

Desarrollo de una herramienta informática para la identificación de tramos y áreas de la red eléctrica de distribución que requieran acciones con el objetivo de mejorar la Calidad de Servicio.

C. Agüero, G. Di Mauro, D. Anaut, J. Vignerte, J. Strack
Universidad Nacional de Mar del Plata. Dpto. de Ingeniería Eléctrica.
Juan B. Justo 4302. (7600) Mar del Plata. Buenos Aires. Argentina.
aguero@fi.mdp.edu.ar, gdimauro,danaut,jlstrack@fi.mdp.edu.ar, jvignerte@gmail.com

Abstract-- This paper presents a proposal to optimize the use of information available in Geographic Information Systems (GIS) of utility companies, aiming to improve decision-making, particularly concerning the continuity and quality of electrical service. A methodology and software tools are proposed to efficiently leverage stored data and conduct historical interruption analysis. This approach allows for the identification of sections and areas of the electrical grid that require interventions to optimize service quality. Additionally, it enables the detection of zones with lower reliability indices, the calculation of costs associated with non-compliance with technical quality standards, and the establishment of investment policies and strategic priorities.

Resumen— Este trabajo presenta una propuesta para optimizar el uso de la información disponible en los Sistemas de Información Geográfica (SIG) de las empresas distribuidoras, con el objetivo de mejorar la toma de decisiones, especialmente en lo que respecta a la continuidad y calidad del servicio eléctrico. Se propone una metodología y herramientas informáticas que facilitan el aprovechamiento eficiente de los datos almacenados y el análisis histórico de interrupciones. Este enfoque permite identificar tramos y áreas de la red eléctrica que requieren intervenciones para optimizar la calidad del servicio. Además, posibilita la detección de zonas con menores índices de confiabilidad, el cálculo de los costos asociados al incumplimiento de los estándares de calidad técnica, y el establecimiento de políticas de inversión y prioridades estratégicas.

Index Terms— Power Quality; Power Reliability; Distribution Systems; Geographic Information System; Topology.

I. NOMENCLATURA

SIG: Sistema de Información Geográfica
ENRE: Ente Regulador de Energía de la República Argentina
OCEBA: Organismo de Control de la Prov. de Buenos Aires
CAD: Diseño Asistido por Computadora
DMIK: Duración Media de Interrupción por Cliente

INTRODUCCIÓN

En Argentina, en 1996, el Ente Regulador de Energía de la República Argentina (ENRE) estableció las bases metodológicas para el control de la calidad del servicio técnico

en el documento "Base Metodológica para el Control de la Calidad del Servicio Técnico" [1]. Estos parámetros continúan siendo la referencia para controlar la calidad del servicio de distribución de energía eléctrica. A nivel provincial, las "Normas de Calidad del Servicio Público y Sanciones" [2], dictadas por el Organismo de Control de la Provincia de Buenos Aires (OCEBA) en 1997, complementan este marco normativo. Estas normativas se incorporan en los contratos con las concesionarias del servicio de distribución de energía eléctrica, especificando niveles de exigencia en el "Subanexo D".

Nuestro grupo de investigación ha desarrollado SigreGIS [3], un software GIS especializado en la gestión de la calidad del servicio eléctrico. Este software permite a las empresas distribuidoras evaluar la calidad del servicio y cumplir con los requisitos establecidos por los organismos de control [4-6]. SigreGIS se ha implementado con éxito en distribuidoras eléctricas de la provincia, gracias a convenios de innovación tecnológica [7].

En lo que respecta a la calidad del servicio técnico, la normativa establece que las distribuidoras estarán sujetas a penalizaciones si la frecuencia y duración media de las interrupciones en el suministro superan los límites preestablecidos. Estas sanciones se calculan a partir de la determinación de la energía no suministrada, multiplicada por el costo por kWh. SigreGIS permite calcular estos valores como parte de los informes y requerimientos solicitados por el organismo de control.

Para cumplir con estas exigencias, las empresas deben generar información, que en el caso del software SigreGIS es almacenado en una carpeta a la que hemos denominado "Históricos".

Este trabajo presenta una metodología diseñada para aprovechar la información almacenada en "Históricos" y así identificar tramos y áreas de la red eléctrica de distribución que requieren acciones para mejorar la calidad del servicio. Utilizando herramientas de programación en Visual LISP, el lenguaje nativo de AutoCAD [8], y accediendo a carpetas con históricos de cortes, la metodología propuesta optimiza la identificación de puntos críticos en la red, permitiendo a las empresas distribuidoras priorizar inversiones y acciones

correctivas. Esta metodología no solo mejora la precisión en la detección de problemas, sino que también proporciona una base sólida para la toma de decisiones estratégicas en la gestión de la red eléctrica.

