

# Modelo de Mantenimiento Predictivo de Transformadores de Tracción en Subestación Ferroviaria para optimización del consumo energético y del nivel de emisiones CO2

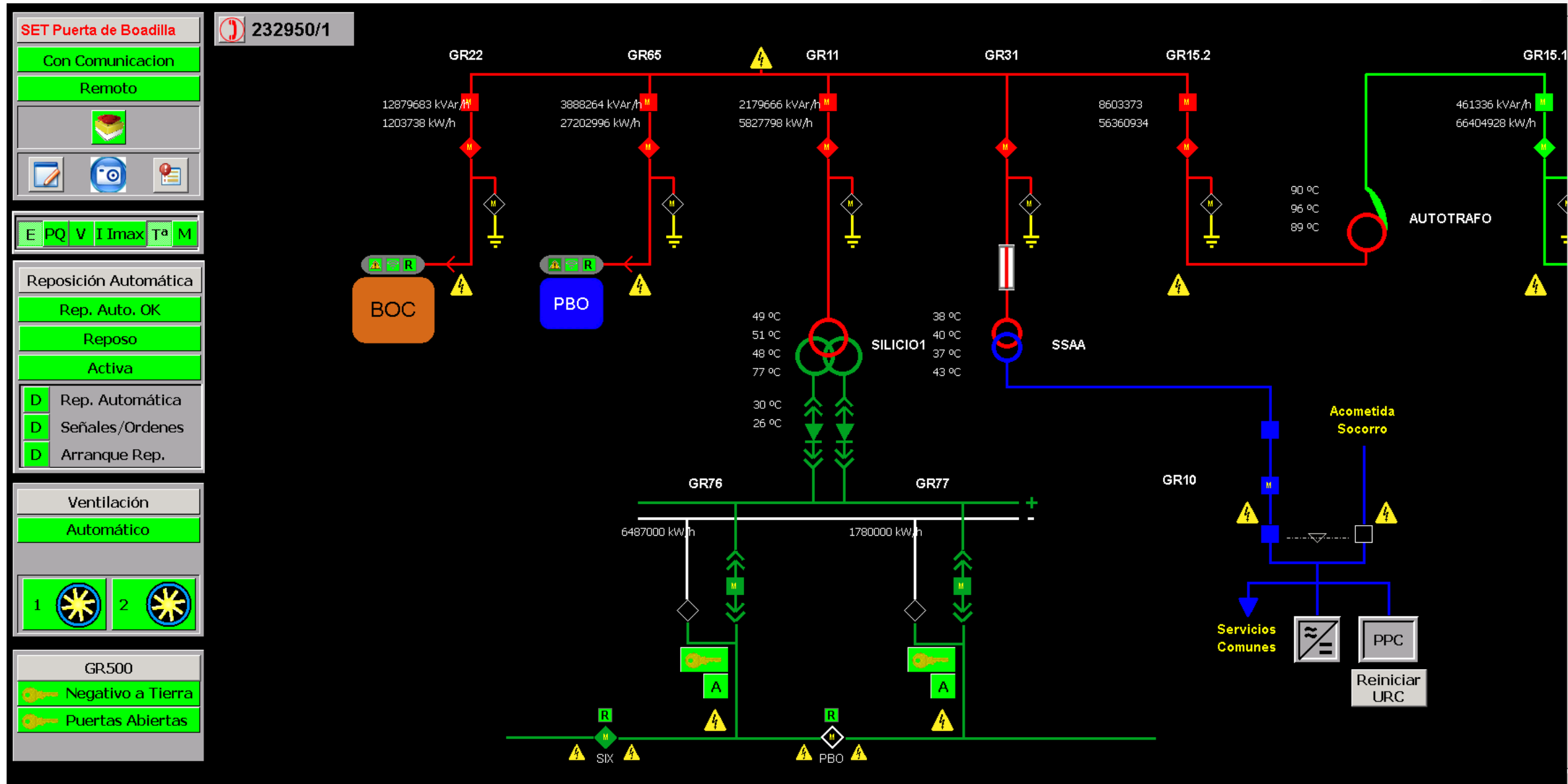


# Resumen del Modelo de Mantenimiento Predictivo

Con la intención de **mejorar la sostenibilidad en el sector ferroviario y en la infraestructura eléctrica de España**, se ha creado un modelo de **Mantenimiento Predictivo de Transformadores de Tracción en Subestación Ferroviaria** de la empresa SICA, que logra el **ahorro del 2% en el consumo energético**, de acuerdo con los registros de un gran operador ferroviario. Es decir, 178.311 kWh/año, que equivale a una reducción de emisiones de CO2 de 24.607 kg/24,6 tCO2e anualmente.



