8° CONGRESO MUNDIAL DE MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DE ACTIVOS
22° Congreso Iberoamericano de Mantenimiento
27° Congreso Internacional de Mantenimiento y Gestión de Activos - CIMGA

11 · 12 · 13 JUNIO · 2025
Centro de Convenciones Cartagena de Indias • Colombia

abraman associação brasileira de manutenção e gestão de ativos
Federación Iberoamericana de Mantenimiento
ACIEM Asociación Colombiana de Ingenieros

isa INTERCOLOMBIA

HMV INGENIEROS

Modelo de Diagnóstico Predictivo con Inteligencia Artificial para Fallas en Interruptores de Alta Tensión

Adriana Carolina Galindo Vargas
Gonzalo Fandiño Olaya

Junio 2025

Apagones de energía en 2025

Característica	Chile	Europa
Fecha	25 de febrero de 2025	28 de abril de 2025
Hora	15:16 (hora local)	Alrededor de las 12:30 (hora local)
Regiones Afectadas	14 de 16 regiones	España, Portugal, Andorra, partes del sur de Francia y Alemania
Impacto	8 millones de hogares sin electricidad durante 7 horas, afectando al 98.5% de la población	Millones sin electricidad, interrupciones en telecomunicaciones y transporte
Causa	Falla en la línea de transmisión Nueva Mantecillo–Nueva Pan de Azúcar	No confirmado, investigando fallas de interconexión, sobrecarga o ciberataques

Fuente: https://elrework.com/internacional/2025/04/28/apagon-en-espana-y-portugal-diferencias-y-similitudes-con-el-masivo-corte-de-energia-en-chile/

Presentamos un modelo de Inteligencia Artificial (IA) para diagnóstico de fallas en interruptores de alta tensión, reduciendo tiempos de respuesta y optimizando mantenimiento en el sistema eléctrico. Con IA Machine Learning logramos una alta precisión, ayudando a evitar apagones y mejorando la continuidad del servicio ⚡ #EnergíaInteligente #IA

Objetivos

OBJETIVO GENERAL

Implementar un modelo de diagnóstico para la identificación de fallas de interruptores de alta tensión mediante el análisis de las variables eléctricas del sistema durante las fallas.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar los datos históricos de mantenimiento para identificar patrones y tendencias de fallas en los equipos.
- Seleccionar un algoritmo para desarrollar el modelo
- Desarrollar un modelo descriptivo para la identificación de fallas en interruptores

¿Cómo llega la energía a los usuarios?

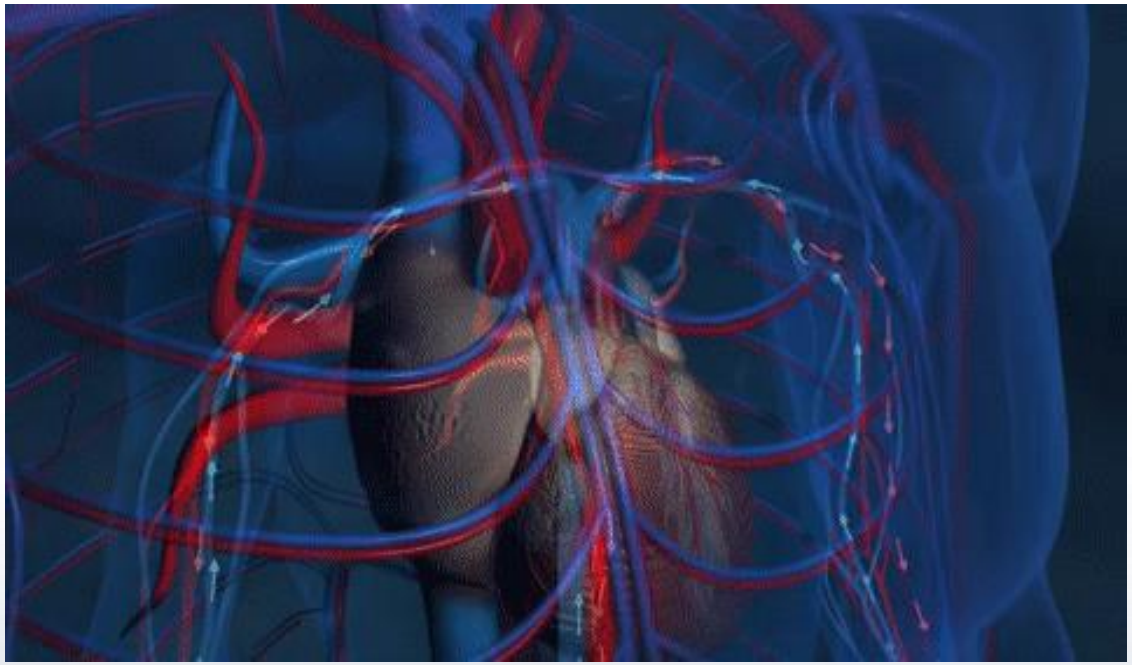
Figura 1. Cadena de Energía eléctrica
Fuente: https://pixabay.com/es/photos/la-l%C3%ADnea-de-transmisi%C3%B3n-dawn-energ%C3%ADa-2914869/
Fuente: https://pixabay.com/es/photos/subestaci%C3%B3n-electricidad-1696198/
Fuente: https://pixabay.com/es/photos/ciudad-edificios-noche-5772121/

¿Qué hace el Sistema de Transmisión Nacional?

Figura 2. Sistema circulatorio cuerpo humano
Fuente: https://mylearningspace.me.uk/

Figura 3. STN Mapa Colombia
Fuente: ISA Intercolombia

¿Qué hace el Sistema de Transmisión Nacional?



Fuente: GIF creado a partir de: Canal do Ensino. (2020, 30 de abril). O sistema cardiovascular [Video]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=R1mOEbfhzGk

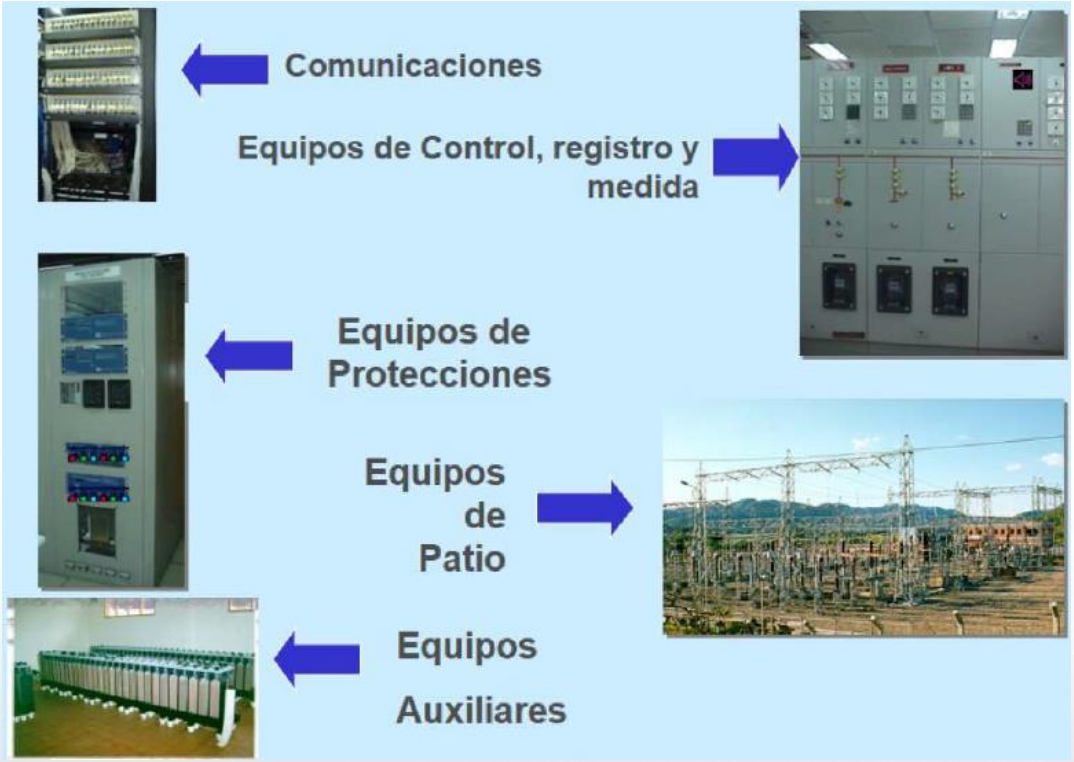
Fuente: GIF creado a partir de:
Nomatic. (2024, 26 de septiembre). *The Nomadic Drone: Transforming Grid Inspections* [Vídeo]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=iyqY5EbY9kM