FUNCIONAMIENTO DEL SIG

Como primer punto, es importante destacar que nuestro trabajo está dirigido a cooperativas y pequeñas empresas distribuidoras. En la selección del Sistema de Información Geográfica, se tuvo en cuenta que estas distribuidoras generalmente cuentan con un área técnica compuesta por uno a tres profesionales, quienes deben realizar múltiples tareas, incluyendo proyectos, mantenimiento de las redes y satisfacción de los requerimientos de los organismos de control, entre los que se encuentran los informes de calidad de servicio mencionados anteriormente.

Se decidió utilizar como herramienta SIG el software AutoCAD Map de la empresa Autodesk. Este software se considera conveniente para este tipo de empresas distribuidoras de energía por varios factores, siendo uno de los más importantes la disponibilidad de múltiples herramientas de programación y personalización que permiten automatizar tareas [9]. Además, las áreas técnicas de las distribuidoras están familiarizadas con el entorno de trabajo de programas CAD, dado su uso común para el manejo de la información gráfica.

AutoCAD Map está basado en AutoCAD [11] y hereda la mayoría de las virtudes de su motor de edición. Esto facilita el aprendizaje y aprovechamiento de la información disponible, junto con la posibilidad de utilizar el mismo entorno de trabajo para la digitalización, edición, visualización e impresión.

Topología de Redes

El SIG dispone de herramientas para la creación, mantenimiento y análisis de topologías de redes, las cuales son fundamentales para los estudios realizados en este trabajo (Fig. 1).

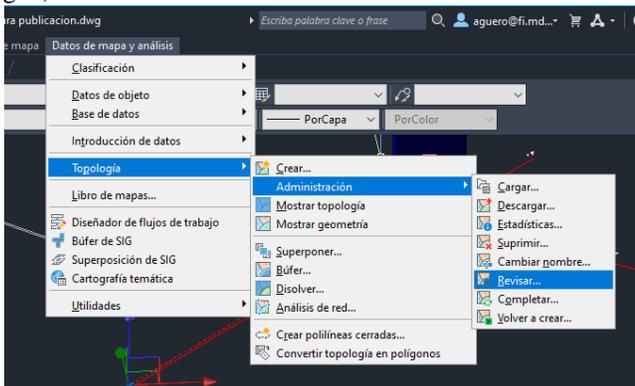


Fig. 1. Herramientas de creación, mantenimiento y análisis de topologías

Una topología de redes es un sistema que describe cómo una serie de segmentos conectados se relacionan entre sí. Los segmentos comienzan y terminan en nodos, y estos nodos constituyen las intersecciones entre dos o más segmentos

En AutoCAD Map, las topologías pueden ser creadas a

partir de redes de polilíneas, pero solo después de que se haya verificado la integración de las líneas. Si se detectan nodos agrupados, líneas duplicadas u objetos con geometría insuficiente en la red, estos deben ser eliminados antes de proceder con la creación de la topología.

Con cada topología de red se genera una tabla de datos de objeto, que almacena la información correspondiente a cada segmento (vínculo). Los campos de esta tabla incluyen el número de identificación del segmento, los números de identificación del nodo inicial y del nodo final, el valor de la dirección asociada, así como los valores de resistencia directa e inversa.

En una topología de red, los valores de dirección indican el sentido en que el movimiento puede ocurrir a través de los segmentos. Todos los movimientos se definen en relación con los nodos de inicio y final que se establecen al crear la topología. Los valores de resistencia representan la cantidad de esfuerzo necesario para que el movimiento ocurra a través de un segmento.

La red eléctrica se representa mediante polilíneas con datos de objeto asociados, como se muestra en la Figura 2. Una vez creada la topología de red, es posible utilizarla para realizar análisis avanzados que optimicen la gestión y el mantenimiento de la red.

Campo de datos	Valor
ID	8
START_NODE	1
END_NODE	3
DIRECTION	0
DIRECT_RESISTANCE	199.8026
REVERSE_RESISTANCE	199.8026

Fig. 2. Información de Topología de Red almacenados en tabla de datos de objeto

En la Figura 3 se muestra la herramienta de creación de topologías. Esta herramienta es muy potente y versátil, pero su uso requiere la realización de múltiples selecciones de opciones y elementos que formarán parte de la topología, como los tramos de red y los nodos que cumplen funciones de elementos de maniobra. Además, es necesario asignarles el peso correspondiente, siendo cero para los seccionadores cerrados e infinito para los seccionadores abiertos.

