

FORMACIÓN E INNOVACIÓN EN INGENIERÍA

Desarrollo de indicadores de calidad de servicio para una empresa de distribución eléctrica

Development of service quality indicators for an electrical distribution company

Luis Andres Marquez Vergara | Dto. Ingenieria Mecanica, Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires.

lm Marquez Vergara@frba.utn.edu.ar

 <https://orcid.org/0009-0000-7520-8445>

RESUMEN

En el rubro de Distribución de Energía Eléctrica se utilizan mediciones y estadísticas para obtener información sobre los distintos aspectos del negocio, entre estos existen dos indicadores que son de gran importancia para conocer el estado de funcionamiento de las instalaciones y su calidad de servicio. Se presenta el proyecto implementado en una importante empresa de distribución provincial del país, donde se efectuó el desarrollo de un extractor de datos, el cálculo y la confección de gráficos dinámicos para visualizar estos indicadores utilizando una herramienta de software libre. A partir de ello, se observan las ventajas de implementar un software para analizar de forma dinámica y con amplia libertad las distintas combinaciones y agrupamiento de datos, permitiendo obtener conclusiones que optimicen los procesos de mantenimiento e inversión del área de gestión técnica.

Recibido: 02/04/2025 | Aceptado: 24/04/2025 | Publicado: 06/06/2025

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.



ABSTRACT

In the field of Electrical Energy Distribution, measurements and statistics are used to obtain information on various aspects of the business. Among these, there are two indicators that will be presented and developed in this work, which are of great importance for understanding the operational status of the facilities and the service quality for customers. The project is implemented in a major provincial distribution company in the country, where a data extractor was developed, along with the calculation and creation of dynamic charts to visualize these indicators using open-source software. From this, the significant advantages of implementing such a development can be observed, allowing for dynamic analysis and extensive freedom in combining and grouping data, enabling conclusions that optimize the maintenance and investment processes in the technical management area.

Palabras clave: calidad de servicio eléctrico, herramientas de software, análisis estadístico, gestión técnica.

Keywords: electrical service quality, software tools, statistical analysis, technical management.

INTRODUCCIÓN

En el rubro eléctrico se define una segmentación entre empresas de Generación, Transmisión y Distribución [1], cada una con su modelo de negocio muy bien definido, separado y respondiendo a sus propias normativas y regulaciones. En el presente trabajo se hace un análisis sobre la solución ofrecida por una reconocida empresa de software local para el modelado, extracción y presentación de los Índices de Calidad de Servicio requeridos por normativa en las empresas de Distribución eléctrica. Se presenta el caso desarrollado para una importante empresa de distribución provincial que anteriormente efectuaba este cálculo de forma manual y quienes requerían implementar una solución automatizada.

La empresa de software ya les provee de un sistema informático, cuya función principal es modelar toda la red de distribución del cliente sobre una base de datos utilizando tecnología GIS (Sistema de Información Geográfica) [2]. A partir de este modelado se corre una simulación en tiempo real, donde se cargan las maniobras efectuadas sobre la red de modo que otros módulos del sistema puedan tener información actual e histórica sobre el mismo.

Es a partir de este sistema que se hizo el desarrollo para el cálculo y presentación de los Índices de Calidad de Servicio.

El objetivo principal del proyecto es utilizar toda la información que se va acumulando día a día en el sistema para resolver automáticamente el cálculo de los indicadores de calidad de servicio que la compañía distribuidora necesita como parte de su auditoría interna y externa por parte del ente regulador.

METODOLOGÍA

En el proyecto se definió la necesidad de calcular los indicadores para diferentes niveles de agregación. Siendo estos, a nivel empresa, distrito y alimentador, de manera que se pueda evaluar minuciosamente cada nivel y tener indicios para la priorización de los trabajos de mantenimiento e inversión.

Otro objetivo de la implementación es poder realizar el cálculo y visualizar resultados de los indicadores para distintos niveles de escala temporal (días, semanas, meses, semestres o años).

Finalmente, se requiere la extracción de estos datos en formato tabla y la implementación de una herramienta de código libre llamada Apache Superset para la confección de un tablero gráfico que permita el análisis dinámico de los indicadores y su comparativa.

Bajo el marco de referencia de la norma técnica aplicable al rubro de distribución de energía eléctrica [3] se tienen ciertos conceptos y definiciones propias de la industria que son utilizadas durante el desarrollo del presente trabajo, otras son también parte de los usos y costumbres de la industria que se toman como convención para mantener la compatibilidad con otros sistemas.

