

**DISEÑO DEL ESQUEMA DE PROTECCIONES PARA LA MICRORRED
EXPERIMENTAL DEL LABORATORIO DE INTEGRACIÓN ENERGÉTICA DE
LA UIS**

**ING. ERICK FERNANDO GUALDRÓN BAUTISTA
ING. SANTIAGO RÚA ÁLVAREZ**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE
TELECOMUNICACIONES
ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA
ELÉCTRICA
BUCARAMANGA
2025**

**DISEÑO DEL ESQUEMA DE PROTECCIONES PARA LA MICRORRED
EXPERIMENTAL DEL LABORATORIO DE INTEGRACIÓN ENERGÉTICA DE
LA UIS**

**ING. ERICK FERNANDO GUALDRÓN BAUTISTA
ING. SANTIAGO RÚA ÁLVAREZ**

Monografía presentada como requisito para optar al título de:
ESPECIALISTA EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Director:

Ph.D. JUAN MANUEL REY LÓPEZ

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE
TELECOMUNICACIONES
ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA
ELÉCTRICA
BUCARAMANGA
2025**

TABLA DE CONTENIDO

1. OBJETIVOS.....	11
1.1. OBJETIVO GENERAL.....	11
1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	11
2. ANTECEDENTES Y MARCO CONCEPTUAL.....	12
2.1. MICRORREDES EXPERIMENTALES.....	12
2.2. MICRORRED EXPERIMENTAL DEL LABORATORIO DE INTEGRACIÓN ENERGÉTICA DE LA UIS.....	15
2.3. ESQUEMA DE PROTECCIONES	15
3. MICRORREDES DE LABORATORIO Y EMULACIÓN DE RECURSOS ELÉCTRICOS.....	17
4. CARACTERÍSTICAS DE LA MICRORRED DEL LIE	19
5. CONSIDERACIONES GENERALES.....	22
6. CARACTERÍSTICAS DE LAS PROTECCIONES.....	23
6.1. LÍNEA DE FUSIBLES ABB OFAA 000 AM.....	24
6.2. LÍNEA DE MINI BREAKERS ABB S203P-Z.....	25
7. VERIFICACIÓN DE LA FUNCIÓN SOBRECORRIENTE	27
7.1. CRITERIOS FUNCIÓN SOBRECORRIENTE EN ALIMENTADORES DE MEDIA Y BAJA TENSIÓN (ANSI 51/51N/50/50N).....	28
7.1.1 SELECTIVIDAD DE LAS PROTECCIONES ASOCIADAS A LA MICRORRED EXPERIMENTAL.....	30
8. CONCLUSIONES.....	62
9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Esquema de la microrred del LIE [20]	20
Figura 2.	Fusible ABB OFAA000AM – 10 A [23]	25
Figura 3.	Interruptor ABB S203P-Z – 20 A [24]	26
Figura 4.	Ubicación de protecciones en la microrred experimental	30
Figura 5.	Falla 3F Franca en punto de conexión carga 1	32
Figura 6.	Falla 3F 1,5 Ohm en punto de conexión carga 1	33
Figura 7.	Falla 2FT Franca en punto de conexión carga 1	34
Figura 8.	Falla 2FT 1,5 Ohm en punto de conexión carga 1	35
Figura 9.	Falla 3F Franca en punto de conexión carga 2	37
Figura 10.	Falla 3F 1 Ohm en punto de conexión carga 2	38
Figura 11.	Falla 2FT franca en punto de conexión carga 2	39
Figura 12.	Falla 2FT 1 Ohm en punto de conexión carga 2	40
Figura 13.	Falla 3F Franca en punto de conexión carga 3	42
Figura 14.	Falla 3F 0,6 Ohm en punto de conexión carga 3	43
Figura 15.	Falla 2FT Franca en punto de conexión carga 3	44
Figura 16.	Falla 2FT 0,6 Ohm en punto de conexión carga 3	45
Figura 17.	Falla 3F franca en punto de conexión carga global.....	46
Figura 18.	Falla 3F 5 Ohm en punto de conexión carga global.....	47
Figura 19.	Falla 2FT franca en punto de conexión carga global.....	48
Figura 20.	Falla 2FT 5 Ohm en punto de conexión carga global.....	49
Figura 21.	Falla 3F Franca en bornes L2	50
Figura 22.	Falla 3F 0,8 Ohm en bornes L2.....	51
Figura 23.	Falla 2FT Franca en bornes L2	52
Figura 24.	Falla 2FT de 0,7 Ohm en bornes L2.....	53
Figura 25.	Falla 3F franca en bornes L4	54
Figura 26.	Falla 3F 0,3 Ohm en bornes L4.....	55
Figura 27.	Falla 2FT Franca en bornes L4	56
Figura 28.	Falla 2FT 0,3 Ohm en bornes L4.....	57

Figura 29.	Falla 3F Franca en bornes L6	58
Figura 30.	Falla 3F 1 Ohm en bornes L6.....	59
Figura 31.	Falla 2FT Franca en bornes L6	60
Figura 32.	Falla 2FT Franca en bornes L6	61

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Características de los componentes de la microrred del LIE [20].....	21
Tabla 2.	Características escenario de máxima generación renovable y máxima demanda	22
Tabla 3.	Características de los equipos de protección propuestos	23

RESUMEN

TÍTULO: DISEÑO DEL ESQUEMA DE PROTECCIONES PARA LA MICRORRED EXPERIMENTAL DEL LABORATORIO DE INTEGRACIÓN ENERGÉTICA DE LA UIS.

AUTOR: ING. ERICK FERNANDO GUALDRÓN BAUTISTA
ING. SANTIAGO RÚA ÁLVAREZ

PALABRAS CLAVE: Microrred, Coordinación de Protecciones, Cortocircuito, Corriente.

DESCRIPCIÓN:

La siguiente monografía desarrolla un esquema integral de protecciones eléctricas para la microrred experimental del Laboratorio de Integración Energética de la Universidad Industrial de Santander (UIS), ubicada en el Parque Tecnológico de Guatiguará. Esta microrred, utilizada con fines investigativos, replica condiciones reales de operación de sistemas de distribución y permite estudiar la interacción entre generación distribuida, almacenamiento de energía y cargas.

Actualmente, el laboratorio no cuenta con un sistema de protecciones, lo que representa una limitación en términos de seguridad operativa. El trabajo contempla el ajuste y coordinación de protecciones, así como la simulación y validación del esquema propuesto mediante herramientas de software especializado como DiGSILENT PowerFactory. Los resultados permitirán mejorar la confiabilidad del sistema, proteger los equipos ante fallas y brindar una base sólida para investigaciones futuras en el campo de las microrredes.

* Monografía

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones. Especialización en Sistema de Distribución de Energía Eléctrica.
Director: Ph.D. Juan Manuel Rey López.

SUMMARY

TITLE: DESIGN OF THE PROTECTION SCHEME FOR THE EXPERIMENTAL MICROGRID OF THE ENERGY INTEGRATION LABORATORY AT UIS

AUTHOR: ENG. ERICK FERNANDO GUALDRÓN BAUTISTA
ENG. SANTIAGO RÚA ÁLVAREZ

KEYWORDS: Microgrid, Protection Coordination, Short Circuit, Current.

DESCRIPTION:

This monograph develops a comprehensive electrical protection scheme for the experimental microgrid of the Energy Integration Laboratory at the Universidad Industrial de Santander (UIS), located in the Guatiguará Technology Park. This microgrid, used for research purposes, replicates real operating conditions of distribution systems and allows for the study of the interaction between distributed generation, energy storage, and loads.

Currently, the laboratory lacks a protection system, which poses a limitation in terms of operational safety. The work includes the setting and coordination of protections, as well as the simulation and validation of the proposed scheme using specialized software tools such as DIGSILENT PowerFactory. The results aim to improve system reliability, protect equipment in the event of faults, and provide a solid foundation for future research in the field of microgrids.

* Monograph

** Faculty of Physical-Mechanical Engineerings. School of Electrical Engineering, Electronic and Telecommunication. Specialization in Distribution Systems.

Director: Ph.D. Juan Manuel Rey Lopez.

INTRODUCCIÓN

El avance en las tecnologías energéticas y la creciente necesidad de sistemas eléctricos más resilientes, sostenibles y eficientes han impulsado el desarrollo e implementación de microrredes en diferentes contextos [1]. Estas redes eléctricas locales, que integran generación distribuida, almacenamiento de energía y cargas, permiten operar tanto conectadas a la red principal como de manera aislada, ofreciendo soluciones innovadoras para la gestión energética en comunidades, industrias y entornos de investigación [2].

En este marco, la Universidad Industrial de Santander ha desarrollado una microrred experimental ubicada en el Laboratorio de Integración Energética del Parque Tecnológico de Guatiguará, con el propósito de estudiar nuevas estrategias de operación, control y protección de sistemas eléctricos modernos. Esta microrred permite emular condiciones reales de operación, lo cual representa una valiosa plataforma para la formación académica y el desarrollo de investigación aplicada.

Sin embargo, para garantizar la seguridad del sistema, la protección de los equipos y la fiabilidad de las pruebas, es fundamental contar con un esquema de protecciones adecuado a las características específicas de la microrred. A diferencia de los sistemas de distribución convencionales, las microrredes presentan desafíos adicionales en el diseño de protecciones debido a la variabilidad en la generación, la bidireccionalidad de los flujos de potencia y la posibilidad de operar en diferentes modos. En este contexto, resulta indispensable el cumplimiento de normativas internacionales como la IEEE 1547 [3], que establece requisitos para la interconexión de recursos energéticos distribuidos, y la IEC 61850 [4], que define protocolos de comunicación estandarizados para la automatización de sistemas eléctricos, facilitando una coordinación eficaz entre dispositivos de protección.

Este trabajo de grado tiene como propósito diseñar un esquema integral de protecciones para la microrred experimental de la UIS, con base en las condiciones reales de operación del sistema y utilizando herramientas de simulación especializadas como DlgSILENT PowerFactory. A través del ajuste, coordinación y validación de protecciones, se busca no solo mejorar la seguridad y confiabilidad del laboratorio, sino también generar una base técnica que sirva de referencia para futuras implementaciones en microrredes reales.

1. OBJETIVOS

1.1. OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un esquema integral de protecciones para la microrred experimental del Laboratorio de Integración Energética de la Universidad Industrial de Santander (UIS) que garantice la seguridad y confiabilidad del sistema.

1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Realizar el ajuste y coordinación de protecciones para la red experimental.
- Simular y validar el esquema de protecciones en condiciones reales de operación.
- Proponer mejoras y recomendaciones para la implementación y operación del esquema de protecciones.

2. ANTECEDENTES Y MARCO CONCEPTUAL

2.1. MICRORREDES EXPERIMENTALES

La creciente demanda de soluciones energéticas sostenibles ha impulsado el desarrollo de microrredes experimentales en laboratorios e instituciones de investigación de todo el mundo. Estas microrredes, diseñadas para operar de forma aislada o conectadas a la red, proporcionan un entorno controlado para probar tecnologías avanzadas, tales como la integración de fuentes renovables, sistemas de almacenamiento de energía y esquemas de protección inteligentes. Además, permiten estudiar la dinámica de los flujos de potencia bidireccionales y la respuesta ante contingencias, aspectos fundamentales para mejorar la resiliencia y estabilidad de las redes eléctricas futuras.

En la literatura especializada existen diversas definiciones del concepto de microrred [5]. Una de las más reconocidas es la del Departamento de Energía de los Estados Unidos (DOE), que describe una microrred como un conjunto de cargas y fuentes de energía distribuidas, interconectadas dentro de límites eléctricos bien definidos, que operan como una entidad única y controlable en relación con la red [6].

A continuación se presenta una revisión de algunos de los laboratorios de microrredes más destacados en América Latina y otras regiones del mundo. Se describe información general de algunos laboratorios y se presentan sus características y componentes principales, con especial énfasis en los sistemas de generación, almacenamiento y las cargas que emplean:

- **Colombia: Universidad del Valle**

La Universidad del Valle, en Cali (Colombia), creó una red experimental a pequeña escala, llamada nanored, con el propósito de investigar el comportamiento de redes aisladas en áreas sin conexión a la red eléctrica en Colombia. Este laboratorio está equipado con 16 paneles solares (12 de silicio policristalino de 140 W y 4 de silicio monocristalino de 85 W),

inversores de 4 kW y un sistema de almacenamiento compuesto por cuatro baterías de 12 V y 200 Ah cada una. La nanored se integró al software ETAP Real-Time® para permitir la gestión y el monitoreo en tiempo real, y comenzó a operar en 2017 [7].

- **Chile: Universidad de Chile**

El Laboratorio de Control de Microrredes del Departamento de Ingeniería Eléctrica en la Universidad de Chile dispone de una microrred experimental híbrida AC/DC de 24 kW. Este sistema facilita el análisis de distintas configuraciones y topologías en corriente alterna (AC), corriente continua (DC) e híbridas. Está conformado por tres unidades de generación distribuida en AC y seis en DC, que se emulan mediante inversores de potencia. Además, cuenta con dos redes de comunicación independientes: una basada en fibra óptica y otra en tecnología EtherCAT. Esta microrred permite evaluar el rendimiento de varios tipos de controladores, estrategias de control jerárquico, manejo de fallas en comunicaciones, variaciones de carga y la operación plug-and-play de las unidades de generación distribuida [8].

- **Brasil: Universidad Federal de Juiz de Fora**

La Universidad Federal de Juiz de Fora, en Minas Gerais (Brasil), ha instalado una microrred en el edificio sostenible de la Escuela de Ingeniería. Esta red incluye un sistema solar fotovoltaico de 30 kWp, compuesto por 264 paneles distribuidos en once arreglos independientes (de 404 V y 7,12 A cada uno), un generador eólico de 2 kW y un sistema de generación basado en pilas de combustible, compuesto por tres unidades independientes que alimentan convertidores electrónicos, cada uno con una potencia de 5 kW [9].

- **Alemania: Universidad de Erlangen-Núremberg**

La Universidad de Erlangen-Núremberg, en Alemania, posee una microrred de corriente alterna (AC) que contribuye al abastecimiento de la demanda del Instituto de Sistemas de Energía Eléctrica y permite validar el

desempeño de componentes experimentales. Esta microrred incluye un sistema solar fotovoltaico de 17,42 kWp, un banco de baterías de ion-litio con una capacidad de 20 kWh, otro banco de baterías de plomo-ácido de 4 kWh y un sistema de baterías de flujo de 15 kWh. Las cargas conectadas alcanzan un máximo de 25 kW y un consumo anual promedio de 8,7 MWh [10].

- **Italia: Universidad de Bari**

La Universidad Politécnica de Bari, en Italia, desarrolló la microrred PrinCE en el Laboratorio de Sistemas de Energía y Potencia para investigar diversas estrategias de control, transiciones operativas, sincronización con la red y problemas de confiabilidad y seguridad en sistemas eléctricos con generación distribuida. Esta microrred opera en baja tensión, cuenta con un sistema de monitoreo y control en tiempo real, y está compuesta por una planta fotovoltaica de 50 kWp, un simulador eólico de 60 kW, un sistema de cogeneración a gas natural de 120 kW, una microturbina de gas natural de 30 kW, bancos de baterías de sodio-níquel con una capacidad de 60 kW, una estación simulada de carga para vehículos eléctricos y dos cargas programables de 150 kVA [11].

- **Colombia: Universidad Industrial de Santander**

La Universidad Industrial de Santander, en Colombia, posee una microrred ubicada en el edificio de Investigaciones del Parque Tecnológico de Guatiguara, con la posibilidad de emular una topología básica de un sistema de distribución [12].

2.2. MICRORRED EXPERIMENTAL DEL LABORATORIO DE INTEGRACIÓN ENERGÉTICA DE LA UIS

Como herramienta para la investigación en el diseño y control de las microrredes, la Universidad Industrial de Santander se encuentra una microrred trifásica experimental existente en el laboratorio UIS, con la cual se emula una red típica trifásica utilizando un simulador de red para condiciones variables de voltaje y frecuencia, y las líneas de distribución mediante impedancias trifásicas y transformadores. La microrred incluye tres cargas locales y una global, todas resistivas, y su configuración es ajustable para realizar pruebas balanceadas o desbalanceadas.

La microrred cuenta con tres generadores distribuidos y una fuente de corriente continua, que emula generadores fotovoltaicos y otros sistemas.

El diseño de la etapa de potencia de la microrred se centra en estudiar nuevas estrategias de control mediante generación emulada. Se emplean inversores de “caja abierta” (es decir, que permiten modificar su sistema de control), y componentes físicos que permiten una interacción real sin afectar la red eléctrica local [12].

2.3. ESQUEMA DE PROTECCIONES

Un esquema integral de protecciones en microrredes es aquel que proporciona una cobertura completa y adaptativa ante fallas, tanto en condiciones de conexión a la red como en modo de operación aislado. Este sistema debe ser lo suficientemente flexible para gestionar flujos de potencia en ambos sentidos y responder a las variaciones rápidas en la generación y demanda, características de las fuentes renovables distribuidas.

El diseño de protecciones para microrredes debe cumplir con estándares establecidos como la IEEE y la IEC. La norma IEEE 1547, por ejemplo, ofrece directrices para la interconexión segura y eficiente de recursos distribuidos [13], mientras que la IEC 61850 permite la comunicación eficaz entre dispositivos de protección, facilitando una respuesta rápida y coordinada ante fallas [14].

Existen múltiples herramientas de software como DlgSILENT PowerFactory, PSCAD y MATLAB/Simulink que permiten simular y validar esquemas de protecciones para microrredes. Estos programas permiten simular condiciones de operación reales y probar la capacidad de respuesta del esquema de protección ante diferentes eventos, asegurando su fiabilidad en diversas situaciones de operación. Para esta monografía, se utilizará DlgSILENT PowerFactory, con el cual se cuenta con licencia y módulo de protecciones.

