric.com/ED/MTZ/Micrologic_X_User_Guide/EDMS/DOCA0102ES/DOCA0102xx/ProtectionFunctions/ProtectionFunctions-15.htm
- [8] “Protección de sobretensión (código ANSI 59).” Accessed: Sep. 15, 2024. [Online]. Available: https://product-help.schneider-electric.com/ED/MTZ/Micrologic_X_User_Guide/EDMS/DOCA0102ES/DOCA0102xx/ProtectionFunctions/ProtectionFunctions-16.htm
- [9] “Protection & Control Reference Guide - GE Grid Solutions.” Accessed: Sep. 15, 2024. [Online]. Available: https://www.gevernova.com/grid-solutions/multilin/publications/ref_guide.htm
- [10] L. Chinchilla, “Esquemas de Teleprotección Tipo Comando | LinkedIn.” Accessed: Sep. 16, 2024. [Online]. Available: <https://www.linkedin.com/pulse/esquemas-de-teleprotecci%C3%B3n-tipo-comando-leiry-chinchilla-contreras/>

-
- [11] P. Cuevas, “Protección de sobreintensidad direccional (67/67N) - Sector Electricidad | Profesionales en Ingeniería Eléctrica,” Sector Electricidad. Accessed: Sep. 16, 2024. [Online]. Available: <https://www.sectorelectricidad.com/15424/proteccion-de-sobreintensidad-direccional-6767n/>
- [12] “ Recierre Automático de Línea (ANSI 79) ¿Cuándo usarlo? • LeiryChinchilla.com.” Accessed: Sep. 16, 2024. [Online]. Available: <https://www.leirychinchilla.com/recierre-automatico-linea/>
- [13] “CMC 356 - Equipo universal de prueba de relés y herramienta de puesta en servicio - OMICRON.” Accessed: Sep. 15, 2024. [Online]. Available: <https://www.omicronenergy.com/es/productos/cmc-356/#>