



Especialización en Inteligencia de Negocios

Propuesta BI para la metodología de criticidad en los circuitos 13,2 kV a partir de los conceptos de ETL para apoyo en la toma de decisiones y la Administración, Operación y Mantenimiento de las instalaciones e infraestructura de la red eléctrica.

Yoiner Tabares Galvis



Universidad<sup>®</sup>  
Católica  
de Manizales

VIGILADA MINEDUCACIÓN

Obra de Iglesia  
de la Congregación



Hermanas de la Caridad  
Dominicanas de La Presentación  
de la Santísima Virgen

Propuesta BI para la metodología de criticidad en los circuitos 13,2 kV a partir de los conceptos de ETL para apoyo en la toma de decisiones y la Administración, Operación y Mantenimiento de las instalaciones e infraestructura de la red eléctrica.

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de  
*Especialización en Inteligencia de Negocios*

Asesor:

Vladimir Henao Céspedes<sup>1</sup>

Hector Fernando Sanchez

Autor:

Yoiner Tabares Galvis

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE MANIZALES  
FACULTAD  
ESPECIALIZACION INTELIGENCIA DE NEGOCIOS  
MANIZALES, CALDAS

---

<sup>1</sup> <https://orcid.org/0000-0002-1938-3203>

**Resumen:**

El presente proyecto de grado tiene como objetivo proponer una estrategia de BI para la automatización de metodología de criticidad en los circuitos 13,2 kV., mediante un modelo tecnológico basado en ETL. Se extrajeron datos de diversas fuentes, se transforman y se cargan en el modelo propuesto, lo que permitió asignar niveles de criticidad a cada circuito y para el apoyo en la priorización las acciones de mantenimiento, operación y reposición en los circuitos eléctricos.

Además, se propuso un componente de visualización en PowerBI para observar los resultados de criticidad y apoyar la toma de decisiones. Este componente proporciona una representación clara de los datos y utiliza indicadores visuales y geográficos para identificar el estado de los activos.

**Palabras clave:** automatización, metodología de criticidad, modelo tecnológico, ETL, circuitos 13,2 kV, toma de decisiones, visualización.

**Abstract:**

This degree project aims to propose a BI strategy for the automation of criticality methodology in 13.2 kV circuits, using a technological model based on ETL. Data were extracted from various sources, transformed and loaded into the proposed model, which allowed assigning criticality levels to each circuit and to support the prioritization of maintenance, operation and replacement actions in electrical circuits.

In addition, a visualization component was proposed in PowerBI to observe the criticality results and support decision making. This component provides a clear representation of the data and uses visual and geographical indicators to identify the status of the assets.

**Keywords:** automation, criticality methodology, technology model, ETL, 13.2 kV circuits, decision making, visualization.

## Contenido

1.	Introducción .....	9
1.1	Descripción del Problema. ....	9
1.2	Justificación.....	10
1.3	Contexto de aplicación.....	12
2.	Objetivos .....	13
3.	Marco teórico / referentes teóricos.....	14
3.1	Sobre redes inteligentes y transformación digital .....	14
3.2	Sobre la metodología de criticidad.....	16
3.3	Marco Legal .....	18
4.	Metodología .....	19
4.1	Objetivo 1. Extracción, carga y transformación de datos. ....	19
4.1.1	Extracción:.....	19
4.1.2	Transformación:.....	20
4.1.2	Carga:.....	20
4.2	Objetivo 2: Visualización Estratégica de Datos. ....	20
5.	Resultados y discusión .....	22
5.1	Objetivo 1.....	22
5.1.1	Extracción de datos.....	22
5.1.2	Transformación de datos. ....	25
5.1.3	Carga de datos. ....	26
5.2	Objetivo 2.....	26
6.	Conclusiones .....	29
7.	Recomendaciones.....	30
8.	Referencias bibliográficas .....	31

## Índice de figuras

<i>Figura 1.</i> Modelo de extracción de datos. Herramienta SSIS.....	25
<i>Figura 2.</i> Reporte de ejecución Integration Services Sql Server.....	26
<i>Figura 3.</i> Resultado de criticidad. PowerBI.....	27
<i>Figura 4.</i> Georreferenciación de la criticidad en el área de influencia de CHEC.....	28

## Índice de tablas

<i>Tabla 1.</i> Mapeo de datos .....	23
--------------------------------------	----

## Tabla de abreviaturas

CHEC	Central Hidroeléctrica de Caldas
ETL	Extract, Transform, Load (Extracción, Transformación, Carga)
IoT	Internet of Things (Internet de las Cosas)
BI	Business Intelligent (Inteligencia de Negocios)
AOM	Administración, Operación, Mantenimiento
EPM	Empresas Públicas de Medellín



## 1. Introducción

### 1.1 Descripción del Problema.

La Central Hidroeléctrica de Caldas CHEC SA ESP, empresa del grupo EPM, presta sus servicios en las zonas urbanas y rurales de Caldas y Risaralda, impactando 40 municipios, 19 corregimientos y 14 resguardos indígenas, con una cobertura del servicio de energía de alrededor 1.500.000 habitantes; prestando los servicios de generación, transmisión, distribución y comercialización de energía. En el negocio de distribución planear las actividades necesarias para garantizar la disponibilidad y confiabilidad de los activos eléctricos instalados en el área de cobertura CHEC, en todos sus niveles de tensión es fundamental, ejecutando acciones regulares que permitan garantizar la vida útil de los equipos de manera óptima y costo eficiente utilizando las metodologías de gestión de activos para garantizar la seguridad de las personas, la vida animal, vegetal y la preservación del medio ambiente, previniendo, minimizando o eliminando los riesgos de origen eléctrico.

Para definir un plan de mantenimiento y reposición más robusto y automático en las redes 13,2kV se requiere un sistema tecnológico automático para apoyo a la toma de decisiones. Dado el problema anterior se requieren herramientas tecnológicas para apoyar la toma de decisiones referentes al proceso de Administración, Operación y Mantenimiento (AOM) de las instalaciones e infraestructura de la red eléctrica y reposición en los circuitos 13,2kV. Existen una gran cantidad de atributos desde objetos de impactos definidos como personas, ambiente, reputación y financiero que generan señales para la operación de la red y definir su criticidad. Adicional los aplicativos tecnológicos presentan una serie inconvenientes para cruzar información que no se asocia al contexto operacional (territorio, comunidades, medioambiental) para CHEC. Lo anterior conlleva la falta de automatización de la metodología de criticidad para la evaluación de los activos.

¿Qué diseño tecnológico permite generar un modelo BI para la criticidad en circuitos 13,2 kV y obtener resultados para el apoyo de la operación y reposición de los activos asociados a los circuitos eléctricos?

## 1.2 Justificación

La Central Hidroeléctrica de Caldas CHEC SA ESP, empresa del grupo EPM, fundada en 1.943, presta sus servicios en las zonas urbanas y rurales de Caldas y Risaralda, impactando 40 municipios, 19 corregimientos y 14 resguardos indígenas, con una cobertura del servicio de energía de alrededor 1.500.000 habitantes y 530.000 clientes facturados al año 2022. Para proporcionar esta capacidad de energía eléctrica cuenta con 7 centrales de generación hidroeléctrica distribuidas en el Departamento de Caldas. Sus negocios se encuentran en los procesos de distribución, comercialización y comercialización de energía eléctrica. Para este proyecto de grado el foco fue el negocio de distribución en especial en los circuitos de 13,2kV, o redes urbanas y rurales que suministran a los diferentes clientes (residenciales, comerciales, industriales, y oficiales).