Subestaciones e Interruptores

Figura 4. Subestación eléctrica.
Fuente: https://x.com/Cedenaroficial/status/1493966354168307721?lang=bg

Figura 5. Interruptor eléctrico.
Fuente. ISA Intercolombia

Equipos de una subestación



Fuente. Presentación ISA Intercolombia

SCADA: Supervisory Control and Data Acquisition
Dispositivo de Adquisición de Datos, Supervisión y Control

Clases de Interruptores

Figura 6. Interruptor en aire.
Fuente. Presentación ISA Intercolombia

Según el medio de extinción de arco

- En aire
- Pequeño volumen de aceite
- En gran volumen de aceite
- En SF6
- En vacío

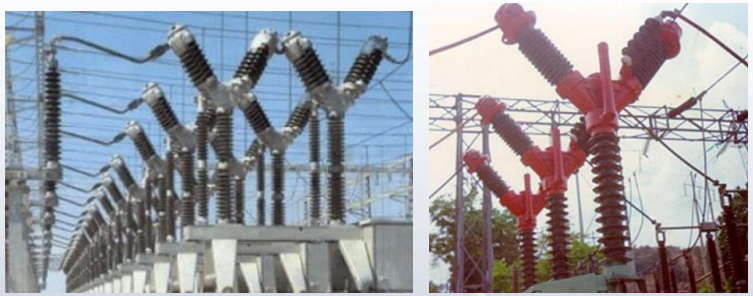


Figura 7. Interruptor pequeño volumen de aceite.
Fuente. Presentación ISA Intercolombia

Figura 8. Interruptor en gran volumen de aceite.
Fuente. Presentación ISA Intercolombia

Figura 9. Interruptor en SF6
Fuente. ISA Intercolombia

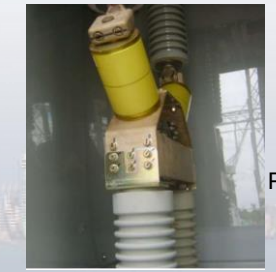


Figura 10. Interruptor en vacío
Fuente. Presentación ISA Intercolombia

Clases de Interruptores

Según el mando utilizado

- Mando neumático
- Mando hidráulico
- Mando mecánico
- Actuador magnético

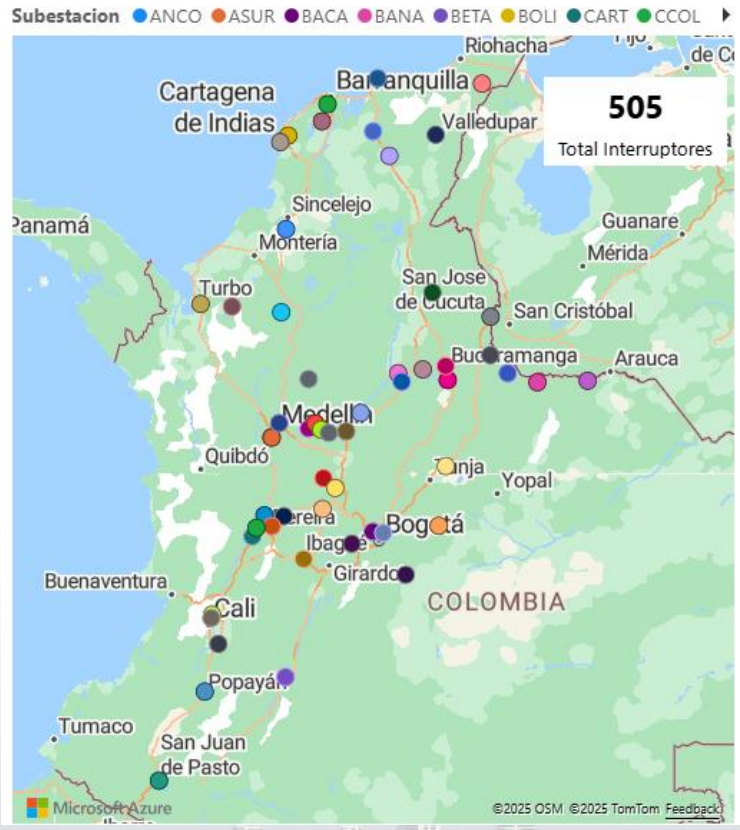


Figura 11. Cantidad de interruptores de alta tensión en ISA Intercolombia
Fuente. ISA Intercolombia (2023)

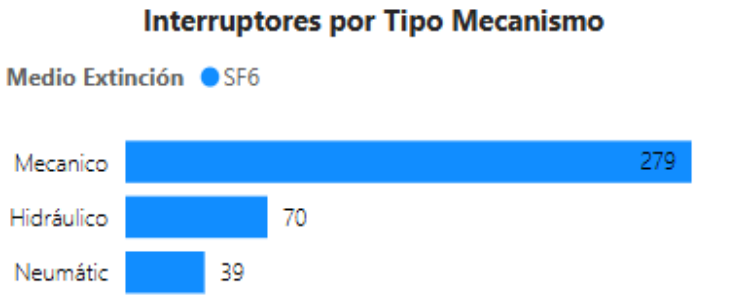


Figura 12. 388 interruptores de 230 kV en ISA Intercolombia
Fuente. ISA Intercolombia (2023)

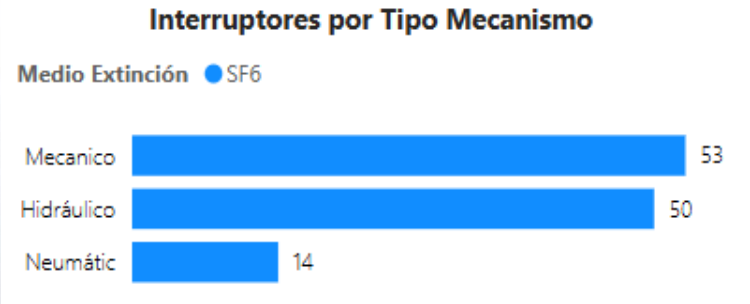


Figura 13. 117 interruptores de 500 kV en ISA Intercolombia
Fuente. ISA Intercolombia (2023)

Partes del interruptor

- Cámara de Interrupción
- Columna o aisladores de soporte
- Mecanismo de Operación

Figura 14. Partes del interruptor
Fuente. ISA Intercolombia

Los interruptores en SF6 ya sea de mando mecánico, neumático o hidráulico utilizan el mismo sistema de extinción de arco.

Partes del interruptor

Las partes de la cámara de interrupción son:

- Aislador
- Brida superior y brida inferior
- Sistema de contactos

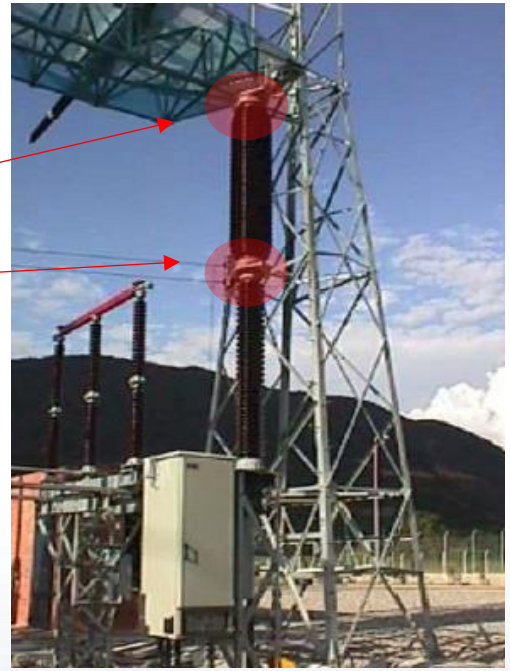
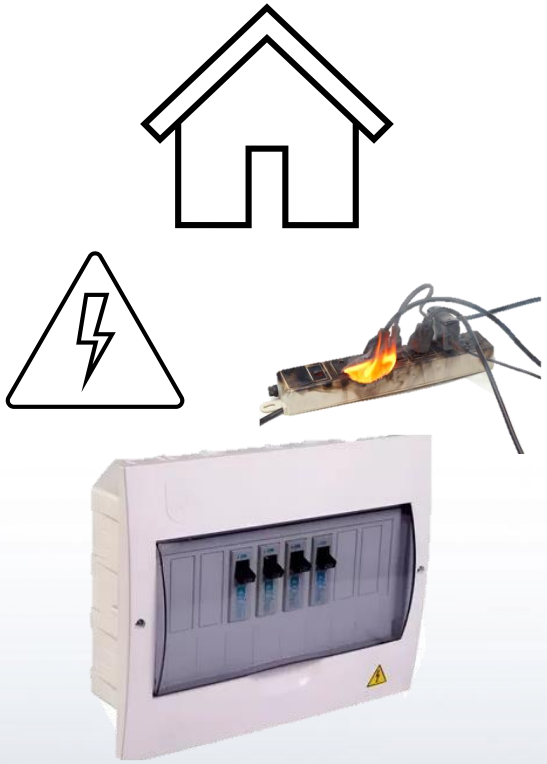


Figura 15. Partes del interruptor
Fuente. ISA Intercolombia

¿Como Funcionan los Interruptores?