3. MICRORREDES DE LABORATORIO Y EMULACIÓN DE RECURSOS ELÉCTRICOS

Las microrredes de laboratorio se distinguen por estar compuestas por equipos de pequeña escala o por emuladores que simulan el comportamiento de sistemas reales. Debido a su tamaño reducido y a los sistemas de monitoreo detallado que incorporan, estas microrredes permiten recrear condiciones reales de operación de forma segura y controlada.

Este tipo de microrredes son ideales para la investigación y la enseñanza, ya que facilitan la experimentación en distintos escenarios sin los riesgos ni los costos de una instalación a gran escala. Además, permiten estudiar aspectos clave como el control de la microrred, la integración de fuentes renovables, la gestión eficiente de la energía y la evaluación de esquemas de protección [15], [16], [17].

La **emulación** es la capacidad que tiene un dispositivo para reproducir de forma física y precisa el comportamiento de un recurso real, como una fuente de generación o una carga eléctrica. Esta técnica es muy útil en el estudio de microrredes, ya que permite simular distintas condiciones de operación sin necesidad de utilizar equipos reales de gran escala.

Por lo tanto, existe la posibilidad de ajustar las capacidades nominales de los emuladores y representar una amplia variedad de escenarios operativos. Esta escalabilidad hace que la emulación sea una herramienta flexible y eficiente para la experimentación y el análisis en entornos de laboratorio [18], [19].

A continuación, se describen algunos de los emuladores más utilizados en el estudio de microrredes:

- Emulación de energía eólica: comprende dispositivos capaces de representar una turbina a partir de un motor acoplado a un generador o una fuente programable AC. También se encuentran emuladores del viento, los cuales consisten en ventiladores con capacidad de controlar su velocidad.
- Emulación de energía solar: el emulador de celda fotovoltaica es un equipo capaz de representar el comportamiento de un panel fotovoltaico o un

conjunto de éstos. También se puede emular con fuentes programables DC.

- Emulación de batería: el emulador representa el comportamiento de cualquier tipo de baterías.
- Otros emuladores: es posible emular el comportamiento de volantes de inercia, cargas, emulador de red, pilas de combustible y vehículos eléctricos.

4. CARACTERISTICAS DE LA MICRORRED DEL LIE

La microrred se encuentra instalada en el Laboratorio de Integración Energética (LIE), ubicado en el Parque Tecnológico de Guatiguará (PTG). Está conformada por una variedad de dispositivos orientados a la generación, el control y las comunicaciones, operando principalmente en corriente alterna (CA).

La configuración del sistema incluye una fuente de corriente directa (DC) capaz de emular diferentes tecnologías de generación, como paneles fotovoltaicos, celdas de combustible o bancos de baterías. También cuenta con una fuente de corriente alterna que simula el comportamiento de la red de distribución, así como inductores que representan las líneas de transmisión.

Complementan la infraestructura transformadores, cargas resistivas variables, sensores de medición y dispositivos de protección, lo que permite el análisis detallado de distintos escenarios operativos.

La Figura 1 presenta el esquema general de la microrred y la Tabla 1 resume las características técnicas de sus principales componentes

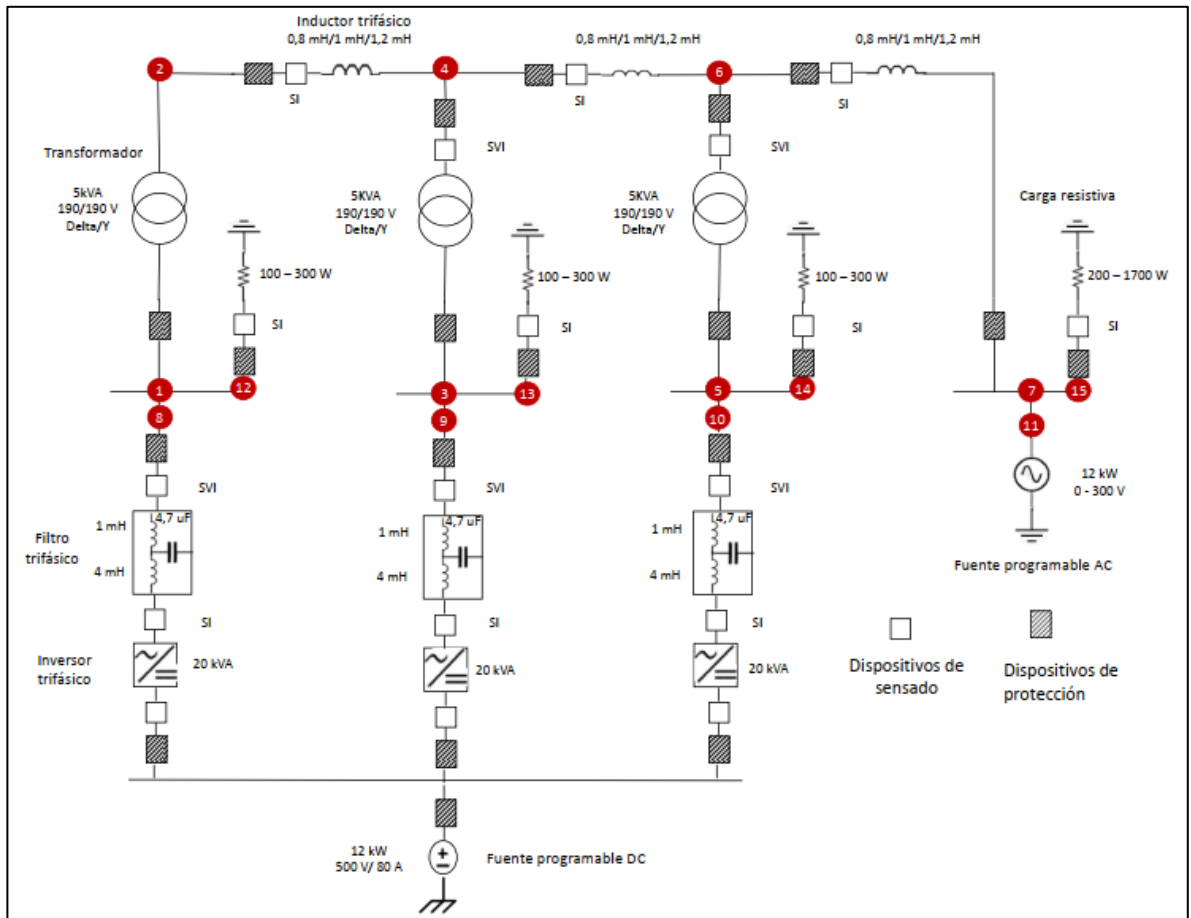


Figura 1. Esquema de la microrred del LIE [20]

Tabla 1. Características de los componentes de la microrred del LIE [20]

Componente	Cantidad	Valor nominal	Modelo	Condición de operación
Fuente programable DC	1	12 kW	ITECH ITC6012C-500-80	480 Vdc
Fuente programable AC	1	12 kVA	Chroma AC 61511	300 Vac
Inversor trifásico	3	20 kVA	SEMITEACH - IGBT	750 Vdc, 400 Vac, 50 Hz
Filtro trifásico	3	1 mH, 4 mH, 4,7 uF	Construido	110 V, 15 A
Transformador trifásico	3	5 kVA	Sirio 16029	440-220/120 V
Carga trifásica	4	0,1 kW, 0,2 kW, 0,5 kW	Resistencia tubular 5/16" Acero	110 V
Inductor trifásico	3	0,8 mH, 1 mH, 1,2 mH	Sirio 16016	110 V, 32 A

5. CONSIDERACIONES GENERALES

Se presentan las consideraciones generales tenidas en cuenta para el diseño del esquema integral de protecciones de la microrred. Los análisis se realizaron utilizando el software de simulación DIgSILENT PowerFactory, versión 2023-SP2. Se analizó el escenario de máxima generación renovable y máxima demanda, ya que este representa la condición con el mayor nivel de corriente de cortocircuito. En la Tabla 2 se resumen las características de los sistemas fotovoltaicos y las cargas consideradas para dicho escenario operativo.

Tabla 2. Características escenario de máxima generación renovable y máxima demanda

Elemento	Parámetro	Valor
Sistema fotovoltaico 1	Potencia aparente	2,5 kVA
	Despacho	1,5 kW
	Factor de potencia	0,95
Sistema fotovoltaico 2	Potencia aparente	2,5 kVA
	Despacho	1,5 kW
	Factor de potencia	0,95
Sistema fotovoltaico 3	Potencia aparente	2,5 kVA
	Despacho	1,5 kW
	Factor de potencia	0,95
Carga local 1	Potencia activa	900 W
	Factor de potencia	1
Carga local 2	Potencia activa	900 W
	Factor de potencia	1
Carga local 3	Potencia activa	900 W
	Factor de potencia	1
Carga global	Potencia activa	3600 W
	Factor de potencia	1

6. CARACTERÍSTICAS DE LAS PROTECCIONES

Considerando los bajos niveles de corriente de carga y de cortocircuito presentes en la microrred experimental, se sugiere emplear fusibles en lugar de interruptores para la protección de los alimentadores, ya que estos últimos están diseñados para aplicaciones con mayores exigencias en cuanto a capacidad de interrupción. Sin embargo, para la protección de las cargas individuales se utilizarán interruptores, dado que permiten una operación más práctica y segura a nivel local. Por otro lado, en una microrred real interconectada a un sistema de distribución o transmisión, donde los niveles de corriente son considerablemente más altos y se requiere una mayor selectividad y coordinación, resulta indispensable la implementación de relés de protección para garantizar una operación segura y confiable del sistema. En la Tabla 3, se presentan las características de los dispositivos de protección propuestos para la microrred experimental.

Tabla 3. Características de los equipos de protección propuestos

Elemento a proteger	Protección	Referencia	Corriente nominal [A]
Línea 1	Fusible	OFAA000AM4	4
Línea 2	Fusible	OFAA000AM6	6
Línea 3	Fusible	OFAA000AM10	10
Carga 1	Mini Breaker	ABB S203P-Z	4
Carga 2	Mini Breaker	ABB S203P-Z	4
Carga 3	Mini Breaker	ABB S203P-Z	4
Carga global	Mini Breaker	ABB S203P-Z	16

6.1. LÍNEA DE FUSIBLES ABB OFAA 000 AM

Para la protección de las líneas se seleccionó el fusible ABB OFAA 000 AM, el cual pertenece a la categoría AM (protección contra cortocircuitos en circuitos con motores) y cumple con la norma IEC 60269. Esta elección se fundamenta en su alta capacidad de interrupción (100 kA a 690 V) y su rápido tiempo de actuación frente a corrientes de cortocircuito, lo que garantiza una desconexión efectiva en caso de falla severa.

Además, su formato compacto tipo NH-000 facilita su instalación en entornos con espacio limitado como lo es el laboratorio en el cual se encuentra la microrred experimental, y su doble indicador visual permite una verificación rápida del estado del fusible.

Los resultados de los análisis de cortocircuito muestran que el fusible presenta un comportamiento adecuado ante las corrientes de falla evaluadas, despejando rápidamente las fallas en bornes de los transformadores L2, L4 y L6. Por tanto, su uso es apropiado para esta aplicación, especialmente en escenarios donde no se requiere protección frente a sobrecargas prolongadas, las cuales son gestionadas por protecciones aguas arriba o relés térmicos. En la Figura 2, se ilustra un fusible de 10 A de corriente nominal recomendado en la línea 3 de la microrred experimental.



Figura 2. Fusible ABB OFAA000AM – 10 A [23]

6.2. LÍNEA DE MINI BREAKERS ABB S203P-Z

Para la protección de las cargas de la microrred se utilizaron interruptores automáticos ABB S203P-Z, los cuales ofrecen una solución compacta, confiable y selectiva frente a fallas eléctricas. Estos dispositivos pertenecen a la familia System pro M compact S200P y están diseñados para montaje en riel DIN, facilitando su integración en tableros de distribución.

La selección de este interruptor se basó en la necesidad de una respuesta rápida ante cortocircuitos, especialmente en aplicaciones donde se requiere una alta sensibilidad.

En condiciones de operación normales, los interruptores permiten el paso de la corriente nominal sin disparos intempestivos, y ante fallas, actúan de forma eficiente tanto en su componente térmico (sobrecarga) como magnético

(cortocircuito). Su utilización en la microrred experimental demostró ser adecuada, ya que en los análisis se observaron tiempos de despeje oportunos ante fallas francas y con impedancia. . En la Figura 3, se ilustra un interruptor de 20 A de la línea S200P de la marca ABB.



Figura 3. Interruptor ABB S203P-Z – 20 A [24]

7. VERIFICACIÓN DE LA FUNCIÓN SOBRECORRIENTE

Si bien la microrred objeto de estudio en esta monografía es de carácter experimental y, por tanto, presenta niveles de corriente relativamente bajos que hacen más apropiado el uso de protecciones simples como fusibles, es importante destacar que el objetivo de dicha microrred es representar, en condiciones controladas, el comportamiento de una microrred real. En ese sentido, resulta pertinente hacer referencia a los esquemas de protección comúnmente empleados en entornos reales, como lo es la función de sobrecorriente.

En microrredes reales interconectadas a sistemas de distribución o transmisión, la protección mediante relés con función de sobrecorriente (ANSI 50/51) resulta fundamental para la detección de fallas fase-fase y fase-tierra. Esta función se configura considerando la selectividad, sensibilidad y rapidez de actuación requeridas en función de la topología del sistema, la contribución de corriente de las fuentes (ya sean síncronas o convertidores electrónicos), y el comportamiento de los elementos pasivos del sistema. En particular, cuando se cuenta con fuentes de energía distribuida basadas en inversores, se deben tener en cuenta sus limitaciones para inyectar corriente de cortocircuito, lo cual puede afectar la detección tradicional basada en magnitud de corriente.

Aunque en este estudio no se implementan relés digitales ni interruptores debido a las características reducidas de la microrred experimental, la inclusión de esta teoría permite comprender los desafíos y criterios de coordinación que deben ser tenidos en cuenta al extrapolar los resultados hacia una microrred de escala real.

7.1. CRITERIOS FUNCIÓN SOBRECORRIENTE EN ALIMENTADORES DE MEDIA Y BAJA TENSIÓN (ANSI 51/51N/50/50N)

Función de sobrecorriente direccional de fases (ANSI 51/50)

Para la función sobrecorriente de fases (ANSI 51/50) de los alimentadores en circuitos de parques solares, se considera lo siguiente:

- Una etapa de tiempo inverso con un valor de arranque de 120% de la corriente entregada por la generación a potencia nominal. El tipo de curva, el dial y el retardo adicional se calculan garantizando un margen de coordinación de 200 ms respecto a las etapas de tiempo inverso de los dispositivos de protección ubicados aguas abajo [22].
- Una etapa de tiempo definido con un valor de arranque de 150% del mayor ajuste de la función ANSI 50 entre las protecciones ubicadas justo aguas abajo. Se temporiza a los 100 ms siguiendo la filosofía de despejar fallas en tiempos de protección principal de acuerdo al RETIE [21].
- Tiempos de operación entre 50 ms y 200 ms en cabeceras. En caso de existir un reconectador intermedio, se elegirá un dial que permita una operación en 200 ms para la protección de cabecera. Para reconectadores intermedios, el dial debe permitir un tiempo de operación entre los 50 ms y 150 ms [22].

Función de sobrecorriente direccional de tierra (ANSI 51N/50N)

Para la función sobrecorriente de tierra (ANSI 51N/50N) de los alimentadores en circuitos de parques solares, se considera lo siguiente:

- Para el arranque de la función sobrecorriente de tierras (ANSI 51N) se considera el menor valor entre el 40% de la capacidad térmica en corriente del conductor de mínima capacidad de la línea o circuito. En caso de que exista una capacidad nominal de transporte que restrinja la capacidad térmica del conductor por temas de operación o seguridad, se tomará esta como la nominal, y el 40% de la corriente primaria del Transformador de Corriente [22].

- Para el arranque de la etapa de tiempo definido se considera el 70%-80% de la corriente de cortocircuito por neutro ante falla monofásica franca al 2% del circuito donde se encuentra ubicada la protección o de 8 a 10 veces la corriente de pick-up de la función ANSI 51N [22].
- Tiempos de operación entre 50 ms y 200 ms en cabeceras. En caso de existir un reconectador intermedio, se elegirá un dial que permita una operación en 200 ms para la protección de cabecera. Para reconectadores intermedios, el dial debe permitir un tiempo de operación entre los 50 ms y 150 ms [22].

7.1.1 SELECTIVIDAD DE LAS PROTECCIONES ASOCIADAS A LA MICRORRED EXPERIMENTAL

La Figura 4 muestra el diagrama unifilar simplificado de la microrred experimental del Laboratorio de Integración Energética de la Universidad Industrial de Santander (UIS), en el cual se indican las ubicaciones correspondientes a las protecciones propuestas, detalladas en la Tabla 3. Se evaluaron fallas trifásicas y bifásicas a tierra francas y con impedancia en las conexiones o bornes de las cargas y en bornes de los transformadores (L2, L4 y L4). Es importante señalar que no se recomendaron protecciones en las salidas de los sistemas fotovoltaicos, ya que el aporte de corriente de cortocircuito es muy bajo y, además, los inversores limitan esta corriente de manera significativa.