# Mapa de una Subestación Eléctrica Ferroviaria

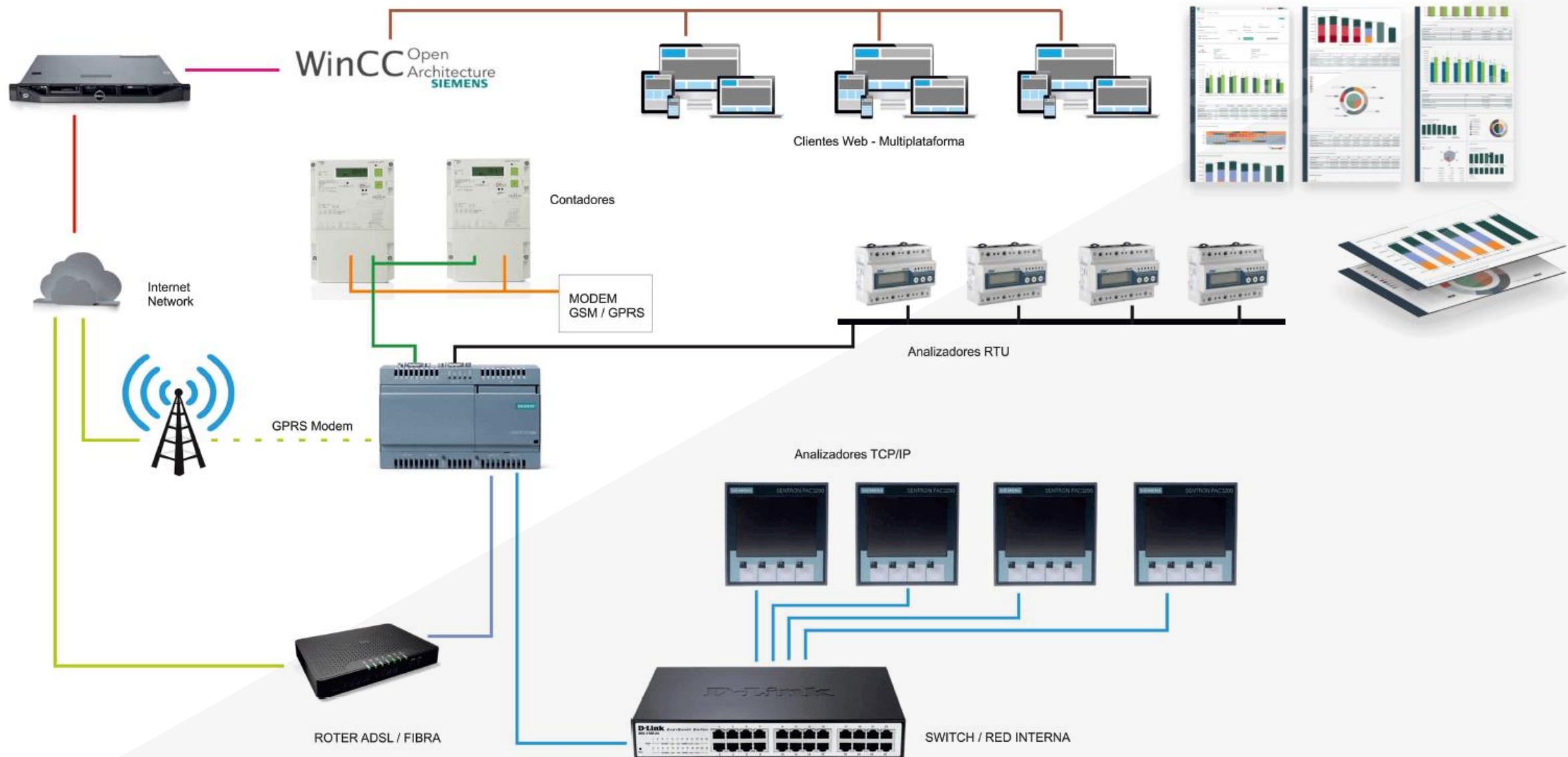


# Datos. Sistemas de adquisición y registro

- Sistemas en tiempo real, Medida Fiscal y telemedida, complejos sistemas de Calidad de la Energía (Power Quality)
- Analizadores de redes de cualquier fabricante.