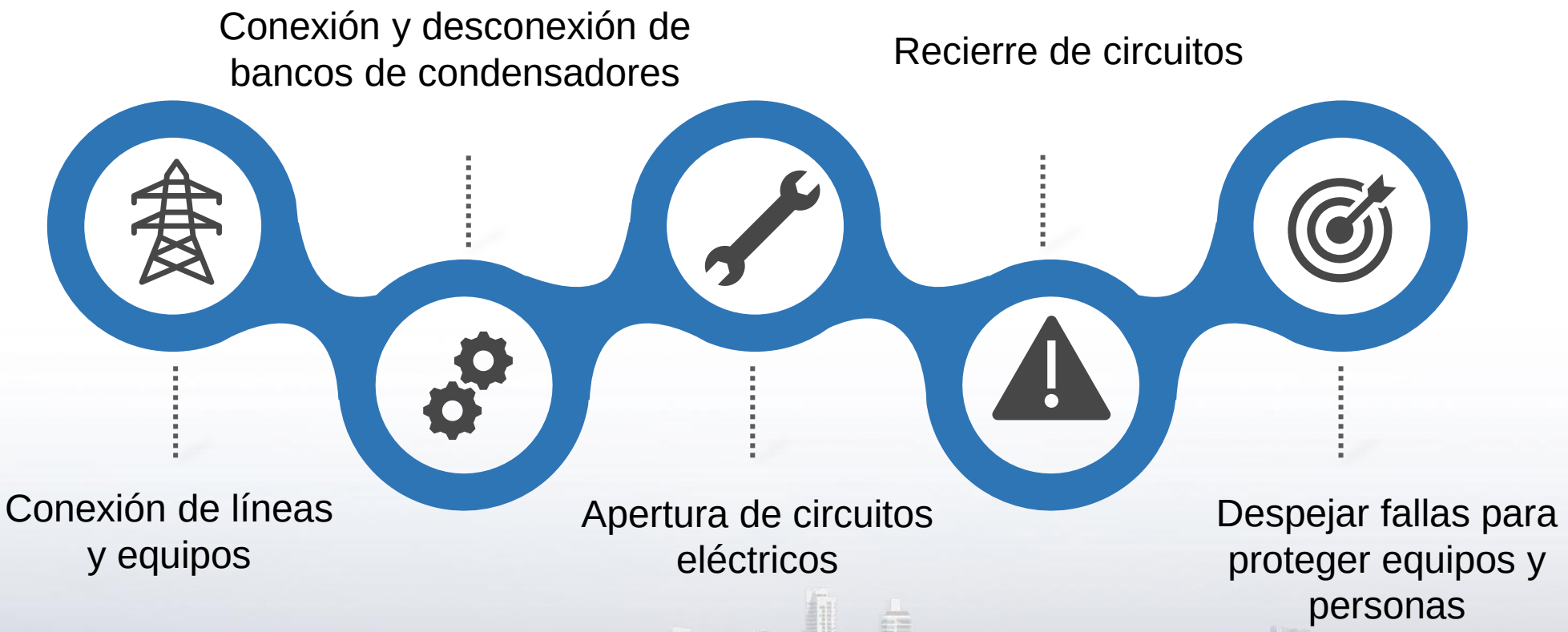
Menos de 1 kV

Fuente. https://images.app.goo.gl/B357K6bj2hnkvb8M9

Más de 220 kV

Fuente. https://pixabay.com/es/photos/reconexi%C3%B3n-alto-voltaje-3674290/

Uso del Interruptor



Fuente: Elaboración propia

¿Qué pasa si la falla es de los Interruptores?

Fuente. https://pixabay.com/es/illustrations/ai-generado-m%C3%A9dico-paciente-8470065/

Fuente: https://www.megger.com/en/et-online/may-2008/power-transformer-and-hv-breaker-open-days

Modos de falla en interruptores

Componente	Modo de falla
Bobina de apertura	No abre cuando se ordena
Cámara/Cámara auxiliar	Falla en la extinción de arco
Condensador/Banco de condensadores	Faltan elementos o componentes
Contador de operaciones	Dañado o defectuoso
Gas SF6	Problemas de calidad del gas; Falla en la extinción de arco
Gas SF6	Presión del sistema baja
Indicador de posición	Dañado o defectuoso

Componente	Modo de falla
Interruptor de potencia	Alto riesgo para personas/animales
Manodensóstato	Dañado o defectuoso
Mecanismo de accionamiento	Fuga interna/external; Mancha de aceite
Aislamiento	No aísla las partes del sistema; Falla en la extinción de arco
Relé auxiliar/Repetidor	Dañado o defectuoso
Sistema de carga de resorte	Descargado/Carga incorrecta; Ruido anormal

Fuente. Elaboración propia

Análisis de eventos en el Sistema

Evento	Recopilar información	Validación	Análisis	Conclusiones	Seguimiento	Seguimiento del proceso
El evento se presenta en el SIN y CSM lo identifica e inicia con el análisis	CSM recopila la información, realiza análisis preliminar e ingreso información en SIGO	AO realiza la validación de la información y recopila la información faltante	Análisis del evento	Registro del evento y de anomalías y recomendaciones operativas identificadas en el análisis	Seguimiento de las acciones y recomendaciones	Seguimiento del proceso

SIN: Sistema Interconectado Nacional
CSM: Centro de Supervisión y Maniobras
AO: Análisis Operativo
SIGO: Sistema de Información de la Gestión Operativa

Fuente: ISA Intercolombia

Etapas del Desarrollo

Desarrollo e implementación de un modelo de diagnóstico basado en inteligencia artificial para la identificación de fallas en interruptores de alta tensión (230 kV).

Fuente: Elaboración propia

Recolección de datos

Se definió un escenario de muestreo para los sistemas de tensión 230 kV

Se obtuvieron 2 bases de datos:

- Reporte de condiciones operativas
- Reporte de salida de activos

ISA INTERCOLOMBIA

SAP

SIGO

CSV

Recolección de datos

Reporte de condiciones operativas:

Presenta variables eléctricas al momento de la falla.

Código Ocurrencia

Fecha Ocurrencia

Elemento

Corriente FA [kA]

Corriente FB [kA]

Corriente FC [kA]

Corriente 3I0 [kA]

Voltaje FA [kV]

Voltaje FB [kV]

Voltaje FC [kV]

Voltaje VN [kV]

Duración Falla [ms]

Potencia Activa [MW]

Potencia Reactiva [MVar]

Descripción Secuencia

Recolección de datos

Reporte de salida de activos:

Presenta históricos de eventos con información de activos operativos fallados, fecha, hora, tipo, causa y origen del evento.

