

# PROYECTO FINAL DE GRADO



PROPUESTA DE ESQUEMAS ANTE FALLAS DE SISTEMA DE CORRIENTE CONTINUA DE ROTECCION Y CONTROL EN LA ESTACIÓN SANTA ROSA DE LA ANDE

AUTOR: LUIS RAFAEL AGUILERA SANCHEZ

# Planteamiento del problema

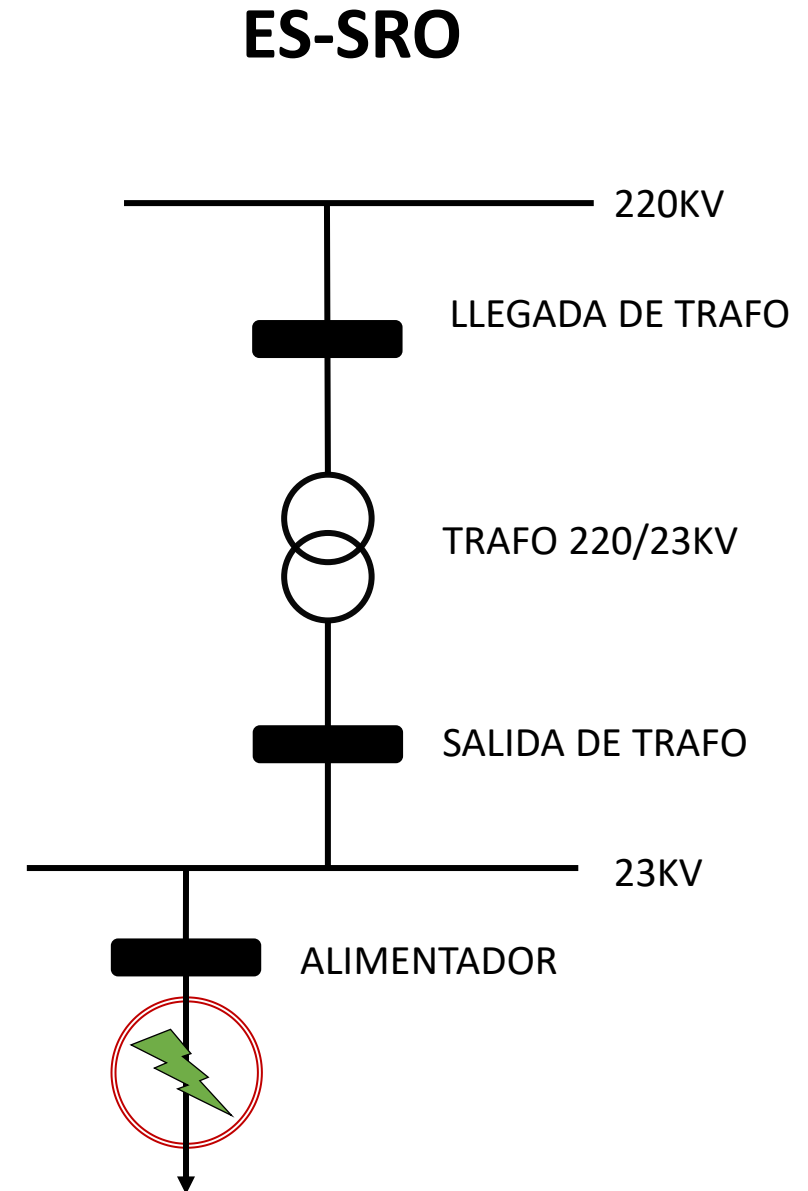
Según el Departamento de Protecciones de la ANDE, en los últimos años hemos tenido varios eventos en barras de 23 kV en las distintas subestaciones del Sistema eléctrico nacional que han derivado en importantes y prolongados fuera de servicio los cuales se detallan en la Tabla 1 [4].

Subestación/Fecha	Evento	Causas	Subestación/Fecha	Evento	Causas
1. Lambaré Febrero/2016	Incendio de 3 barras de 23kV	Falla en la barra de 23 kV y pérdida de fuente de alimentación de corriente continua (DC)	5. Parque Caballero Julio/2019	Explosión e incendio de un interruptor, transformadores de corriente, avería en banco de transformadores y barras de 66 kV	Falla en la operación del interruptor de 66 kV y pérdida del sistema de alimentación CC. Los equipos en la posición afectada no se encontraban conectados al Sistema de Puesta a Tierra de la Subestación.
2. San Lorenzo Febrero/2016	Incendio de 4 barras de 23 kV, y todo el cableado del sistema de protección, control y medición.	Sobrecalentamiento e incendio de conductores subterráneos de 23 kV por puntos calientes en conexiones de disyuntores del alimentador de distribución.	6. Tres Bocas Agosto/2019	Incendio de una barra de 23 kV	Falla del interruptor de 23 kV y pérdida del suministro de energía de corriente continua (DC) de la Subestación.
3. Luque Octubre/2016	Incendio de 2 barras de 23 kV y de un transformador de potencia	Falla en interruptor y barra de 23 kV, pérdida del sistema de alimentación CC y CA. Sistema de puesta a tierra con problema de equipotencialidad y alta resistencia de la malla de puesta a tierra.	7. Capiatá Febrero/2020	Incendio de una barra de 23 kV	Sobrecalentamiento e incendio en el conductor de salida de uno de los alimentadores de 23 kV debido a un punto caliente en conexión con el interruptor de salida.
4. Tres Bocas Enero/2017	Incendio de 3 barras de 23 kV y de un transformador de potencia	Falla en barra de 23 kV y pérdida del suministro de energía de corriente continua (CC).	8. Santa Rosa Mayo/2020	Incendio de una barra de 23 kV	Falla en interruptor de 23 kV y pérdida del suministro de energía de corriente continua (DC) de la Subestación.