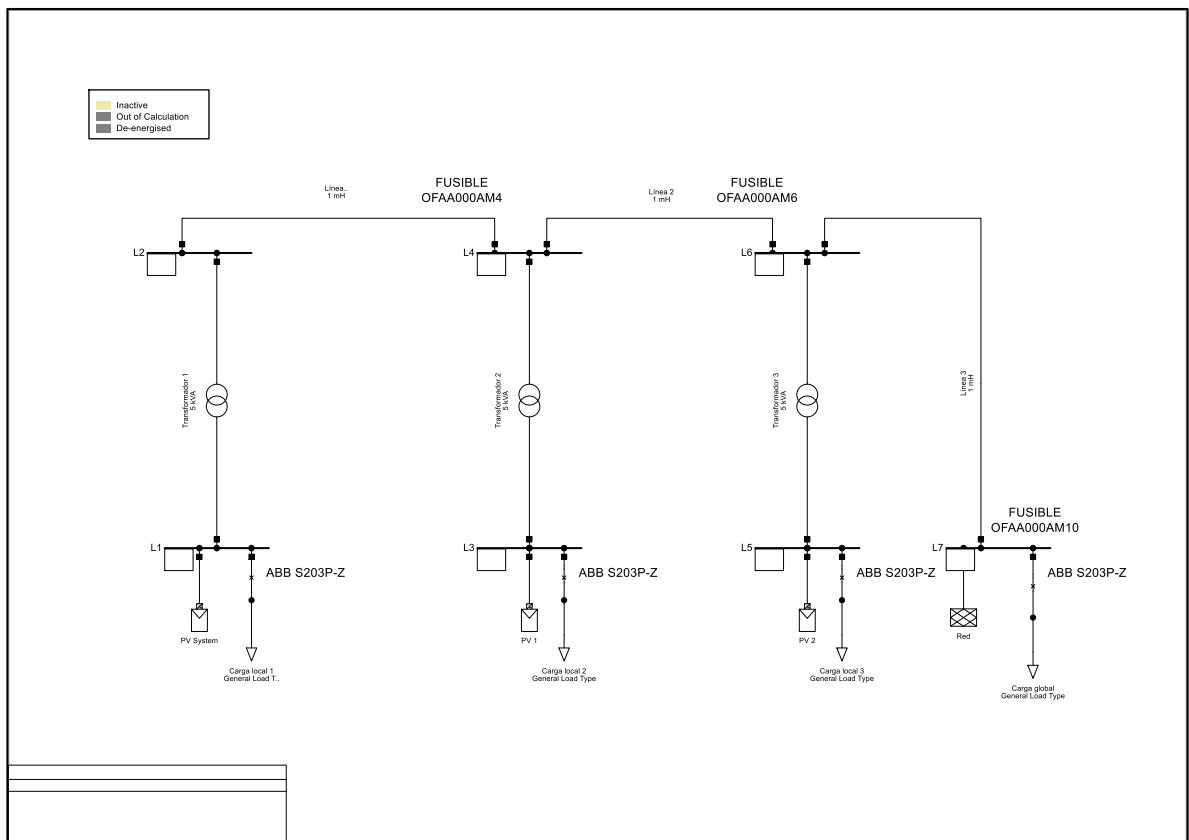


Figura 4. Ubicación de protecciones en la microrred experimental

7.1.1.1 SELECTIVIDAD ANTE FALLAS EN LA CARGA 1

De la Figura 5 a la Figura 8 se presenta el comportamiento de la función de sobrecorriente frente a fallas trifásicas y bifásicas a tierra, tanto francas como con impedancia. Para las fallas francas, el Mini Breaker asociado a la carga 1 opera en la etapa de tiempo definido, despejando la falla en aproximadamente 10 ms. Sin embargo, bajo estas condiciones se evidencia un margen de coordinación estrecho con la curva de sobrecorriente de los fusibles asociados a las líneas 1 y 2.

Este comportamiento se explica por los bajos niveles de impedancia en el sistema y el rápido incremento de la corriente de falla en eventos francos, lo cual reduce la diferencia temporal entre la operación del Mini Breaker y la de los fusibles. Además, las características de respuesta rápida y las curvas de actuación similares de los dispositivos de protección involucrados limitan la posibilidad de ampliar dicho margen sin comprometer la selectividad ni la sensibilidad del esquema de protección, especialmente en microrredes de esta naturaleza.

En contraste, ante fallas con impedancia, se observa una adecuada selectividad entre el Mini Breaker de la carga 1 y los fusibles de las líneas 1 y 2, evidenciada por márgenes de coordinación superiores a 200 ms. Esto se debe a la reducción de la corriente de falla provocada por la impedancia, lo que retrasa la operación de los dispositivos ubicados aguas arriba, permitiendo que el Mini Breaker actúe primero de manera selectiva, sin afectar la continuidad del servicio en el resto del sistema.

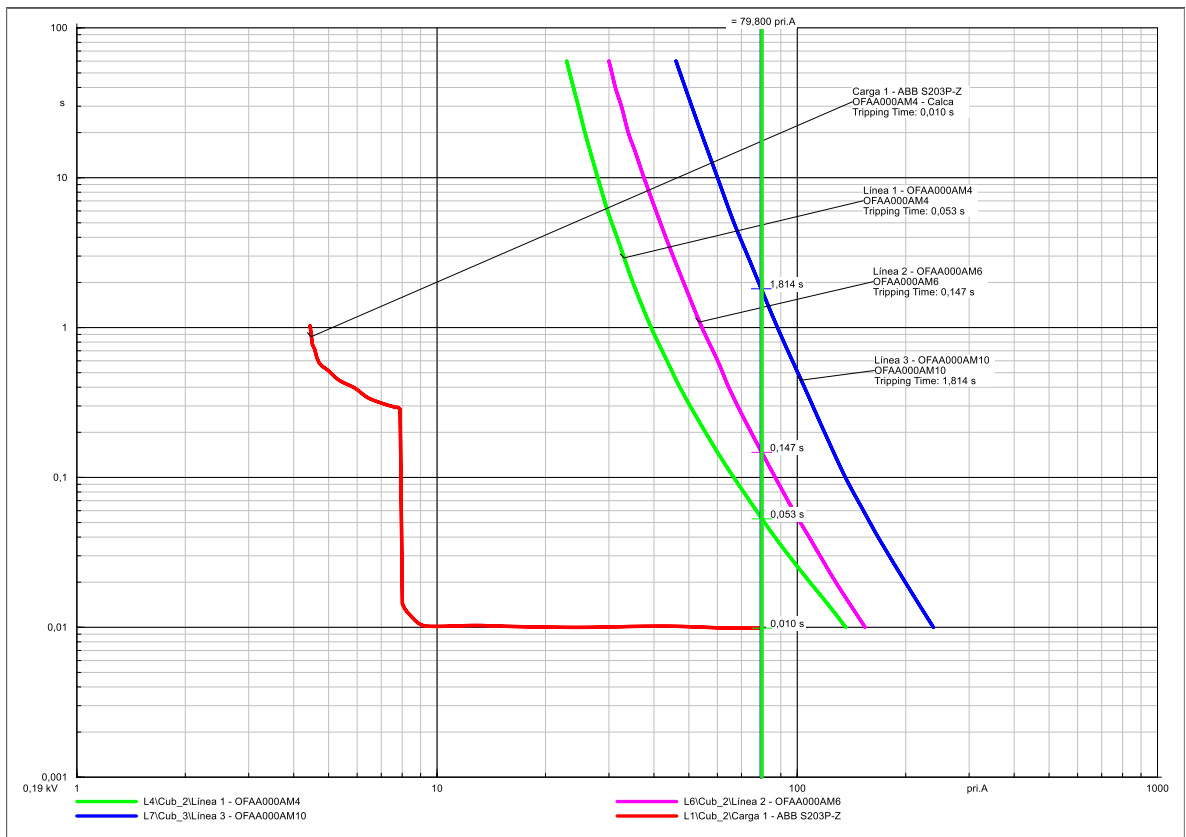


Figura 5. Falla 3F Franca en punto de conexión carga 1

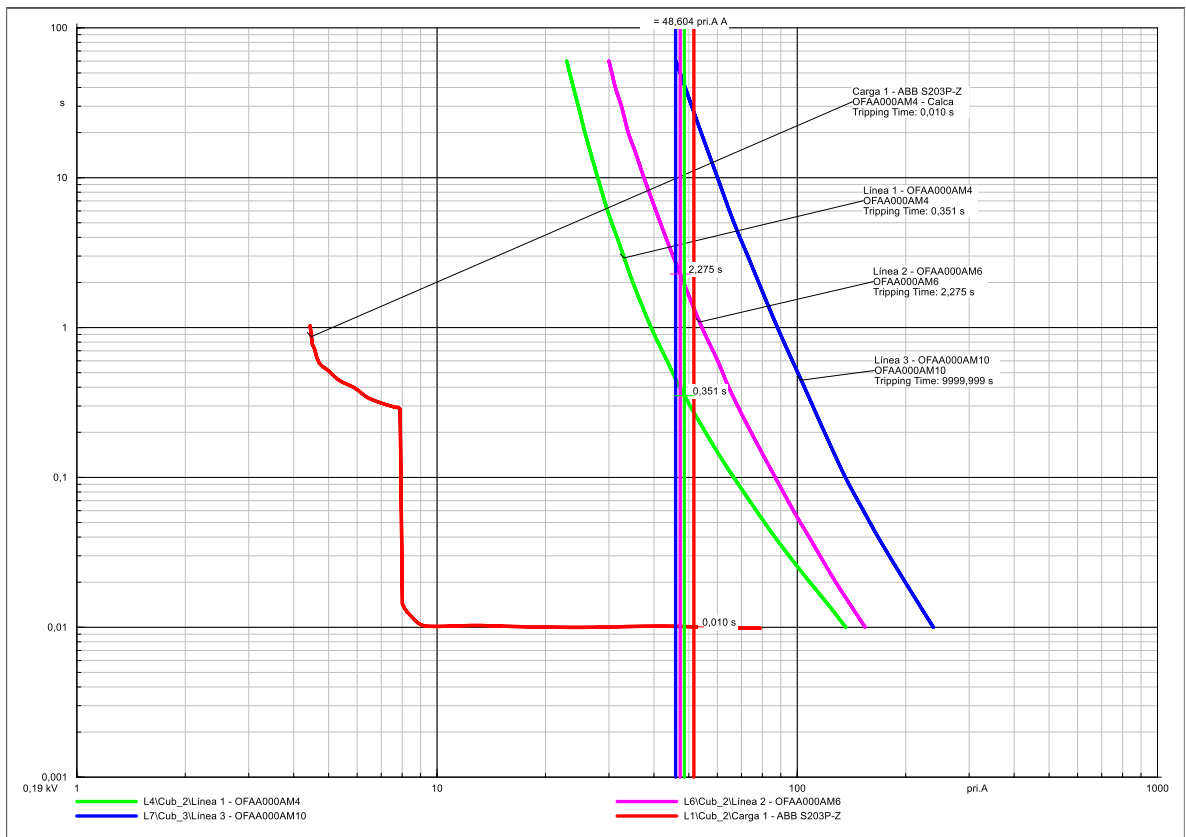


Figura 6. Falla 3F 1,5 Ohm en punto de conexión carga 1

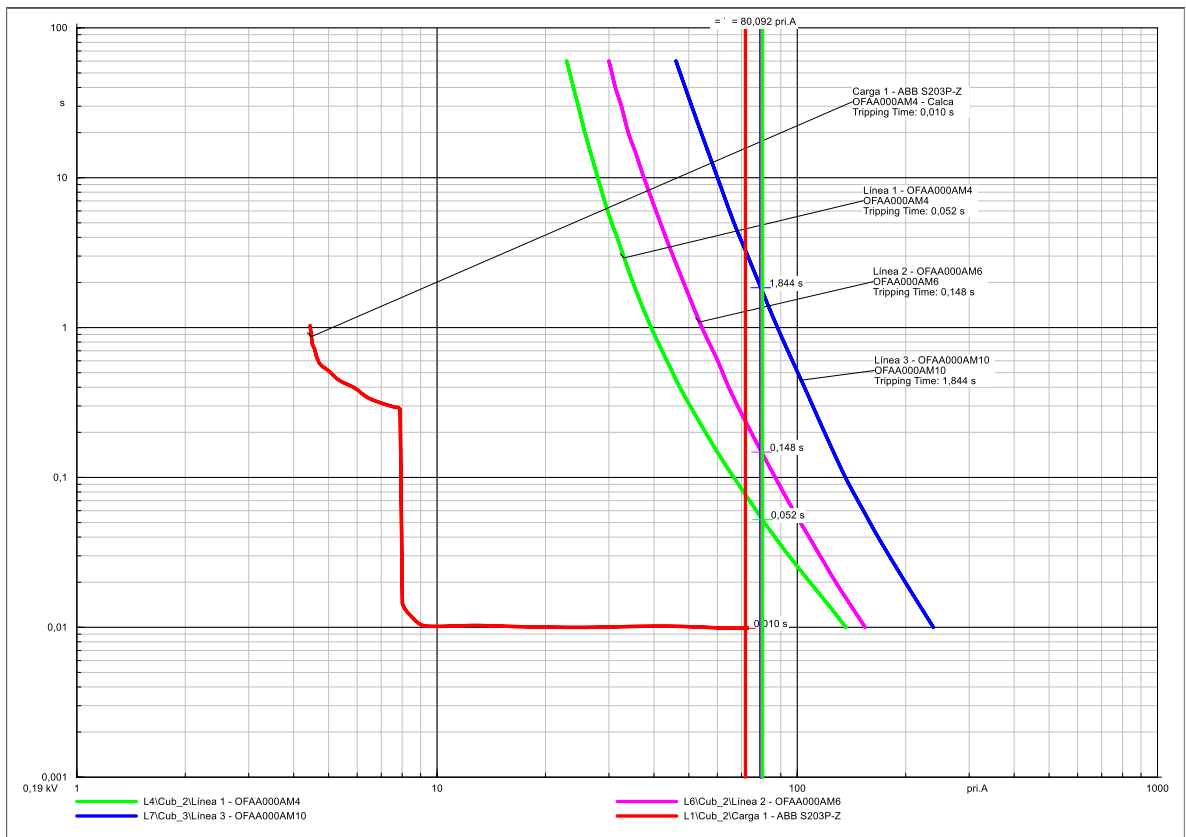


Figura 7. Falla 2FT Franca en punto de conexión carga 1

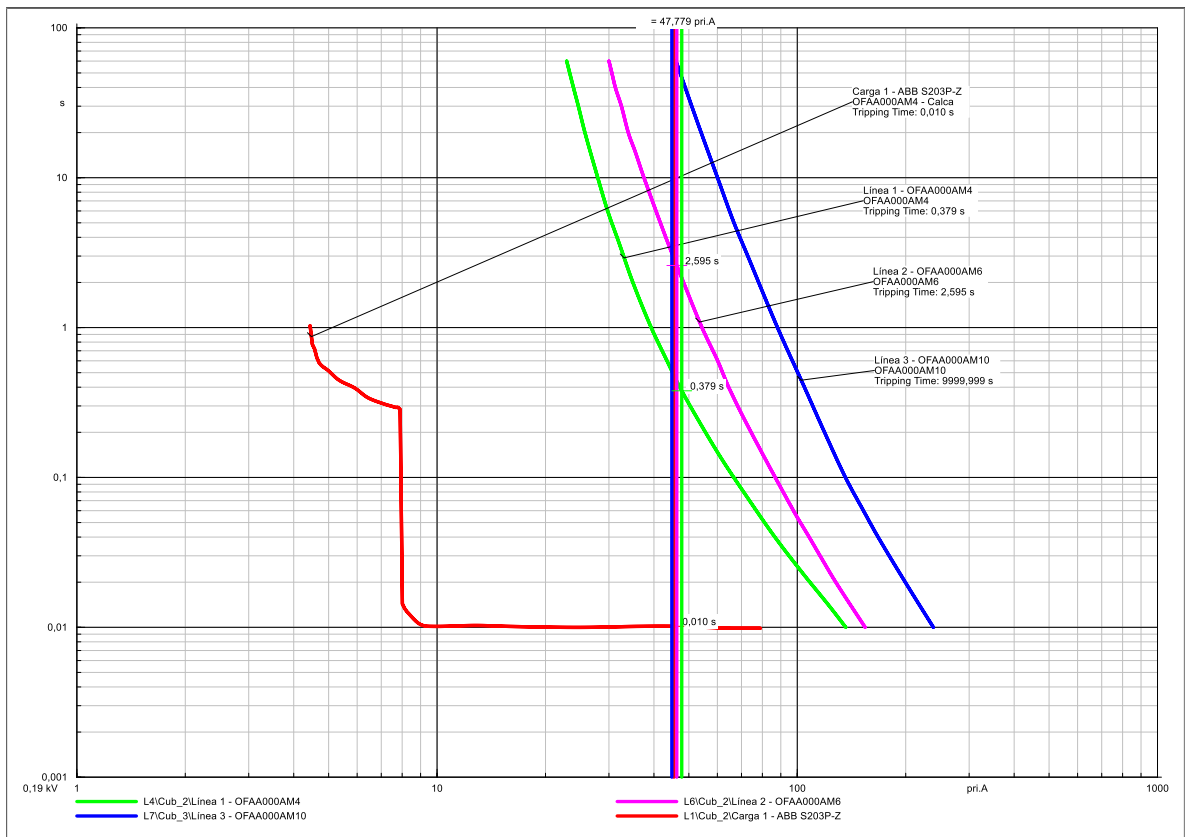


Figura 8. Falla 2FT 1,5 Ohm en punto de conexión carga 1

7.1.1.2 SELECTIVIDAD ANTE FALLAS EN LA CARGA 2

De la Figura 9 a la Figura 12 muestran el comportamiento de la función de sobrecorriente ante fallas trifásicas y bifásicas a tierra, tanto francas como con impedancia. En el caso de fallas francas, el Mini Breaker asociado a la carga 2 actúa en la etapa de tiempo definido, despejando la falla en aproximadamente 10 ms. No obstante, en estas condiciones se observa un margen de coordinación estrecho con la curva de sobrecorriente del fusible de la línea 1.