Empresa

Tipo Elemento

Elemento

Fecha Salida

Hora Salida

Código Ocurrencia

Causa Regulatoria

Causa Real

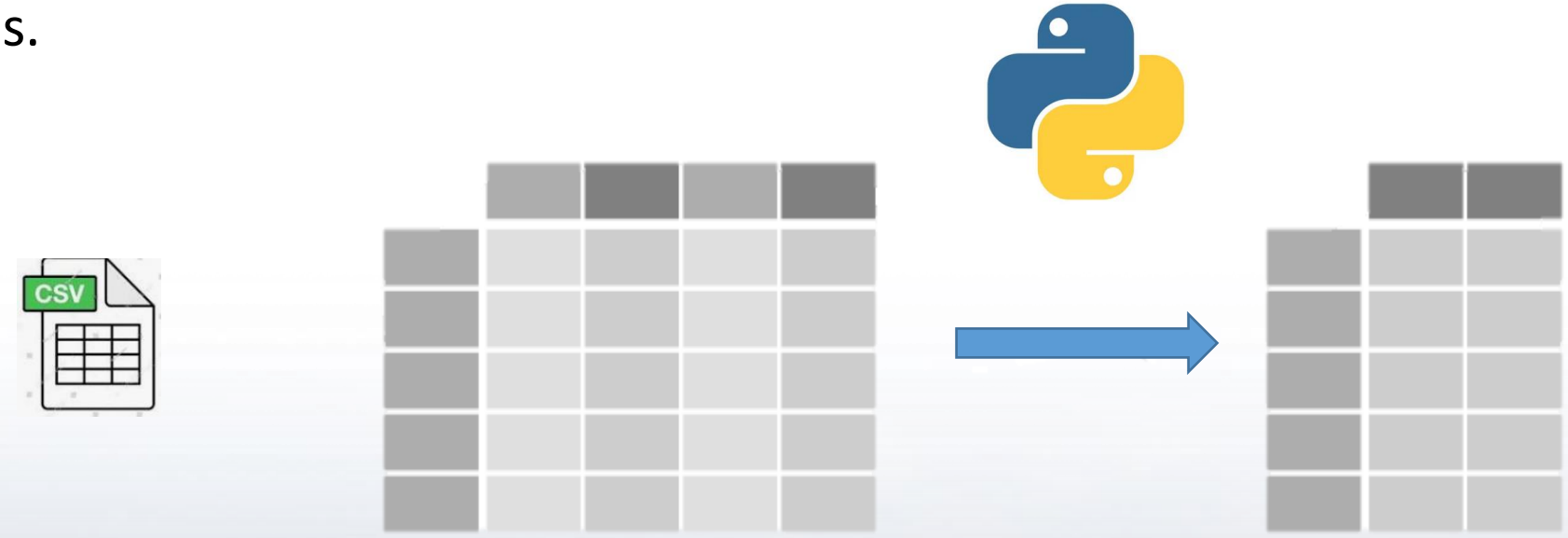
Origen Evento

Clase Ocurrencia

Efectividad Recierre

Procesamiento y limpieza de datos

Una vez obtenida la información se procede a la limpieza y preprocesamiento de datos.



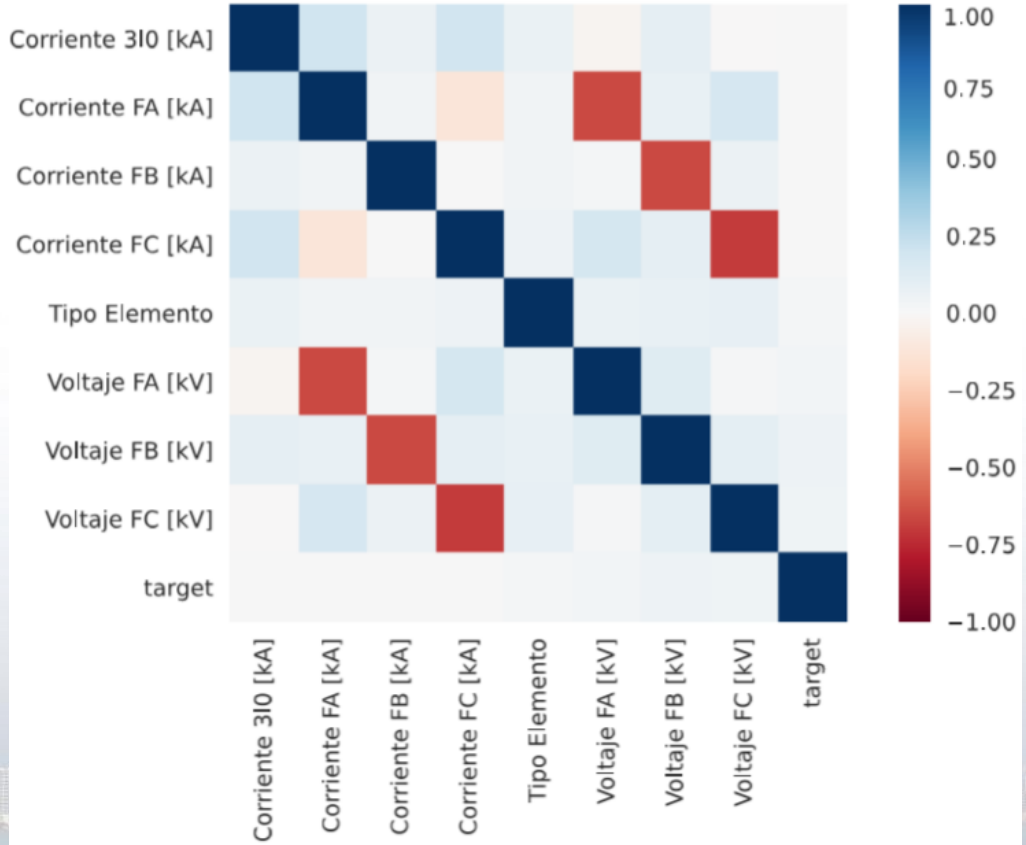
Fuente: Elaboración propia

Análisis exploratorio y selección de variables

Matriz de Correlación

Identificación de correlaciones entre variables como corrientes y voltajes de apertura del interruptor en el momento de fallas

Alta Correlación Negativa



Mayor Correlación

Sin Correlación

Correlación Negativa

Balanceo del conjunto de datos(SMOTE)