La consolidación de las Smart Grids (redes inteligentes), permiten optimizar la infraestructura de suministro de electricidad que mejora la eficiencia y la resiliencia de la red, al mismo tiempo que capacita a los consumidores y aborda los problemas de sostenibilidad energética (Brown et al., 2019). El concepto surgió de la necesidad de mejorar la distribución del sistema eléctrico, con el objetivo de contribuir a la combinación de tecnologías, hardware, software o prácticas que colectivamente hacen la entrega energética más eficiente y la red más confiable, versátil, segura, resistente y, en última instancia más útil para los consumidores (Blarke & Jenkins, 2013; Díaz Andrade et al., 2011).

La mejora y evolución de las redes eléctricas tiene como dirección modernos sistemas eléctricos acordes a la nueva revolución industrial de donde se están implementando equipos y software que permitan el monitoreo en tiempo real de la red eléctrica, al igual que su gestión y apoyo a la toma de decisiones (Zhou, Fu, & Yang, 2016) (International Energy Agency, 2015).

Este proyecto de grado es conveniente para la automatización, optimización y apoyo a partir de la metodología de criticidad. Uno de los principales beneficios que se pretende generar es alrededor de la transformación digital, logrando en sí resultados a las áreas encargadas de la operación y mantenimiento de los activos en la red 13,2 El impacto final se trasladará a los usuarios del servicio eléctrico, este tipo de acciones, respuesta rápidas y apoyo a la toma de decisiones del AOM, evitando eventos y salidas de la red redundando en la calidad del servicio. En relación a todo el marco regulatorio que rige las empresas de servicios públicos eléctricos(Comisión de Regulación de Energía y Gas, 2018).

La metodología de criticidad y su importancia en activos eléctricos va en vía de los objetivos estratégicos de negocio con la identificación de activos críticos, la metodología de criticidad ayuda a identificar los activos eléctricos que son críticos para el funcionamiento del sistema. Esto permite a las empresas centrarse en la gestión de esos activos, garantizando su disponibilidad y minimizando el riesgo de fallos (Cerón et al., 2015).

La gestión de riesgos dentro de la metodología de criticidad permite a las empresas evaluar el riesgo asociado con los diferentes activos eléctricos. Esto les permite establecer planes de contingencia y de mantenimiento preventivo adecuados, minimizando el impacto de los fallos en el sistema. Maximización de la eficiencia: Al centrarse en la gestión de los activos críticos, las

empresas pueden maximizar la eficiencia de sus operaciones. Esto se logra al garantizar la disponibilidad de los activos clave, reduciendo el tiempo de inactividad y aumentando la fiabilidad del sistema (Pais, 2019).

En cuanto a la reducción de costos la criticidad también ayuda a las empresas a reducir los costos asociados con la gestión de activos eléctricos. Al identificar los activos críticos, las empresas pueden priorizar la asignación de recursos y reducir los costos asociados con el mantenimiento y reparación de activos menos críticos (García Sanz-Calcedo et al., 2011).

Como resultados de este proyecto de grado se pretenden entregar modelos relacionales y de flujo de datos, propuestas de una arquitectura tecnológica para el apoyo de toma de decisiones en cuanto a planes de mantenimiento y reposición, y que generen señales visuales sobre el comportamiento de los activos en la red 13,2 kV a partir del análisis visual de datos y que puedan brindar respuesta a inquietudes sobre la red eléctrica a partir de las condiciones particulares en la cuales se encuentra instaladas nuestras redes de distribución.

Lo anteriormente descrito justifica la pretensión de involucrar las tecnologías computacionales en la automatización de la metodología de criticidad, permitiendo información actualizada y rápida para la toma de decisiones de la operación y reposición de los activos en los diferentes ámbitos del negocio; apoyando la toma de decisiones en temas de Administración, Operación y Mantenimiento de las instalaciones e infraestructura de la red y aportando a la obtención de los objetivos estratégicos de la empresa.

### **1.3 Contexto de aplicación.**

La presente propuesta fue desarrollada en la ciudad de Manizales, capital del departamento de Caldas, Colombia. Se utilizaron recursos, componentes y datos brindados por la empresa Central Hidroeléctrica de Caldas SA. ESP., ubicada sobre la autopista del café kilómetro 1, estación Uribe.

## 2. Objetivos

General.

Proponer una estrategia de BI para la automatización de metodología de criticidad en los circuitos 13,2 kV desde los conceptos de ETL (Extracción, Transformación, Carga) para apoyo en la toma de decisiones de las instalaciones e infraestructura de la red eléctrica.

Específicos.

1. Desarrollar un modelo tecnológico aplicando conceptos de ETL para la automatización de la criticidad en los circuitos 13,2 kV.
2. Proponer un componente de visualización para la observación de los resultados de criticidad y apoyo a la toma de decisión de los procesos implicados en la operación y mantenimiento de los activos en los circuitos 13,2 kV.

### 3. Marco teórico / referentes teóricos

#### 3.1 Sobre redes inteligentes y transformación digital

Las Smart Grids (redes inteligentes) el concepto que va en paralelo con la revolución 4.0, la automatización, Internet de las cosas, y Big Data. La aplicación de este concepto permite mejorar la distribución del sistema eléctrico, con el objetivo de contribuir al desarrollo tecnológico logrando la combinación de tecnologías habilitadoras, hardware, software o prácticas que colectivamente hacen la entrega energética más eficiente y la red eléctrica más confiable, versátil, segura, más resiliente (Blarke & Jenkins, 2013). La iniciativa “Colombia Inteligente 2030” encamina a Colombia a un cambio radical en el tema de consumo de energía domiciliario. Desde una mira holística se hace necesario aplicar al sistema energético tradicional nuevas características enfocadas en la implementación de tecnologías como: infraestructura de medida avanzada, Advanced Metering Infrastructure (AMI, por sus siglas en inglés), automatización avanzada de la red de distribución, Advanced Distribution Automation (ADA, por sus siglas en inglés), DER y vehículos eléctricos, Electric Vehicle (EV, por sus siglas en inglés). Estas tecnologías anteriormente descritas buscan la soluciones que planea el mundo actual en cuanto a avances en redes inteligentes y acoplándose con las políticas de Colombia Inteligente 2030 (Ramírez et al., n.d.). El objetivo de esta iniciativa es establecer concertadamente con las principales empresas e instituciones del sector eléctrico y demás actores relacionados, un marco de lineamientos, políticas y estrategias para el desarrollo del sector, llevando a donde sea aplicable una estrategia de redes inteligentes orientada a la generación de valor y a la solución de retos que enfrenta el sistema eléctrico Colombiano (Corredor, 2010).