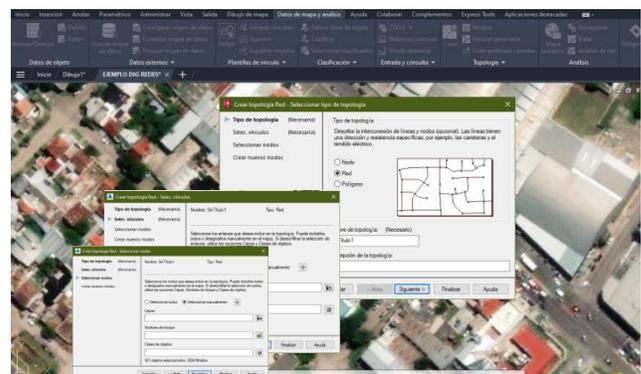


Fig. 3. Herramienta de creación de topologías.

Para simplificar su uso y reducir la posibilidad de errores en tareas repetitivas, se desarrollaron herramientas mediante programación en Visual LISP. Estas herramientas están diseñadas para dotar de inteligencia a los planos, permitiendo que reconozcan los elementos digitalizados e identifiquen la función de cada componente de la red. Para lograrlo, es esencial la normalización de los tipos de entidades admitidas, los nombres de las capas y la precisión en la ubicación relativa de cada elemento.

La normalización implica estandarizar el uso de ciertas entidades y capas dentro del dibujo, asegurando que todos los elementos estén correctamente etiquetados y posicionados. Esto no solo facilita el reconocimiento automático por parte de las herramientas desarrolladas, sino que también garantiza la coherencia y precisión en la creación de las topologías de red. Las herramientas desarrolladas en Visual LISP automatizan este proceso, reduciendo significativamente el tiempo y el esfuerzo necesarios, y minimizando los errores humanos que pueden ocurrir en tareas repetitivas y complejas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Preparación del Dibujo para Topologías

Como hemos mencionado, antes de crear una topología, es fundamental verificar que la información del dibujo esté libre de errores en la geometría, como líneas que no se tocan o que se superponen sin intersección. Es esencial ser meticuloso durante la digitalización y, en el caso de planos existentes, utilizar herramientas de limpieza para depurar la información que se pretende usar en las topologías [11].

Una vez que el mapa cuenta con la geometría de la red corregida, es posible agregar inteligencia creando una topología de redes.

Digitalización de la Red Eléctrica

Como se mencionó anteriormente, los tramos de red son representados por polilíneas, por lo que en la digitalización es necesario tener en cuenta los requerimientos para la creación de topologías detalladas. Los Equipos de Maniobra y Protección (Interruptores, Seccionadores, Reconectores) se representan mediante el bloque SECCIONADOR-SG.

Este bloque ha sido diseñado para garantizar:

- Fácil identificación de su estado abierto/cerrado, tanto en planos impresos como en el uso del SIG.
- Un punto de inserción claro que facilite su ubicación en el extremo del tramo de red.

Al generar la topología, estos bloques se utilizan como nodos a los que se les asigna una resistencia de cero, para el caso de seccionador cerrado (NC) o un valor elevado para el caso de abierto (NA) como se observa en la Figura 4.

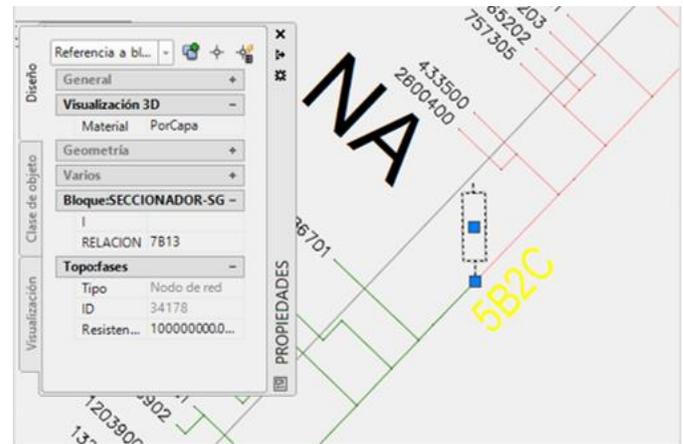


Fig. 4. Representación de Seccionadores en estado Normal Abierto

Para la representación de las Estaciones Transformadoras, se buscó un equilibrio entre eficiencia, simplicidad para su uso en el SIG y claridad en los planos impresos. Se diseñaron dos modelos que cubren todas las necesidades:

- Aéreas
- Cámaras

En la Fig. 5 se muestra su representación.