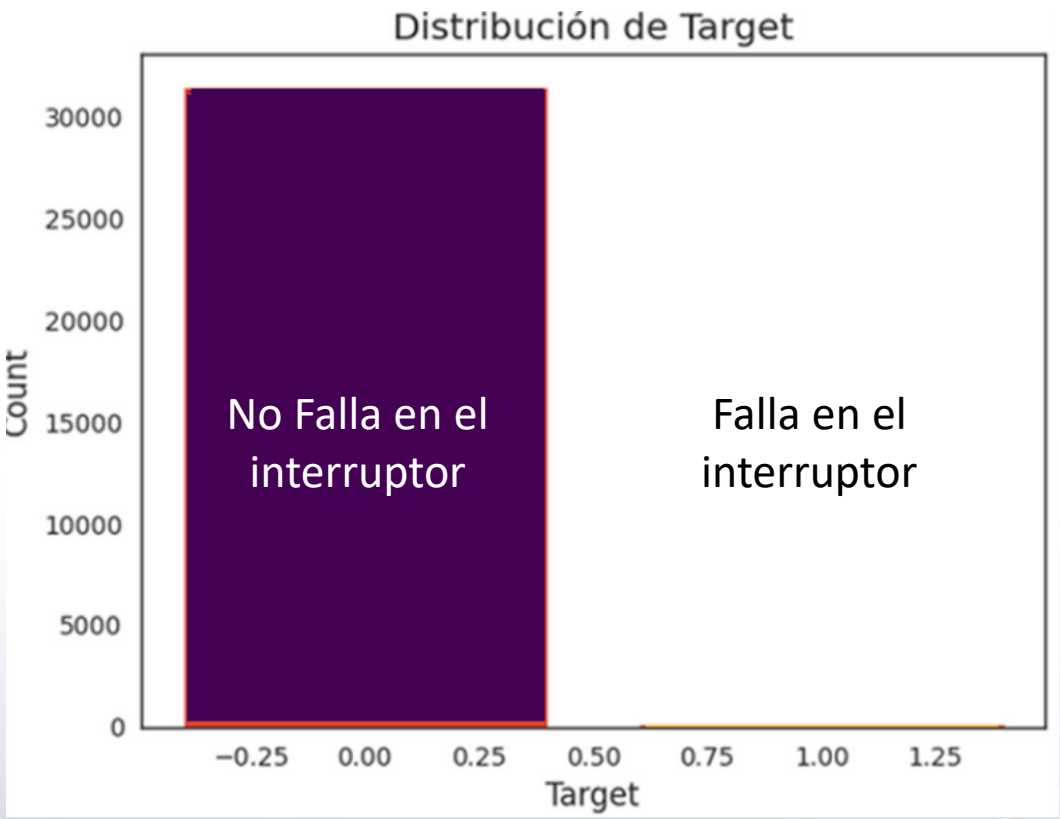


Figura 16. Datos Iniciales

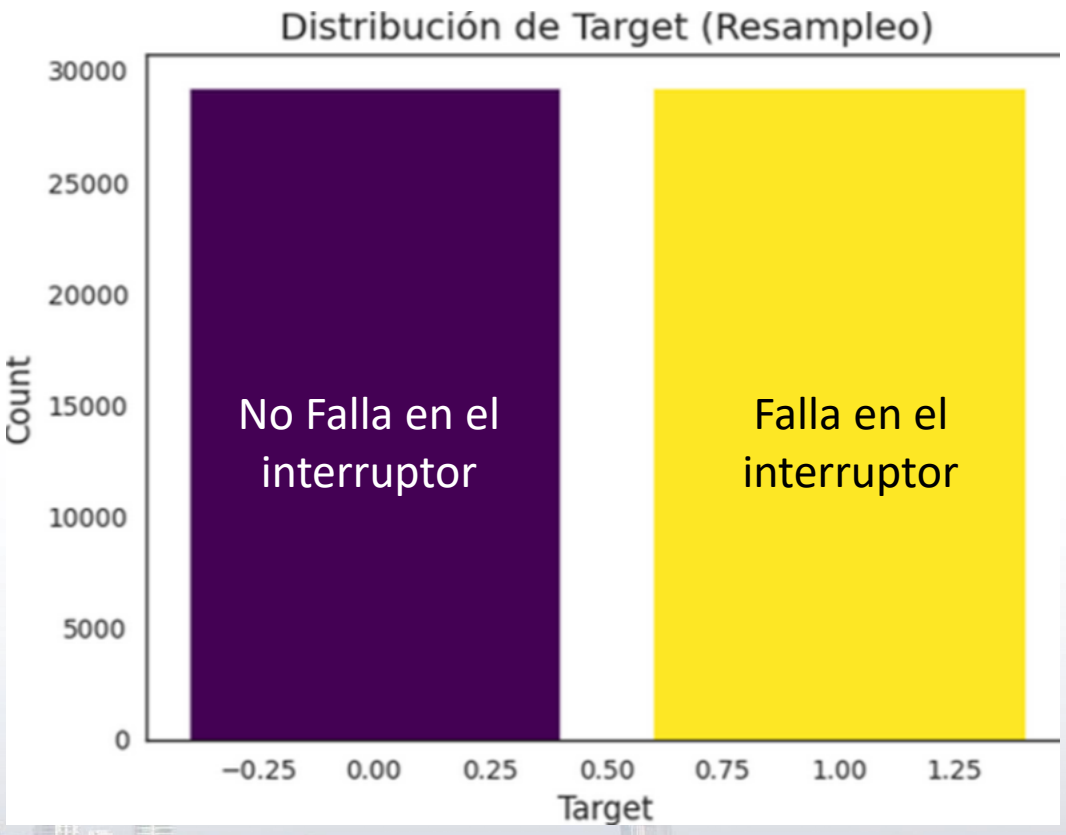


Figura 17. Datos Balanceados

Fuente: Elaboración propia

Desarrollo y comparación de Modelos de Machine Learning

Tipos de Aprendizaje

Aprendizaje Supervisado

Entrenar con datos etiquetados para mapear entradas a salidas

Aprendizaje No Supervisado

Descubrir patrones en datos no etiquetados

Aprendizaje por Refuerzo

Aprender a través de prueba y error

Figura 18. Proceso de Aprendizaje Automático

Fuente: Elaboración propia

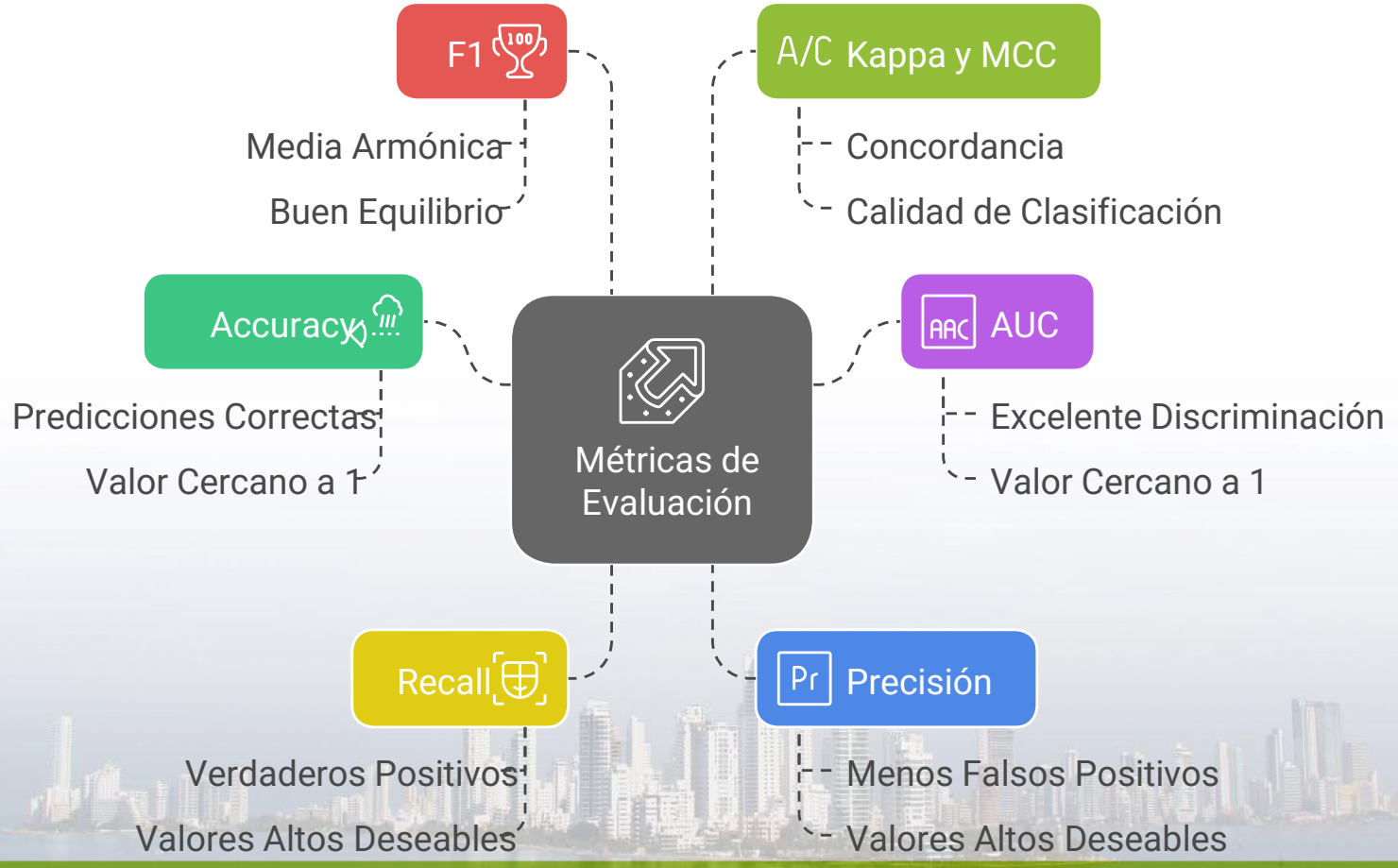
Desarrollo y comparación de Modelos de Machine Learning