## Planteamiento del problema

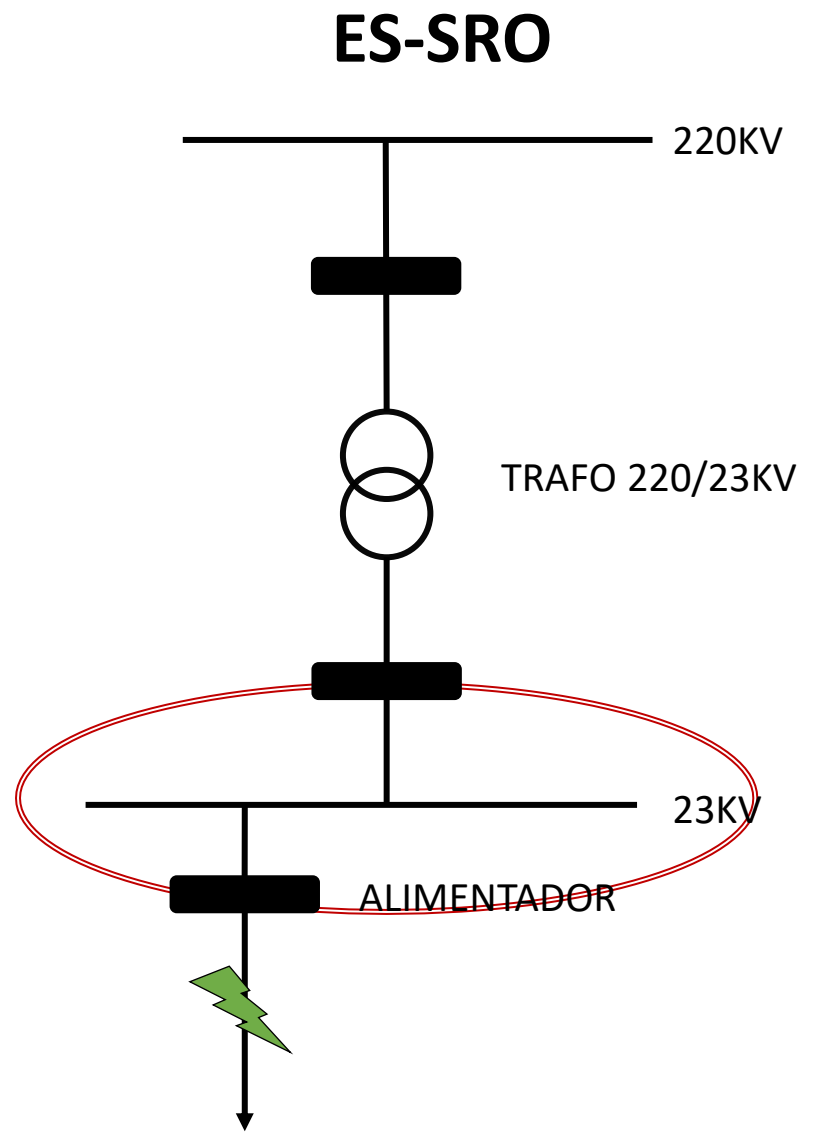
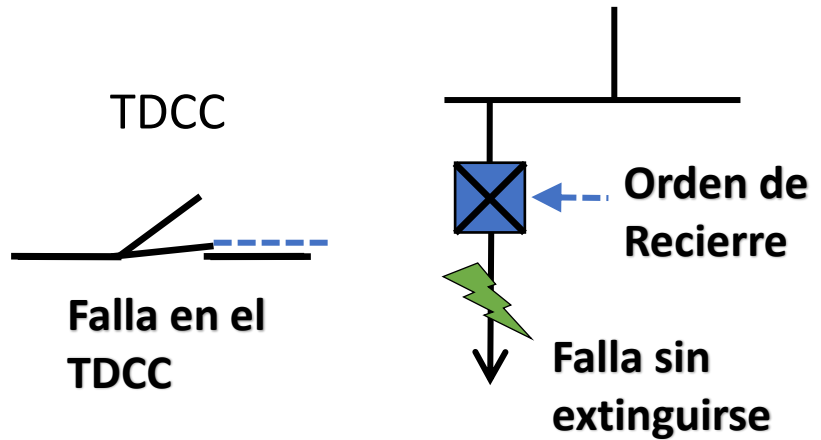
El incendio en la Estación Santa Rosa (ES-SRO) no fue producto de un único evento, sino una desafortunada concatenación de fallas que llevaron a la pérdida de control de la situación. La descripción de los eventos que desencadenaron el incendio se puede resumir en los siguientes puntos [12]:

- **Falla inicial en un alimentador de 23 kV:** Este evento, cuya naturaleza no se detalla en las fuentes, fue el detonante de la cascada de problemas que condujeron al incendio.
- **Operación de las protecciones y apertura del interruptor:** Las protecciones del sistema detectaron la falla en el alimentador y actuaron correctamente abriendo el interruptor asociado para aislar la falla.

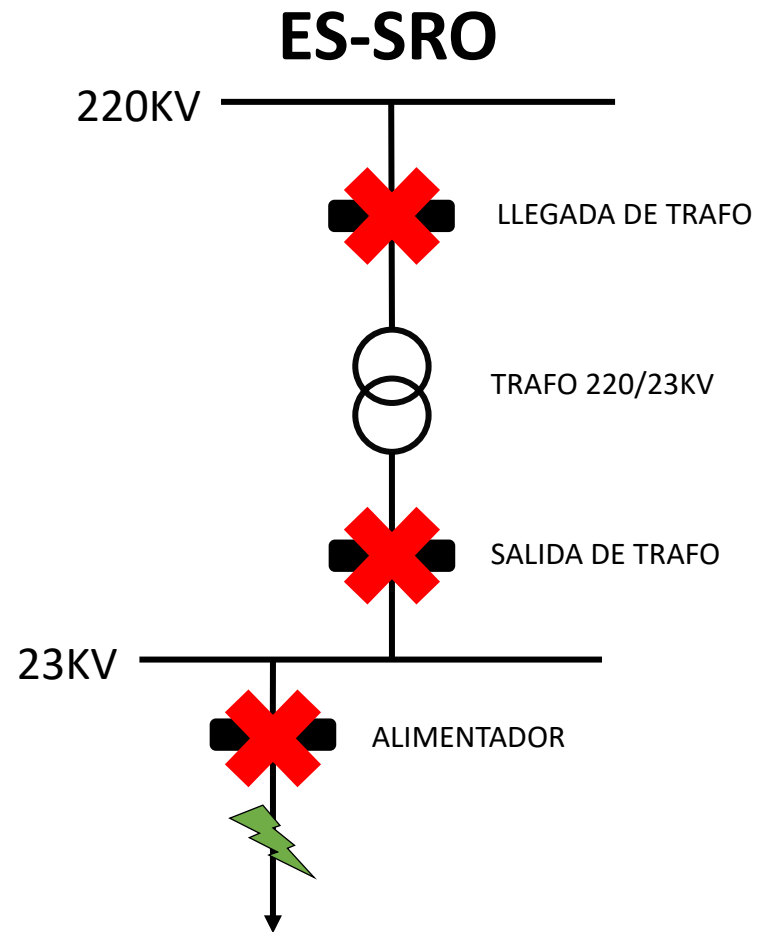


# Planteamiento del problema

- **Falla en el TDCC durante el recierre:** Al intentar restablecer el servicio mediante un recierre automático, se produjo una falla en el Tablero de Corriente Continua (TDCC).
- **Pérdida de corriente continua en la barra de 23 kV:** La falla en el TDCC provocó la operación de la termomagnética que alimentaba la barra de 23 kV, dejándola sin corriente continua.
- **Falla del respaldo de la protección 50/51:** Ante la falta de corriente continua en la barra de 23 kV, la protección 50/51 del lado de 220 kV debía actuar como respaldo. Sin embargo, el auxiliar de disparo de esta protección estaba dañado, impidiendo su correcta operación.



## Planteamiento del problema



### RESULTADO:

- **Incendio masivo:** La incapacidad para despejar la falla, debido a la falta de corriente continua y la falla en la protección de respaldo, provocó que la situación se saliera de control, culminando en un incendio masivo en la Estación Santa Rosa.

# Objetivos

## Objetivo general

- Proponer esquemas ante fallas de sistemas auxiliares de corriente continua en la Estación Santa Rosa de la ANDE.