Este fenómeno se justifica por los bajos niveles de impedancia presentes en la microrred y la rápida evolución de la corriente de falla, lo que genera una diferencia temporal reducida entre las curvas de actuación del Mini Breaker y del fusible. Adicionalmente, la similitud en las características de respuesta de los dispositivos limita la posibilidad de ajustar los tiempos sin afectar la selectividad o la sensibilidad del sistema de protección.

En el caso de fallas con impedancia, se logra una selectividad adecuada entre el Mini Breaker de la carga 2 y el fusible de la línea 2, evidenciada por márgenes de coordinación mayores a 200 ms. Este comportamiento se atribuye a la disminución de la corriente de falla ocasionada por la impedancia, la cual retrasa la operación de los dispositivos aguas arriba, permitiendo que el Mini Breaker interrumpa primero el circuito de forma selectiva.

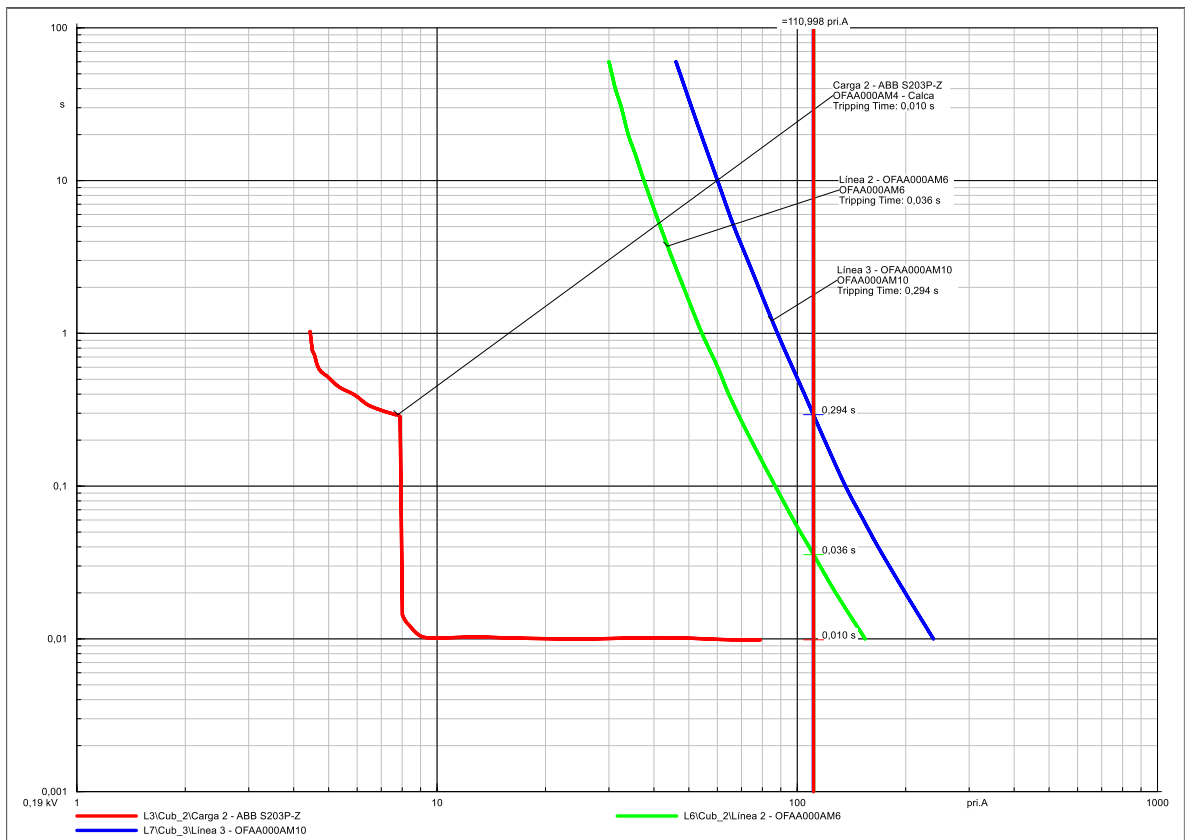


Figura 9. Falla 3F Franca en punto de conexión carga 2

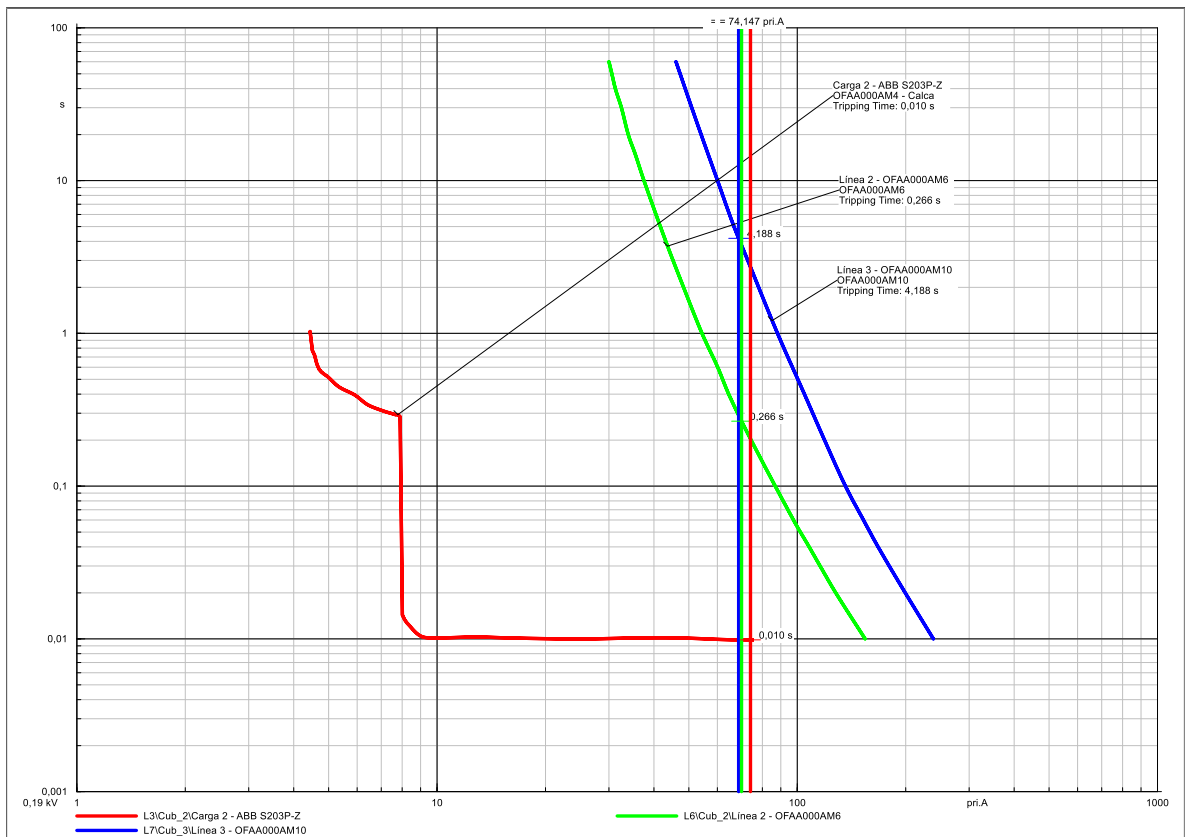


Figura 10. Falla 3F 1 Ohm en punto de conexión carga 2

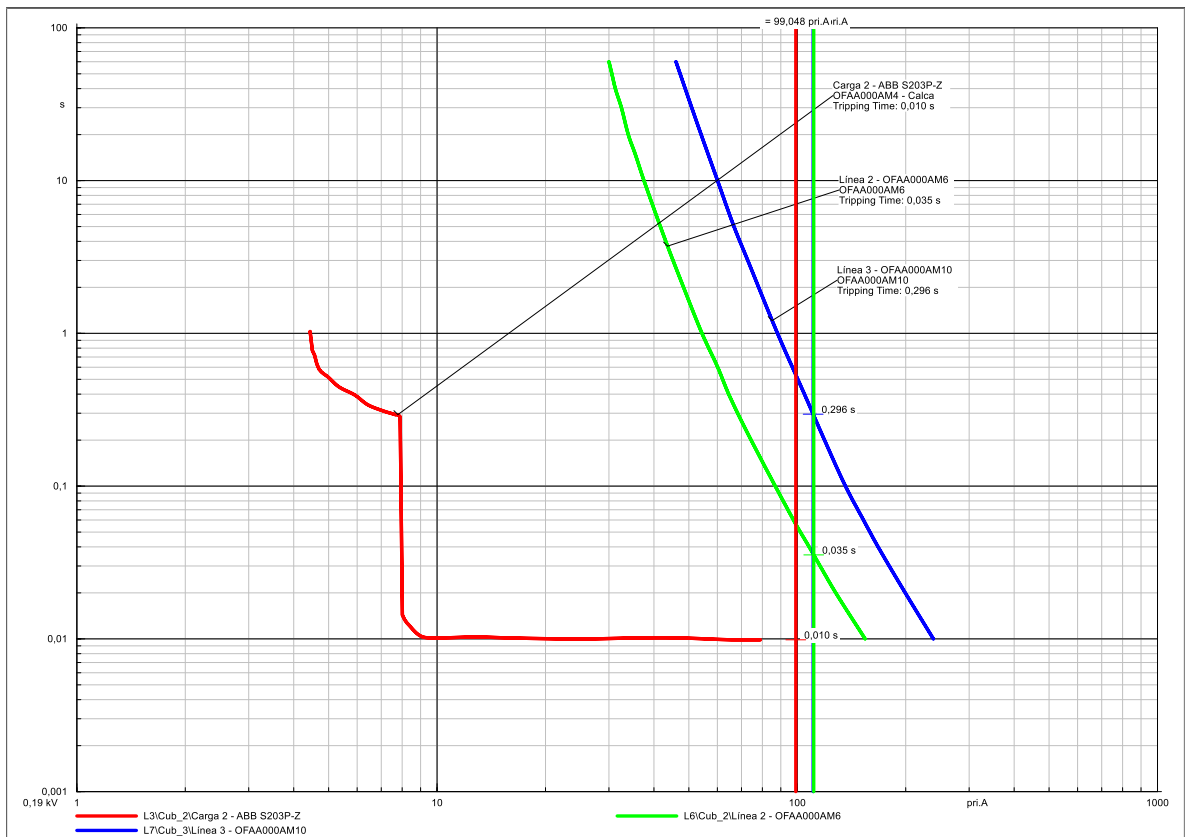


Figura 11. Falla 2FT franca en punto de conexión carga 2

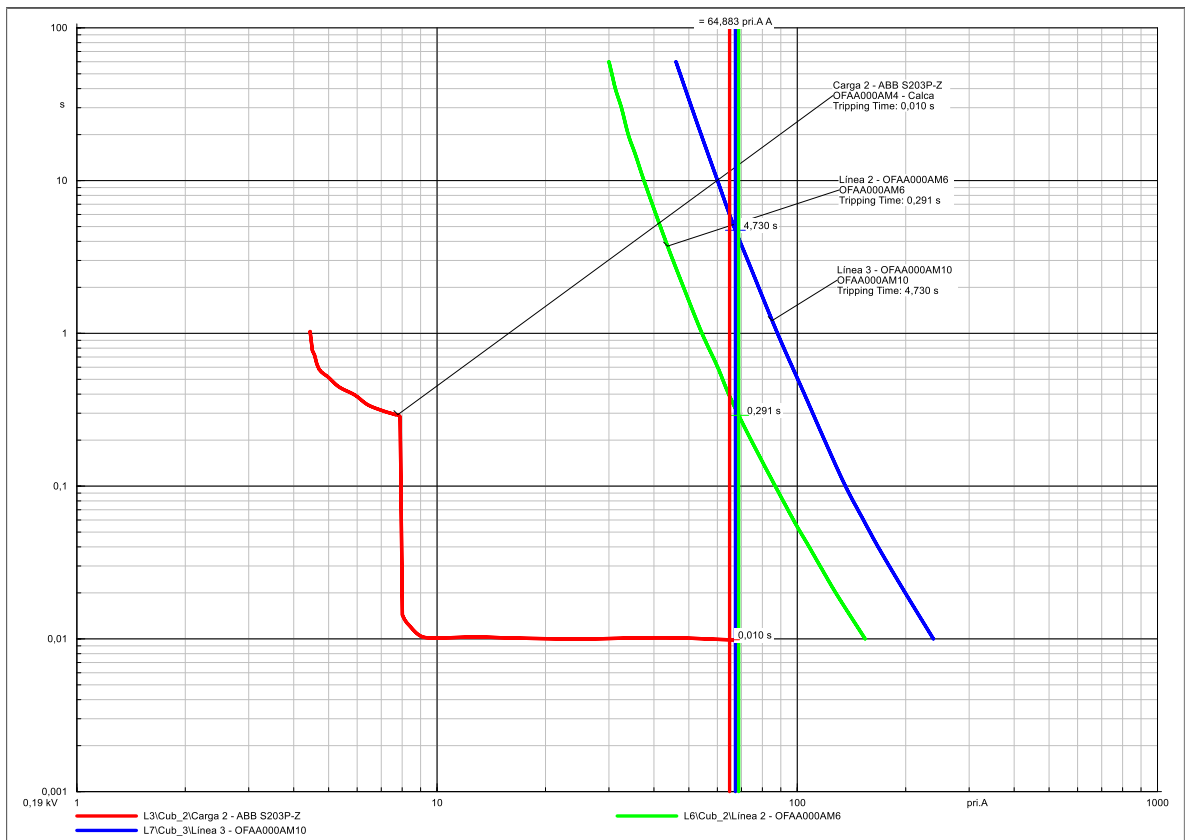


Figura 12. Falla 2FT 1 Ohm en punto de conexión carga 2

7.1.1.3 SELECTIVIDAD ANTE FALLAS EN LA CARGA 3

El análisis de la Figura 13 a la Figura 16 permite observar el comportamiento de la función de sobrecorriente frente a fallas trifásicas y bifásicas a tierra, tanto francas como con impedancia. Ante fallas francas, el Mini Breaker correspondiente a la carga 3 actúa en la etapa de tiempo definido, despejando la falla en aproximadamente 10 ms. No obstante, se evidencia un margen de coordinación estrecho con el fusible de la línea 3.

Esta situación se debe a los bajos niveles de impedancia del sistema y al rápido crecimiento de la corriente de falla en eventos francos, lo cual reduce significativamente el intervalo de tiempo entre la actuación del Mini Breaker y la del fusible. Asimismo, las características de rápida respuesta de los dispositivos de protección involucrados dificultan el incremento de este margen sin comprometer la selectividad o la sensibilidad.

En contraste, ante fallas con impedancia, se observa una coordinación adecuada entre el Mini Breaker de la carga 3 y el fusible de la línea 3, con márgenes de coordinación superiores a 200 ms. Este comportamiento resulta de la reducción de la corriente de falla, que retarda la operación de los dispositivos aguas arriba y permite que el Mini Breaker actúe primero, garantizando la selectividad y la continuidad del servicio.