En las redes inteligentes un aspecto clave es la infraestructura tecnológica, necesaria para medición inteligente de datos y variables eléctricas donde se involucran las comunicaciones al igual que las tecnologías modernas que son utilizadas en los medios de transmisión eléctrica tomando en consideración protocolos y normativas que permiten la transmisión de información entre medidores eléctricos inteligentes y concentradores (Wang et al., 2018). En tal sentido, las redes inteligentes eléctricas deben ir de la mano con la sostenibilidad ambiental, social y económica, y estas ser una necesidad para poder ir a la par del ritmo acelerado en el que se expanden nuestras ciudades, y poder soportar los recursos tecnológicos que necesitamos para hacer realidad estas acciones en favor de la evolución y la sostenibilidad (Ruiz & García, 2015).

La integración profunda de los enlaces en una cadena de energía y tecnología de la información contribuye enormemente al sistema eléctrico de una manera eficiente (Pawar & Vittal K, 2019). Ciertamente, la tecnología se ha convertido en un motor de impulso para solucionar muchos problemas en la integración del sistema eléctrico, incluidas las características no lineales y multivariadas del campo eléctrico. Sobre esta base, la integración profunda entre la tecnología de la información y la energía eléctrica logra realmente la Internet de la Energía (Internet of Energy IoE, por sus siglas en inglés) (Liu & Chen, 2018). Aplicando los componentes temáticos de

Inteligencia Artificial, Computación Ubicua y Análisis de grandes volúmenes de datos en los repositorios, a través de técnicas de “Minería de Datos”; las implementaciones serán afines a los métodos que aplicaremos en la obtención de datos a través de sensores IoT, vinculado la academia con la industria y la sociedad civil para el apoyo a la toma de decisiones (Pincay-Ponce et al., 2020).

Todo lo anterior, asociada a la evolución de las redes eléctricas tiene como dirección modernos sistemas eléctricos acordes a la nueva revolución industrial tecnológica de donde se están implementando equipos y software que permitan el monitoreo en tiempo real de la red eléctrica (International Energy Agency, 2015), al igual que su gestión de los activos, análisis de riesgo, criticidad y apoyo a la toma de decisiones (Zhou & Yang, 2015). La infraestructura eléctrica debe integrar estos nuevos elementos a las redes eléctricas actuales en la búsqueda de redes inteligentes; con apoyo de los avances y desarrollos tecnológicos y computacionales que permitan la generación, transmisión y distribución de la energía eléctrica, optimizando la operación del sistema eléctrico en el país y de la región (Yaman & Bicen, 2019).

Por otro lado, esta evolución hacia redes inteligentes facilitara la prevención y reducción de fallas en los equipos, incluyendo las fallas humanas. Posteriormente, permitirá optimizar la capacidad instalada y automatizar los procesos en los diversos niveles del sector energético. Adicionalmente, permitirá comprender y auditar las pérdidas en la transmisión y distribución de energía al implementar generación distribuida y hacer más eficiente el consumo gracias a las Smart Grid (Dileep, 2020). Como un ejemplo de sus aplicaciones por parte de las corporaciones existentes en la industria, la tecnología IoE está siendo utilizada por la automatización de sistemas de ventilación, paneles solares autónomos, redes eléctricas inteligentes que recopila datos para generar información y conocimiento, las operaciones y de gestión que apuntan a aumentar sus procesos energéticos, edificaciones inteligentes que aprovecha de la tecnología para generar y automatizar su eficiencia energética, entre muchas otras iniciativas tecnológicas que mejoran los procesos de administración y mantenimientos eléctricos, su distribución y la gestión de la demanda (Yosuf et al., 2018) (Al-Turjman & Abujubbeh, 2019).

### 3.2 Sobre la metodología de criticidad

La metodología de criticidad tiene como objetivo definir los criterios y directrices bajo los cuales se realiza el análisis de criticidad de los activos físicos productivos, de tal forma que se puedan identificar los impactos que se generan a la calidad de la prestación del servicio, la seguridad de las personas, el medio ambiente, las finanzas y la reputación cuando ocurre una falla en un activo (Chec & Del, 2022). Dentro de los pasos para el desarrollo de la metodología el primero de ellos consiste en identificar los componentes clave de la red de distribución eléctrica que pueden afectar significativamente la confiabilidad del suministro en las redes de distribución. A continuación, se debe establecer los criterios que se utilizarán para evaluar la criticidad de los componentes. Estos criterios pueden incluir la importancia del componente en el suministro de energía, el impacto de su falla en la continuidad del servicio, la disponibilidad de equipos de respaldo, la dificultad y el tiempo requerido para la reparación, indicadores de calidad, entre otros factores relevantes. La recolección de los datos necesarios sobre los componentes de la red de distribución eléctrica, su capacidad y clientes asociados, historial de eventos, tiempo de reparación e indicadores de calidad del servicio. A cada una de estas variables se realiza una asignación de pesos y puntajes a los diferentes criterios de criticidad identificados en función de su importancia relativa. Estos puntajes pueden basarse en datos históricos, o estimaciones de expertos técnicos. Finalmente, el análisis de los resultados examina los valores de criticidad calculados y clasifica los componentes de la red en función de su nivel de criticidad. Esto permite identificar los componentes más críticos que requieren una mayor atención en términos de mantenimiento, monitoreo y planificación de contingencias de la red de distribución eléctrica. El nivel de criticidad se encuentra dado por el resultado más alto entre los cinco impactos evaluados, el grado de criticidad resultante es un nivel cualitativo con definiciones (Bajo, Medio, Alto y Muy Alto). Los activos con resultados Alto y Muy Alto, deben ser considerados para una posterior evaluación y planificación de controles que permitan disminuir o controlar esta criticidad alcanzada (Chec & Del, 2022).

Es de interés para CHEC capitalizar oportunidades relacionadas con el aprovechamiento de los datos que se viene extrayendo de los equipos y activos productivos instalados en la red y que son de interés particular para la realización de actividades de operación, mantenimiento y reposición, de tal manera que se puedan tomar decisiones de negocio que permitan generar ingresos y optimizar costos para la empresa. En el marco de la actualización tecnológica y la cuarta revolución que se viene adelantando con el fin de prestar un mejor servicio, en lo relacionado con los atributos de calidad y confiabilidad, cada vez se cuenta con bancos de datos de mayor tamaño que permiten extraer información con inteligencia artificial de interés para la operación y el negocio (Kock et al., 2014).

A su vez, se evidencian oportunidades en la reducción de indisponibilidades de servicio, que impacta directamente a los ingresos empresariales, puesto que cada vez que se detiene el funcionamiento de los activos críticos transmisión eléctrica para realizar mantenimientos, implica la reducción en los ingresos y pago de compensaciones a los usuarios. Al tener menos indisponibilidades de servicio relacionadas con el mantenimiento preventivo y/o correctivo, se puede hacer una asignación de funciones y/o responsabilidades al personal dando prioridad a lo estratégico. Lo anterior se puede resumir en que hay oportunidades manifiestas relacionadas con



hacer más eficiente la prestación del servicio a través de la optimización y priorización a través de la criticidad en las actividades de mantenimiento.