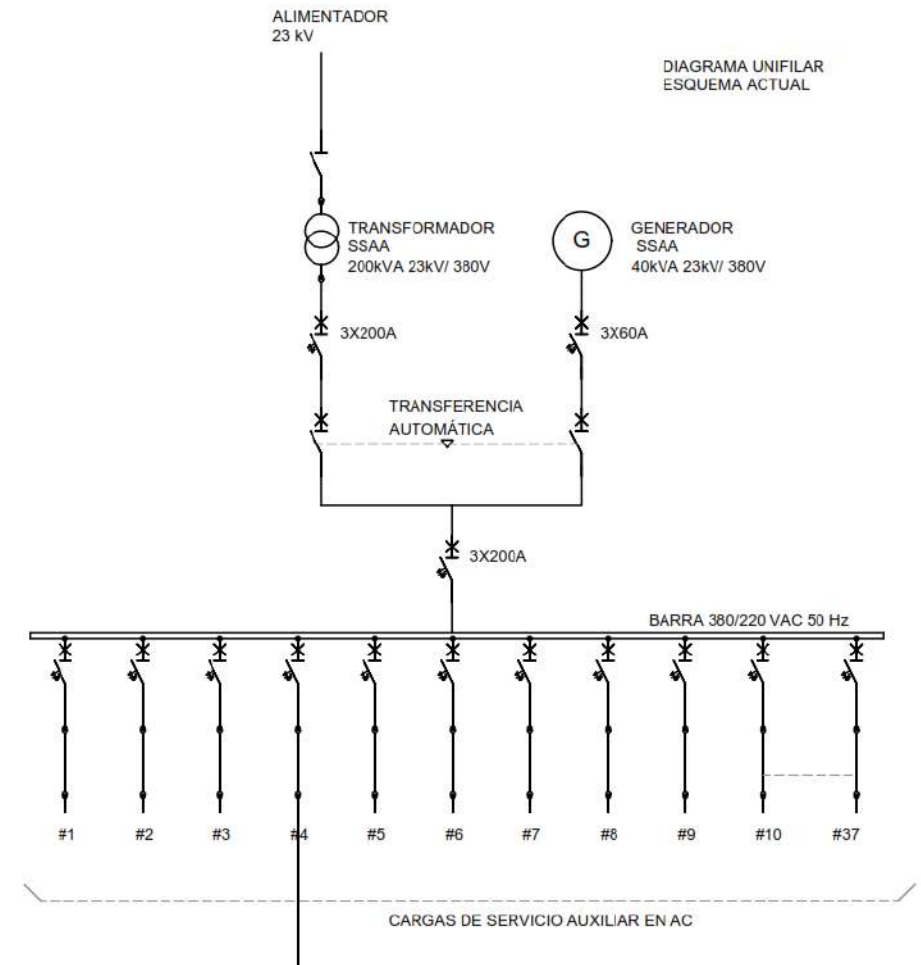
### Objetivos específicos

- Analizar la causa de incendio y el esquema de sistemas auxiliares actual de la ES-SRO.
- Determinar los esquemas de protección y alimentación de los equipamientos del sistema de corriente continua que nos permita mejorar la confiabilidad y seguridad.
- Elaborar esquemas de sistemas auxiliares de corriente continua de alta disponibilidad.
- Realizar un presupuesto de las alternativas.
- Realizar el análisis comparativo de los esquemas propuestos.

# ESQUEMA ACTUAL DE LA ES-SRO

## Sistemas auxiliares en corriente alterna (CA)

- **Un solo transformador de 200 kVA de Servicios Auxiliares (SSAA):** Una falla en este transformador dejaría sin alimentación a todo el sistema de corriente continua.
- **Un generador de 40 kVA.**
- **Barra de TDCA única para cargas esenciales y no esenciales:** No existe una segregación de cargas, lo que significa que una falla en una carga no esencial puede afectar el suministro a cargas críticas.

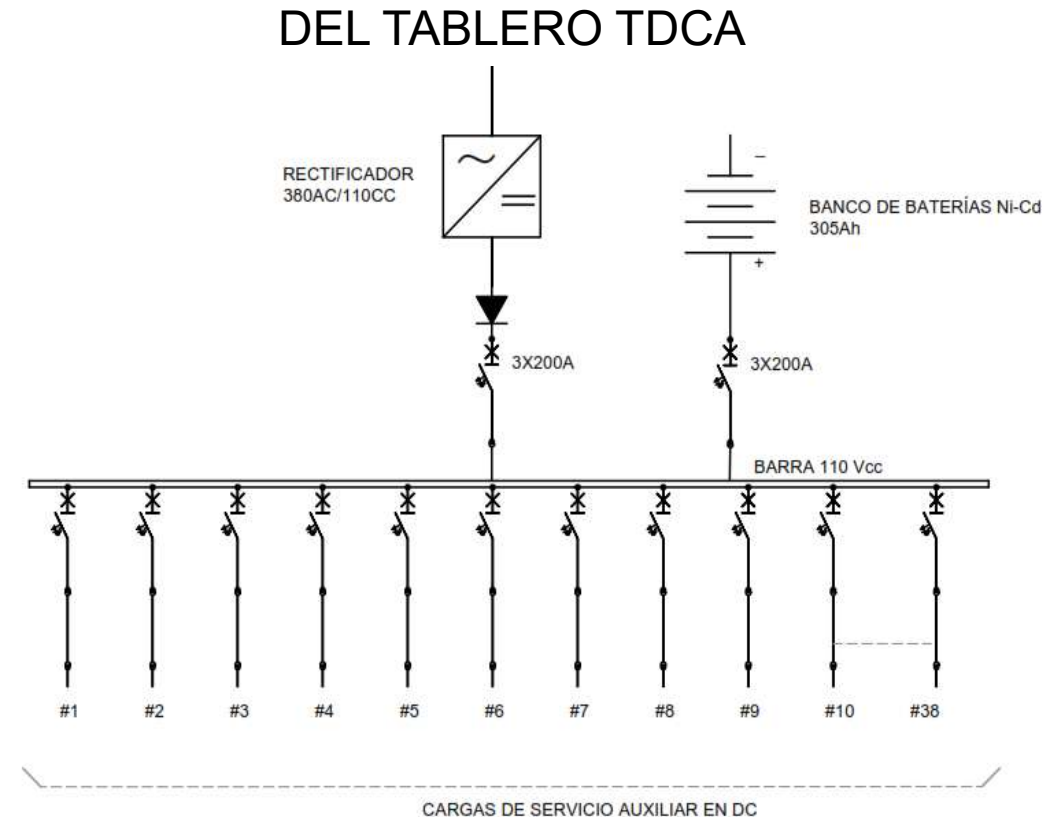


AL TABLERO TDCC

# ESQUEMA ACTUAL DE LA ES-SRO

## Sistemas auxiliares en corriente continua (CC)

- **Un solo rectificador:** Una falla en el rectificador dejaría al sistema dependiente únicamente del banco de baterías, limitando su autonomía.
- **Un solo banco de baterías:** Si el banco de baterías falla o se agota su capacidad, el sistema de corriente continua quedaría completamente inoperativo.
- **Barra de TDCC única.**