# Sistemas de Adquisición y Registro



# Modelo Predictivo de Serie Temporal (datos horarios)

## VARIABLES EXPLICATIVAS

- Energías → 5
- Tensiones → 3
- Corrientes → 4
- Potencias → 12
- Factor de Potencia → 4
- Calidad de Energía → 9
- Temperaturas → 4



## ALARMAS

Sin Alarma

0

Temperatura > 80°

1

Corriente > 24A

2

Variable dependiente = 24 retardos v. dependiente + \* 24 retardos de 41 v. exógenas =  
**1.008 variables explicativas**

# Modelo de Mantenimiento Predictivo de Trafos de Tracción

## ¿Podemos predecir la probabilidad de fallo de este activo?

- **SÍ**, el mantenimiento predictivo ayuda a identificar patrones y anomalías en estos activos
- Estos datos incluyen información sobre **temperatura, humedad, carga eléctrica, vibraciones, ruido y envejecimiento de componentes**
- Mediante el análisis de estos datos, es posible predecir la probabilidad de fallo, y con ello reducir el consumo energético, disminuir los residuos y recursos, y los impactos ambientales negativos (los fallos en los transformadores de potencia pueden tener consecuencias graves, como incendios, daños a la infraestructura y riesgos para la seguridad de las personas).

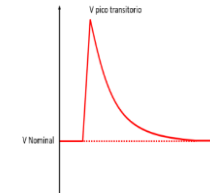
## ¿Qué afecta a la vida útil de estos activos?



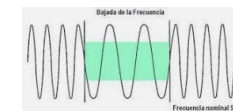
**Sobrecargas eléctricas**



**Cortocircuitos**



**Transitorios de voltaje**



**Variaciones de frecuencia**



**Fallos en la refrigeración**



**Contaminación acústica/ambiental**

# Beneficios y Ventajas Principales del Modelo

Para un activo de este tipo, al utilizar las variables de corrientes y temperatura (históricas y en tiempo real), podemos:

- Identificar **patrones de operación**
- Tomar **acciones preventivas** a través de brigadas de mantenimiento o ajustes en la planificación de la operación.

A partir de los datos fuente del gestor de infraestructuras ferroviarias/operador ferroviario podemos estimar una **reducción del 2% en el consumo energético**. En el caso del presente proyecto el **consumo anual de un gran operador ferroviario ha sido de 8.915.588 kWh/año, por lo tanto, estimamos una reducción de consumo de 178.311 kWh/año.**

Como consecuencia de la obtención de los patrones de operación y la toma de acciones preventivas, los **beneficios principales** obtenidos serán:

- Reducción de Emisiones de CO2
- Reducción del Consumo
- Impulso de la seguridad ambiental
- Prolongación de la vida útil
- Fiabilidad y continuidad del suministro
- Optimización del rendimiento
- Detección temprana de incidencias
- Reducción del tiempo de inactividad
- Mejora de la seguridad



# Reducción de emisiones de CO2

Para **estimar las reducciones de dióxido de carbono (CO2)** que podrían obtenerse a partir de la implementación de un programa de mantenimiento predictivo en transformadores de potencia, **es necesario considerar varios factores, incluyendo la eficiencia energética y la vida útil extendida de los transformadores.** Aquí hay algunas consideraciones para realizar una estimación aproximada:



- **Eficiencia energética:** Los transformadores eléctricos, especialmente los de mayor tamaño, pueden tener una eficiencia energética que varía en función de su carga y estado. La eficiencia energética se mide en términos de pérdidas de energía. Un transformador en buen estado y bien mantenido tendrá pérdidas de energía menores en comparación con uno en mal estado.
- **Consumo de energía:** El consumo de energía de un transformador está relacionado con las pérdidas de energía mencionadas anteriormente. Un transformador en mal estado o que no ha sido sometido a mantenimiento predictivo puede tener pérdidas de energía más altas, lo que significa que consume más electricidad para la misma cantidad de energía entregada a la carga.

# Reducción de emisiones de CO2

- **Vida útil extendida:** Un programa de mantenimiento predictivo adecuado puede ayudar a extender la vida útil de los transformadores. Esto significa que se reemplazarán menos transformadores con menor frecuencia, lo que reduce la cantidad de energía y recursos necesarios para fabricar y reemplazar transformadores.
- **Emisiones de CO2 relacionadas con la producción:** La fabricación de transformadores conlleva emisiones de CO2 debido a la extracción de materias primas, la producción de componentes y el transporte. Al reducir la frecuencia de sustitución de los transformadores a través del mantenimiento predictivo, se pueden reducir las emisiones asociadas con su producción.

Dada la estimación de reducción de consumo de 178.311 kWh/año para este gran operador ferroviario, convertimos esta energía anual a toneladas equivalentes de CO2 según  $1\text{kWh} = 0.138\text{ kg CO}_2$  en 2021, lo cual produce una reducción de emisiones de CO2 de 24.607 kg CO2 (24,607 tCO2e).