### **3.3 Marco Legal**

La Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) en Colombia, establece los requisitos y las obligaciones para los prestadores del servicio de distribución de energía eléctrica en el país. Las regulaciones tienen como objetivo garantizar que el servicio sea prestado de manera eficiente, segura y sostenible. Los prestadores del servicio de distribución de energía eléctrica tienen la obligación de garantizar la calidad, continuidad y eficiencia en la prestación del servicio. Además, deben cumplir con los requisitos técnicos y operativos establecidos por la CREG, que incluyen la atención de emergencias y la realización de mantenimiento preventivo y correctivo. La calidad del servicio de energía eléctrica se refiere a la capacidad del sistema para proporcionar energía eléctrica de manera confiable y con un nivel adecuado de voltaje y frecuencia. La Resolución 015 de 2018 establece los requisitos de calidad del servicio, que incluyen la frecuencia y duración de las interrupciones del suministro de energía eléctrica. Las tarifas de energía eléctrica en Colombia se determinan de acuerdo con los costos de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica (Comisión de Regulación de Energía y Gas, 2018).

## **4. Metodología**

El presente proyecto pretende propiciar un espacio para la investigación aplicada en componentes tecnológicos a la vanguardia de la nueva economía digital y la cuarta revolución industrial que permita usar el método científico en la validación de los prototipos y componentes desarrollados, adicionalmente se prevé la utilización de metodologías de Ingeniería de Software y procesos de gestión de activo como consolidación de la propuesta de investigación.

Se pretende implementar dos fases dentro de la investigación:

1. La primera responderá a identificación, auditoria y gestión de la demanda energética, mediante la medición inteligente, la analítica de datos y la aplicación de técnicas de ETL sobre los repositorios históricos y los eventos del sistema eléctricos
2. La segunda fase se encamina hacia la consolidación y visualización de los datos de la red eléctrica.

### **4.1 Objetivo 1. Extracción, carga y transformación de datos.**

En la actual era de la información, el análisis de datos se ha convertido en una herramienta fundamental para las organizaciones que buscan tomar decisiones basadas en información precisa y actualizada. Sin embargo, la mayoría de los datos se encuentran dispersos en diferentes fuentes y formatos, lo que dificulta su análisis eficiente. Es aquí donde entra en juego la metodología ETL (Extracción, Transformación y Carga), un proceso clave para la integración y preparación de datos antes de su análisis. En este proyecto de grado, exploraremos la metodología ETL, su importancia y los beneficios que aporta a las organizaciones (Runtuwene et al., 2018). La metodología ETL es un enfoque sistemático utilizado en la gestión de datos para extraer, transformar y cargar información desde diversas fuentes hacia un almacén de datos centralizado. Cada una de estas etapas cumple una función fundamental:

#### **4.1.1 Extracción:**

En esta etapa, los datos se recopilan de diferentes fuentes, como bases de datos, archivos planos, sistemas ERP, entre otros. La extracción puede ser realizada de manera periódica o en tiempo real, dependiendo de las necesidades de la organización. Es esencial seleccionar los datos relevantes y asegurar su integridad durante el proceso de extracción (Andersen et al., 2018).

#### **4.1.2 Transformación:**

Una vez extraídos los datos, es necesario someterlos a una serie de transformaciones para que sean coherentes, consistentes y adecuados para su análisis. En esta etapa, se llevan a cabo actividades como la limpieza de datos, la eliminación de duplicados, la corrección de errores, la normalización de formatos y la aplicación de reglas de negocio. Además, es posible realizar operaciones más avanzadas, como el enriquecimiento de datos, la agregación y la generación de nuevas variables (Runtuwene et al., 2018).

#### **4.1.2 Carga:**

Finalmente, los datos transformados y preparados se cargan en un almacén de datos centralizado, como un datawarehouse o un datamart (Chen et al., 2014) . En esta etapa, se estructuran los datos de manera que sean accesibles para su posterior análisis y generación de informes. La carga puede ser realizada de forma incremental o completa, dependiendo de los requisitos y la frecuencia de actualización de los datos.

### **4.2 Objetivo 2: Visualización Estratégica de Datos.**

En la actualidad, existe una gran cantidad de datos generados constantemente por diversas fuentes. La empresa consultora y de investigación en tecnologías Gartner, elaboró un informe en donde afirma que para 2.019 se poseían conectados alrededor de 14.200 millones de dispositivos y hacia finales del año 2021 se tendría un incremento significativo de los dispositivos conectados a internet, alcanzando alrededor de 25.000 millones de “cosas” conectadas a internet (Gartner Inc., 2017, 2018). Sin embargo, la simple acumulación de datos no es suficiente para tomar decisiones informadas y obtener conocimientos significativos. Es aquí donde entra en juego la visualización de datos, una herramienta poderosa que nos permite representar y comprender la información de manera clara y efectiva. En este proyecto, exploramos la importancia de la visualización de datos, sus beneficios y cómo puede influir en la toma de decisiones a partir de la metodología de criticidad en los circuitos 13,2 kV (Chec & Del, 2022; Pincay-Ponce et al., 2020).

La visualización de datos implica la representación gráfica y visual de la información con el objetivo de comunicar patrones, tendencias, relaciones y conceptos complejos de manera más accesible y comprensible (Shadare et al., 2016). A continuación, se presentan algunos aspectos clave sobre la importancia de la visualización de datos:

#### Comprensión rápida y efectiva:

El ser humano tiene una capacidad innata para comprender y procesar información visual de manera más eficiente que los datos en bruto. Al utilizar gráficos, tablas, diagramas y otros elementos visuales, los datos se presentan de forma más clara y concisa, lo que facilita la comprensión de patrones y relaciones complejas (Shadare et al., 2016).

#### Identificación de tendencias y patrones:

La visualización de datos permite identificar patrones, tendencias y anomalías que podrían pasar desapercibidos en los datos sin procesar. Al representar los datos en gráficos de líneas, barras, dispersión u otros formatos visuales, es posible observar rápidamente las fluctuaciones, las correlaciones y las variaciones en los datos, lo que ayuda a identificar patrones y tomar decisiones fundamentadas (Provost & Fawcett, 2013).

#### Comunicación efectiva:

La visualización de datos es una forma efectiva de comunicar información compleja de manera clara y concisa. Al presentar datos visualmente, se eliminan barreras lingüísticas y técnicas, lo que facilita la comunicación entre diferentes audiencias y equipos multidisciplinarios. Las visualizaciones permiten contar una historia, transmitir mensajes clave y convencer a través de datos objetivos (Provost & Fawcett, 2013).

#### Exploración interactiva:

Las herramientas de visualización de datos modernas ofrecen capacidades interactivas que permiten a los usuarios explorar los datos desde diferentes ángulos, realizar filtros, seleccionar variables y profundizar en los detalles. Esto fomenta un enfoque más investigativo y permite descubrir nuevas perspectivas y conocimientos ocultos en los datos (Chen et al., 2014).

#### Toma de decisiones informadas:

La visualización de datos proporciona una base sólida para la toma de decisiones informadas. Al tener una representación visual clara de la información, los tomadores de decisiones pueden evaluar rápidamente las opciones, analizar diferentes escenarios y evaluar el impacto de las decisiones antes de implementarlas (Provost & Fawcett, 2013).