# ESQUEMAS PARA LA ES-SRO

**1**

**Barraje de distribución seccionado con dos rectificadores**

**2**

**Dos rectificadores en paralelo y dos bancos de baterías**

**3**

**Rectificador con banco de baterías y sistema fotovoltaico con almacenamiento**

**4**

**Señalización de fallas en sistema de corriente continua**

# 1

## Barraje de distribución seccionado con dos rectificadores

### Descripción

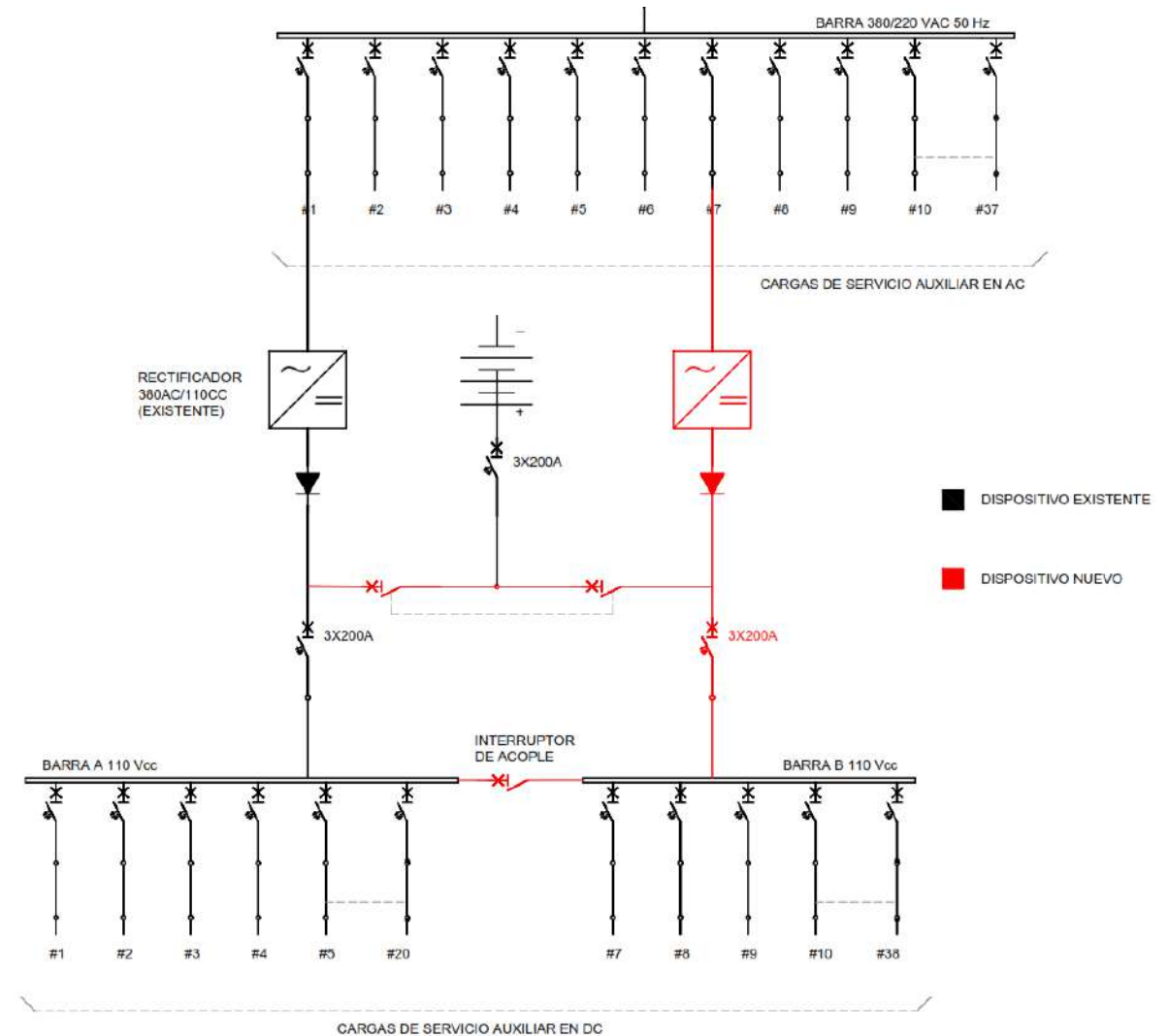
Dos rectificadores alimentan una barra de distribución dividida en dos secciones. Cada sección alimenta un conjunto de cargas.

### Ventajas

- **Mayor confiabilidad:** La redundancia proporcionada por los dos rectificadores y las dos secciones de la barra reduce el riesgo de una interrupción total del suministro de CC.
- **Flexibilidad.**
- **Mantenimiento.**

### Desventajas

- **Costo:** Mayor inversión inicial
- **Complejidad:** Requiere una planificación y un diseño más cuidadosos para garantizar la correcta coordinación entre los dos rectificadores y la protección del sistema.
- **Mayor cantidad espacio.**



# 2

## Dos rectificadores en paralelo y dos bancos de baterías

### Descripción

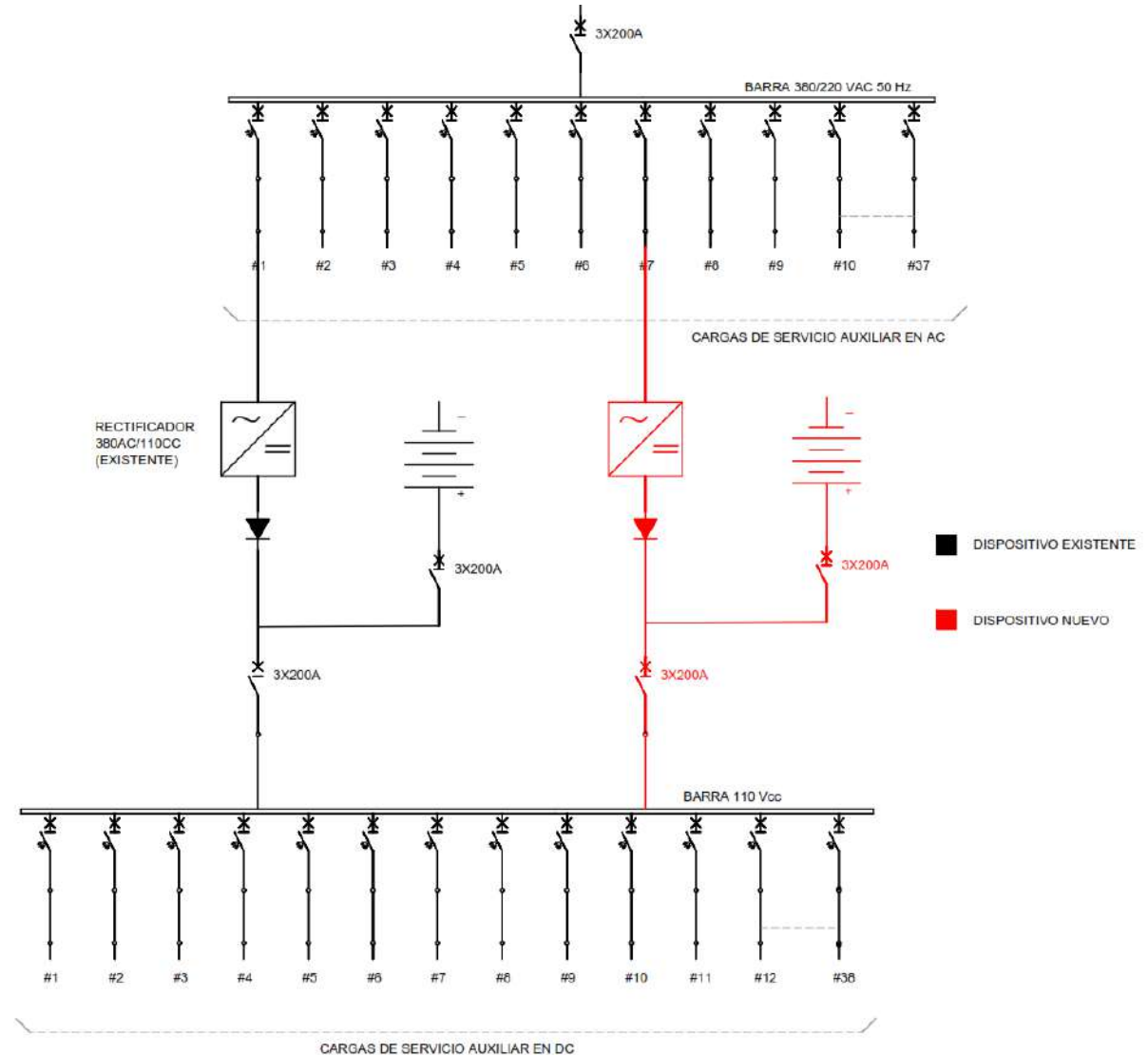
Dos rectificadores en paralelo alimentan una barra de distribución. Cada rectificador tiene su propio banco de baterías.