Aprendizaje Supervisado: Tipos y Modelos

Fuente: Elaboración propia

Desarrollo y comparación de Modelos de Machine Learning

Métricas de Evaluación de Modelos de Machine Learning



Fuente: Elaboración propia

Entrenamiento, validación y pruebas del Modelo

Métricas de desempeño

Mejor desempeño

Peor desempeño

	Model	Accuracy	AUC	Recall	Prec.	F1	Kappa	MCC	TT (Sec)
rf	Random Forest Classifier	0.9993	0.9875	0.9233	0.9185	0.9206	0.9202	0.9204	3.3890
et	Extra Trees Classifier	0.9992	0.9993	0.9305	0.8821	0.9034	0.9029	0.9044	2.6260
dt	Decision Tree Classifier	0.9988	0.9648	0.9305	0.8116	0.8647	0.8641	0.8673	2.1640
lightgbm	Light Gradient Boosting Machine	0.9966	0.9880	0.9095	0.5602	0.6912	0.6896	0.7112	2.3680
dummy	Dummy Classifier	0.9959	0.5000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	2.0990
knn	K Neighbors Classifier	0.9883	0.9704	0.9438	0.2613	0.4068	0.4030	0.4912	2.5450
gbc	Gradient Boosting Classifier	0.9328	0.9724	0.9038	0.0533	0.1006	0.0936	0.2102	3.8650
ada	Ada Boost Classifier	0.8437	0.9178	0.8543	0.0222	0.0433	0.0355	0.1224	2.4810
ridge	Ridge Classifier	0.7317	0.6223	0.3786	0.0058	0.0114	0.0033	0.0161	2.2790
lda	Linear Discriminant Analysis	0.7317	0.6223	0.3786	0.0058	0.0114	0.0033	0.0161	2.0240
svm	SVM - Linear Kernel	0.6671	0.5814	0.4205	0.0036	0.0071	0.0004	0.0128	2.6070
lr	Logistic Regression	0.5432	0.6066	0.6252	0.0056	0.0112	0.0030	0.0218	3.3200
qda	Quadratic Discriminant Analysis	0.2228	0.6046	0.9171	0.0048	0.0096	0.0014	0.0213	2.0720
nb	Naive Bayes	0.1259	0.5253	0.9248	0.0043	0.0086	0.0004	0.0093	2.2020

Entrenamiento, validación y pruebas del Modelo

15065 Datos totales
15003 No Fallas
62 Fallas

VERDADERO NEGATIVO

predijo correctamente una falla, y realmente había una falla

VERDADERO POSITIVO

El modelo predijo correctamente que no había falla, y realmente no la había

FALSO POSITIVO

predijo que había una falla en el interruptor pero en realidad el interruptor estaba funcionando correctamente

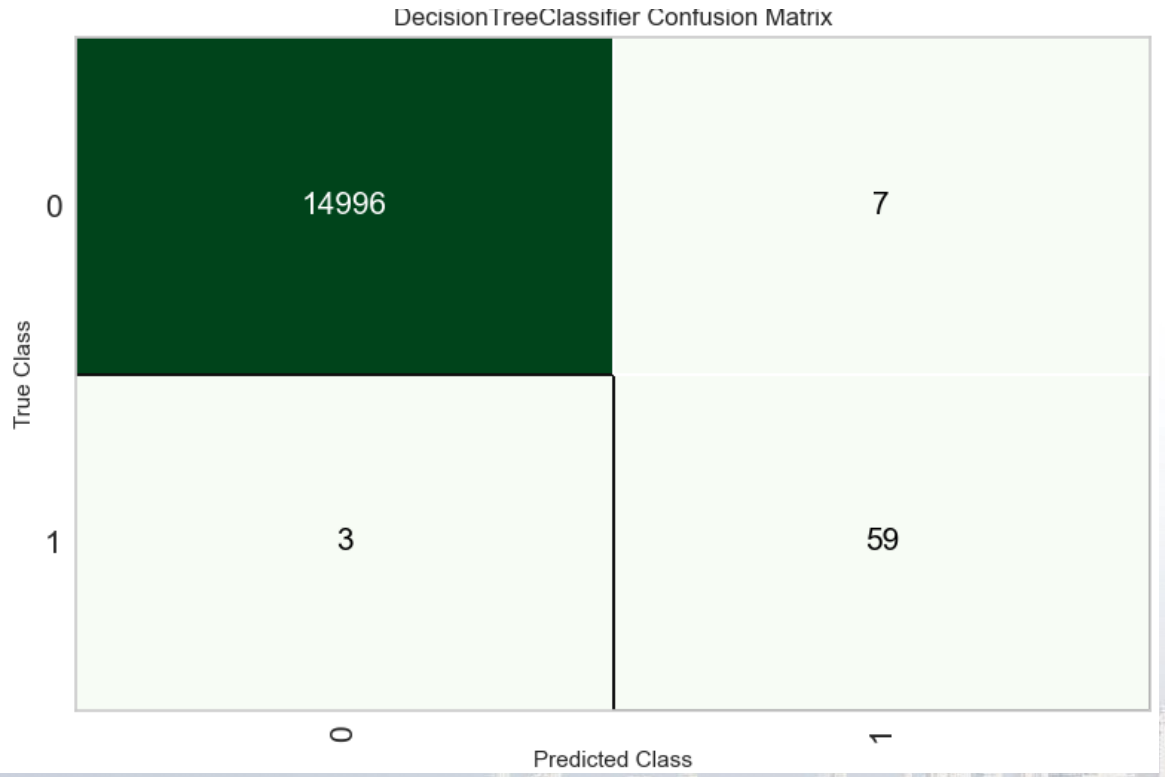
FALSO NEGATIVO

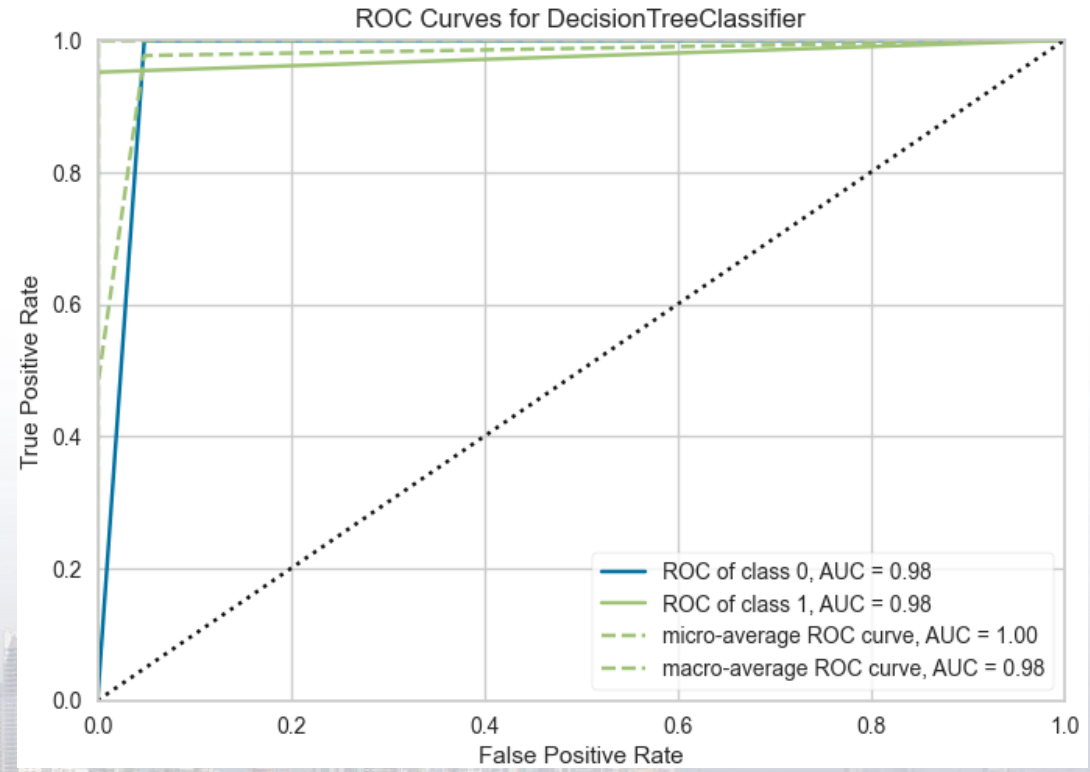
predijo que el interruptor estaba funcionando correctamente pero en realidad sí tenía una falla