Calidad de servicio: Se refiere a la frecuencia y duración de las interrupciones de suministro (se ve afectado por las fallas sobre la red que generan la apertura del circuito).

Calidad de producto: Se refiere al nivel de tensión suministrado a los clientes (se ve afectado por sobretensión y tensión baja) y las perturbaciones sobre este (fenómenos como los armónicos y fluctuaciones).

Clasificación de tensiones: Se entiende por Baja tensión (BT) cualquier voltaje de operación menor a 13,2 kV generalmente 400v y 230v siendo estas las tensiones nominales de alimentación a los clientes BT. Media Tensión (MT) para los voltajes de distribución y alimentación a clientes MT, en este caso son utilizados 13,2 kV y 33 kV. Y Alta tensión (AT) corresponde a las tensiones de Transmisión y Subtransmisión, en este caso la empresa de estudio opera solo hasta el nivel de Subtransmisión con tensión de 132 kV, donde el sistema de Transmisión es responsabilidad de otras empresas dedicadas a esa segmentación.

Modelado de la red de distribución: el sistema de gestión técnica tiene 2 formas de modelar la información. Por una parte se encuentran todas las tablas en el Motor de Base de Datos Relacional (RDBMS por sus siglas en inglés), las cuales están definidas según las convenciones de Normalización de Bases de Datos [4]. Este formato permite registrar cada equipo de la red, sus atributos y las relaciones entre ellos, utilizando tablas específicas para modelar las relaciones de agregación entre objetos, conexionado y ubicación geográfica valiéndose del Sistema de Información Geográfica (GIS por sus siglas en inglés), se puede tener un registro completo de toda la red. Esto funciona bien para cierto tipo de operaciones como puede ser reportes y controles de integridad referencial, así como para permitir el almacenamiento eficiente de una gran cantidad de registros y el control histórico de sus cambios.

Por otra parte, para ejecutar el análisis de red y conocer por ejemplo la ubicación de un objeto en ella y su relación con objetos más arriba o más abajo en la cadena eléctrica

se requiere de la ejecución de algoritmos que no funcionan óptimamente en un esquema de RDBMS. Es por esto que también se cuenta con un modelado de la red en un formato de Grafo Dirigido [5] (ver Figura 1) utilizando otras herramientas informáticas.

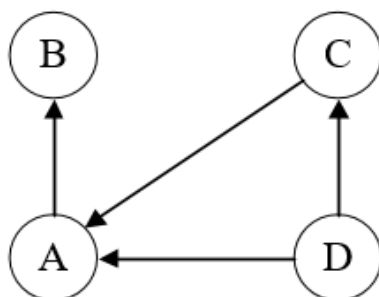


Figura 1: Grafo dirigido.

El Grafo dirigido permite la ejecución de análisis relacional en función de vértices o nodos y aristas o conexiones junto con la posibilidad de definir la dirección de estas conexiones. Se asemeja naturalmente a una red de distribución donde la energía fluye de un generador a los consumidores al final de la cadena eléctrica. Se define en este análisis los conceptos de “*aguas arriba*” como una forma común de referirse a la dirección que se acerca a la fuente de energía dado un punto de referencia y “*aguas abajo*”, a la dirección que se aleja de la fuente de energía o que se acerca a los consumidores finales, dado un punto de referencia

Índices de Calidad de Servicio: Según el Ente Nacional Regulador de la Electricidad, se definen los siguientes índices utilizados:

- Índice de duración promedio de interrupción del sistema “SAIDI” (System Average Interruption Duration Index) el cual responde a la fórmula:

$$SAIDI = \frac{\sum_{i=1}^n (\text{Horas de interrupción} * \text{Usuarios interrumpidos})}{\text{Total de usuarios abastecidos por la instalación}} \quad (1)$$

Índice de frecuencia de interrupción promedio del sistema “SAIFI” (System Average Interruption Frequency Index)

$$SAIFI = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Usuarios interrumpidos}}{\text{Total de usuarios abastecidos por la instalación}} \quad (2)$$

donde n es el número de interrupciones registradas durante el periodo estudiado.

Interrupción: cada evento sobre la red que resulta en el corte de suministro eléctrico a los clientes. Esto puede corresponder a una falla (corte de una línea, equipo quemado,

entre otros) o a una actuación de un equipo de maniobra (fusible, reconectador, seccionador, entre otros), en ambos casos el evento abre el circuito, lo que deja sin suministro todos los clientes que se encuentran aguas abajo en la red.