### Ventajas

- Alta confiabilidad
- Mayor capacidad de carga
- Flexibilidad en el mantenimiento
- Protección contra la propagación de fallas

### Desventajas

- Costo elevado
- Complejidad en el diseño y la coordinación de protecciones
- Requiere mayor espacio físico
- Posible arrastre de fallas entre bancos de baterías
- Sobredimensionamiento de baterías



# 3

## Rectificador con banco de baterías y sistema fotovoltaico con almacenamiento

### Descripción

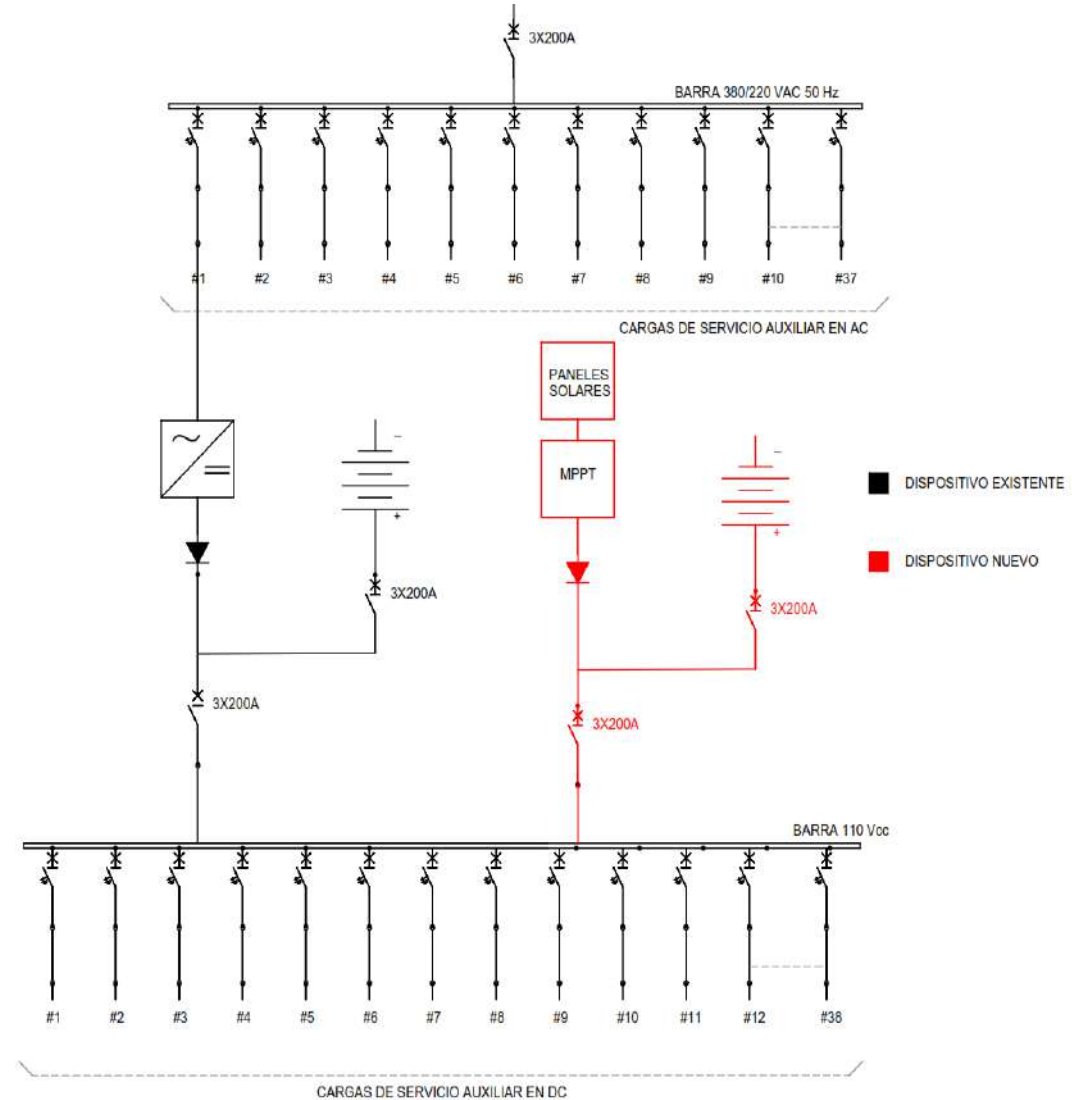
Combina un sistema tradicional de CC con un sistema de energía solar fotovoltaica. Un rectificador alimenta un banco de baterías Ni-Cd y la barra de CC. Un cargador MPPT, conectado a un sistema fotovoltaico, también alimenta la barra de CC.

### Ventajas

- Energía renovable
- Ahorro de energía
- Redundancia

### Desventajas

- Incompatibilidad de las baterías Ni-Cd: No son comunes en sistemas solares, existen alternativas más eficientes.
- Tensión del sistema.
- Mezcla de tecnologías de baterías.



# 4

## Señalización de fallas en sistema de corriente continua

### Descripción

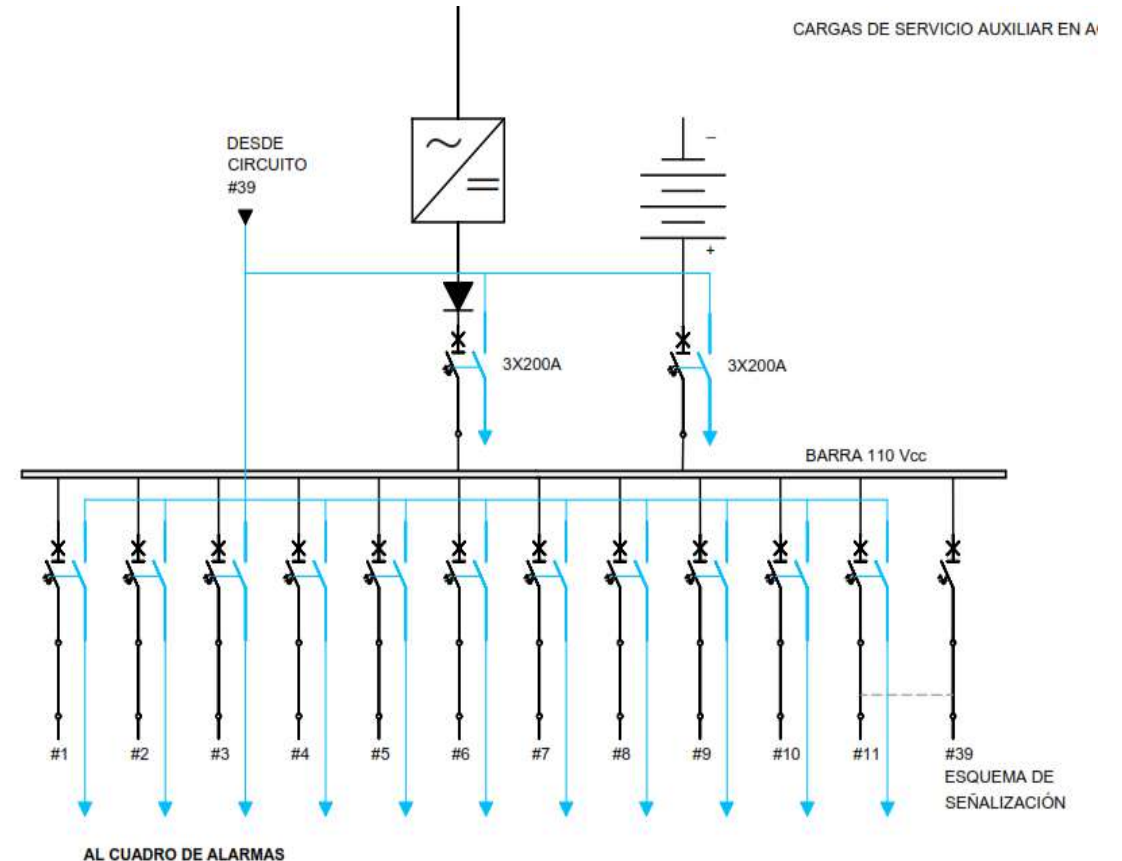
Sistema que monitoriza el estado de los componentes del sistema de CC y emite alarmas en caso de detectar anomalías.