## **5. Resultados y discusión**

En esta sección se presentan los resultados de la automatización de la metodología de criticidad a partir del modelo BI desarrollado, para los objetivos propuesto y se discutira como es una estrategia fundamental en el campo de la tecnología para mejorar la eficiencia y la confiabilidad de las operaciones eléctrica en los circuitos 13,2 kV y como este es de vital importancia para garantizar un suministro eléctrico seguro y confiable. Se presenta los resultados de un modelo tecnológico que aplica conceptos de ETL (Extracción, Transformación y Carga) para automatizar la criticidad en dichos circuitos. Analizaremos los beneficios obtenidos y su impacto en la red eléctrica.

### **5.1 Objetivo 1.**

En relación con el objetivo específico 1. “Desarrollar un modelo tecnológico aplicando conceptos de ETL para la automatización de la criticidad en los circuitos 13,2 kV”, se obtuvieron los siguientes resultados.

#### **5.1.1 Extracción de datos.**

Se extrajeron datos de múltiples fuentes, como sistemas SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), historiales de eventos, ERP, comercial, y archivos planos. Estos datos incluyeron información sobre los diferentes tipos de clientes (comercial, industrial, oficial y residencial), las longitudes tanto urbanas como rurales, los indicadores de calidad Saidi Saifi, las compensaciones pagadas a los clientes, los consumos, la energía no suministrada, el grupo de calidad, el número de interrupciones, los puntos de vegetación sobre la red y las suplencias.

En la tabla 1 se evidencian las fuentes de datos y el mapeo realizado para el proceso de extracción de datos.

Tabla 1.

Mapeo de Datos.

<i>Fuente de datos</i>	<i>Tabla</i>	<i>Variable</i>
<i>Calidad097</i>	CHC097_FORMATO5	Circuito
		Capacidad
		Trafos
		Consumos
		SAIDI / SAIFI
		Grupo Calidad
		Interrupciones 19 , 20
		Interrupciones 26
		Interrupciones 27
		Interrupciones 28
	ENS	
	Compensacion	
	chc097_custmetr	Clientes
	chc097_mvlinsec	Longitud Rural/Urbana
	<i>SGO-SCADA</i>	CHC097_TMP_FORMATO45 B
Interrupciones		
Interrupciones 19 , 20, 86		
Interrupciones 26, 86		
Interrupciones 27, 74		
Interrupciones 28, 62		
ENS		
CHC097_EVENTOS		SAIDI / SAIFI
		Interrupciones
		Interrupciones 19 , 20, 86
		Interrupciones 26, 86
		Interrupciones 27, 74
Interrupciones 28, 62		
ENS		
<i>REDES</i>		FEEDERS
	mvelnode	Suplencias
	mvlinsec	Suplencias
	SWITCHES	Suplencias

<i>ASIEC</i>	CARGOS_COMPENSACION _PS@redesiec (dblink)	Compensacion SIEC
<i>ITADEPM</i>	chc097_mvlinsec@redeitadep m	Longitudes
	chc097_custmetr@redeitadep m	Usuarios
<i>SAC (Conexión Adicional)</i>	creg015_compensacion	Compensacion SAC
	transformadores	Compensacion SAC

Fuente: Elaboración propia.



### 5.1.2 Transformación de datos.

El proceso de modelado para el producto mínimo viable propuesto para la extracción de datos desde diversas fuentes se realizó haciendo uso de la herramienta Microsoft SSIS(Microsoft, 2023). Como se puede observar en la figura 1., se detalla el flujo de datos para la extracción rápida y automática de las diversas fuentes de datos enumeradas anterior.

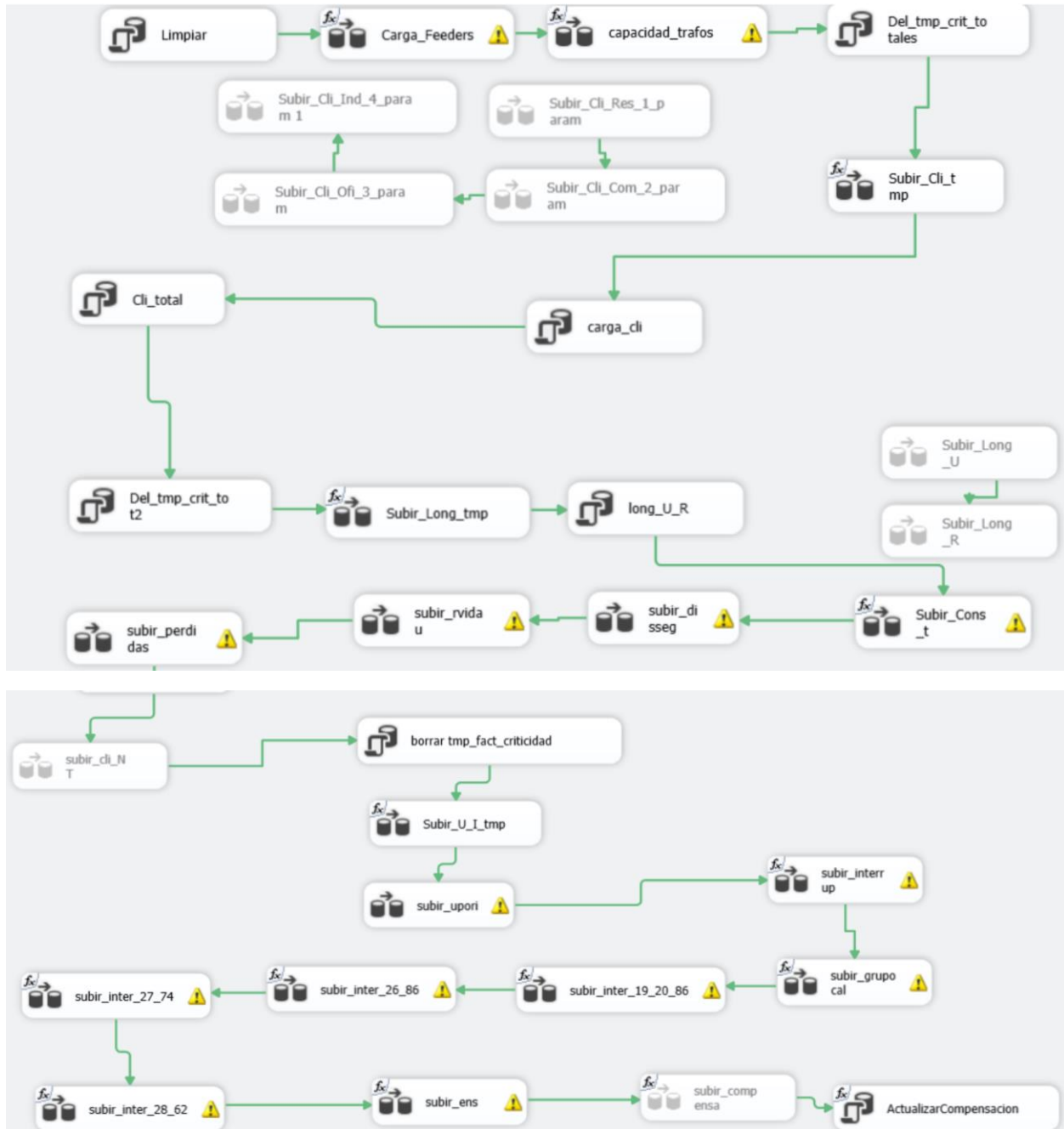


Figura 1. Modelo de extracción de datos. Herramienta SSIS.