Particularidades asociadas al cálculo de los indicadores

Los parámetros necesarios para calcular los indicadores para cada interrupción registrada son: su ubicación geográfica y en la red, la fecha de inicio, su duración y la cantidad de clientes afectados. Por otra parte, se ven afectados por ciertos parámetros de selección y agrupamiento para su cálculo. A continuación, se presentan estas particularidades que fueron incorporadas al modelado del cálculo para adaptarse a los requerimientos

Agrupamiento geográfico y por instalación: parte del requerimiento es poder obtener resultados de índices para diferentes niveles de la jerarquía de red, se plantea en 3 niveles, a saber:

- *Empresa:* incluye la totalidad de la red provincial
- *Distrito:* corresponde a la red de cada distrito establecido en su organización interna.
- *Alimentador:* se refiere a las salidas de cada Subestación transformadora de Media Tensión tanto las de 13,2 kV como las de 33 kV.

Periodo de tiempo: los indicadores SAIDI y SAIFI generalmente son calculados para cada año calendario de operaciones, donde lo habitual es comparar sus variaciones interanuales y su valor frente a la serie histórica. El cliente del sistema requería del cálculo de los indicadores en distintas escalas temporales, principalmente de forma anual y mensual, donde esta última es la más adecuada para medir fenómenos de estacionalidad que afectan a la red como son las subas y bajas de temperatura en cada mes.

Causas de interrupción consideradas: Uno de los datos principales que son cargados en el sistema de gestión técnica para cada interrupción es su causa. Existe un listado predefinido para catalogar cada registro y poder filtrarse en los diferentes cálculos y reportes. Para el caso de los Indicadores de calidad de servicio se excluye un listado de causas que corresponden a: responsabilidad de terceros (problemas en Generación o Transmisión), responsabilidad de los clientes (problemas dentro de la instalación de los clientes), fuerza mayor (fenómenos meteorológicos y desastres naturales) y cortes programados (planificados y autorizados por el ente regulador).

Duración mínima de interrupciones: Debido a la complejidad que tiene la red de distribución, así como su gestión continua y de los equipos operables que poseen, se tiene por reglamentación una duración mínima de 3 minutos para que una interrupción sea considerada en el cálculo de indicadores. Las razones para esta duración mínima son las diferentes actuaciones que se ejecutan como parte de la gestión diaria de la red, trasposos de carga, trabajos de mantenimiento, actuación de reconectores automáticos, entre otras que no implican necesariamente interrupciones por fallas y que son aceptadas como condiciones normales de operación.

Convenciones tomadas para la extracción y el cálculo

El software de gestión técnica mencionado consta de un RDBMS. Este sistema utiliza principalmente el Lenguaje Estructurado de Consultas (SQL por sus siglas en inglés) y tie-

ne modelada la red de distribución del cliente abarcando desde los puntos de conexión al sistema interconectado nacional o empresas de terceros en AT hasta cada punto de suministro, pasando por toda la cascada de objetos, líneas y equipos que se encuentran a lo largo de la red.

Este modelo tiene incorporado también, una dimensión temporal, por lo que se conoce con exactitud la configuración de la red para cada instante de tiempo. Todas las operaciones, reclamos, fallas y maniobras que se hacen físicamente sobre la red se replican en el sistema, por lo que se cuenta con todos los datos necesarios para el cálculo de los indicadores de calidad de servicio.

La complejidad del modelo es una de las particularidades importantes del trabajo desarrollado y es por esto, que se definieron en conjunto con el cliente algunas convenciones a adoptar para que la extracción de datos fuera posible de manera simplificada y con tiempos y recursos finitos.

Cantidad de clientes por instalación: Si se desea calcular, por ejemplo, el SAIDI para el nivel Empresa durante el año 2023, se observa en la formula (1) que en el denominador se encuentra la cantidad de clientes totales abastecidos por la instalación, en este caso la Empresa. Para satisfacer este dato surge la pregunta de en qué momento del año se debería hacer el conteo de clientes. En el límite se podría calcular la cantidad de clientes existentes en cada momento de interrupción y efectuar el cálculo como la suma de los índices parciales para cada fecha. Si bien esto es posible, necesitaría una gran cantidad de procesamiento cuando se empieza a trabajar con los niveles más bajos de agrupamiento geográfico. En el otro extremo se podría hacer el cálculo de la cantidad de clientes una sola vez para todo el periodo de estudio, por ejemplo, a fin del año 2023, lo cual resultaría en menos necesidad de procesamiento a costa de mayor error o afectación a los índices por no considerar el crecimiento o decrecimiento de clientes durante el año. Para llegar a un punto medio se definió como convención obtener un cálculo de la cantidad de clientes para cada mes calendario con fecha del último día del mes, de manera que se pueda tener en cuenta la variación de clientes en la red durante el tiempo, pero sin incrementar tanto la complejidad y el tiempo de procesamiento.