### Ventajas

- Detección temprana de fallas
- Reducción del tiempo de respuesta
- Mayor seguridad
- Mejoras en el mantenimiento

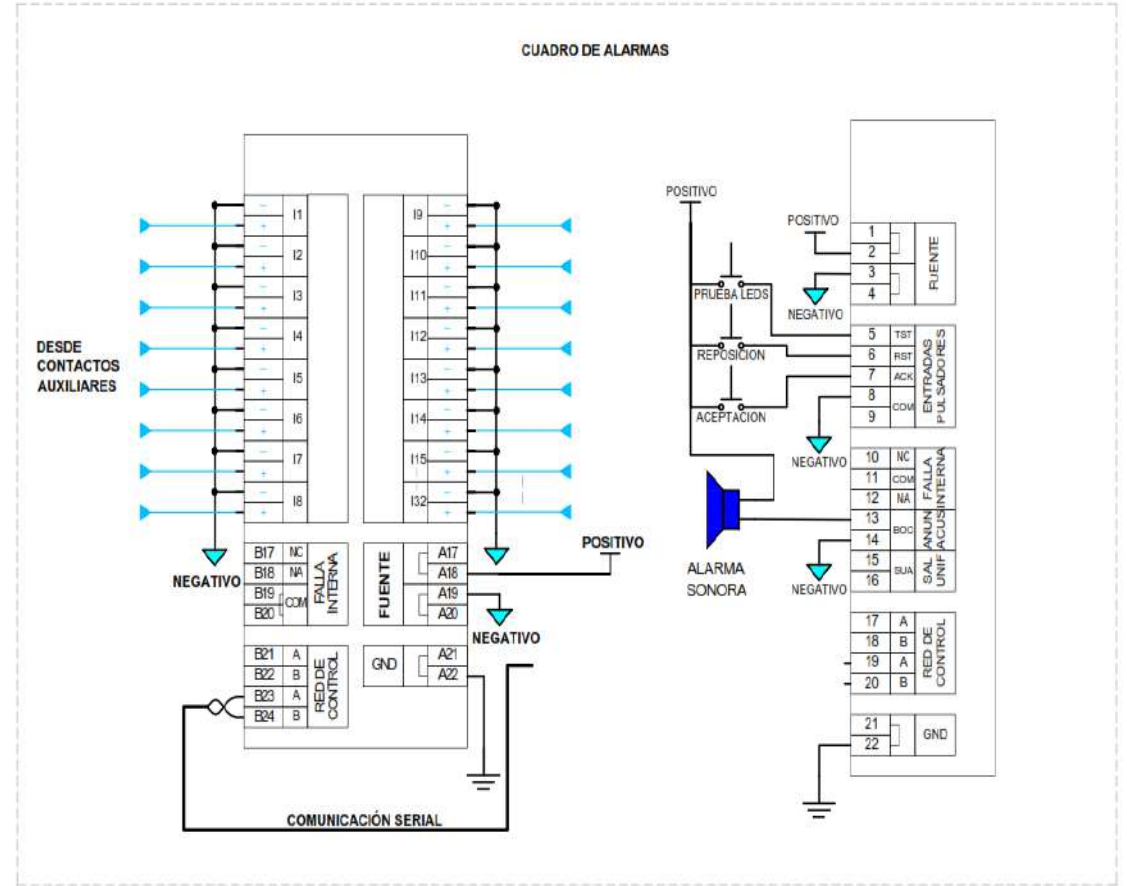
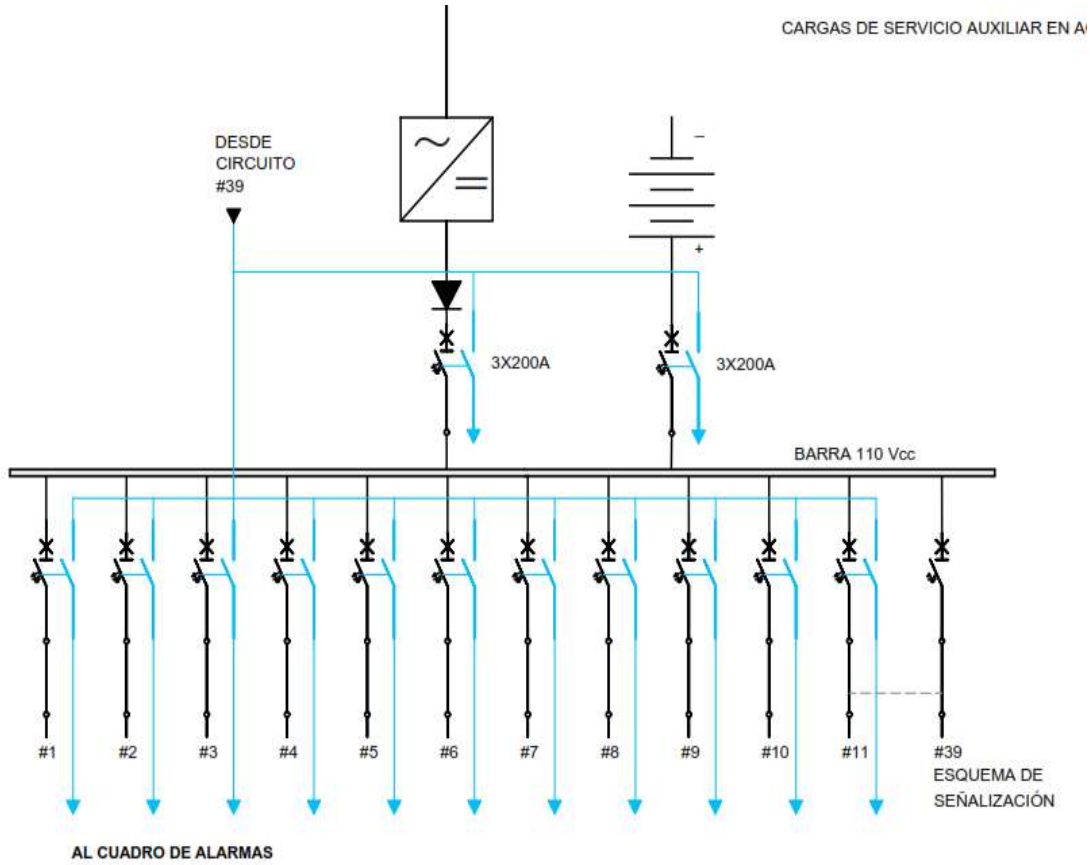
### Desventajas