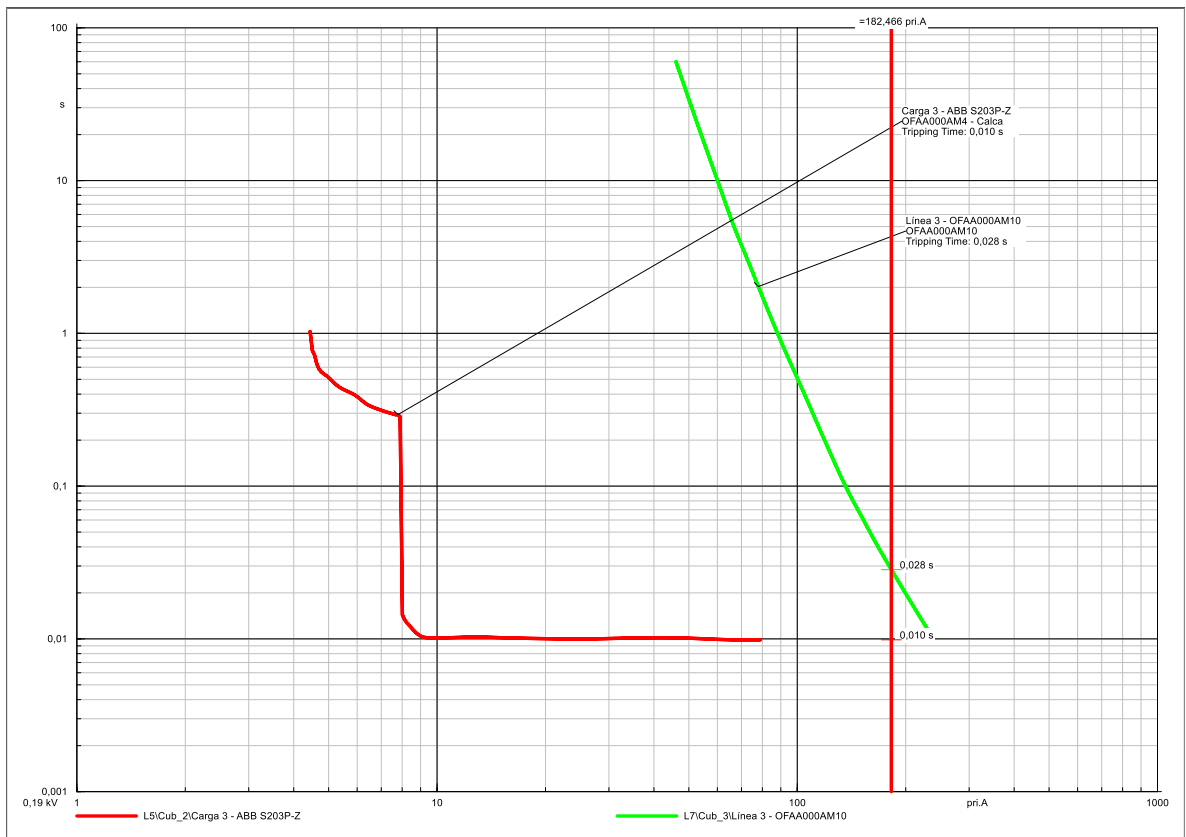


Figura 13. Falla 3F Franca en punto de conexión carga 3

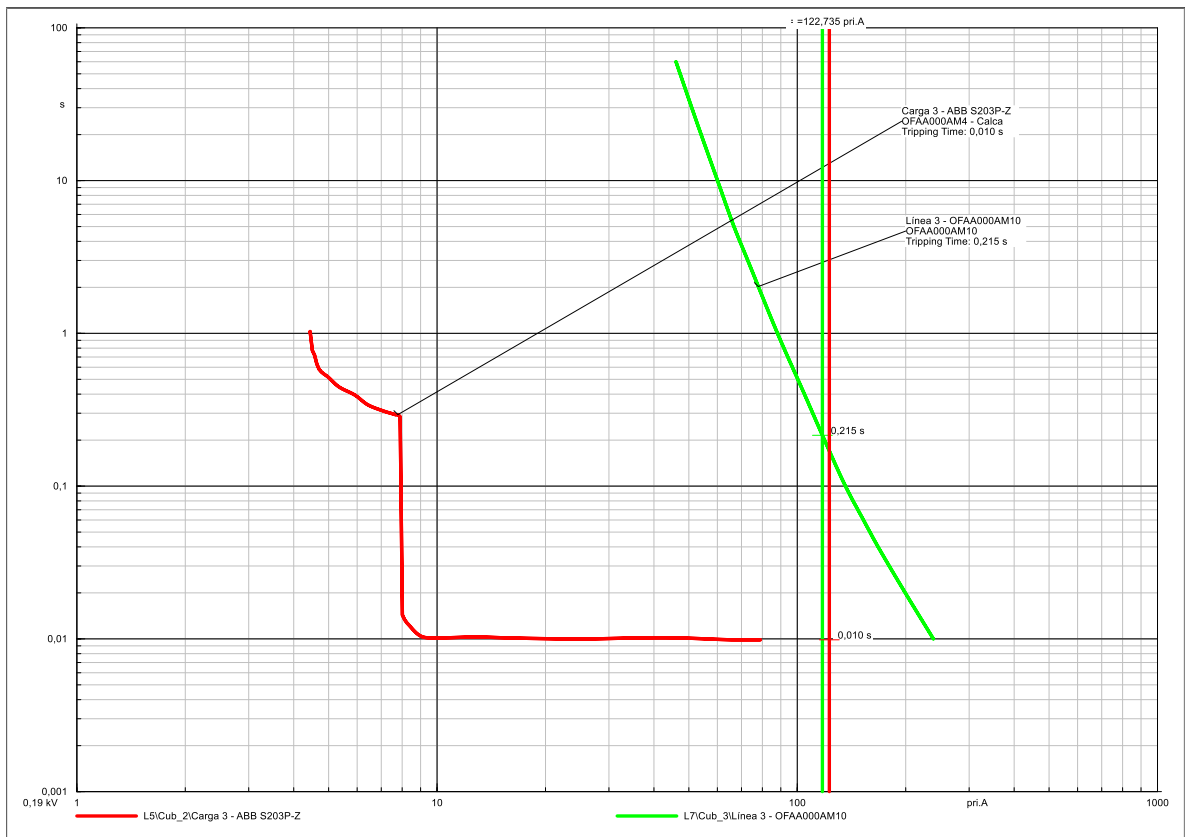


Figura 14. Falla 3F 0,6 Ohm en punto de conexión carga 3

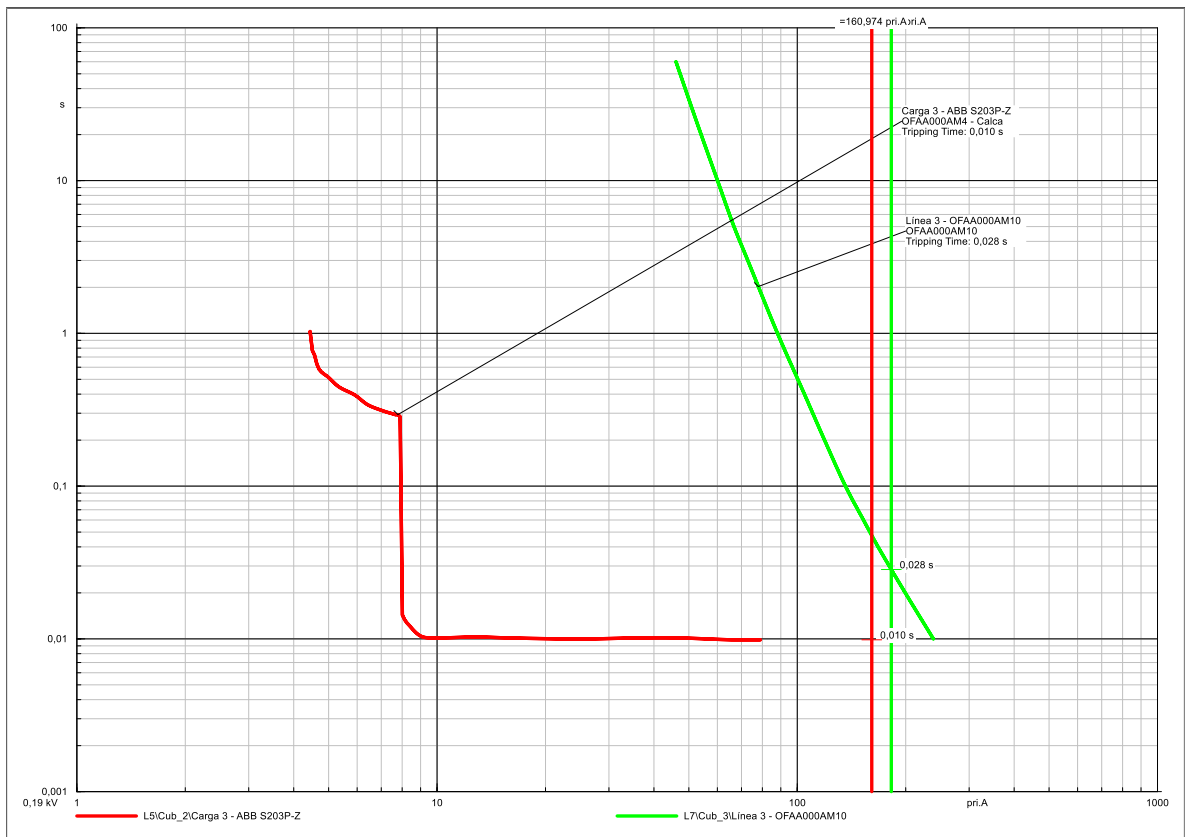


Figura 15. Falla 2FT Franca en punto de conexión carga 3

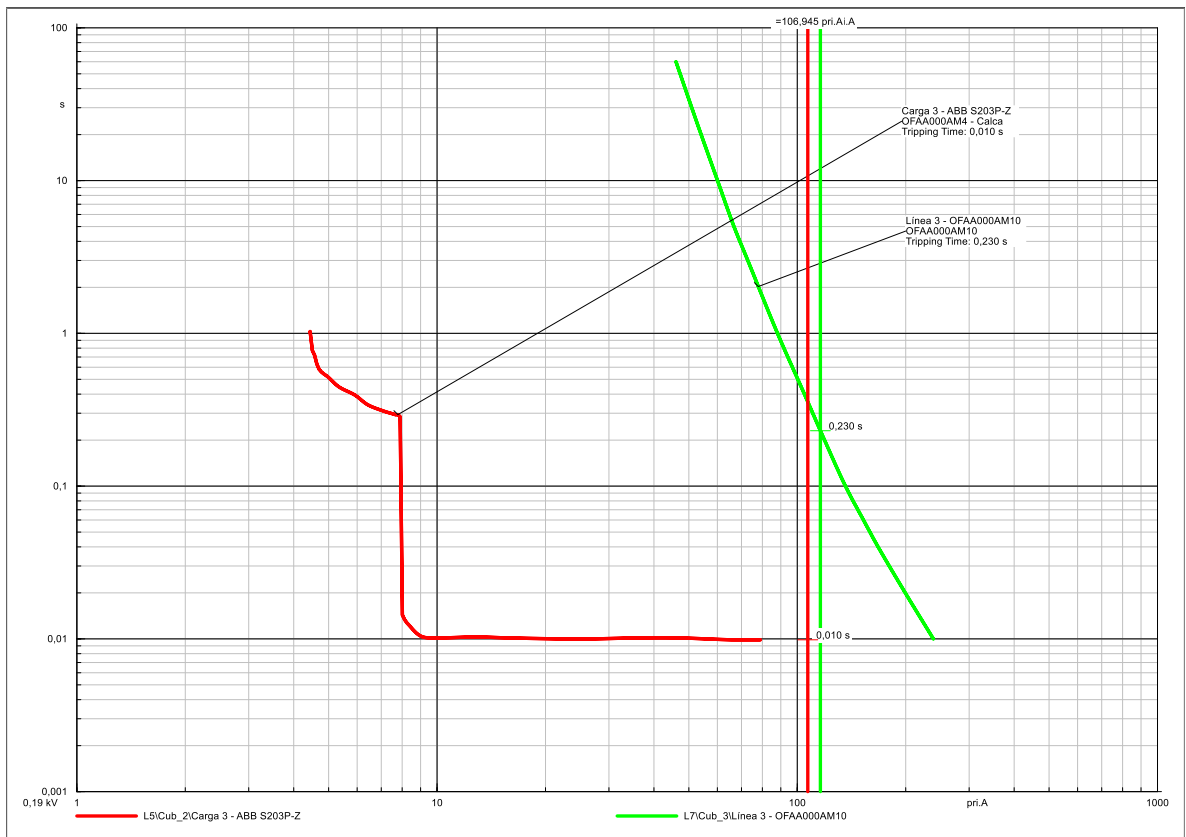


Figura 16. Falla 2FT 0,6 Ohm en punto de conexión carga 3

7.1.1.4 SELECTIVIDAD ANTE FALLAS EN LA CARGA GLOBAL

De la Figura 17 a la Figura 20 se presenta el comportamiento de la función sobrecorriente ante fallas trifásicas y bifásicas a tierra francas y de alta impedancia en el punto de conexión de la carga global. Se observa que la protección opera en la etapa de tiempo definido inclusive para fallas con impedancia de hasta 5 Ohm. Solo se presenta la curva de sobrecorriente asociada a la protección de la carga 3, ya que los fusibles ubicados aguas arriba no operan porque el aporte de corriente de cortocircuito de los sistemas fotovoltaicos es muy bajo.