Extracción de los datos

La necesidad de implementar un extractor de datos surge por dos causas principales.

Simplificación del modelo: se necesita tener la información en un formato amigable para ser utilizado en gráficos y para ser consultado por personas físicas para un análisis más minucioso y/o con necesidades de control y auditoría. El sistema de gestión técnico posee una complejidad sustancial en el modelado de datos lo que impide su uso por personal que no esté capacitado o familiarizado con él y con el uso de RDBMS.

Por otra parte, el objetivo de implementar un tablero gráfico dinámico hace necesario el uso de un modelo simplificado que pueda ser optimizado para la gran cantidad de consultas concurrentes requeridas por la herramienta Superset para presentar múltiples gráficos a diferentes usuarios simultáneos.

Es por todo esto que se diseñó el extractor para que pueda volcar toda la información en un set de dos tablas con una simplificación y reducción a los datos esenciales.

El proceso de extracción se divide en tres partes. Primero se llena una tabla con la cantidad de cliente calculada para fecha y nivel de agregación. Seguidamente se llena una segunda tabla con todas las interrupciones y su información asociada. Finalmente, se actualiza la tabla de interrupciones con la cantidad de clientes que le corresponda a la fecha de la interrupción para los tres niveles de agregación, de forma que esa tabla tenga toda la información necesaria para la confección de los gráficos.

Tabla Clientes: Siguiendo la convención establecida, se llena la tabla con el conteo de clientes para cada mes calendario. Se utilizan los datos vigentes para el último día de cada mes, y se parte desde la fecha de la primera interrupción registrada en el sistema. El cálculo de clientes se hace a partir de una tabla utilizada en otros reportes regulatorios, donde se informa individualmente a cada cliente junto con algunos datos relevantes de su conexión a la red de distribución. Es de allí que se obtiene mediante una consulta SQL, la cantidad de clientes agrupando por empresa, distrito y alimentador MT. Para considerar el criterio de fechas, se hace este cálculo iterativamente refinando los resultados a la fecha deseada para ir poblando la tabla progresivamente.

De este proceso se obtiene una tabla donde la fecha de extracción corresponde al mes, para el cual se calculó la cantidad de clientes y el agrupamiento incluye al distrito y alimentador, como se muestra en la Tabla 1:

Tabla 1: Cantidad de clientes

fecha extracción	distrito	alimentador	clientes
2023-01-01	distrito_1	AA01	1300
2023-01-01	distrito_1	AA02	580
2023-01-01	distrito_2	AB01	740
2023-01-01	distrito_2	AB02	650
2023-02-01	distrito_1	AA01	1340
2023-02-01	distrito_2	AB01	745

A partir de la Tabla 1 se puede conocer, a partir de una fecha de extracción dada, la cantidad de clientes de un alimentador ubicando directamente la fila donde el alimentador coincida con el requerido. La cantidad de clientes de un distrito se puede obtener sumando la columna clientes para todas las filas que correspondan al distrito requerido. Finalmente, para el caso del nivel empresa, se resuelve sumando la cantidad de clientes totales para la fecha que se desee conocer.

Para que en los pasos posteriores se puedan ejecutar estas consultas de forma eficiente, se definen algunos índices sobre la tabla los cuales son utilizados por el Motor de Base de Datos para efectuar las consultas de forma optimizada.

Tabla Interrupciones: en esta tabla se inserta una fila por cada interrupción registrada, para esto se utiliza como fuente de datos al sistema técnico. Cada registro de interrupción debe contener sus datos asociados necesarios para el cálculo de los indicadores y para su correcto agrupamiento. Estos son: distrito, alimentador, fecha de interrupción, duración de la interrupción, y cantidad de clientes afectados. Para buscar las interrup-

ciones se hace para toda la historia desde que éstas son reportadas en el sistema informático. Ya que se tiene información histórica de cada cambio y actuación en la red se puede obtener con herramientas programáticas cuál es el equipo que operó y abrió el circuito durante la interrupción. A partir de la identificación del equipo se puede conocer su información geográfica y de red. Esto se hace nuevamente con herramientas programáticas que pueden tomar el grafo de modelado de la red y ejecutar los algoritmos de análisis necesarios para determinar cuál es al área geográfica que contiene al equipo, cuál es el alimentador MT que se encuentra aguas arriba y cuál es la cantidad de clientes que se vieron afectadas aguas abajo por la apertura del circuito en ese punto. El cálculo de la duración de la interrupción se obtiene identificando la operación de apertura y la operación de cierre del equipo operado. Ambas operaciones son registros que están definidos en las tablas del sistema por lo que pueden ser identificadas y, a partir de sus fechas, calcular el tiempo transcurrido entre ellas. Para llenar la tabla se calcula en horas. Finalmente, con toda esa información se completa una tabla como la Tabla 2 en el formato deseado.