- Costo adicional
- Complejidad en el diseño e instalación



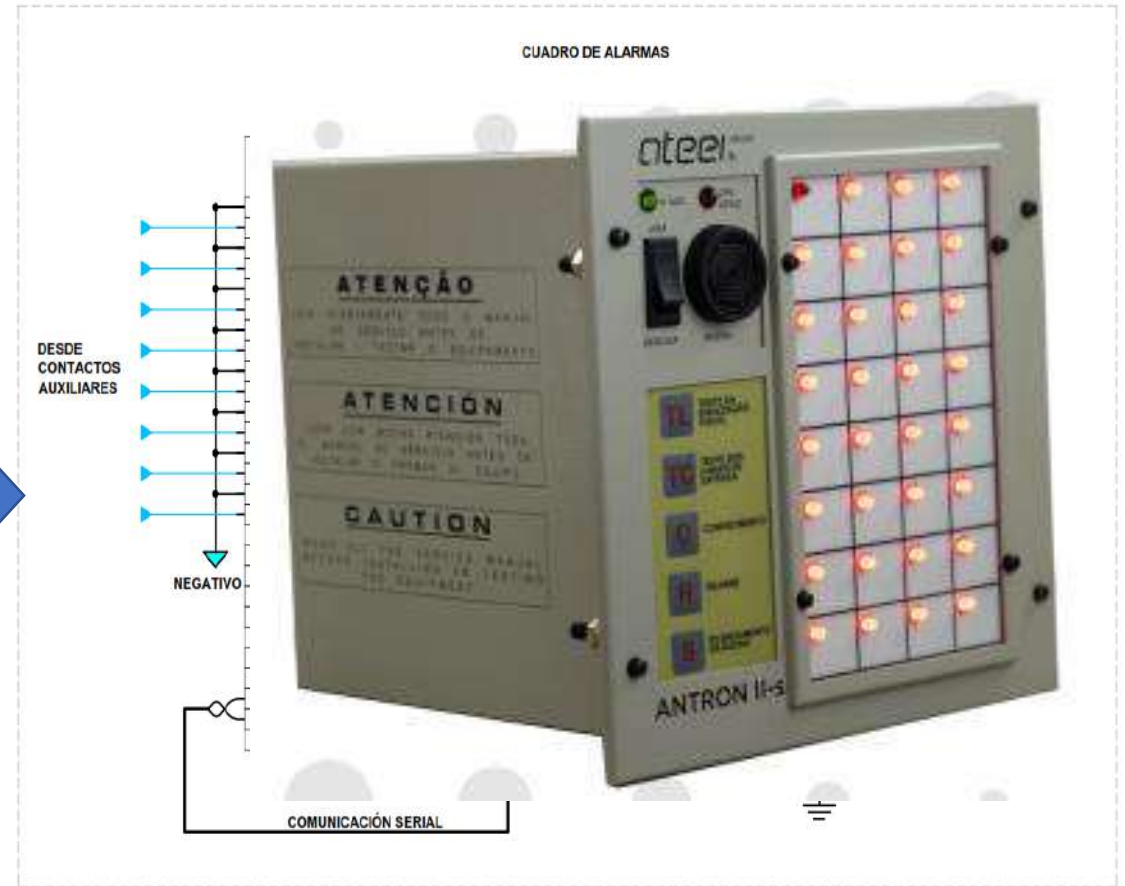
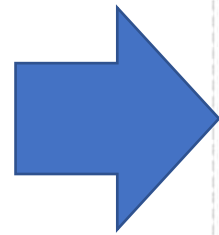
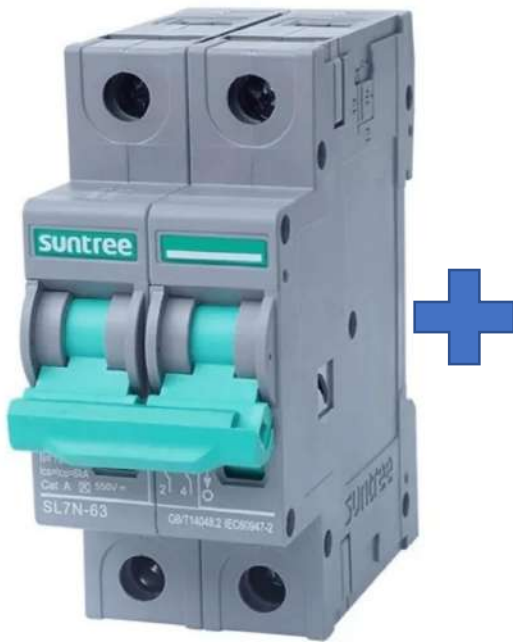
# 4

## Señalización de fallas en sistema de corriente continua



# 4

## Señalización de fallas en sistema de corriente continua



# CRITERIOS DE SELECCIÓN

Para la selección del esquema de sistema de corriente continua más adecuado para la ES-SRO, se propone un criterio que utiliza una escala numérica (de 1 al 5). Siendo:

**5: Excelente 4: Muy bueno 3: Bueno 2: Regular 1: Malo**

<b>Criterio</b>	<b>Descripción</b>
<b>Confiabilidad</b>	Capacidad del sistema para operar de manera continua y sin interrupciones.
<b>Flexibilidad</b>	Capacidad del sistema para adaptarse a cambios en las cargas o requerimientos operativos.
<b>Costo</b>	Inversión inicial y costos de operación y mantenimiento.
<b>Complejidad</b>	Dificultad de diseño, instalación y operación del sistema.
<b>Mantenimiento</b>	Facilidad de realizar tareas de mantenimiento preventivo y correctivo.
<b>Espacio físico</b>	Necesidad de modificar la estructura civil para la instalación del sistema.

# COMPARATIVA DE ALTERNATIVAS

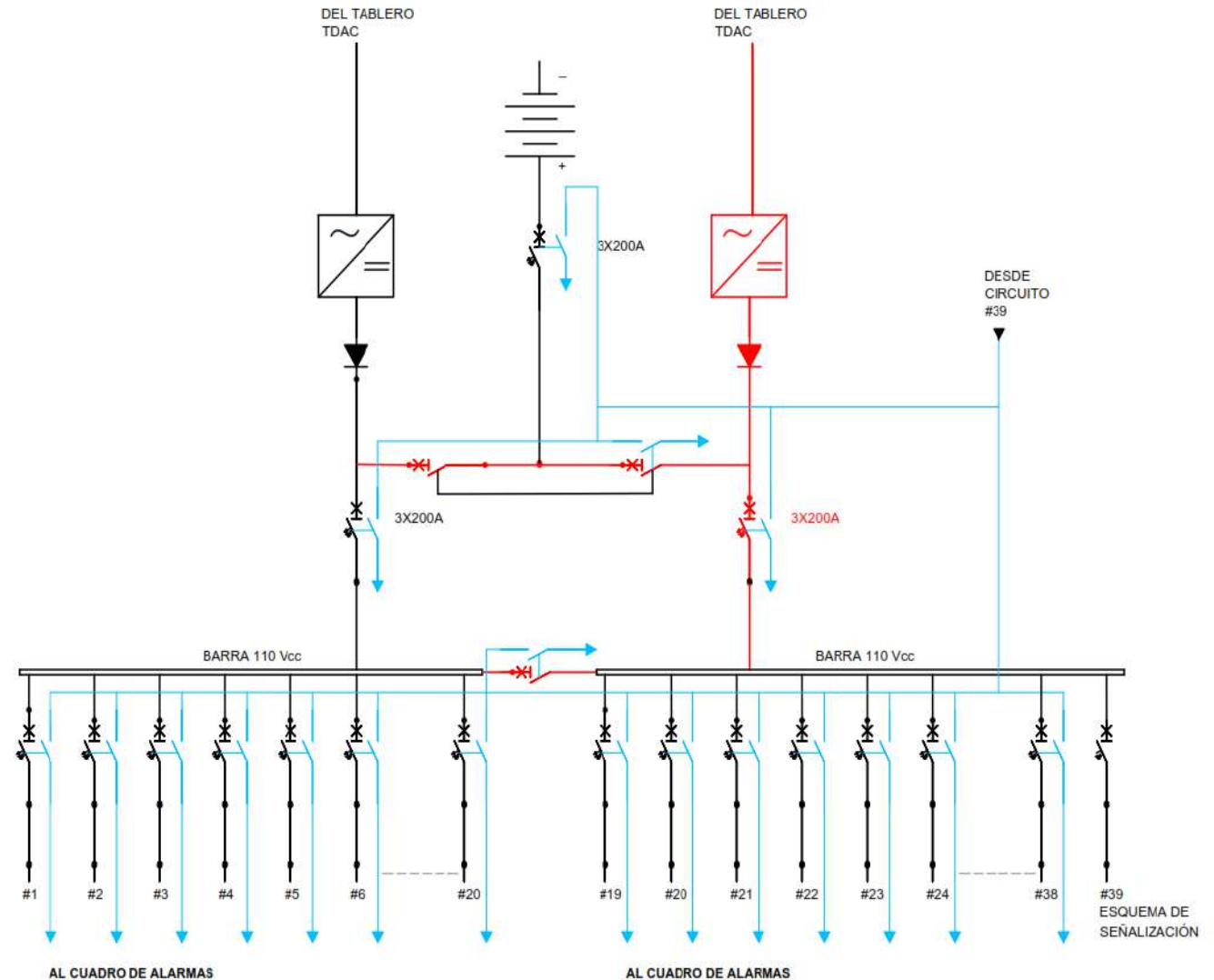
Esquema	Confiabilidad	Flexibilidad	Costo	Complejidad	Mantenimiento	Espacio físico	Total
Un solo cargador y banco de baterías con una barra de distribución	1	1	4	4	4	5	19
<b>Barraje de distribución seccionado con dos rectificadores</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>20</b>
Dos rectificadores en paralelo y dos bancos de baterías	5	4	2	2	3	3	19
Rectificador con banco de baterías y sistema fotovoltaico con almacenamiento.	5	4	2	1	3	3	18

# PRESUPUESTO DE ALTERNATIVAS

<b>Alternativa</b>	<b>Costo [Gs.]</b>
Barraje de distribución seccionado con dos rectificadores	100.179.359
Dos rectificadores en paralelo y dos bancos de baterías	405.825.548
Rectificador con banco de baterías y sistema fotovoltaico con almacenamiento	601.482.996
Señalización de fallas en sistema de corriente continua	91.593.324

# ALTERNATIVAS SELECCIONADAS

Los esquemas de "Barraje seccionado con dos rectificadores" y "Señalización de fallas en sistema de corriente continua" se destacaron como las alternativas más viables por su equilibrio entre confiabilidad, flexibilidad y costo.