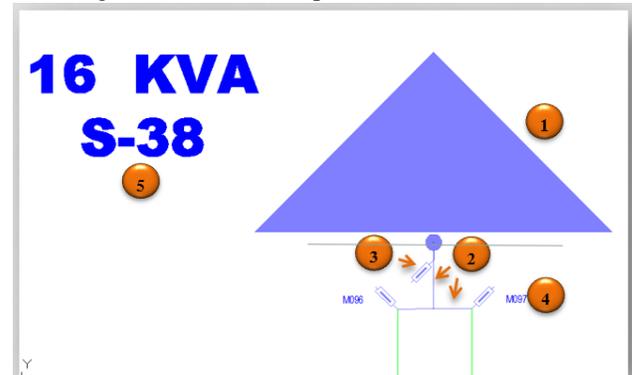


Fig. 5. Representación de Estaciones Transformadoras
1- Bloque TRANSFORMADOR, 2- Conexión entre el lado de Alta y Baja Tensión, 3- seccionador principal, 4- Salidas en BT, 5- Bloque con atributos.

Uso de Datos de Objeto

Como se ha mencionado, los Datos de Objeto son utilizados por el GIS para almacenar información de las topologías, pero también son una alternativa eficiente para almacenar información dentro del dibujo en AutoCAD Map. Los Datos de Objeto son más versátiles que los Atributos de Bloque, ya que pueden ser agregados a cualquier entidad del dibujo, no solo a bloques. En la Fig. 6 se muestra su uso en redes de Media Tensión (MT).

Las entidades de dibujo con Datos de Objeto permiten realizar consultas basadas en los valores de los campos, lo que facilita el despliegue gráfico de las entidades que cumplen con la condición establecida, así como la creación de mapas temáticos.

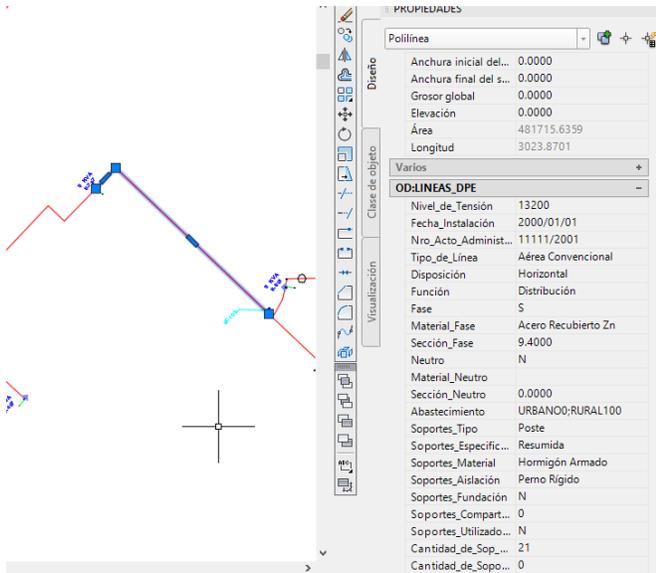


Fig. 6. Tabla de Datos de Objeto asociada a un tramo de red

Una vez definida la tabla de datos de objeto, es posible utilizar la tabla para consultar y actualizar la información asociada con una entidad de dibujo referenciada en la tabla, como también es posible seleccionar una entidad de dibujo y visualizar o editar la información [10,11].

A partir del momento en que los Datos de Objeto han sido asociados a la entidad de dibujo, esta información pasa a ser parte del archivo de dibujo. Si este dibujo es asociado y activado desde otro dibujo, los valores de los Datos de Objeto pueden ser usados para consultar entidades de dibujo específicas. Los objetos son desplegados con consultas basadas en valores de datos de objeto, tales como longitud de tramo o identificador. Con Datos de Objeto, pueden generarse mapas temáticos sofisticados y reportes.

Planilla de guardia

Ante una contingencia, se registran en una planilla de guardia los datos principales que permiten identificar el tipo de corte, el tiempo, y los equipos operados, utilizando un formato estandarizado como se muestra en la Tabla 1.