### 5.1.3 Carga de datos.

En el proceso de carga de datos se realiza pruebas de ejecución se logra obtener un tiempo aproximado de 323 segundos (5 minutos con 23 segundos) como se observa en la figura 2., allí en la ejecución de Integration Services de Sql Server se logran tiempos muy bajos en comparación a la dedicación por parte de personal de la empresa donde se tienen aproximadamente 24 horas hombre; reducción de tiempos bastante considerables.

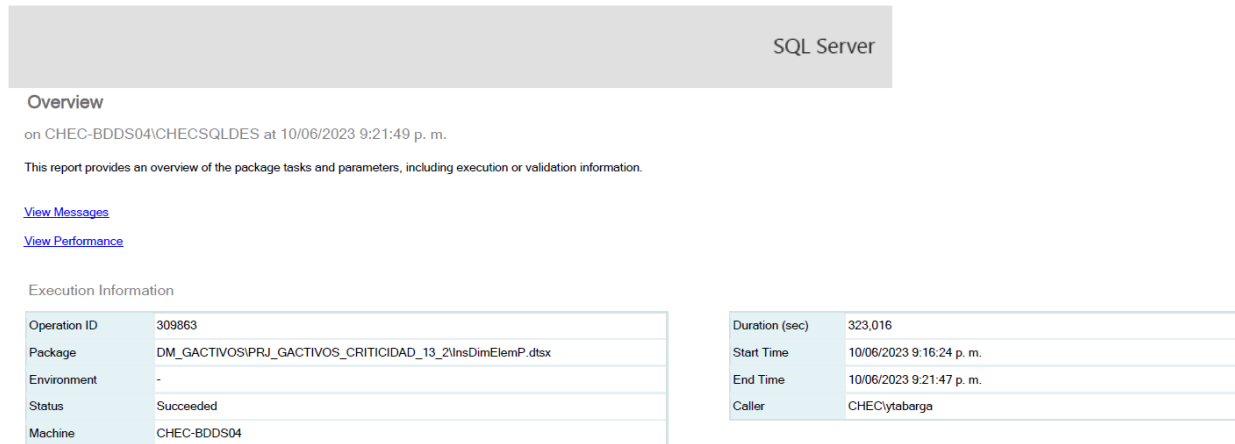


Figura 2. Reporte de ejecución Integration Services Sql Server.

Finalmente, el modelo tecnológico desarrollado, basado en la aplicación de ETL, permitió generar resultados y optimizar la consolidación datos, mediante la aplicación de las plataformas tecnológicas, diseño de software básico y modelos de análisis en los datos transformados, se asignaron niveles de criticidad a cada circuito. Esto permitió priorizar las acciones de mantenimiento y atención en aquellos circuitos que presentaban un mayor riesgo de falla o que afectaban a áreas más críticas. Esto facilitó la detección temprana de posibles fallas en los circuitos 13,2 kV.

## 5.2 Objetivo 2.

En relación con el objetivo específico 2. “Proponer un componente de visualización para la observación de los resultados de criticidad y apoyo a la toma de decisión de los procesos implicados en la operación y mantenimiento de los activos en los circuitos 13,2 kV”, se obtuvieron los siguientes resultados.

Este componente de visualización propuesto tiene como objetivo proporcionar una representación clara y accesible de los datos relevantes para facilitar la toma de decisiones informadas a partir de la metodología de criticidad. A continuación, se presentan algunos aspectos destacados del componente propuesto de visualización.

El componente de visualización desarrollado en PowerBI incluye un panel de control intuitivo que muestra una visión general de los circuitos de 13,2 kV y sus resultados asociados como se observa en la figura 3. Proporciona información rápida y precisa sobre el estado actual de los activos, como el resultado de criticidad, el índice de riesgo y el valor de criticidad.

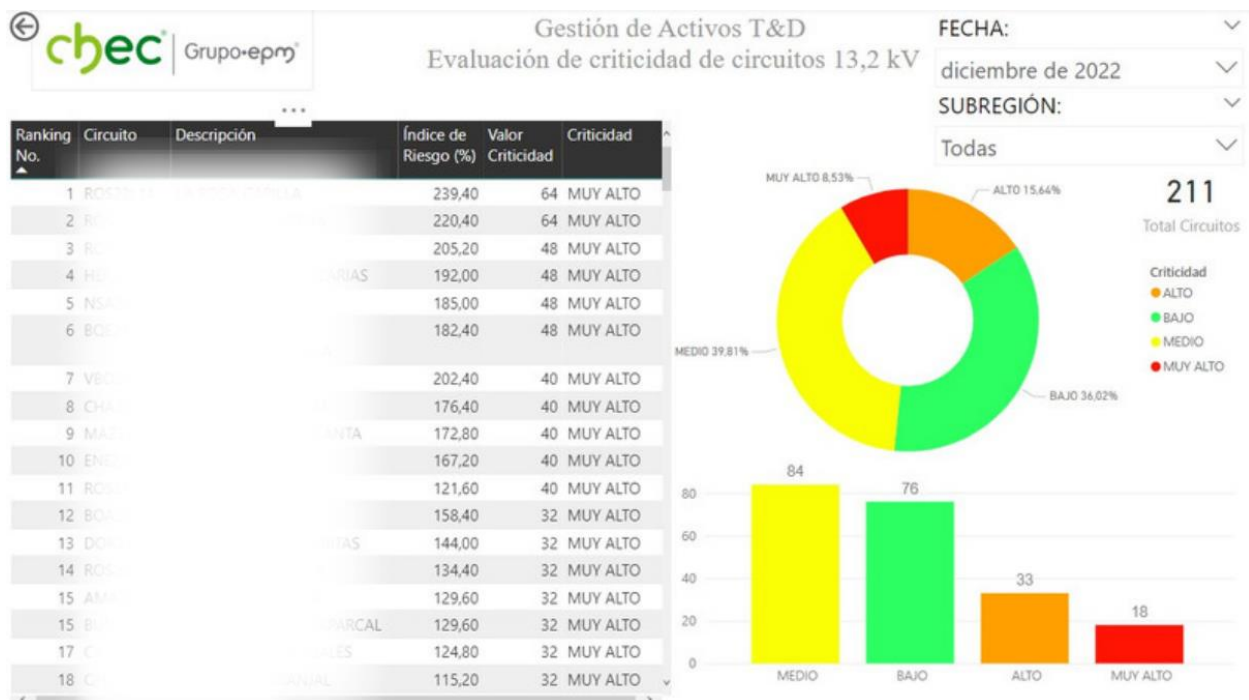


Figura 3. Resultado de criticidad. Construcción propia.

Para el presente piloto propuesto con el objetivo de ayudar a evaluar la criticidad de los activos, el componente utiliza indicadores visuales y geográficos, como colores o iconos, para representar su estado y la ubicación aproximada de los circuitos 13,2 kV en los departamentos de Caldas y Risaralda. Como se observa en la figura 4, los activos en buen estado pueden mostrarse en verde, mientras que los que requieren atención pueden mostrarse en amarillo o rojo, según su nivel de criticidad.