Fuente: Elaboración propia

Entrenamiento, validación y pruebas del Modelo

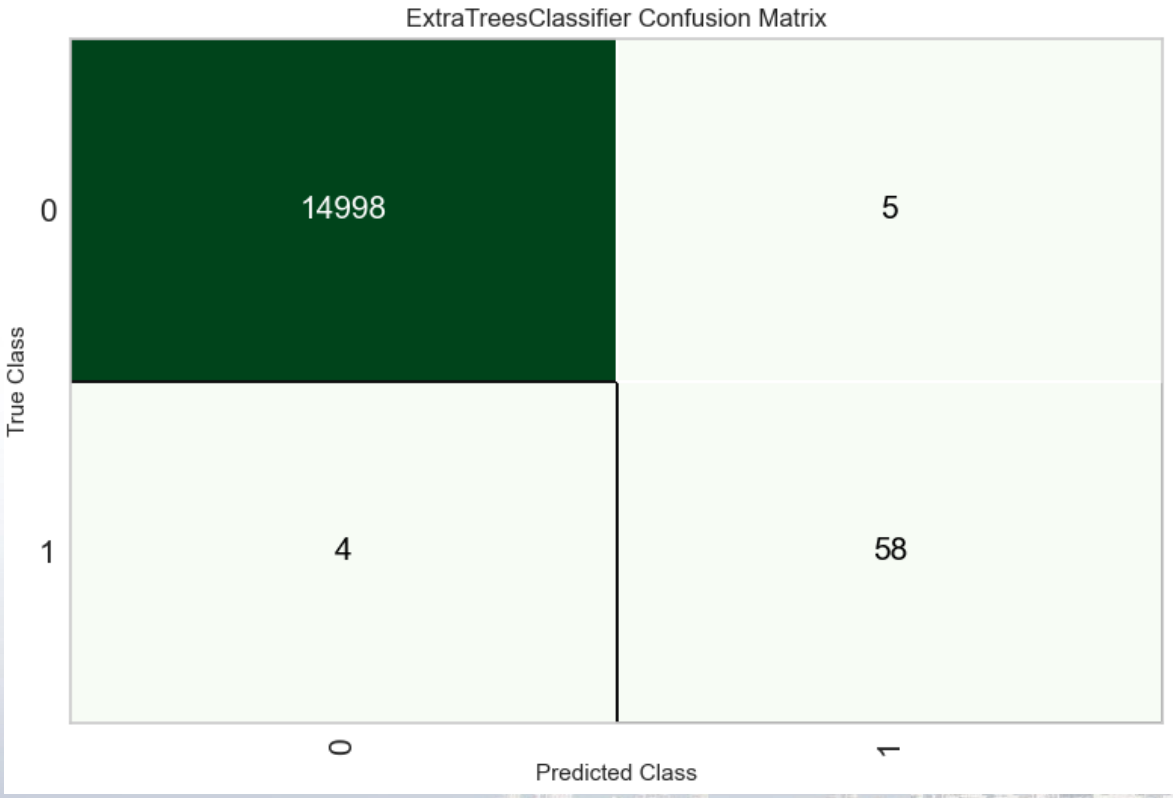
Desempeño Arboles de Decisión

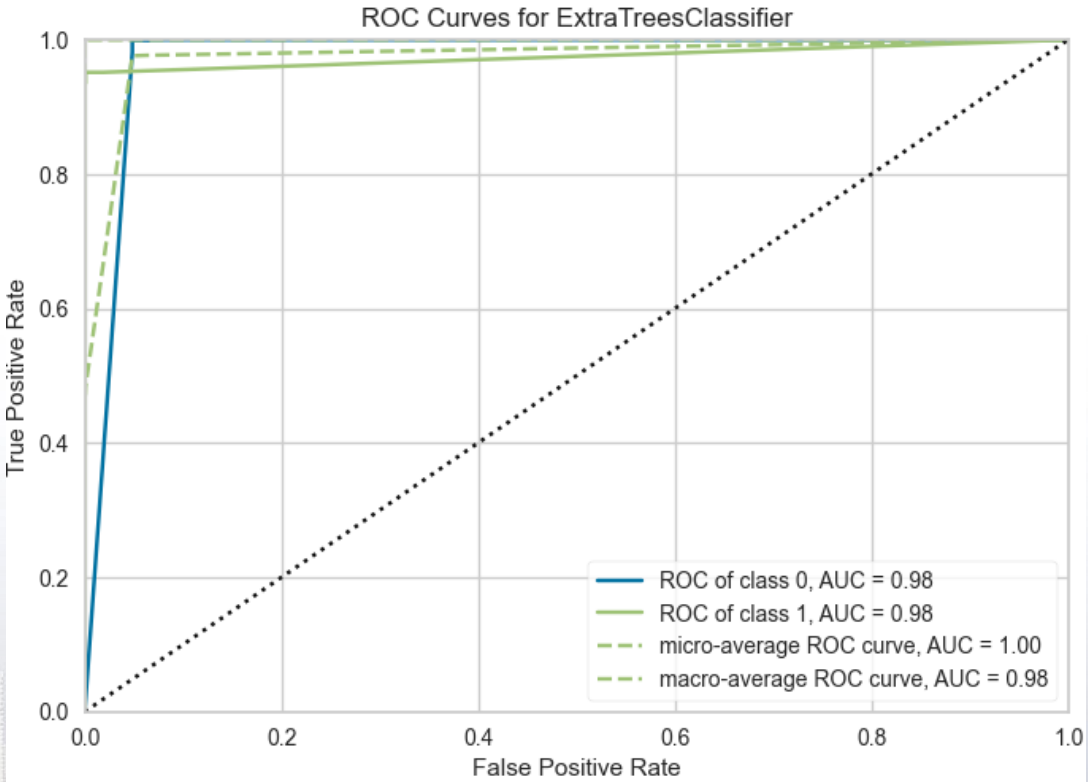




Entrenamiento, validación y pruebas del Modelo

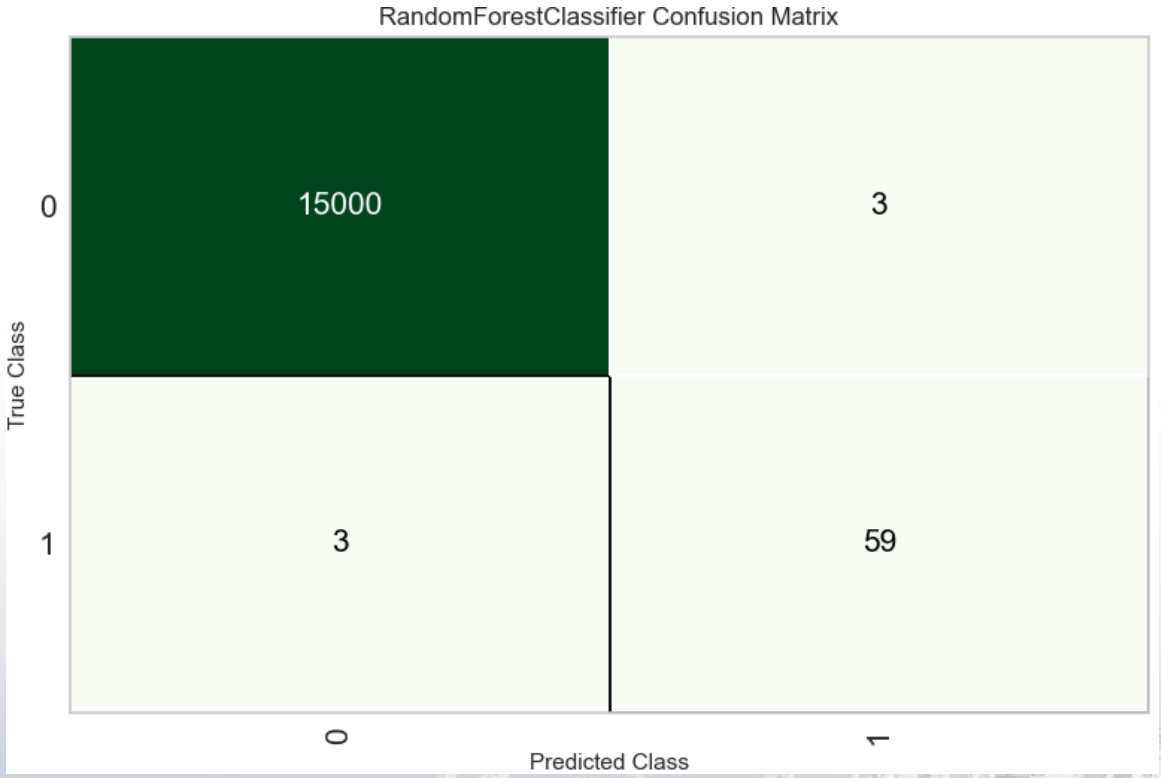
Desempeño Clasificador de árboles extras