Tabla 2: Interrupciones

interrupción	fecha	duración	distrito	alimentador	clientes afectados
2300001	2023-01-03	0,5	distrito_1	AA01	423
2300002	2023-01-5	0,2	distrito_2	AB02	141
2300003	2023-01-014	1,5	distrito_2	AB02	650

Para llegar a la tabla final se tienen en cuenta los criterios para ignorar las causas de interrupción que no deben ser consideradas, así como también las interrupciones menores a 3 minutos. Todo esto se hace dentro del programa que ejecuta la extracción y poblado de la tabla utilizando distintas herramientas y procedimientos propios del sistema informático.

Finalmente, teniendo las dos tablas mencionadas se efectúa un postproceso mediante el llenado de 3 columnas más en la tabla de interrupciones. Estas columnas son la cantidad de clientes para el nivel empresa, distrito y alimentador. Si bien en un modelo de Base de Datos relacional no es deseable duplicar información, en este caso se hace esta Desnormalización [6] para poder concentrar la totalidad de los datos necesarios para el cálculo de los indicadores en la misma tabla de interrupciones. Motiva esto el hecho de hacer más fácil y rápido el uso de la herramienta Superset para la confección de los gráficos, ya que no está preparada para hacer consultas a distintas tablas para un mismo gráfico.

Sobre la base de las dos tablas ya mencionadas, se cuenta en ellas toda la información necesaria para el cálculo de los indicadores, debidamente procesada y filtrada. Solo resta aplicar las fórmulas (1) y (2) para obtener el valor del indicador asociado a la porción de datos que corresponda.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cálculo de los indicadores

En el caso de SAIDI se puede ver en (1) que los datos necesarios son el número de usuarios afectados, número de usuarios abastecidos y la duración de la interrupción. El resultado de esta fórmula suele expresarse en términos adimensionales. En una primera interpretación se podría mantener la unidad de tiempo de la duración de las interrupciones para analizar el valor obtenido como el tiempo promedio de interrupción al que se ve sometido un usuario de esa red en el periodo de tiempo de observación. Lo más frecuente es calcular estos índices para periodos semestrales o anuales y para toda una empresa o extensiones geográficas grandes. Se suelen expresar las duraciones de interrupción en horas, y por lo tanto el valor del indicador da un indicativo de la cantidad de horas de interrupción que puede experimentar un usuario de esa instalación. En el presente desarrollo se siguió esa convención para que puedan ser comparables con diferentes fuentes de datos donde se utiliza la misma unidad.

Para el caso de SAIFI (2), se observa que los datos necesarios están expresados en unidades de clientes, de igual forma, se expresa comúnmente de manera adimensional, y representa la frecuencia de interrupciones a la que se ve sometido un usuario promedio de la red a la que corresponde el indicador. Se suele presentar de forma semestral o anualizada al igual que el SAIDI.

Como ejemplo de cálculo partiendo de los datos de la Tabla 1 y Tabla 2 se calcula el SAIDI y SAIFI para el Distrito 2 durante el año 2023

$$SAIDI = \frac{(0,2 * 141) + (1,5 * 650)}{650} = 1,54 \quad (3)$$

$$SAIFI = \frac{141 + 650}{650} = 1,22 \quad (4)$$

Al observar estos resultados, se puede concluir que un cliente promedio del Distrito 2 se ve afectado por 1,22 interrupciones al año con una duración promedio de 1,54 horas por interrupción. Con este ejemplo se puede apreciar la utilidad de estos índices al proporcionar valores simples pero significativos que aportan un alto grado de información sobre la calidad de servicio del distribuidor. Como se muestra más adelante, existen diferentes factores que deben ser considerados al hacer comparativas y análisis sobre estos índices dado su impacto directo en la evaluación subjetiva que se puede hacer sobre ellos.