TABLA 1. PLANILLA DE GUARDIA

REGISTRO DE OPERACIONES EN LA RED DE MEDIA Y BAJA TENSION												
Cooperativa de Electricidad Gral. Balcance Ltda. Código OCEBA: A4 Código Sucursal: 0												
MES DE ENERO 2015												
Contingencia Número	Fecha Apertura	Hora Inicio	Fecha Última Reposición	Hora Última Reposición	Instalación Campo Codificado (Área I)	Código Elemento MT Operado Interrupción	Código Elemento MT Operado Reposición	Descripción Elemento MT Operado Interrupción	Descripción Elemento MT Operado Reposición	Situación	Código de Causa	Fuerza Mayor
8213	01/01/2015	13:10	01/01/2015	16:40	704	A220	A236	413	413	908	501	NO
8214	01/01/2015	14:05	01/01/2015	16:00	704	H2	H2	413	413	908	501	NO
8215	01/01/2015	16:50	01/01/2015	19:30	705	S24C	S24C	413	413	908	501	NO
8216	02/01/2015	13:50	02/01/2015	17:00	704	A896	A896	413	413	908	501	NO
8217	03/01/2015	11:05	03/01/2015	19:00	704	A234	A234	413	413	908	501	NO
8218	03/01/2015	16:15	03/01/2015	16:30	704	A247	A247	413	413	908	501	NO
8219	04/01/2015	14:45	04/01/2015	16:35	704	A244	A244	413	413	908	501	NO
8220	05/01/2015	17:40	05/01/2015	18:40	704	A940	A940	413	413	908	501	NO
8221	06/01/2015	05:42	06/01/2015	12:01	704	07	07	413	413	912	304	NO
8222	06/01/2015	07:25	06/01/2015	09:00	704	A853	A853	413	413	908	501	NO
8223	06/01/2015	10:35	06/01/2015	11:30	704	A230	A230	413	413	908	501	NO
8224	07/01/2015	03:40	07/01/2015	08:40	704	A807	A807	413	413	908	501	NO
8225	07/01/2015	11:30	07/01/2015	13:00	704	A524	A524	413	413	908	501	NO

A partir del código del equipo operado, es posible localizar rápidamente la ubicación en las redes representadas en el sistema SigreGIS.

El operario cuenta con una herramienta que, en primer lugar, centra la pantalla en la zona de interés a partir del código del equipo operado. Además, permite abrir o cerrar el equipo, modificando la visualización del bloque y ajustando los atributos de resistencia, que serán considerados por las herramientas de análisis de continuidad para simular un corte.

Análisis de Continuidad en Topologías de Redes

La principal herramienta utilizada para el análisis de continuidad en líneas eléctricas es el Rastreo de Flujo [11]. El rastreo de flujo (Flood Trace) identifica todos los nodos y segmentos que se encuentran dentro del radio especificado a partir de un punto definido. AutoCAD Map permite alterar el color de todos los segmentos a lo largo de las rutas que se encuentran dentro de un rango de resistencia determinado o genera una topología resultante, que luego puede ser utilizada para seleccionar los objetos involucrados.

El rastreo de flujo es muy útil para mostrar todas las áreas dentro de una región en una ubicación geográfica específica. Por ejemplo, puede ser utilizado para verificar la corrección de una topología de red o, como se plantea en este trabajo, para identificar los tramos de red afectados por una interrupción, asignando un valor suficientemente alto al parámetro de resistencia máxima y a los equipos de maniobra y protección en estado abierto.

Por esta razón, las topologías de redes son componentes centrales en los análisis de continuidad, ya que permiten identificar áreas afectadas por un corte y, posteriormente, seleccionar los clientes y el equipamiento involucrados para ser almacenados en una carpeta de históricos. La capacidad de rastrear flujos y modificar atributos de resistencia en tiempo real es crucial para gestionar y mitigar los efectos de las interrupciones en la red eléctrica, mejorando tanto la respuesta como la planificación de las acciones correctivas necesarias.

Exportación de Datos

Se desarrolló una herramienta que automatiza este procedimiento, con el objetivo de minimizar el número de operaciones necesarias y consolidar varios pasos en un solo comando [5]. Después de realizar el análisis de continuidad eléctrica desde un punto indicado en la red utilizando la herramienta Rastrear Flujo (Flood Trace), se genera una topología resultado, a la cual se le asigna un nombre que coincide con el número de corte. A partir de esta topología, es posible seleccionar todos los elementos involucrados y exportar los tramos de red, el equipamiento y los clientes afectados a una carpeta de históricos.

Se ha elegido el formato DWG para almacenar la información, el cual incluye todos los datos relacionados con equipos, tramos de red, acometidas de clientes, y se enriquece con información adicional a través de vínculos con bases de datos técnicas y comerciales. Antes de finalizar el proceso de exportación, se genera un bloque que incluye un resumen de los principales datos representativos de la interrupción, como se muestra en la Figura 7.