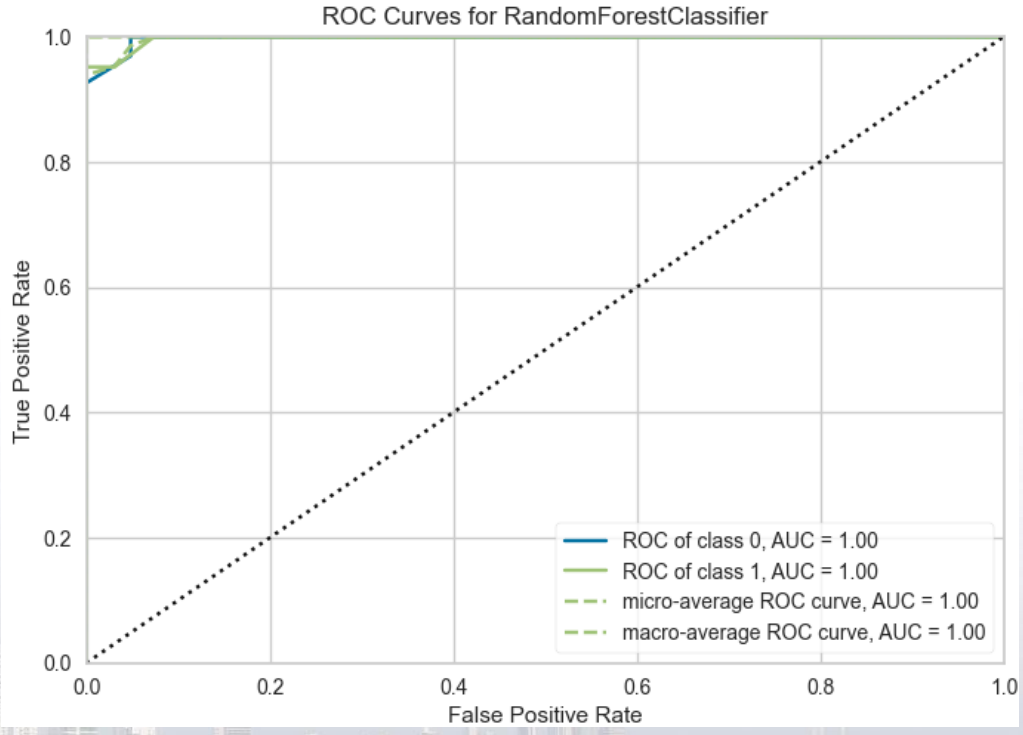




Entrenamiento, validación y pruebas del Modelo

Desempeño Random Forest



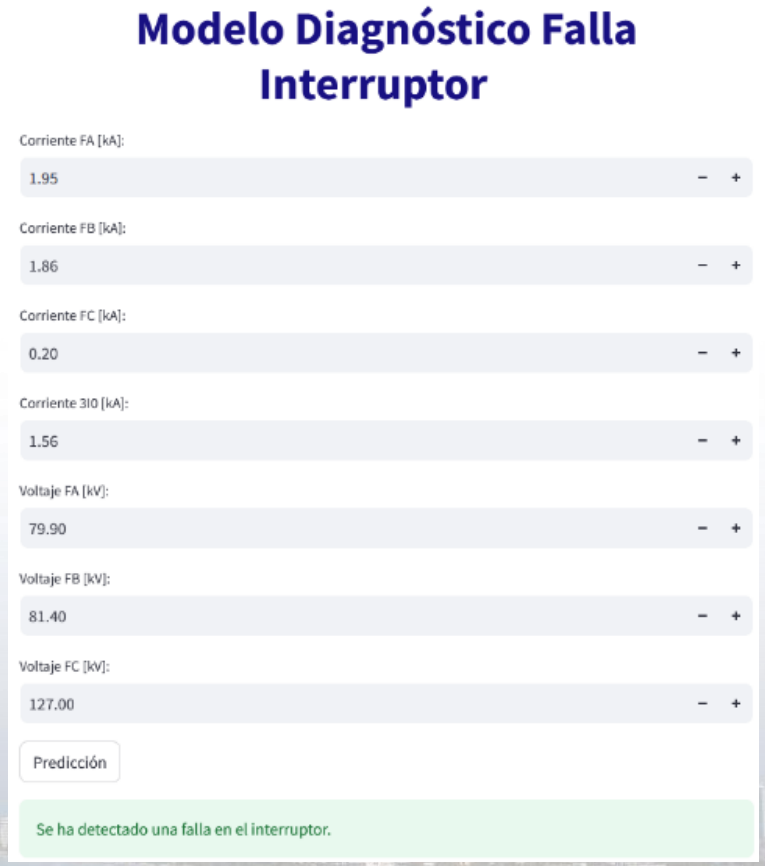


Entrenamiento, validación y pruebas del Modelo

Desarrollar un modelo descriptivo para la identificación de fallas en interruptores

Datos de entrada:

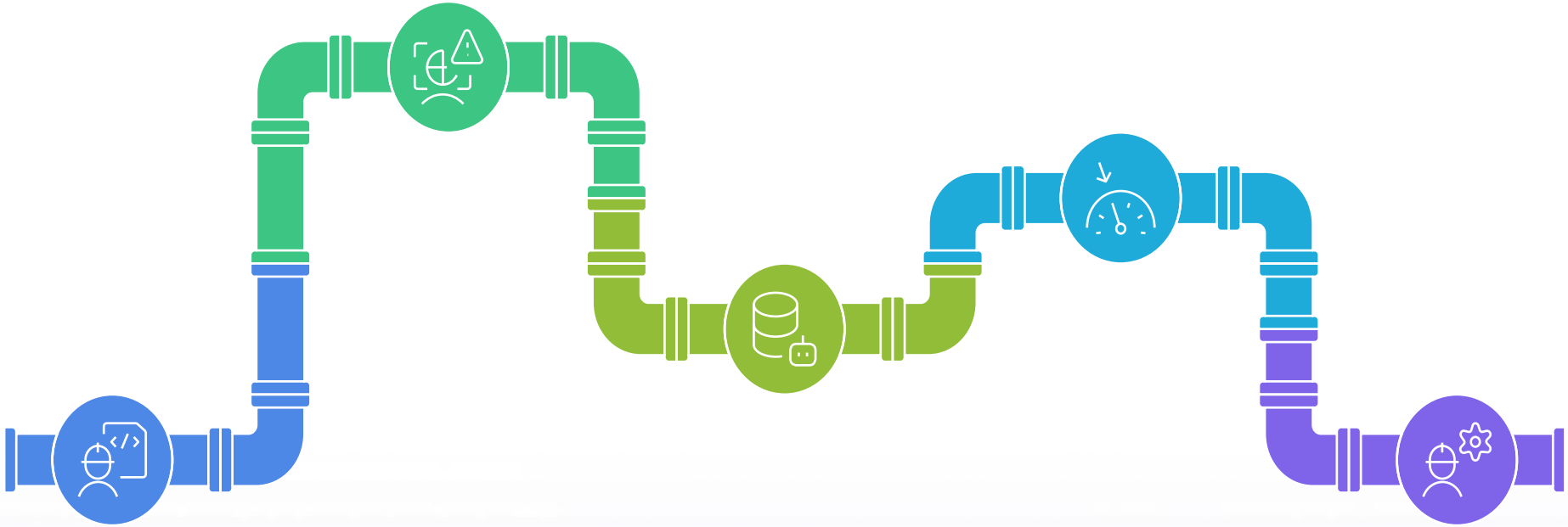
Corriente FA [kA]
Corriente FB [kA]
Corriente FC [kA]
Corriente 3I0 [kA]
Voltaje FA [kV]
Voltaje FB [kV]
Voltaje FC [kV]



Resultado:

Detección de falla en Interruptor

Conclusiones



Desarrollo del Modelo

Creación de un modelo de IA para la detección de fallas

Detección de Fallas

Identificación precisa de fallas en interruptores

Integración con SCADA

Incorporación del modelo en sistemas SCADA para monitoreo

Mejora de la Eficiencia

Aumento de la eficiencia operativa y reducción de costos

Transición a Mantenimiento Predictivo

Cambio de estrategias de mantenimiento tradicionales a predictivas

Fuente: Elaboración propia

Trabajo Futuro

Gestión del Mantenimiento hoy

Comprender y gestionar el mantenimiento

Monitoreo

Gestionar y detectar anomalías

Condición e Índice de salud

Evaluar la salud de los equipos

Analítica

Usar datos para predecir fallas

Analítica e I.A

Utilizar conocimientos de inteligencia artificial y colaboración aumentada

Fuente: Elaboración propia

¡Gracias!