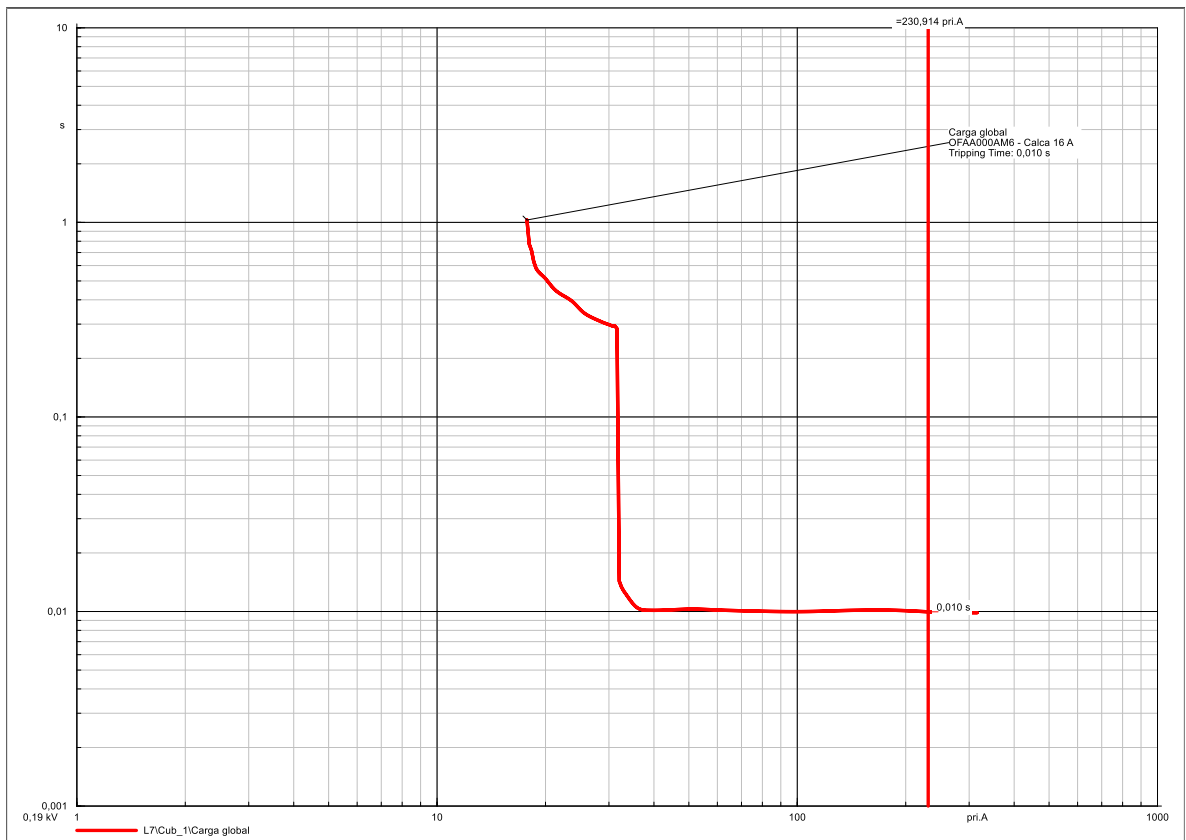


Figura 17. Falla 3F franca en punto de conexión carga global

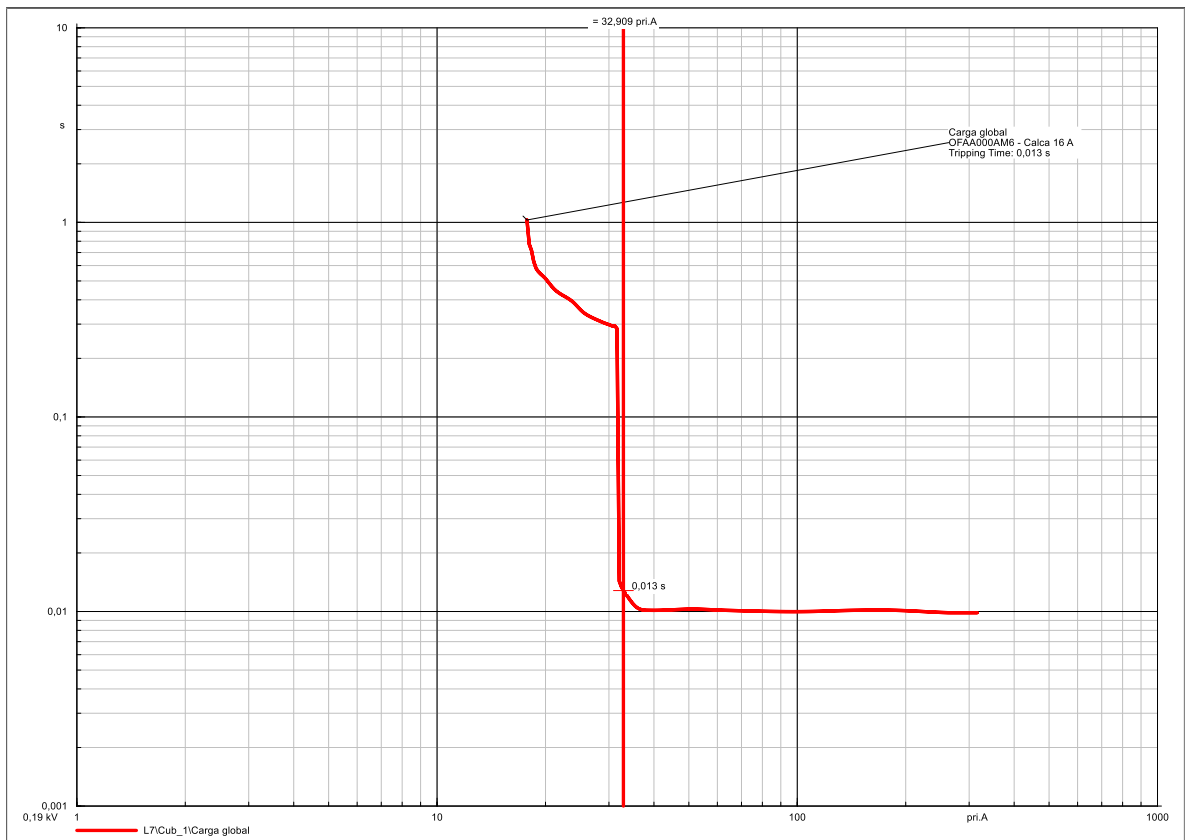


Figura 18. Falla 3F 5 Ohm en punto de conexión carga global

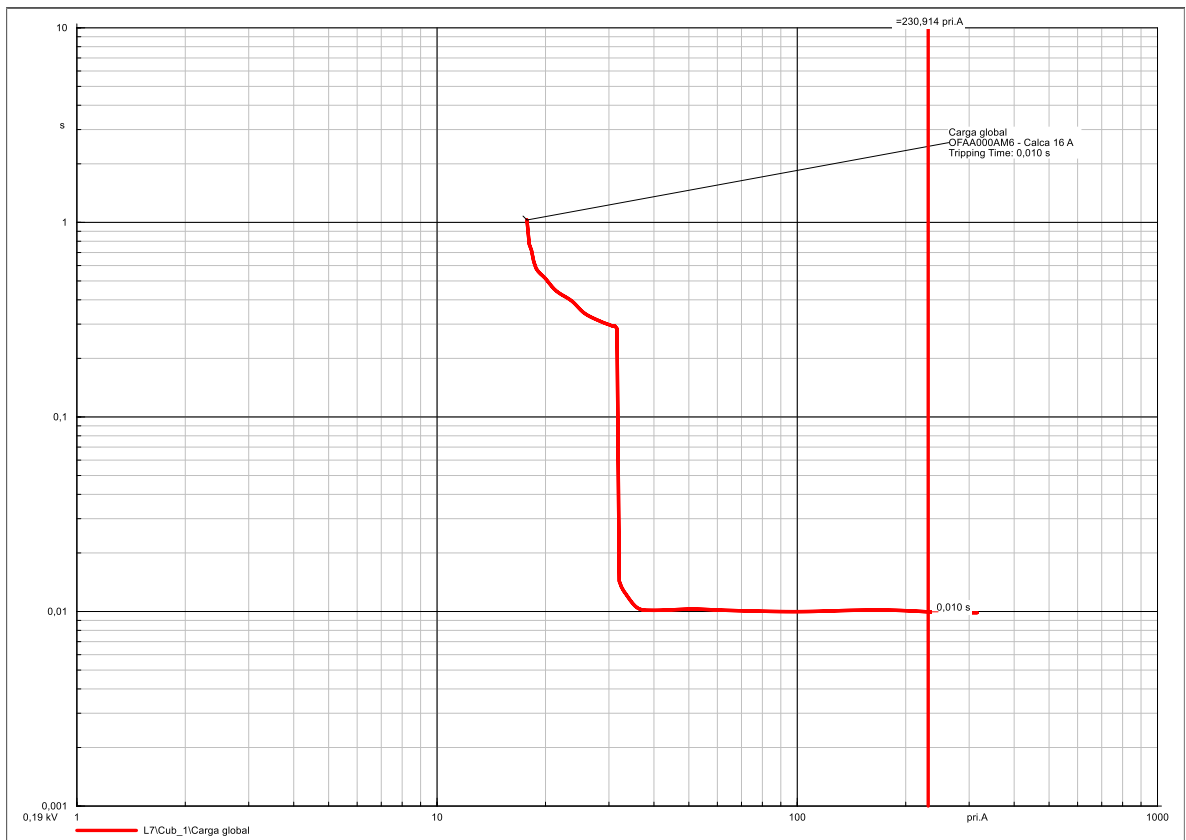


Figura 19. Falla 2FT franca en punto de conexión carga global

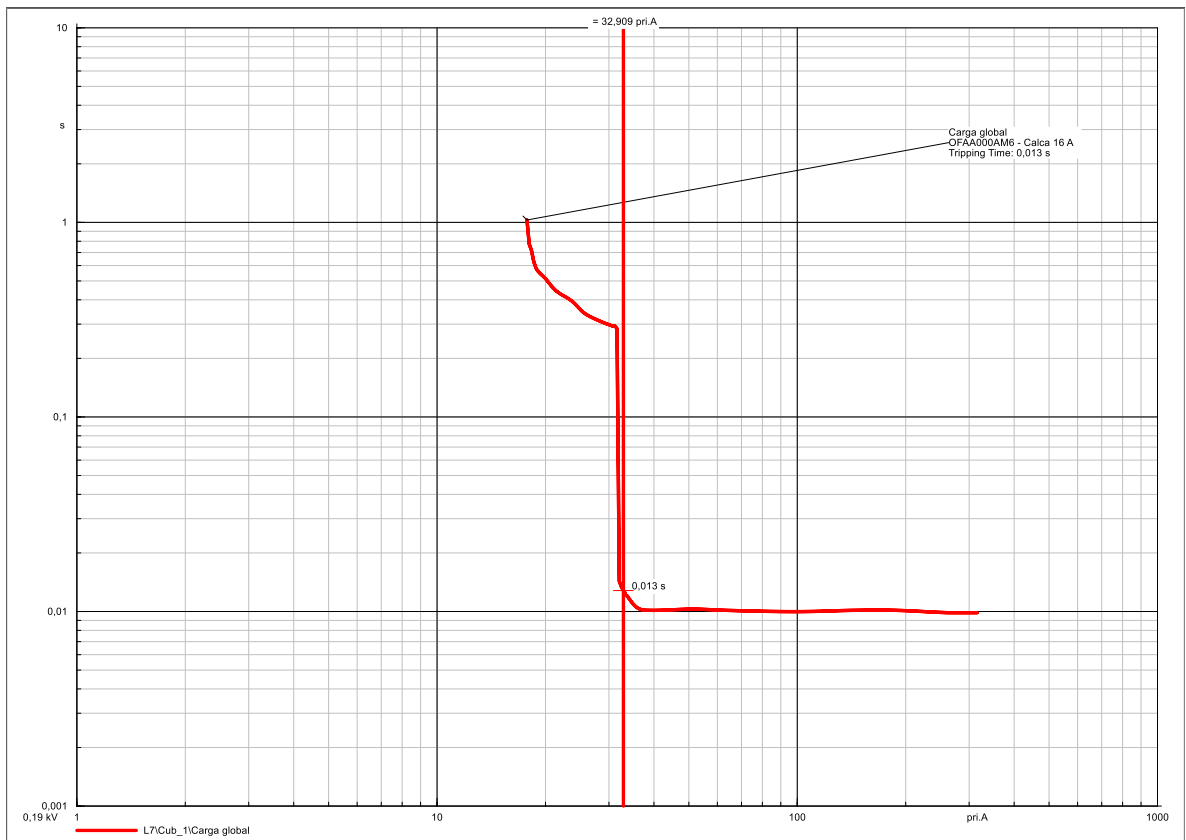


Figura 20. Falla 2FT 5 Ohm en punto de conexión carga global

7.1.1.5 SELECTIVIDAD ANTE FALLAS EN BORNES L2

De la Figura 21 a la Figura 24, se presenta el comportamiento de la función sobrecorriente asociada a los fusibles de las líneas 1, 2 y 3 ante fallas trifásicas y bifásicas a tierra francas y con impedancia en bornes del transformador 1 (L2). Ante fallas francas, el fusible asociado a la línea 1, actúa en un tiempo aproximado de 31 ms. No obstante, se evidencia un margen de coordinación estrecho con el fusible de la línea 2. Sin embargo, ante fallas con impedancia, se observa una coordinación adecuada entre el fusible de la línea 1 y el fusible de la línea 2, con márgenes de coordinación superiores a 200 ms. Este comportamiento resulta de la reducción de la corriente de falla, que retarda la operación de los fusibles aguas arriba y permite que el fusible de la línea 1 actúe primero, garantizando la selectividad y la continuidad del servicio a las cargas 2 y 3.