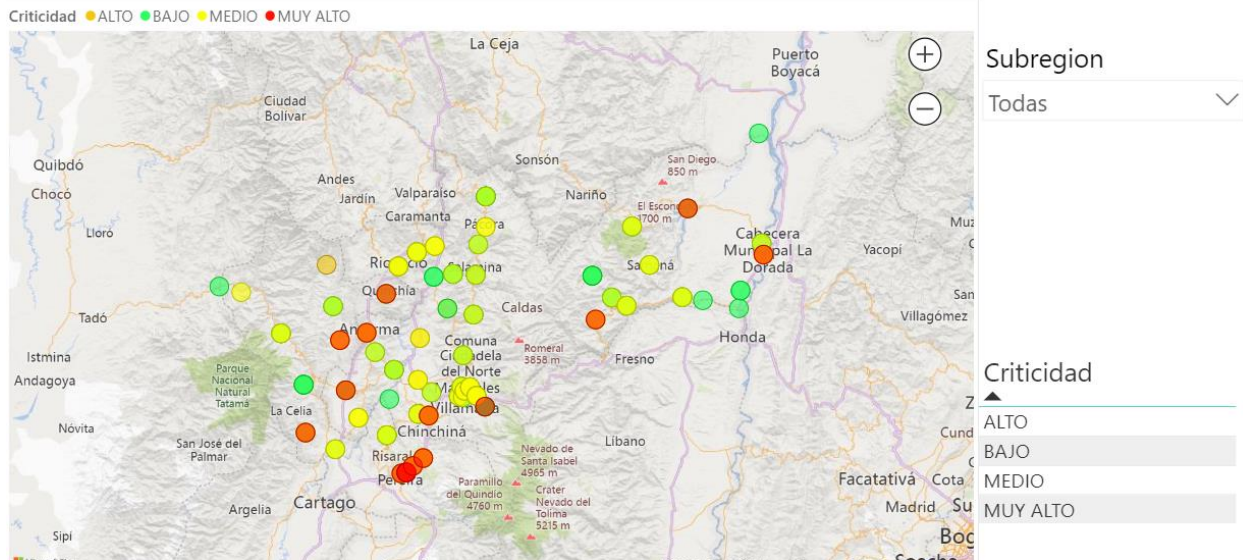


Figura 4. Georreferenciación de la criticidad en el área de influencia de CHEC. Fuente propia.

En resumen, este componente de visualización brinda una plataforma interactiva y fácil de usar para observar y evaluar los resultados de criticidad, así como para respaldar la toma de decisiones en los procesos de operación y mantenimiento de los activos en los circuitos de 13,2 kV. Su enfoque en la representación clara de datos, la accesibilidad y las funcionalidades de análisis lo convierten en una herramienta valiosa para mejorar la eficiencia y la gestión de estos procesos críticos.

## 6. Conclusiones

Fue viable la automatización de la metodología de criticidad mediante el modelo tecnológico desarrollado, este permitirá mejorar la eficiencia y confiabilidad de las operaciones eléctricas en los circuitos de 13,2 kV. La aplicación de conceptos de ETL ha facilitado la extracción, transformación y carga de datos provenientes de diversas fuentes, como sistemas SCADA, historiales de eventos, ERP y archivos planos.

Los resultados obtenidos a través de la automatización de la criticidad han permitido asignar niveles de criticidad a cada circuito, lo que ha facilitado la priorización de acciones de mantenimiento y lograr atención en aquellos circuitos con mayor riesgo de falla o que afectan a áreas más críticas. Esto ha de contribuir a la detección temprana de posibles fallas en los circuitos de 13,2 kV.

La aplicación del modelo tecnológico ha demostrado beneficios significativos en términos de reducción de tiempos de ejecución. Mientras que anteriormente el proceso requería aproximadamente 24 horas hombre, con la automatización se logra realizar en tan solo 5,83 minutos. Esto representa una reducción considerable en el tiempo dedicado por el personal de la empresa.

El componente de visualización desarrollado en PowerBI ha proporcionado una representación clara y accesible de los resultados de criticidad, facilitando la toma de decisiones informadas en los procesos de operación y mantenimiento de los activos en los circuitos de 13,2 kV. La visualización incluye indicadores visuales y geográficos que permiten identificar rápidamente el estado de los activos y su ubicación aproximada.

En general, la automatización de la metodología de criticidad y la implementación del componente de visualización han demostrado ser estrategias fundamentales en el campo de la tecnología para mejorar la eficiencia y la confiabilidad de las operaciones eléctricas. Estas herramientas permiten optimizar la consolidación de datos, asignar niveles de criticidad, priorizar acciones de AOM y facilitar la toma de decisiones, lo que contribuye a garantizar un suministro eléctrico seguro y confiable.

## 7. Recomendaciones

Mejorar la calidad y la disponibilidad de los datos: Aunque se extrajeron datos de diversas fuentes, es importante asegurarse de que la calidad de los datos sea alta y que estén disponibles de manera oportuna. Se pueden explorar técnicas y metodologías para mejorar la calidad de los datos, como la limpieza y la estandarización de los mismos en una estructura de datos bajo un modelo dimensional y almacenarlo en un Data Warehouse, así como establecer protocolos para la actualización y sincronización de las fuentes de datos.

Ampliar el alcance del modelo tecnológico: El modelo tecnológico desarrollado se enfocó en los circuitos eléctricos de 13,2 kV. Se puede considerar la posibilidad de expandir el alcance del modelo para incluir otros niveles de voltaje o activos en la red eléctrica. Esto permitiría una gestión más integral de la criticidad en toda la infraestructura eléctrica.

Refinar y mejorar la metodología de criticidad: La automatización de la metodología de criticidad es un paso importante, pero siempre es posible refinar y mejorar la metodología misma. Se pueden realizar investigaciones adicionales para explorar nuevas métricas, modelos o algoritmos que permitan una evaluación más precisa de la criticidad de los activos y una asignación más efectiva de los niveles de riesgo.

Implementar técnicas de análisis predictivo: Además de detectar posibles fallas tempranamente, se puede investigar la aplicación de técnicas de análisis predictivo para anticipar y prevenir fallas en los circuitos de 13,2 kV. Esto podría incluir el uso de técnicas de aprendizaje automático y análisis de series temporales para identificar patrones y tendencias que indiquen posibles problemas futuros.

Explorar la integración con sistemas de gestión de activos: Para una gestión más completa y eficiente de los activos en los circuitos de 13,2 kV, se puede investigar la integración del modelo tecnológico desarrollado con el sistema de gestión de activos. Esto permitiría una mayor trazabilidad y seguimiento de las acciones de mantenimiento, así como una optimización de los recursos y la programación de las actividades de mantenimiento preventivo.

Evaluar el impacto de la automatización en la eficiencia y la confiabilidad: Es importante realizar un seguimiento y una evaluación del impacto de la automatización de la criticidad en la eficiencia y la confiabilidad de las operaciones eléctricas. Se pueden realizar estudios comparativos para analizar los beneficios obtenidos, como la reducción de tiempos de respuesta, la disminución de interrupciones o la mejora en la calidad del servicio eléctrico.