Según las especificaciones de la empresa distribuidora, se requiere presentar la información en una serie de tablas, a continuación, se detallan de manera general utilizando

En la Tabla 3 vemos los indicadores SAIDI y SAIFI calculados anualmente para toda la empresa.

Tabla 3: Indicadores Anuales Empresa

Año	SAIDI	SAIFI
2021	18,54	3,72
2022	17,43	3,24
2023	14,89	2,94

En la Tabla 4, se muestran los mismos indicadores calculados para cada mes.

Tabla 4: Indicadores Mensuales Empresa

Mes	SAIDI	SAIFI
01/2023	4,57	1,41
02/2023	7,45	4,13
03/2023	6,22	2,32

La Tabla 5 y la Tabla 6 contienen los indicadores SAIDI y SAIFI calculados para cada distrito. De forma anualizada en la Tabla 5, y mensual en la Tabla 6.

Tabla 5: Indicadores Anuales por Distrito

Año	Distrito	SAIDI	SAIFI
2021	distrito_1	14,51	4,74
2021	distrito_2	12,61	2,26
2022	distrito_1	10,67	5,31

Tabla 6: Indicadores Mensuales por Distrito

Mes	Distrito	SAIDI	SAIFI
01/2023	distrito_1	8,11	4,96
01/2023	distrito_2	3,61	1,26
02/2023	distrito_1	7,34	4,37

La Tabla 7 y la Tabla 8 contienen la agrupación por alimentador MT. De forma anualizada en la Tabla 7 y mensual en la Tabla 8.

Tabla 7: Indicadores Anuales por Alimentador MT

Año	Alimentador	SAIDI	SAIFI
2021	AA01	19,38	9,15
2021	AA02	11,51	4,31
2022	AA01	22,65	8,95

Tabla 8: Indicadores Mensuales por Alimentador MT

Mes	Alimentador	SAIDI	SAIFI
01/2023	AA01	5,11	9,26
01/2023	AA02	9,61	5,48
02/2023	AA01	4,34	8,98

Estas tablas permiten el análisis de los indicadores y su evolución histórica para todos los niveles de agrupamiento considerados. La ventaja del formato tabulado y su reque-

rimiento por parte de la Distribuidora brinda la posibilidad de continuar con los análisis más minuciosos con el uso de herramientas de hojas de cálculo. Por otra parte, sirve como método de archivado y para las publicaciones internas y al público externo que se realizan mediante el Ente Regulador u otros organismos.

Confección de los gráficos

Para el desarrollo del tablero de visualización gráfico se estudiaron distintas posibilidades que permitieran su ejecución e integración al flujo de trabajo. Luego de consultas con el cliente, se decidió la implementación de la herramienta de software de código libre Apache Superset. Esta herramienta funciona como una interfaz gráfica que actúa como intermediario entre una o más fuentes de datos y los usuarios. Cada usuario puede ver, crear y editar distintos tipos de gráficos, que corren de manera dinámica para actualizarse constantemente y adaptarse a los filtros y manipulaciones que se requieran.

Debido a que la extracción de datos siempre estuvo contemplada en el diseño de la herramienta informática, la tabla se concibió de esta forma que sirva como origen para alimentar esta herramienta.

Se desarrolló un tablero exclusivamente para el análisis de los indicadores de Calidad de Servicio, en este tablero se configuró una serie de gráficos, cada uno con sus objetivos y capacidades. Se presenta a continuación la descripción del desarrollo con figuras extraídas de la herramienta de software y utilizando datos ficticios como ejemplo.

Filtros: Una de las funcionalidades que ofrece la herramienta de software es la posibilidad de definir filtros generales que aplican a todo el tablero gráfico, y de esta forma efectuar comparativas y análisis dinámicamente sobre los datos seleccionados. Se puede apreciar en la Figura 2 el panel de filtros diseñado. En éste se pueden seleccionar los años de historia y el periodo de tiempo deseado para el agrupamiento de los datos. Esto permite obtener índices que correspondan a un año completo, un mes o un trimestre, otorgando la posibilidad de efectuar distintos tipos de análisis.



Figura 2: Filtros configurados para tablero de Calidad de Servicio.

Cantidad de clientes: el objetivo de este gráfico es proveer en forma de líneas de tiempo una visión clara de la fluctuación de la cantidad de clientes y la posibilidad de comparar sus magnitudes entre grupos. Al utilizar los filtros que corresponden a distrito y alimentador se permite analizarlos comparativamente de forma dinámica. En la Figura 3 se observa el gráfico de cantidad de clientes donde cada línea corresponde a un Distrito diferente, en el eje de ordenadas se encuentra la cantidad de clientes y en las abscisas los periodos de tiempo según el agrupamiento temporal definido. Para el caso del agrupamiento por distrito es esperable que las líneas muestren una leve tendencia creciente y con poca variabilidad.