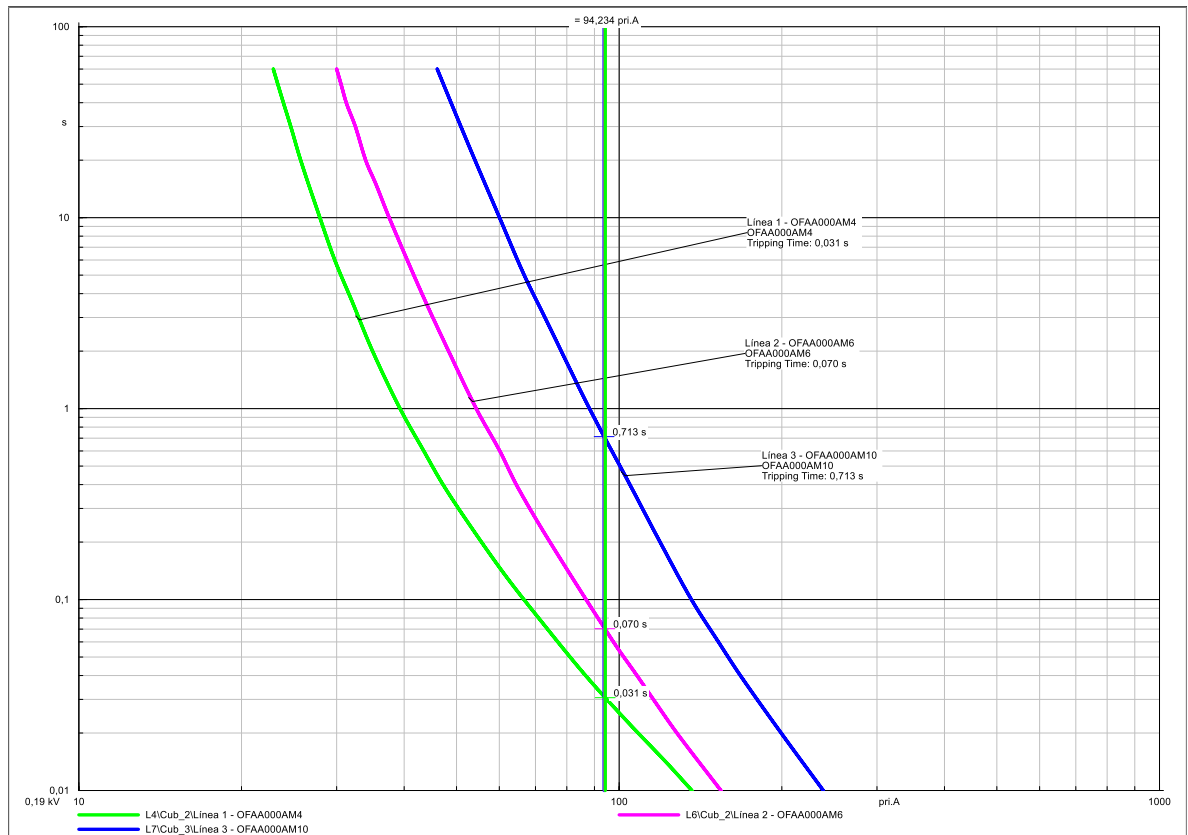


Figura 21. Falla 3F Franca en bornes L2

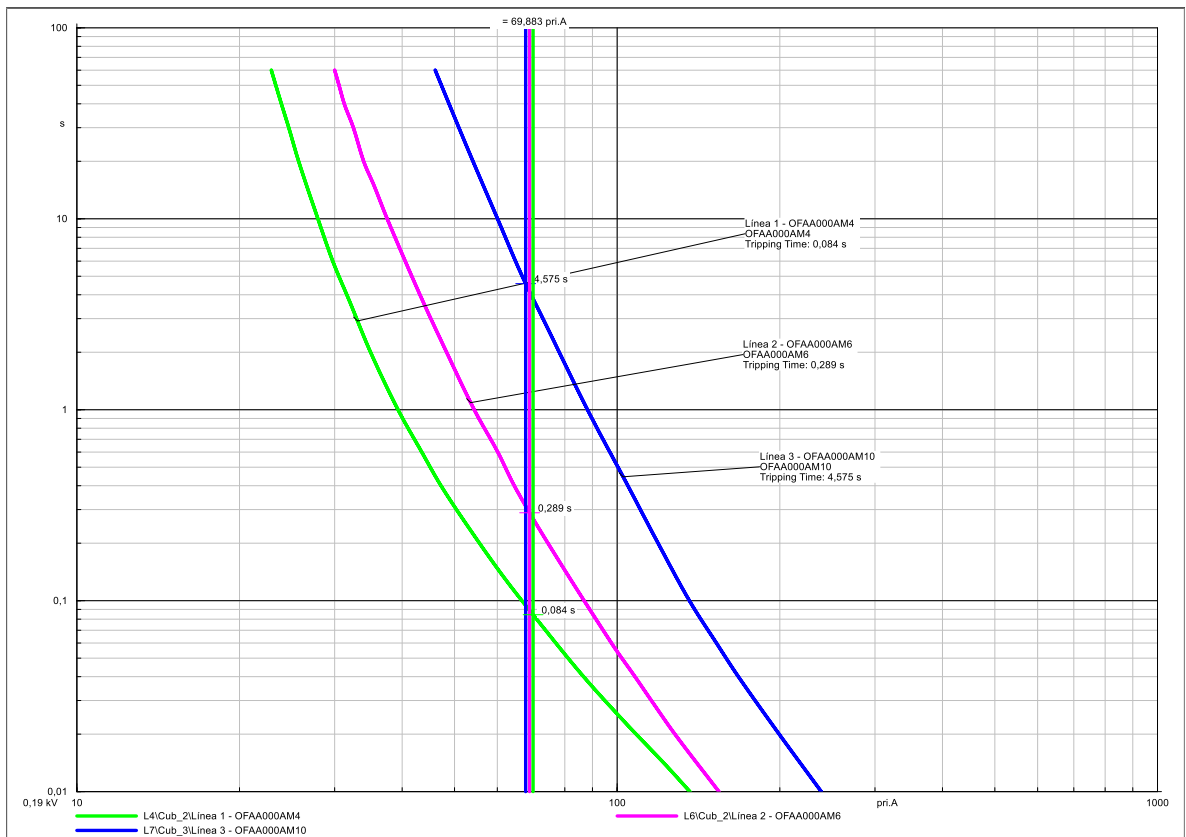


Figura 22. Falla 3F 0,8 Ohm en bornes L2

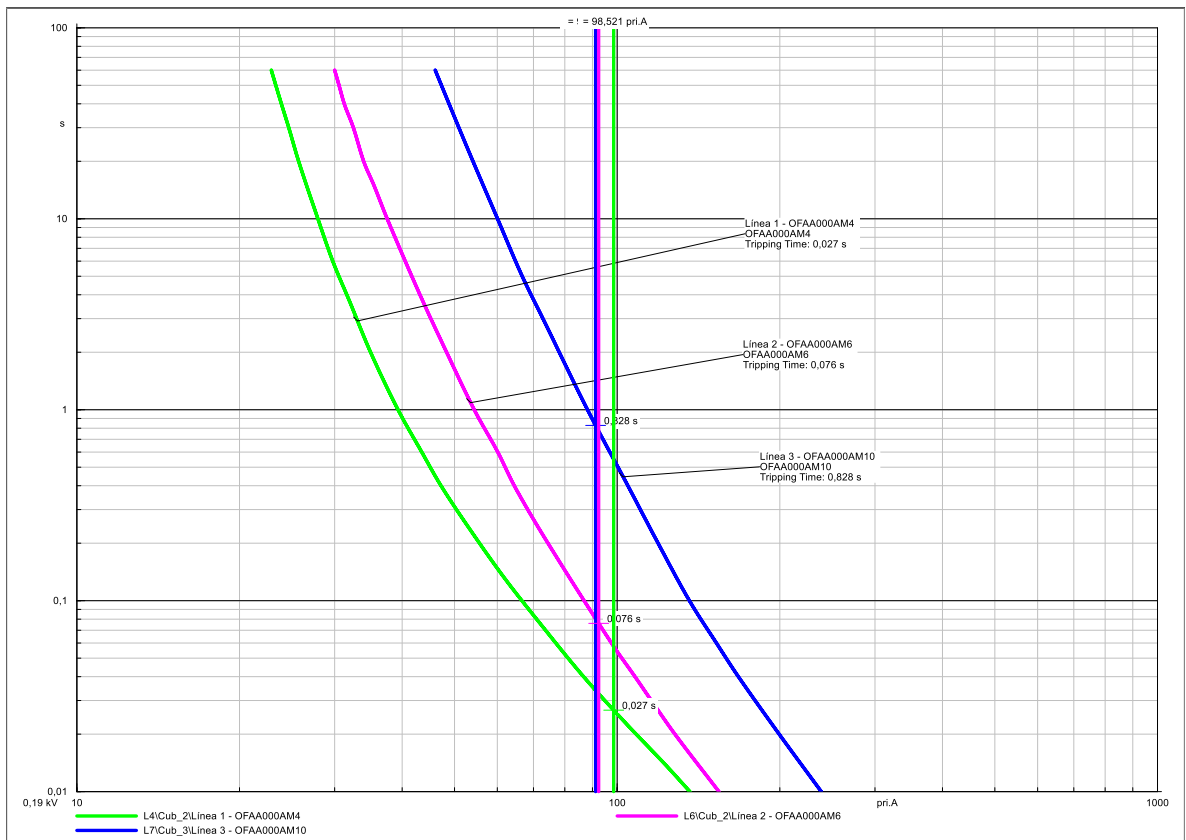


Figura 23. Falla 2FT Franca en bornes L2

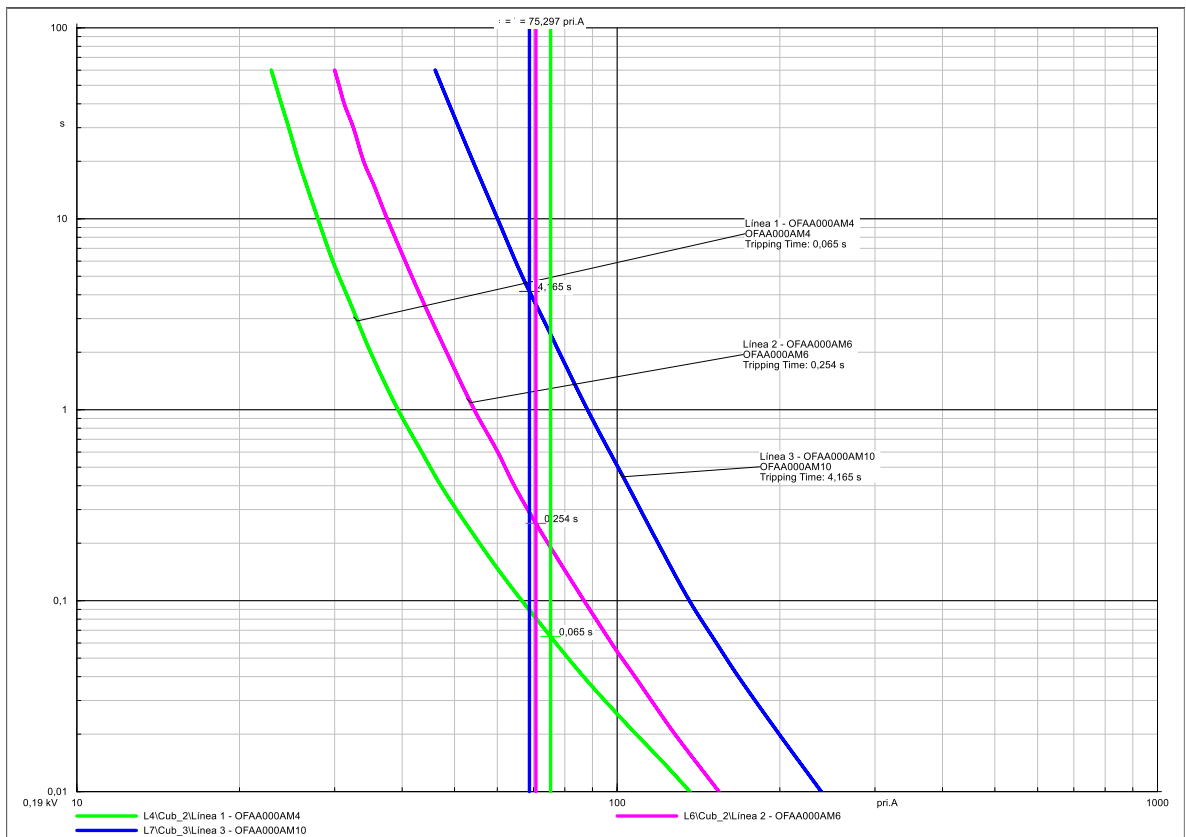


Figura 24. Falla 2FT de 0,7 Ohm en bornes L2

7.1.1.6 SELECTIVIDAD ANTE FALLAS EN BORNES L4

De la Figura 25 a la Figura 28 se presenta el comportamiento de la función sobrecorriente asociada a los fusibles de las líneas 2 y 3 ante fallas trifásicas y bifásicas a tierra francas y con impedancia en bornes del transformador 2 (L4). Ante fallas francas, el fusible asociado a la línea 2, actúa en un tiempo aproximado de 14 ms. Sin embargo, se evidencia un margen de coordinación estrecho con el fusible de la línea 3. No obstante, ante fallas con impedancia, se observa una coordinación adecuada entre el fusible de la línea 2 y el fusible de la línea 3, con márgenes de coordinación superiores a 200 ms. Este comportamiento resulta de la reducción de la corriente de falla, que retarda la operación del fusible 3 y permite que el fusible de la línea 2 actúe primero, garantizando la selectividad y la continuidad del servicio en la carga 3.

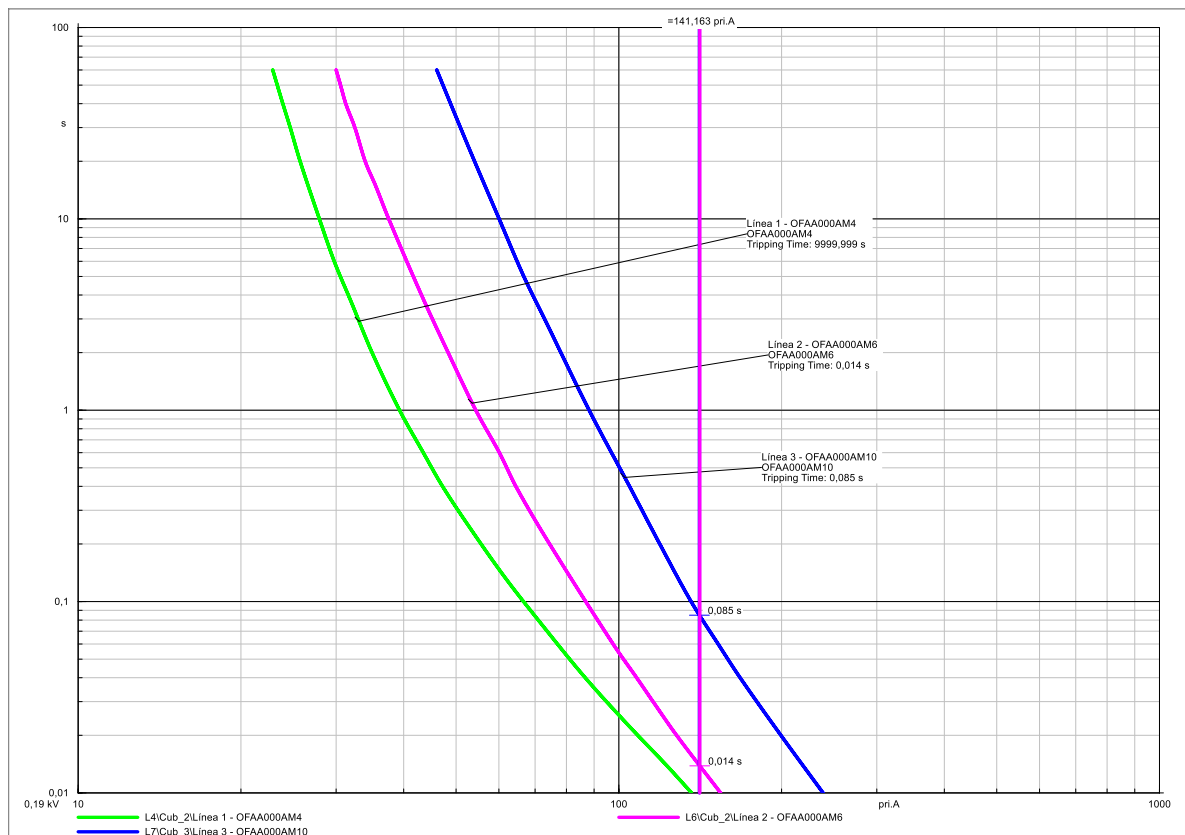


Figura 25. Falla 3F franca en bornes L4

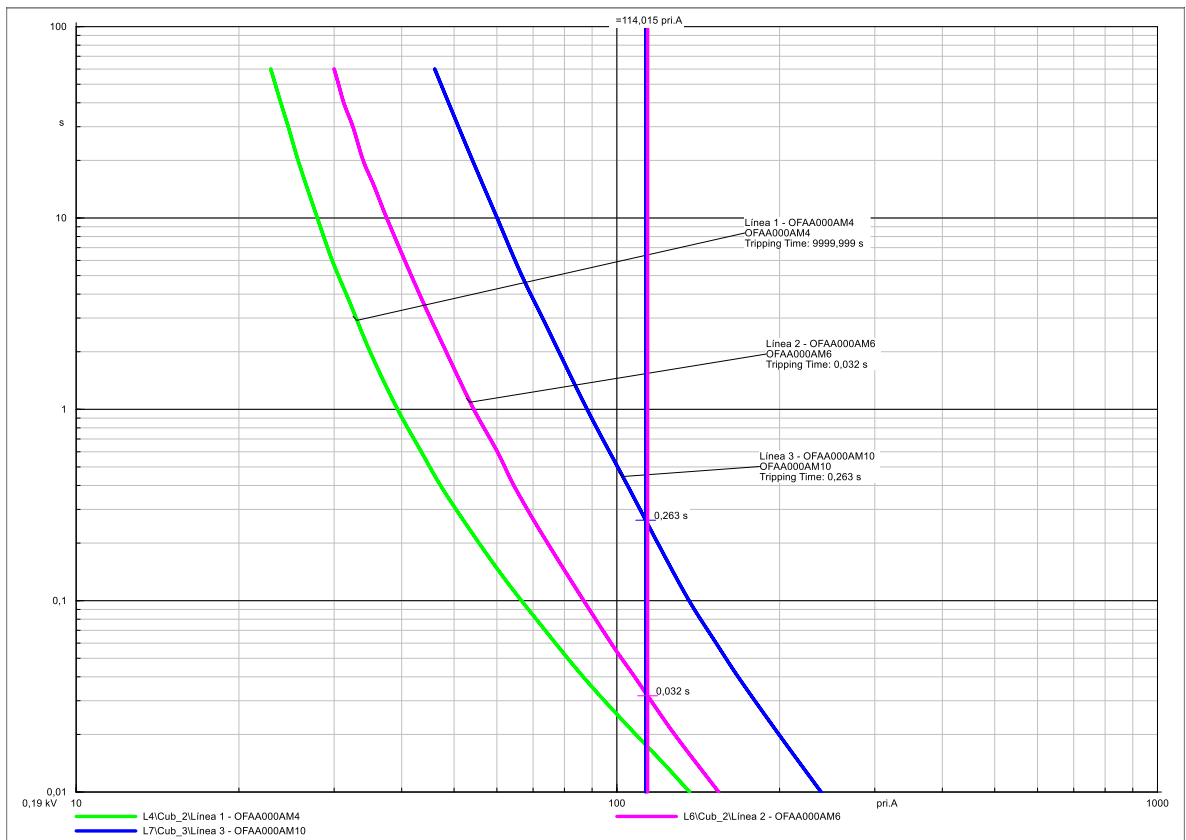


Figura 26. Falla 3F 0,3 Ohm en bornes L4

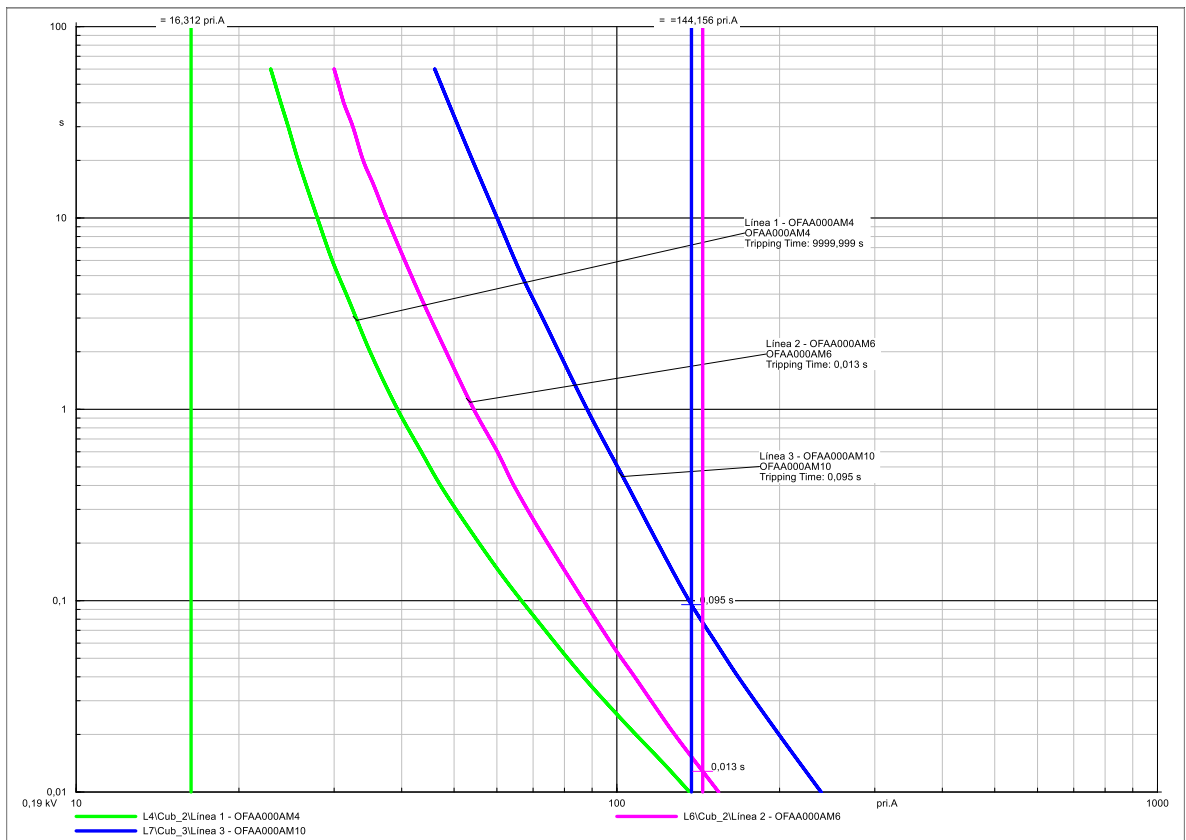


Figura 27. Falla 2FT Franca en bornes L4

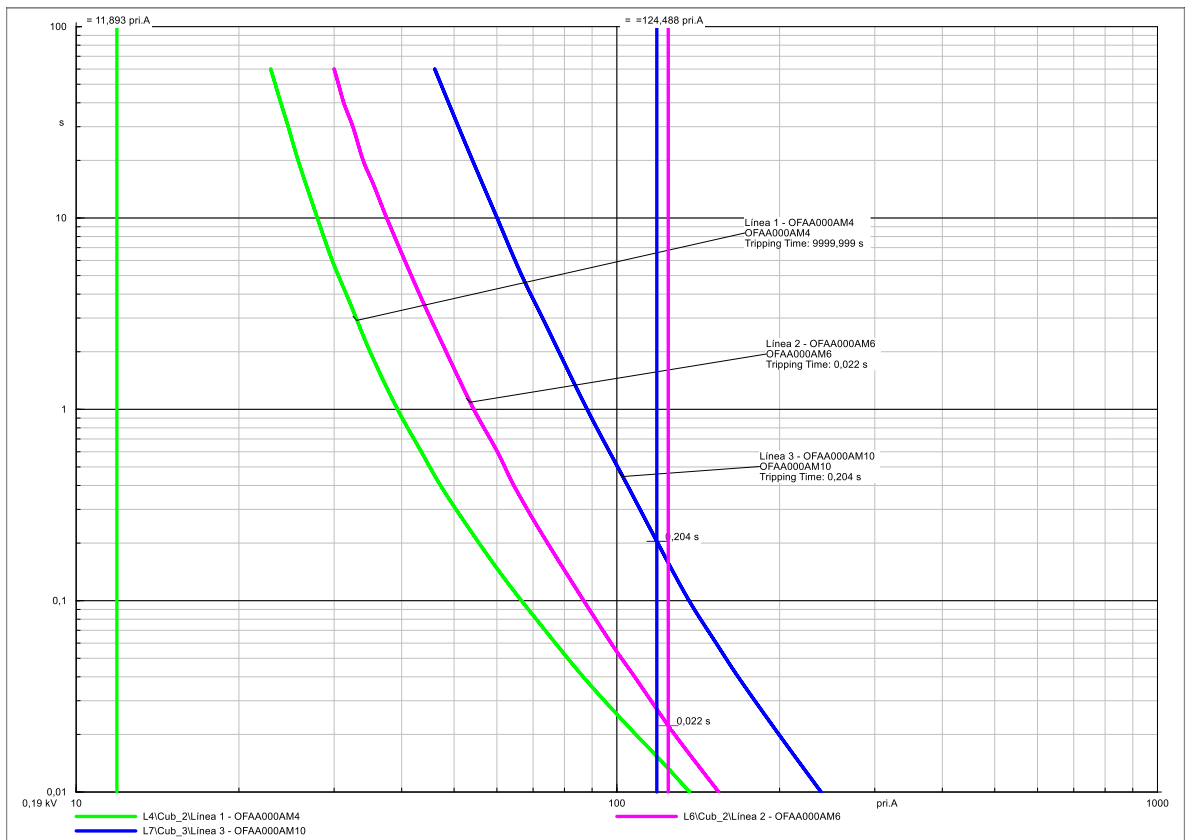


Figura 28. Falla 2FT 0,3 Ohm en bornes L4

7.1.1.7 SELECTIVIDAD ANTE FALLAS EN BORNES L6

De la Figura 29 a la Figura 32, se presenta el comportamiento de la función sobrecorriente asociada al fusible de la línea 3 ante fallas trifásicas y bifásicas a tierra francas y con impedancia en bornes del transformador 3 (L6). Ante las fallas mencionadas, únicamente se presenta operación de la curva de sobrecorriente asociada a la línea 3, dado que no existen dispositivos de protección adicionales aguas arriba dentro del alcance del sistema modelado. Las gráficas correspondientes se incluyen con el propósito de ilustrar los tiempos de operación ante este tipo de fallas, evidenciando tiempos de despeje rápidos por parte del dispositivo de protección instalado.