# MODELO 2D DEL TDCC

INTERRUPTOR  
DEL  
RECTIFICADOR 1

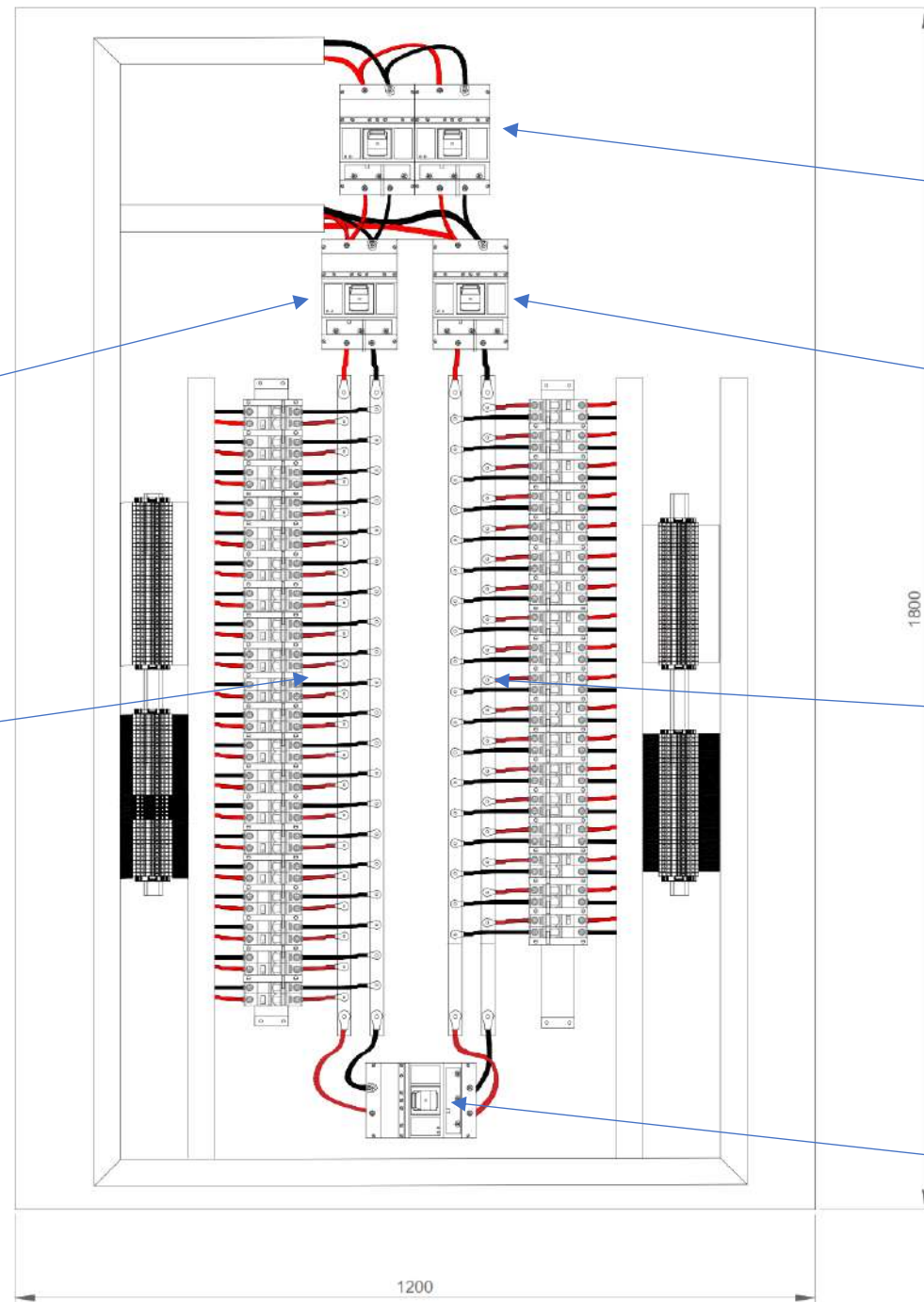
BARRA A

INTERRUPTOR DEL  
BANCO DE BATERÍAS

INTERRUPTOR  
DEL  
RECTIFICADOR 2

BARRA B

INTERRUPTOR DE  
ACOPLAMIENTO



# RESULTADOS

A continuación, se resumen los principales resultados:

- **Análisis del Incendio:** Se determina que el incendio en la ES-SRO fue producto de una cadena de fallas que iniciaron con un problema en un alimentador de 23 kV. La falta de redundancia en el sistema de CC y la falla en la protección de respaldo impidieron la correcta operación del sistema, llevando a la pérdida de control y al incendio.
- **Esquema Actual Deficiente:** Se identifica las deficiencias del esquema actual de CC en la ES-SRO:
  - Un único transformador de SSAA, lo que crea un punto único de falla.
  - Falta de segregación de cargas en la barra del TDCC.
  - Un solo rectificador y un único banco de baterías, limitando la redundancia y la autonomía del sistema.
- **Esquemas propuestos:** Se analizan cuatro esquemas para mejorar la confiabilidad del sistema de CC:
  - Barraje de distribución seccionado con dos rectificadores.
  - Dos rectificadores en paralelo y dos bancos de baterías.
  - Rectificador con banco de baterías y sistema fotovoltaico con almacenamiento.
  - Señalización de fallas en sistema de corriente continua.

# RESULTADOS

- **Criterios de Selección:** Se establece criterios para seleccionar el esquema más adecuado, considerando la confiabilidad, flexibilidad, costo, complejidad, mantenimiento y espacio físico.
- **Análisis de Costos:** Se presenta el resumen del presupuesto para cada alternativa, facilitando la comparación económica.

# CONCLUSIONES

- Se analizó la causa del incendio en la Estación Santa Rosa (ES-SRO), identificándose como una concatenación de fallas, iniciada por un evento en un alimentador de 23 kV que llevó a una falla en el Tablero de Corriente Continua (TDCC) durante el recierre.
- Este análisis reveló la vulnerabilidad del esquema actual de corriente continua (CC), caracterizado por un único rectificador y un solo banco de baterías, lo que lo hace susceptible a fallas que pueden comprometer la operación de la estación.
- Se determinó la necesidad de esquemas de protección y alimentación más robustos para mejorar la confiabilidad y seguridad del sistema de CC. Se exploraron 4 alternativas.
- Se elaboraron esquemas de sistemas auxiliares de corriente continua con un enfoque en la redundancia y la protección. Se describieron las características, ventajas y desventajas de cada esquema propuesto.
- Los esquemas de "Barraje seccionado con dos rectificadores" y "Señalización de fallas en sistema de corriente continua" se destacaron como las alternativas más viables por su equilibrio entre confiabilidad, flexibilidad y costo. En total se necesitan 191.772.683 Gs. para implementar ambos esquemas.

¿Preguntas?