# Innovación aplicada y buenas prácticas

La medida de parámetros eléctricos y energéticos en infraestructuras críticas como pueden ser el sector energético y/o ferroviario se viene realizando desde hace varias décadas. En la actualidad existen equipos con altas precisiones que nos permiten **detectar eventos de calidad de la energía, que pueden afectar de forma negativa a una instalación e incluso incumplir normativas como la EN 50160 en referencia a las “Características de la tensión suministrada por las redes generales de distribución”**.

Estos equipos permiten la medida, clasificación y registro de parámetros eléctricos y energéticos, así como la detección de anomalías en el suministro. Es por ello, que SICA lleva más de 25 años implementando equipos con estas características en numerosos clientes de distintos sectores.

En la subestación eléctrica de tracción objeto del presente proyecto, se dispone de equipos de medida de última generación instalados en todas las celdas de la misma. En este tipo de instalaciones, los sistemas de control, protección y medida son indispensables.



# Innovación aplicada y buenas prácticas

Cada posición eléctrica cuenta con un equipo que realiza las lecturas enviándolas a una unidad concentradora de datos de cada subestación, a partir de la cual se envían los datos, una vez tratados y procesados por el propio equipo (con precisiones y tiempos de registro muy elevados), hacia el sistema de control implementado.

Este sistema actúa como interfaz entre la subestación y los operadores de la misma. Recogiendo datos de parámetros eléctricos como tensiones, corrientes, potencias activas, reactivas, aparentes, energías importadas y exportadas, tasas de distorsión de armónicos, etc. Así como los estados de los elementos de corte, alarmas producidas, eventos... A modo de sistema de control se cuenta con un Telemano de energía basado en la plataforma WINCC OA, pionera en software de desarrollo de este tipo de aplicaciones complejas en infraestructuras críticas.

**Esta novedosa plataforma, para entrar en contexto, es la empleada para el desarrollo del sistema de control del CERN (European Organization for Nuclear Research) o como software de control en el Metro de Nueva York, entre otros proyectos de gran envergadura.**

# Innovación aplicada y buenas prácticas

La adquisición de datos a través del telemando se realiza por protocolos de comunicación de última generación como puede ser el estándar de subestaciones IEC 61850, que surge con el objetivo de mejorar la automatización de subestaciones eléctricas:

- Evitando protocolos propietarios y pudiendo llegar a integrar equipos de varios fabricantes. A este concepto se le denomina Interoperabilidad.
- Haciendo uso de tecnologías que puedan reducir costes, tanto en cableado como en tiempo de ingeniería.
- Buscando mejorar los procesos de puesta en marcha y mantenimiento.

Para conseguir este objetivo la norma se basa en tres principios clave:

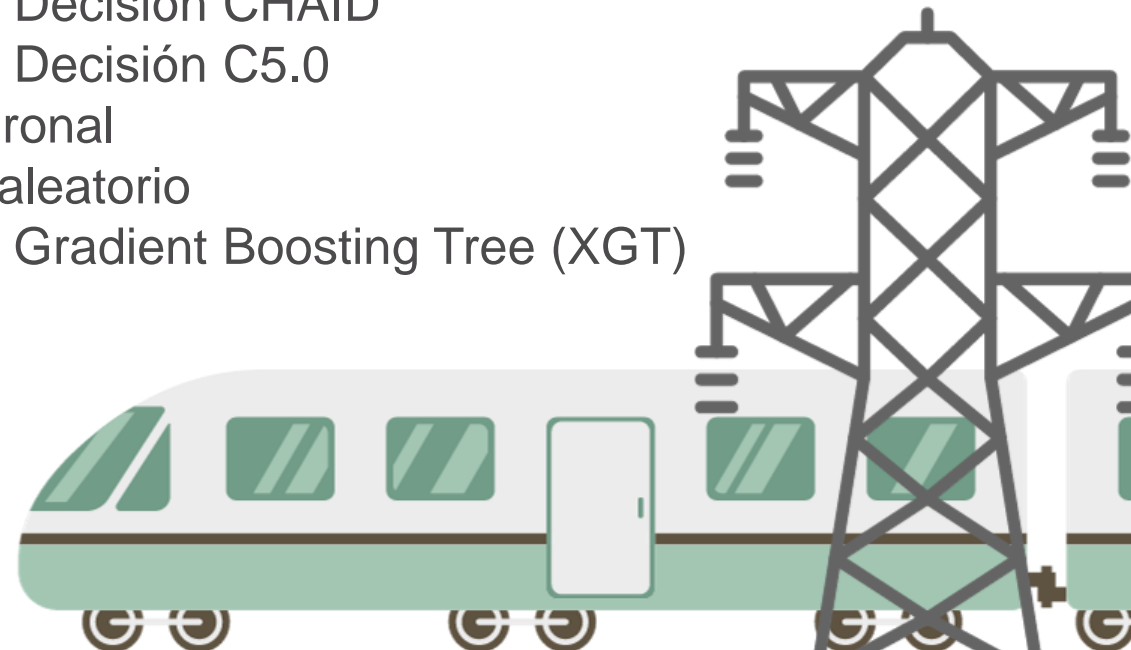
- Define un modelo de información unificado con una jerarquía de nombres y estructuras de datos específicas a usar en los diferentes dispositivos, común para todos los fabricantes.
- Define un protocolo de comunicaciones y una funcionalidad común.
- Establece un formato de fichero de configuración basado en XML y un conjunto de formatos y herramientas para facilitar las tareas de automatización y configuración dentro del proceso de ingeniería.