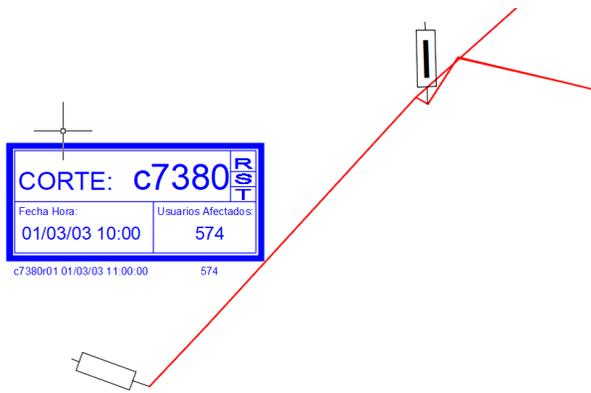


Fig 7. Bloque Resultado del análisis de continuidad.

El bloque contiene información clave como el número de corte, las fases afectadas, la fecha y hora de inicio y reposición del servicio, y la cantidad de usuarios afectados. Este bloque se coloca cerca del equipo operado, es decir, en el punto de inicio de la interrupción.

RESULTADOS

Se ha incorporado al software SigreGIS una herramienta que permite aprovechar la información disponible en las carpetas de históricos. Como se mencionó, esta información debe almacenarse periódicamente para cumplir con las exigencias de los organismos de control; en el caso de la provincia de Buenos Aires, con una frecuencia mensual según lo establecido por el OCEBA [2].

Durante el proceso, SigreGIS genera una subcarpeta en la carpeta de históricos, identificada por el año y mes procesado, donde se almacena, junto a la información requerida, un archivo integrador de las interrupciones registradas en ese período.

La nueva funcionalidad permite la selección de múltiples archivos integradores desde un DIBUJO LLAVE, desde el cual se consulta la información deseada. El concepto de "DIBUJO LLAVE" es esencial para esta funcionalidad; es decir, a partir de un dibujo principal, se consulta un conjunto de dibujos, como se muestra en la Fig. 8 y se introduce la información requerida. Esto facilita la incorporación de las interrupciones almacenadas en la carpeta de históricos al mapa base correspondiente a ese período.

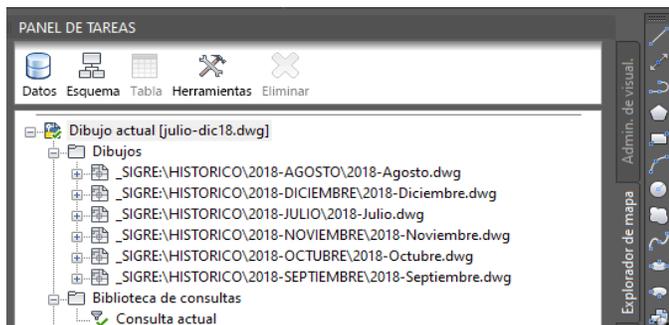


Fig. 8 Panel de tareas con selección de dibujos consultados.

La aplicación aprovecha el bloque con el resumen de datos de los cortes para cada uno de los dibujos involucrados en el período de estudio. En primer lugar, genera una consulta que introduce cada uno de los "bloques resultado" con el resumen de cada interrupción.

En un segundo paso, una herramienta desarrollada en Vllisp genera un texto que indica el número de bloques identificados, utilizando criterios de proximidad. La herramienta permite establecer un radio de búsqueda, y a partir de esto, seleccionar los "Bloques Resultado". Con esta información, se crea junto al texto un nuevo bloque, en este caso en 3D, cuya altura es proporcional a la sumatoria del número de cortes, facilitando su identificación visual (Fig. 9).

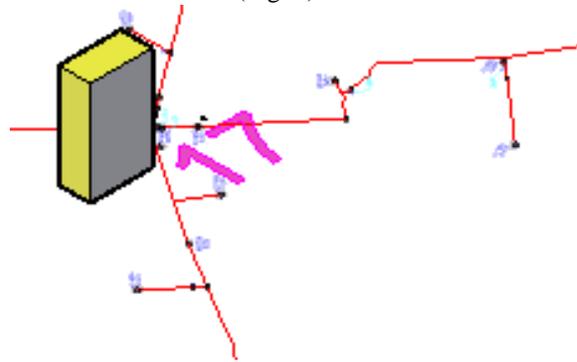


Fig. 9. Visualización del número de interrupciones.

A continuación se presenta un análisis de registros de interrupciones en un período de un año sobre el modelo de una cooperativa distribuidora del sudeste de la provincia de Buenos Aires de tamaño mediano, con 1.068 km de red de MT y 18.000 clientes.