Figura 3: Cantidad de clientes agrupado por Distrito.

En la Figura 4 se observa el mismo gráfico de cantidad de clientes, esta vez agrupado por alimentador MT. Cada línea representa un alimentador de la red, se puede observar la fluctuación de clientes en cada alimentador donde es esperable encontrar cambios más radicales causados por transferencias de carga, expansión de la red y otro tipo de maniobras sobre la instalación.



Figura 4: Cantidad de clientes agrupado por Distrito y filtrado para mostrar solo 3 Distritos.

Incidencias: en un gráfico independiente se tienen 3 series con la cantidad de incidencias, el promedio de la duración de interrupción en minutos y el promedio de clientes afectados. El objetivo de este gráfico es proporcionar 3 estadísticas importantes, si bien están de cierta forma incluidas en los índices principales de calidad de servicio, también son de gran utilidad a la hora de examinar periodos de tiempo y el seguimiento del nivel de afectación de la red. Este gráfico se ve modificado de igual forma por los filtros generales que permiten el análisis en distintos grados de agrupamiento temporal y geográfico, esta situación se grafica en la Figura 5 y 6.



Figura 5: Incidencias para el total de datos de la Empresa.



Figura 6: Incidencias filtrado para los datos de 1 Distrito.

SAIDI y SAIFI: los gráficos de índices de calidad de servicio se dividieron en cuatro gráficos especializados, dos para el agrupamiento por distrito y dos más para el agrupamiento por alimentador. En cada uno se muestra un solo índice para cada grupo, lo que permite rápidamente efectuar comparaciones y el seguimiento de los indicadores en el tiempo. Estos gráficos son los que más información aportan a los usuarios del área ya que les permiten identificar a simple vista los distritos y alimentadores con los índices más elevados, sean estos SAIDI o SAIFI según el gráfico. El objetivo de estos gráficos es poder relevar información importante para la priorización y focalización de los análisis técnicos, inspecciones visuales, mantenimientos preventivos y campañas de inversión en los puntos clave donde se concentran los mayores índices, lo cual se espera, reduzca los indicadores y mejore la calidad de servicio general de la empresa.

En las Figuras 7 y 8 se observan gráficos de barras donde las ordenadas representan el valor del índice correspondiente y en abscisas se representa cada distrito con una barra para cada año seleccionado en el panel de filtros. El objetivo de estos gráficos es permitir una comparación efectiva entre los distritos y apreciar su evolución temporal, donde algunos presentan variabilidad muy superior a otros como se observa en las figuras.



Figura 7: Gráfico de SAIDI por Distrito para años 2022 a 2024.



Figura 8: Gráfico de SAIFI por Distrito para años 2022 a 2024.

En la Figura 9 se observa el gráfico de SAIDI en la parte superior y SAIFI en la parte inferior, donde cada barra corresponde a un alimentador y las ordenadas representan el valor del índice para el año 2023. Posee un ordenamiento que permite al usuario identificar rápidamente los alimentadores con los índices más elevados al posicionarse a la izquierda del gráfico. Utilizando los filtros mencionados anteriormente es posible reconfigurar estos gráficos para filtrar por ejemplo los alimentadores de un distrito en particular, o aplicar otro agrupamiento temporal que sea más adecuado según el análisis que se esté realizando.

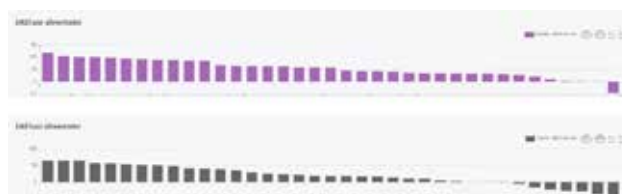


Figura 9: Gráfico de SAIDI y SAIFI por Alimentador para año 2023

Factores no contemplados dentro de los índices

Para un análisis fuera de ese contexto se hacen evidentes ciertas condiciones y variables que no son tenidas en cuenta en los índices, por lo tanto, los resultados no siempre permiten la comparación entre instalaciones.