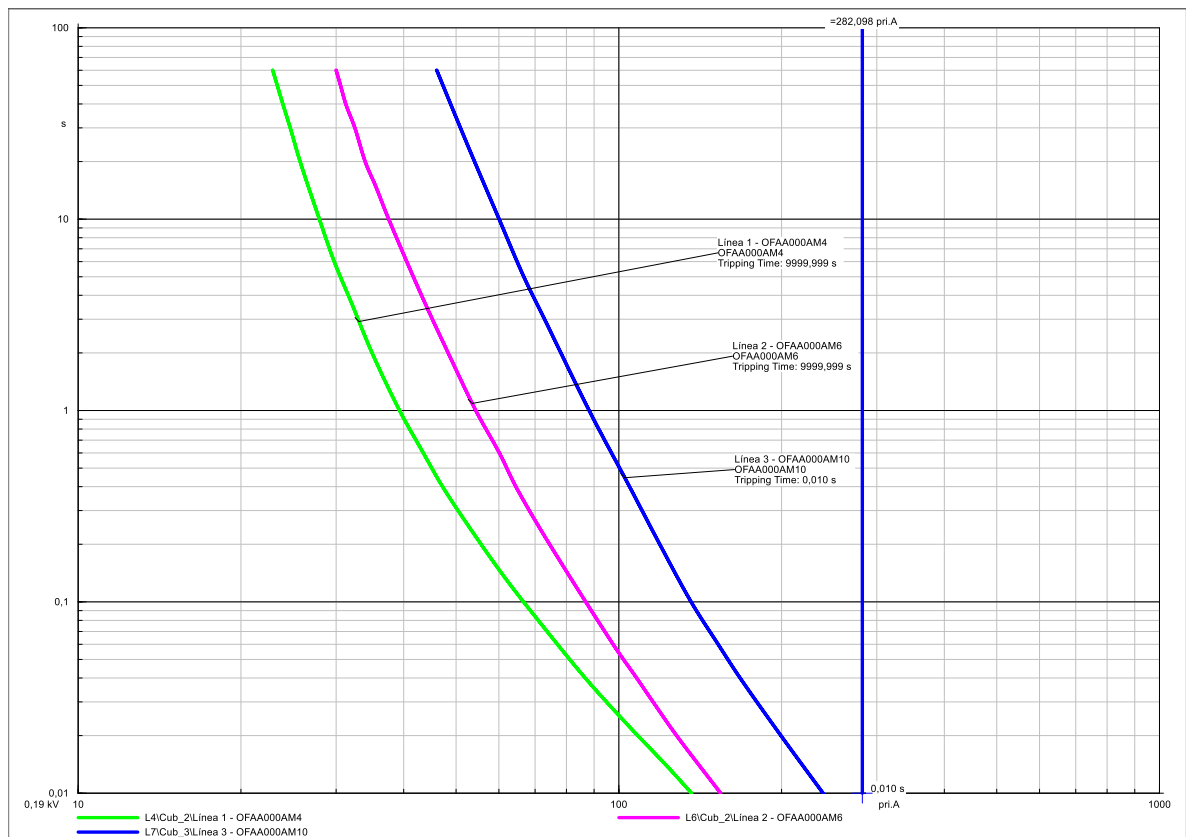


Figura 29. Falla 3F Franca en bornes L6

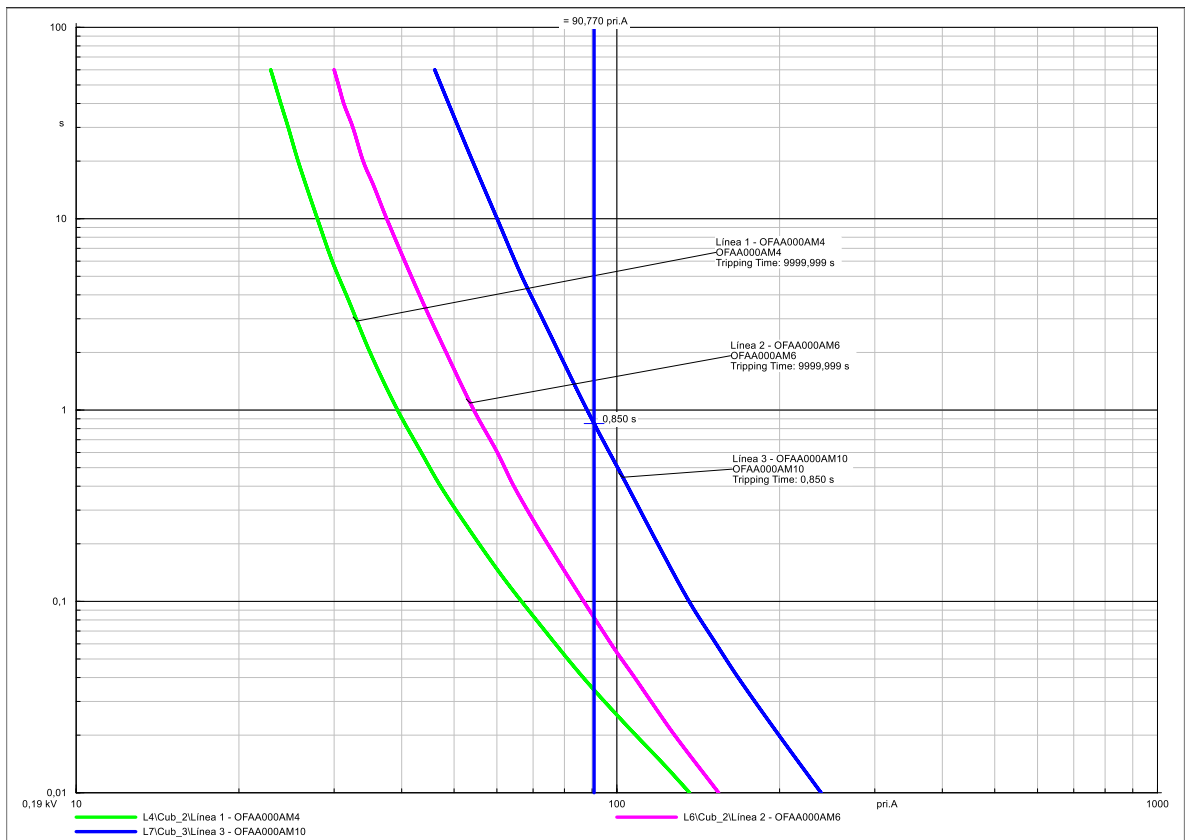


Figura 30. Falla 3F 1 Ohm en bornes L6

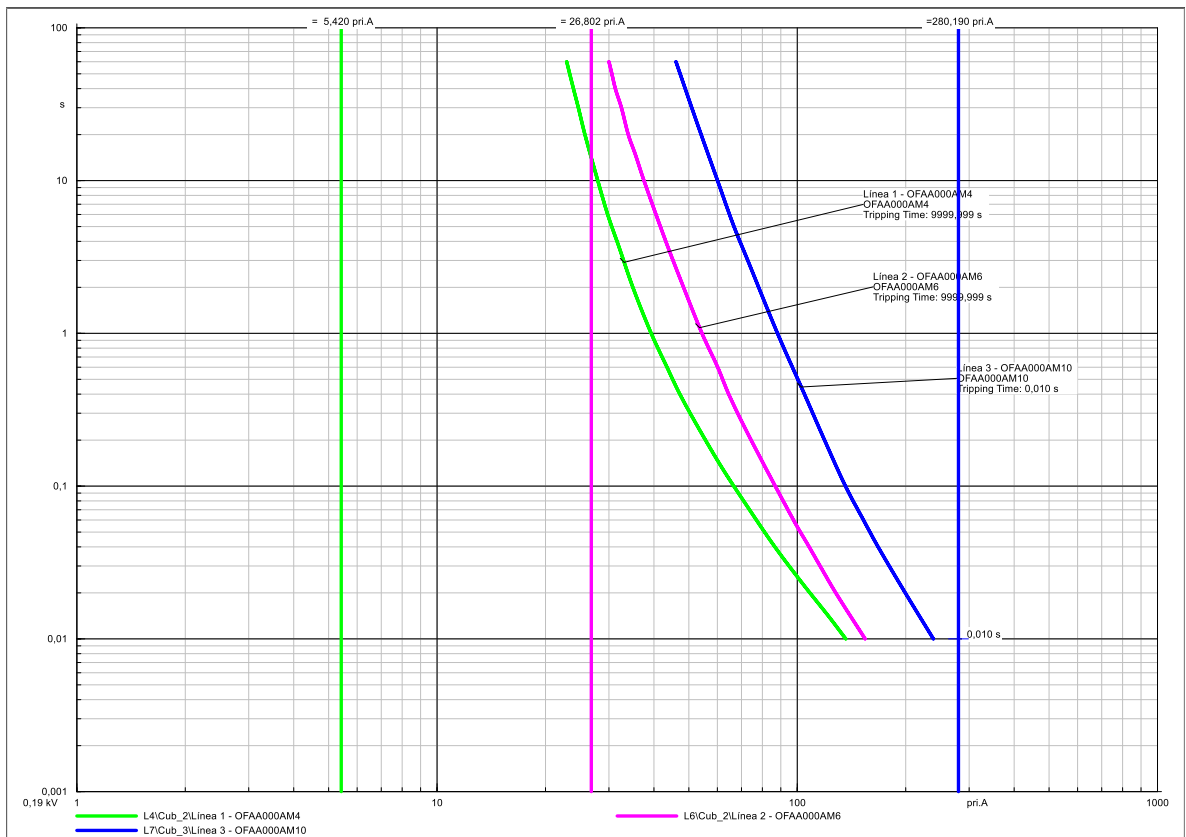


Figura 31. Falla 2FT Franca en bornes L6

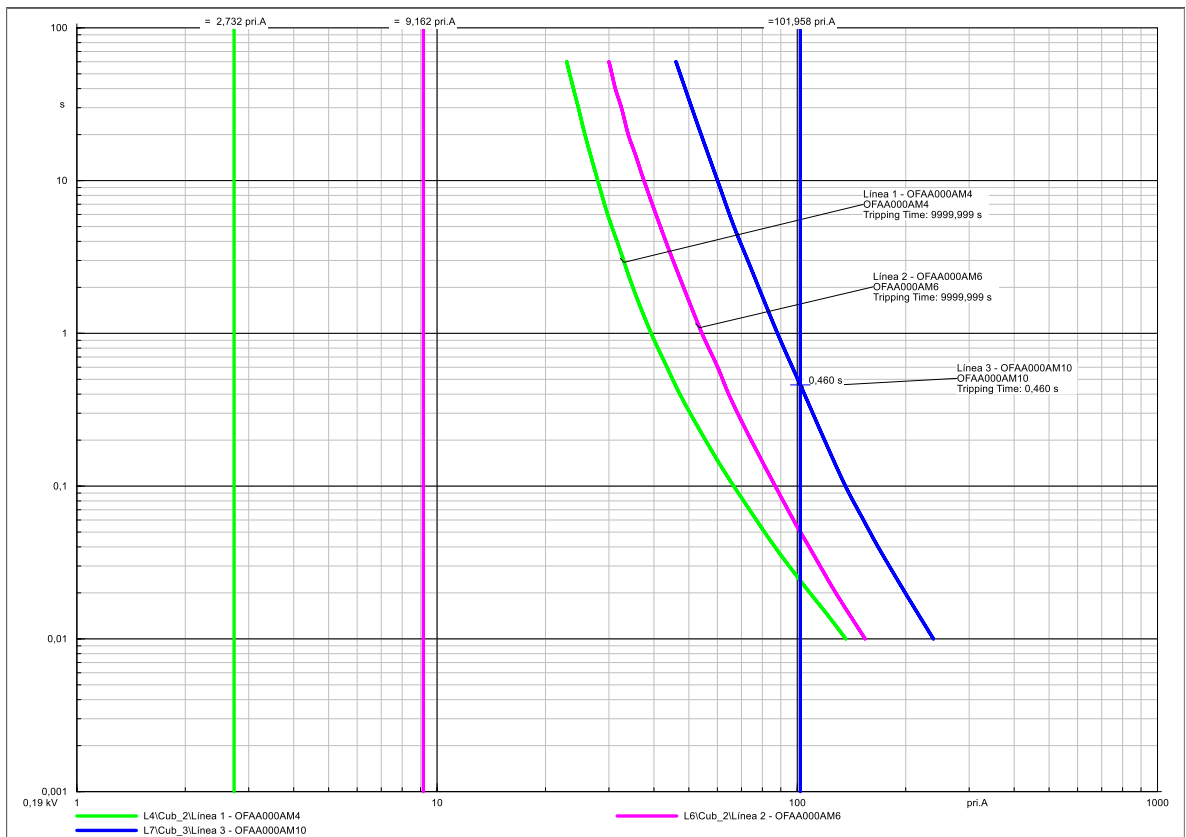


Figura 32. Falla 2FT Franca en bornes L6

8. CONCLUSIONES

Dado el bajo nivel de corriente de carga y cortocircuito de la microrred, se justificó el uso de fusibles para las líneas y mini interruptores para las cargas, en lugar de protecciones más complejas como relés. Esto permite una protección efectiva sin sobredimensionar los dispositivos.

Se comprobó que ante fallas con impedancia, el sistema de protecciones propuesto presenta una adecuada selectividad, con márgenes de coordinación superiores a los 200 ms. Sin embargo, ante fallas francas, los márgenes resultan más estrechos, lo que es inherente a los bajos niveles de impedancia y la rápida respuesta de los dispositivos instalados.

Aunque la microrred es de carácter experimental, el análisis incorporó conceptos aplicables a sistemas reales, como la función sobrecorriente (ANSI 50/51/50N/51N), evidenciando la necesidad de considerar las limitaciones de los inversores al momento de detectar fallas.

El trabajo brinda una base sólida para futuras investigaciones enfocadas en la automatización, control adaptativo y protección avanzada de microrredes, así como para la implementación de estrategias más robustas en redes reales interconectadas al sistema eléctrico nacional.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Rey, J. M., Vera, G. A., Acevedo-Rueda, P., Solano, J., Mantilla, M. A., Llanos, J., & Sáez, D. (2022). A review of microgrids in latin america: Laboratories and test systems. *IEEE Latin America Transactions*, 20(6), 1000-1011.
- [2] M. Hamidieh and M. Ghassemi, "Microgrids and Resilience: A Review," in *IEEE Access*, vol. 10, pp. 106059-106080, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3211511.
- [3] IEEE Std 1547-2018, IEEE Standard for Interconnection and Interoperability of Distributed Energy Resources with Associated Electric Power Systems Interfaces, IEEE Standards Association, 2018.
- [4] IEC 61850:2025 SER, Communication networks and systems for power utility automation – all parts, International Electrotechnical Commission, 2025.
- [5] M MFarrokhhabadi et al., "Microgrid Stability Definitions, Analysis, and Examples," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 35, no. 1, pp. 13–29, Jan. 2020, doi: 10.1109/TPWRS.2019.2925703.
- [6] D. T. Ton and M. A. Smith, "The U.S. Department of Energy's Microgrid Initiative," *Electr. J.*, vol. 25, no. 8, pp. 84–94, Oct. 2012, doi: 10.1016/j. tej.2012.09.013.
- [7] E. Franco-Mejia, R. A. Plazas-Rosas, A. Gil-Caicedo, R. Franco-Manrique, and E. Gomez-Luna, "Pilot nanogrid at Universidad del Valle, for research and training in control and management of electrical networks in non-interconnected areas," in *2017 IEEE 3rd Colombian Conference on Automatic Control (CCAC)*, Oct. 2017, pp. 1–6, doi: 10.1109/CCAC.2017.8276487.
- [8] E. Espina et al., "Experimental Hybrid AC/DC-Microgrid Prototype for Laboratory Research," in *2020 22nd European Conference on Power Electronics and Applications (EPE'20 ECCE Europe)*, Sep. 2020, pp. 1–9, doi: 10.23919/EPE20ECCEEurope43536.2020.9215751.
- [9] EM. C. B. P. Rodrigues, P. M. De Almeida, P. Almeida, and R. L. Valle, "Microrredes Híbrida Cc / Ca Baseada Em Fontes De Energia Renovável Aplicada a um Edifício Sustentável," *XIX Congr. Bras. Automática, CBA*, no. January, 2012.
- [10] S. Resch, S. Och, and M. Luther, "Conception, modelling approach and practical implementation of a hybrid laboratory-based microgrid," *NEIS 2018 - Conf. Sustain. Energy Supply Energy Storage Syst.*, pp. 231–236, 2020.
- [11] A. Cagnano, E. De Tuglie, and L. Cicognani, "Prince — Electrical Energy Systems Lab," *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 148, pp. 10–17, Jul. 2017, doi:10.1016/j.eprs.2017.03.011.
- [12] J. F. G. García, "Estudio de capacidades de una microrred de laboratorio".

- [13] IEEE Std 1547.2-2023, IEEE Application Guide for IEEE Std 1547-2018, IEEE Standard for Interconnection and Interoperability of Distributed Energy Resources with Associated Electric Power Systems Interfaces”.
- [14] IEC 61850: Communications, networks and systems in substations (comunicaciones, redes y sistemas en las subestaciones), internacional Standard, 2003.
- [15] A. Sing, D. Lei, A. Kumar, R. Singh, and N. Meena, *Microgrid: Operation, Control, Monitoring and Protection*. Springer Nature, 2020.
- [16] M. Restrepo, C. A. Cañizares, J. W. Simpson-Porco, P. Su, and J. Taruc, “Optimization- and Rule-based Energy Management Systems at the Canadian Renewable Energy Laboratory microgrid facility,” *Appl. Energy*, vol. 290, May 2021, doi: 10.1016/j.apenergy.2021.116760.
- [17] M. Beus, F. Banis, H. Pandžić, and N. K. Poulsen, “Three-level hierarchical microgrid control—model development and laboratory implementation,” *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 189, Dec. 2020, doi: 10.1016/j.epsr.2020.106758.
- [18] E. Prieto-Araujo, P. Olivella-Rosell, M. Cheah-Mañe, R. Villafafila-Robles, and O. Gomis-Bellmunt, “Renewable energy emulation concepts for microgrids,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 50, pp. 325–345, 2015, doi: 10.1016/j.rser.2015.04.101.
- [19] A. S. Vijay, S. Doolla, and M. C. Chandorkar, “Real-Time Testing Approaches for Microgrids,” *IEEE J. Emerg. Sel. Top. Power Electron.*, vol. 5, no. 3, pp. 1356–1376, 2017, doi: 10.1109/JESTPE.2017.2695486.
- [20] J. F. García García, *Estudio de capacidades de una microrred de laboratorio*, Tesis de Maestría, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia, 2024.
- [21] Ministerio de Minas y Energía, *Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas – RETIE*, Colombia: Ministerio de Minas y Energía, Resolución 40251, 2022.
- [22] Compañía Energética de Occidente, *GUIA DE AJUSTE PARA COORDINACIÓN DE PROTECCIONES*, Revisión 03, 2023.
- [23] ABB, “FuseLine OFAF and OFAA DIN-type gG and aM fuse links,” *Catálogo técnico*, ABB, 2021.
- [24] ABB, “System pro M compact Miniature Circuit Breakers S200, S200P, S200U, S200UP,” *catálogo*, p. 24, 11-dic-2024