Sobre un DIBUJO LLAVE se consulta los archivos de históricos en un periodo de 12 meses, registrándose 517 interrupciones superiores a 3 minutos.

Se realiza un análisis espacial, tomándose como criterio la unificación de interrupciones registradas cuya ubicación se encuentre dentro de un rango de 100 m de separación, generándose en su unto medio Bloques Resultado como se visualiza en las Figuras 10 y 11.

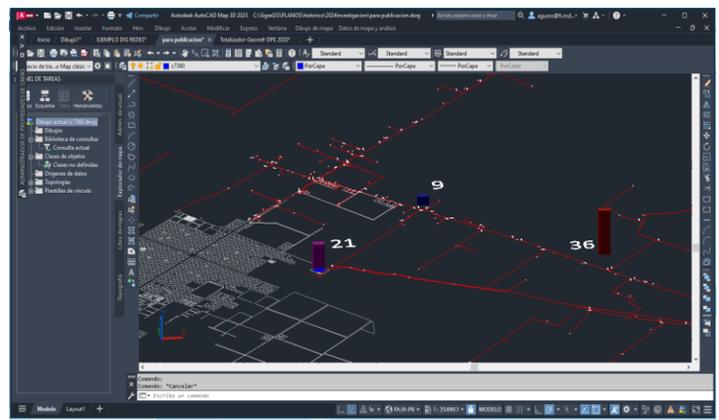


Fig.10. Visualización en el entorno de trabajo de las redes y Bloques Resultado.

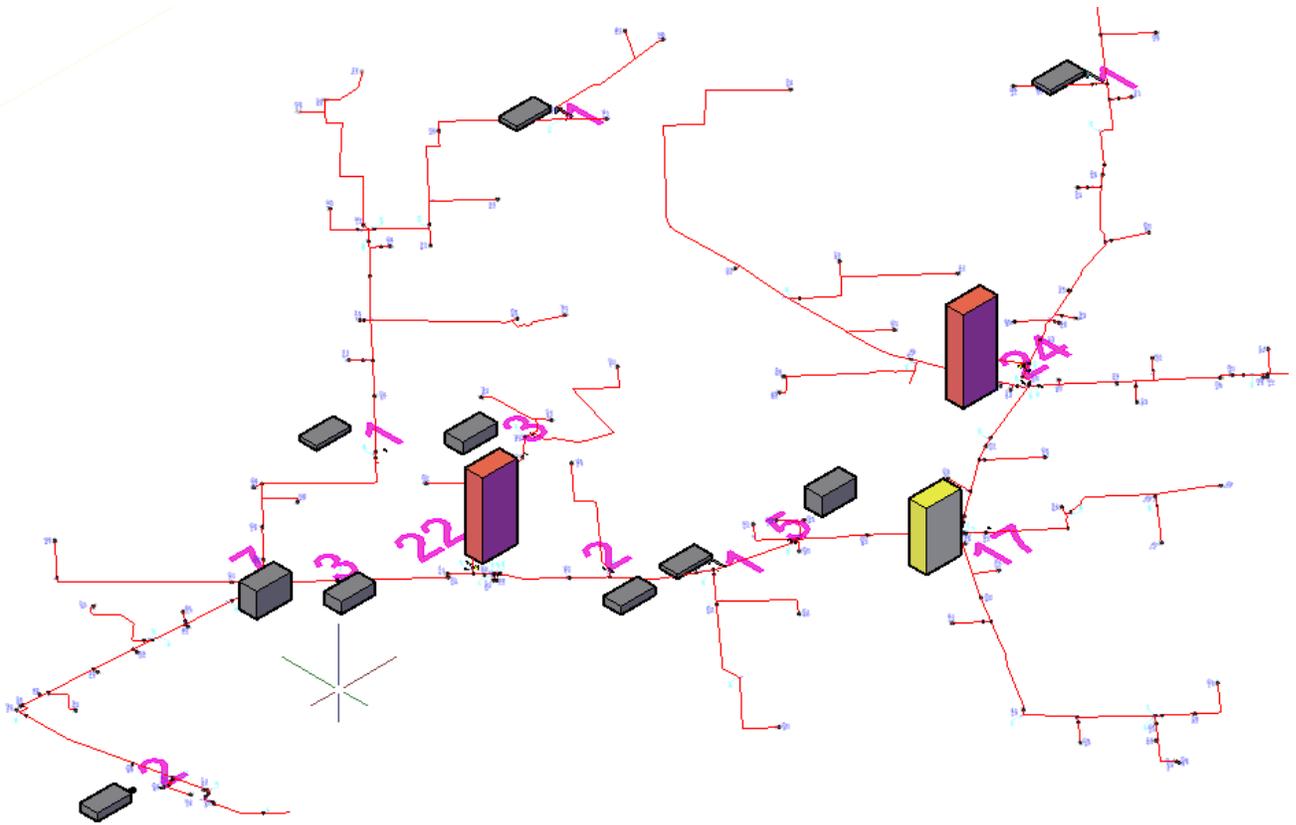


Fig. 11. Visualización en formato de presentación para impresión de las redes y Bloques Resultado