La extensión geográfica de la red y su ruralidad es uno de los principales factores que tienden a incrementar los índices de calidad de servicio. Una empresa cuya red se encuentra instalada a lo largo de vastas regiones con escasa población hace que cualquier falla sobre la red implique una demora considerable en su resolución simplemente por la distancia que deben recorrer las cuadrillas de trabajo para solucionarlo. Los accidentes geográficos, vías fluviales y densidad arbórea, son todos factores que incrementan en

gran medida las labores de inspección y restablecimiento del servicio cuando se produce una falla por las complicaciones y demoras extra que agregan. Todo esto incrementa los índices de calidad de servicio lo que termina impactando en los indicadores globales de una empresa distribuidora.

Para tener en cuenta estos factores, los entes reguladores y otros organismos que efectúan recaudación de datos estadísticos generalmente incluyen información extra como el área de extensión de la red, su densidad poblacional, o tipo de ruralidad y de geografía de la zona.

Como parte del proyecto expuesto en este trabajo, la empresa distribuidora tiene definida la iniciativa de expandir en una segunda fase el análisis de indicadores al ámbito del mantenimiento de la red. A partir de tablas similares a la Tabla 1 y Tabla 2, se pretende construir un modelo donde se tenga una tabla con el tamaño de las instalaciones presentes en la red (cantidad de postes, kilómetros de cables, cantidad de subestaciones, entre otros) y otra tabla con la cantidad de tareas de mantenimiento efectuadas sobre estas instalaciones (cambio de postes, cambio de líneas, reparación de estructuras, entre otros). Este modelo permitiría un análisis de los trabajos efectuados en una instalación calculando índices de ejecución de mantenimiento que en teoría podrían correlacionarse con los índices de calidad de servicio.

La hipótesis de trabajo es que, al incrementar los índices de ejecución de mantenimiento sobre una cierta instalación o zona geográfica, se producirá un mejoramiento en los índices de calidad de servicio. Este desarrollo se encuentra en fase de diseño. Promete aportar información significativa que permita a los usuarios complementar la obtenida por el resto de los indicadores para lograr una visión más integral de la red y de esta manera contribuir a la mejora continua de la organización.

CONCLUSIONES

La Calidad de Servicio de una red de distribución eléctrica puede tener una gran variación entre distintas empresas, zonas geográficas e incluso entre porciones de una misma red. Si bien, la tendencia por parte de los Entes Reguladores en todo el mundo es a buscar una reducción progresiva de los índices SAIDI y SAIFI mediante diferentes técnicas e incentivos, no se puede ignorar las variables naturales, geográficas y antropológicas que afectan directamente la capacidad de las empresas para modificar estos indicadores.

Es necesario, para todas las partes involucradas, tener en cuenta toda esta información de contexto a la hora de un análisis comparativo entre instalaciones para evitar obtener conclusiones erróneas.

La evolución histórica y el avance de la tecnología hace posible el mejoramiento de las redes y sus equipos para minimizar las fallas y aumentar la confiabilidad de la red ante perturbaciones. Parte de ese avance es la utilización de herramientas informáticas para optimizar el análisis de indicadores como los presentados en este trabajo. Es a través de ellos, en sus distintos puntos de vista, que se puede desplegar un panorama amplio y

enriquecido de información histórica como base firme sobre la cual priorizar y ejecutar efectivamente la toma de decisiones que mejoren la calidad de servicio y por ende la calidad de vida de los usuarios.

Al considerar que se trata de energía eléctrica y que de ella depende la gran mayoría de los servicios esenciales de nuestras sociedades, se torna evidente la necesidad de reducir al mínimo estos índices, razón por la cual son parte de los principales puntos de control para las empresas y un importante foco de estudio y análisis.

REFERENCIAS

- [1] Ley 24.065 (1991) “Energía Eléctrica - Régimen legal”. Honorable Congreso De La Nación Argentina.
- [2] Artículo: “GIS (Geographic Information System)” Recuperado de: <https://education.nationalgeographic.org/resource/geographic-information-system-gis/>
- [3] Resolución 527 (1996) “Base Metodológica para el Control de la Calidad del Servicio Técnico”. Ente Nacional Regulador de la Electricidad.
- [4] Normalización en el diseño de base de datos, IBM Documentación. Recuperado de: <https://www.ibm.com/docs/es/db2-for-zos/13?topic=modeling-normalization-in-data-base-design>
- [5] Qué son los grafos. Recuperado de: <https://www.grapheverywhere.com/que-son-los-grafos/>
- [6] Diseño de base de datos con desnormalización, IBM Documentación. Recuperado de: <https://www.ibm.com/docs/es/db2-for-zos/12?topic=design-database-denormalization>