# Innovación aplicada y buenas prácticas

Disponiendo de la colección de datos de sistemas en tiempo real, medida fiscal y telemedida que reúnen datos de potencias, energías, corrientes, tensiones, factores de potencia, calidad de la energía, distorsión armónica, temperaturas, entre otros, el proyecto desarrolla una serie de modelos predictivos que predicen dos estados de alarma previos al disparo automático del transformador. La primera alarma se establece según un valor crítico de temperatura, y la segunda según un valor crítico de corriente.

Los modelos predictivos de secuencias temporales emplean diferentes técnicas avanzadas de machine learning para obtener la probabilidad de alcanzar esos valores críticos en el próximo período. Los métodos de clasificación empleados en este modelo de secuencias han sido:

- Regresión Logística
- Árbol de Decisión C&RT
- Árbol de Decisión CHAID
- Árbol de Decisión C5.0
- Red neuronal
- Bosque aleatorio
- Extreme Gradient Boosting Tree (XGT)



# Innovación aplicada y buenas prácticas

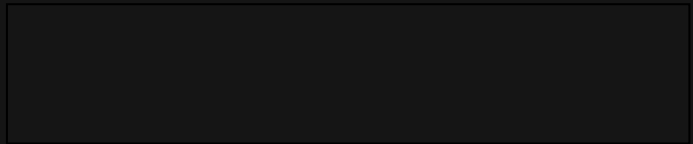
Los modelos se entrenaron con datos con un nivel de granularidad diaria. La especificación del modelo empleó 24 retardos para predecir la situación del transformador en la siguiente hora. Se emplearon 41 variables exógenas (5 de energías, 3 de tensiones, 4 de corrientes, 12 de potencias, 4 de factor de potencia, 9 de calidad de energía, 4 de temperaturas). Dado el número de variables exógenas, al emplear sus 24 retardos el número total de variables explicativas fue de 1.008. La especificación de los modelos tenía la siguiente estructura:

Variable dependiente (valores críticos de temperatura o corriente) = 24 retardos v. dependiente + \* 24 retardos de 41 v. exógenas = 1.008 variables explicativas

Los modelos obtuvieron una alta precisión con **errores inferiores al 8%** y presentando estabilidad en diferentes particiones de datos. El resultado de los modelos, las probabilidades de fallo según criterios establecidos son generados, exportados e integrados en el telemando de energía.



# Implantación del Modelo



## Realizar una guía de aprendizaje

Realice un recorrido implementando un caso de uso de entramado de datos en un proyecto de ejemplo.



## Trabajar con datos

Cree un proyecto para que su equipo prepare datos, busque conocimientos o cree modelos.



## Encuentre lo que necesita

Abra este mapa interactivo para encontrar las herramientas que necesita para sus tareas.



## Inicio rápido

- Crear interconexiones de datos con DataStage
- Crear perfiles de cliente con IBM Match 360 with Watson
- Catálogo y datos de gobierno con Watson Knowledge Catalog
- Crear y gestionar modelos ML con Watson Studio

## Proyectos

Mantenimiento Predictivo Trafos Tracción Hoy a las 9:54

## Despliegues

No hay espacios de despliegue

## Catálogos

**No hay catálogos**  
Sus catálogos se muestran aquí después de crearlos o unirlos. Pulse Nuevo catálogo para comenzar.

Nuevo catálogo

## Notificaciones

**Sin notificaciones**  
Verá sus notificaciones más recientes aquí.





**Habbertec**  
spirit of innovation