El método permite ver claramente las zonas más afectadas a partir del número de interrupciones representadas por un texto y un bloque 3d cuya altura es proporcional y representativa del peso.

CONCLUSIONES

En este trabajo se ha presentado una metodología y un software que permiten identificar tramos y áreas de la red eléctrica que requieren acciones para mejorar la calidad del servicio en los sistemas de distribución, aprovechando la información que ya disponen las empresas distribuidoras para cumplir con las exigencias e informes solicitados por los organismos de control, para el caso en estudio, en el ámbito de la provincia de Buenos Aires (Calidad de Servicio Técnico).

Los programas se caracterizan por su gran sencillez de uso, lo que facilita la interacción por parte del usuario. La generación de respuestas gráficas simplifica el análisis y procesamiento de problemas para los operarios. El uso de esta aplicación resultará en una disminución del índice DMIK (Duración Media de Interrupción por Cliente), que mide el tiempo promedio durante el cual un cliente se ve afectado por interrupciones en el suministro eléctrico [12]. Esto representa una mejora significativa en comparación con la inspección visual como única herramienta para la localización de fallas.

La reducción del DMIK no solo permite mejorar la calidad del servicio técnico prestado, sino que también reducir las penalizaciones a pagar a los usuarios afectados.

REFERENCIAS

- [1] ENRE. "Base Metodológica para el Control de la Calidad del Servicio Técnico".1996
- [2] OCEBA "Normas De Calidad Del Servicio Publico Y Sanciones" Organismo de Control de la Prov. De Buenos Aires. 1997.
- [3] Carlos Agüero and Daniel Orlando Anaut, "Sistema de Información Geográfica para la Evaluación de Calidad de Servicio Eléctrico". ISBN:978-987-42-2078-3, 2016.
- [4] Agüero C., Suárez J., Anaut D., di Mauro G. "Software de Planificación, Mantenimiento y Control de la Calidad en Redes Eléctricas". VIII CLAGTEE 2009, Octubre 2009, San Pablo, Brasil.
- [5] C. Agüero, J. Suarez, D. Anaut, G. di Mauro. "Sistema de Información Geográfico Aplicado al Modelado de Redes Eléctricas de Distribución". VI Congreso Latinoamericano Generación y Transporte de Energía Eléctrica. Univ. Estatal San Pablo, Vol. n°0. p181 – 187, 2011.
- [6] di Mauro Guillermo, C. Agüero, J. Vignerte, J. Strack , D. Anaut, "Identification and location of faults in electric power distribution systems from measurements and data on GIS platforms". International Journal of Electrical Engineering & Technology (IJEET).Volume:9,Issue:4,Pages:58-66. ISSN: 0976-6545 (2018)
- [7] Contrato de Innovación Tecnológica OCS 008 (2 de julio de 2008). Capacitación, transferencia de conocimientos y tecnología requerida para el desarrollo, implementación y puesta en marcha de un sistema de información geográfico para la administración y control de las Redes de Distribución Universidad Nacional de Mar del Plata. Cooperativas de electricidad Mar del Plata, Laguna de los Padres, Plata Cayetano. Período: 2007-2009. Tipo de Actividad: Asistencia Técnica.
- [8] AutoLISP Reference Guide <https://documentation.help/AutoLISP-Functions/>
- [9] Autodesk Map 3D for AutoCAD 2025. Autodesk, Inc. <https://www.autodesk.com/products/autocad/included-toolsets/autocad-map-3d>
- [10] Tickoo, Prof. S. (2017). Exploring AutoCAD Map 3D 2018, 8th Edition (Edition unavailable). CADCIM Technologies. Retrieved from <https://www.perlego.com/book/2325732/exploring-autocad-map-3d-2018-8th-edition-pdf> (Original work published 2017).

- [11] AutoCAD Map reference Guide. 2024 Autodesk, Inc
- [12] Wacker, Wojczynski, R. Billinton. "Interruption Cost Methodology and Results". A Canadian Survey. IEEE Transaction on Power Apparatus and System, Oct. 1993.