Estas recomendaciones e investigaciones futuras podrían ayudar a fortalecer y mejorar la implementación de la metodología de criticidad automatizada, así como a impulsar la eficiencia y la confiabilidad de las operaciones eléctricas en los circuitos de 13,2 kV.

## 8. Referencias bibliográficas

- Al-Turjman, F., & Abujubbeh, M. (2019). IoT-enabled smart grid via SM: An overview. *Future Generation Computer Systems*, 96, 579–590. <https://doi.org/10.1016/J.FUTURE.2019.02.012>
- Andersen, O., Thomsen, C., & Torp, K. (2018). SimpleETL: ETL processing by simple specifications. *CEUR Workshop Proceedings*, 2062.
- Blarke, M. B., & Jenkins, B. M. (2013). SuperGrid or SmartGrid: Competing strategies for large-scale integration of intermittent renewables? *Energy Policy*. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.03.039>
- Brown, M., Woodhouse, S., & Sioshansi, F. (2019). Digitalization of energy. *Consumer, Prosumer, Prosumer: How Service Innovations Will Disrupt the Utility Business Model*, 3–25.
- Cerón, A. F., Orduña, I. F., Aponte, G., & Romero, A. A. (2015). Panorama de la Gestión de Activos para Transformadores de Potencia. *Información Tecnológica*, 26(3), 99–110. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642015000300014>
- Chec, S. E., & Del, D. (2022). *GUÍA METODOLÓGICA PARA EL ANÁLISIS DE CRITICIDAD EN ACTIVOS FÍSICOS PRODUCTIVOS. 1*, 1–20. [https://sgichec.almeraim.com/sgi/secciones/index.php?a=documentos&option=ver&actual&documentoid=91350&proceso\\_asociar\\_id=39875](https://sgichec.almeraim.com/sgi/secciones/index.php?a=documentos&option=ver&actual&documentoid=91350&proceso_asociar_id=39875)
- Chen, M., Mao, S., Zhang, Y., & Leung, V. C. M. (2014). Big data applications. In *SpringerBriefs in Computer Science* (Issue 9783319062440, pp. 59–79). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-06245-7\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-319-06245-7_6)
- Comisión de Regulación de Energía y Gas, C. (2018). Resolución CREG 015 de 2018. In *Resolución 015 de 2018* (p. 239). <http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/65f1aaf1d57726a90525822900064dac?OpenDocument>
- Corredor, P. H. (2010). *Visión de las Redes Inteligentes en Colombia*. <http://www.xm.com.co/boletinxm/publishingimages/boletin256/presentacionpablocorredorensmartgrids.pdf>
- Díaz Andrade, C., Andrés, C., & Carlos, J. (2011). *Smart Grid: Las TICs y la modernización de las redes de energía eléctrica*. 9, 53–81. [www.icesi.edu.co/sistemas\\_teleomatica](http://www.icesi.edu.co/sistemas_teleomatica)
- Dileep, G. (2020). A survey on smart grid technologies and applications. *Renewable Energy*, 146, 2589–2625. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.08.092>
- García Sanz-Calcedo, J., Cuadros, F., & López Rodríguez, F. (2011). La auditoría energética: una herramienta de gestión en atención primaria. *Gaceta Sanitaria*, 25, 549–551.
- Gartner Inc. (2017). *Gartner Says 8.4 Billion Connected “Things” Will Be in Use in 2017, Up 31 Percent From 2016*. <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2017-02-07->

- gartner-says-8-billion-connected-things-will-be-in-use-in-2017-up-31-percent-from-2016
- Gartner Inc. (2018). *IoT Implementation and Management — From the Edge to the Cloud: A Gartner Trend Insight Report*. <https://www.gartner.com/doc/3873158?srcId=1-3132930191>
- International Energy Agency. (2015). *Technology Roadmap: Smart Grids*.
- Kock, V., Kuge, S., Geissbauer, R., & Schrauf, S. (2014). Industry 4.0: Opportunities and Challenges of the Industrial Internet. *Pwc Strategy*. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2014.12.002>
- Liu, L., & Chen, S. (2018). The Application of Artificial Intelligence Technology in Energy Internet. *2018 2nd IEEE Conference on Energy Internet and Energy System Integration (EI2)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/EI2.2018.8582096>
- Microsoft. (2023). *Tutorial de Integration Services*. <https://learn.microsoft.com/es-es/sql/integration-services/integration-services-tutorials?view=sql-server-ver16>
- Pais, J. E. de A. e. (2019). *ISO 55001 - Diagnosis of the Organization's State. May 2019*. <http://hdl.handle.net/10400.26/36473>
- Pawar, P., & Vittal K, P. (2019). Design and development of advanced smart energy management system integrated with IoT framework in smart grid environment. *Journal of Energy Storage*, 25(June), 100846. <https://doi.org/10.1016/j.est.2019.100846>
- Pincay-Ponce, J. I., Angulo-Murillo, N. G., Herrera-Tapia, J. S., & Delgado-Muentes, W. R. (2020). Técnicas de minería de datos como soporte para la gestión de un sistema de comercialización de energía eléctrica. *Mikarimin. Revista Científica Multidisciplinaria. e-ISSN 2528-7842*, 6(2), 19–34.
- Provost, F., & Fawcett, T. (2013). Data science and its relationship to big data and data-driven decision making. *Big Data*, 1(1), 51–59.
- Ramírez, W. M. G., Hugo José Celedón Flórez, E. G. R., & Angela Tatiana Zona Ortiz. (n.d.). *Smart grids in the colombian electric system: Current situation and potential opportunities*. <https://doi.org/10.14483/22487638.12396>
- Runtuwene, J. P. A., Tangkawarow, I. R. H. T., Manoppo, C. T. M., & Salaki, R. J. (2018). A Comparative Analysis of Extract, Transformation and Loading (ETL) Process. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 306(1), 0–7. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/306/1/012066>
- Shadare, A. E., Musa, S. M., & Akujuobi, C. (2016). *Data visualization. December*.
- Wang, Y., Chen, Q., Hong, T., & Kang, C. (2018). Review of Smart Meter Data Analytics: Applications, Methodologies, and Challenges. *IEEE Transactions on Smart Grid*. <https://doi.org/10.1109/TSG.2018.2818167>
- Yaman, O., & Bicen, Y. (2019). An Internet of Things (IoT) based Monitoring System for Oil-immersed Transformers. *Balkan Journal of Electrical and Computer Engineering*, 7(3), 226–234. <https://doi.org/10.17694/bajece.524921>
- Yosuf, B., Musa, M., Elgorashi, T., Lawey, A. Q., & Elmirghani, J. M. H. (2018). *Energy*



*Efficient Service Distribution in Internet of Things*. <http://arxiv.org/abs/1808.06120>

Zhou, K., & Yang, S. (2015). A framework of service-oriented operation model of China's power system. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.  
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.05.041>



Universidad<sup>®</sup>  
Católica  
de Manizales

VIGILADA MINEDUCACIÓN

*Obra de Iglesia  
de la Congregación*



Hermanas de la Caridad  
*Dominicas de La Presentación*  
de la Santísima Virgen

*Universidad Católica de Manizales*  
Carrera 23 # 60-63 Av. Santander / Manizales - Colombia  
PBX (6)8 93 30 50 - [www.ucm.edu.co](http://www.ucm.edu.co)