

Prototipo de producto (*software*), desarrollado por MVM Ingeniería de Software S.A.S., para proveer soluciones para el sector eléctrico.

PhD. Gladys Adriana Quintero Rojas

*Investigadora del área de Gestión del Conocimiento e Innovación, MVM Ingeniería de Software S.A.S.,
gladys.quinte@gmail.com*

Msc. Ricardo Alonso Gallego Burgos

*Dirección del Área Gestión del Conocimiento e Innovación, MVM Ingeniería de Software S.A.S.,
ricardo.gallego@mvm.com.co*

Resumen

En el ámbito nacional e internacional se efectúan macro proyectos que apuntan a la implantación de sistemas inteligentes en la infraestructura eléctrica. La mayoría han sido orientados al almacenamiento y recolección de datos de consumo, caracterización de curvas de demanda e implantación de sistemas de generación distribuida. MVM Ingeniería de Software S.A.S. (MVM) en alianza con la Universidad de Medellín (U de M) ha desarrollado una tecnología, articulada al plan de ciencia, tecnología e innovación de la ciudad de Medellín¹, capaz de generar alertas tempranas para identificar irregularidades, mediante la generación y análisis del perfil del usuario, y así contribuir a la gestión para evitar pérdidas por la no facturación correcta del consumo de energía, lo que se conoce como Pérdidas No técnicas de Energía (PNT). El producto² tiene alta potencialidad de comercialización en el mercado del sector eléctrico y se enmarca en tres aspectos tecnológicos estratégicos: TIC, Energía y *Smart Grid*, para lograr una red de distribución segura, confiable, eficiente y sostenible, la cual, técnicamente, está compuesta por los subsistemas siguientes: infraestructura de energía, información y comunicación; administración o control el cual implementa reglas y métodos inteligentes, que habilitan de manera asistida o autónoma, el control operativo y el de protección que permite la fiabilidad y robustez para soportar fallas debidas a problemas técnicos o a intrusos en el sistema.

Palabras clave

Red de Distribución de Energía Eléctrica, Desarrollo Tecnológico, Pérdidas No Técnicas de Energía, Tecnología *Smart Grid*, Tecnologías de la Información y Comunicaciones.

1 Introducción

El sector energético tiene una dinámica de crecimiento que lo convierte en un impulsor económico del país y es por ello que los lineamientos que soporten dicha evolución, deben hacerlo sostenible en los aspectos: económico, social, ambiental y tecnológico. Urge, específicamente, una estrategia para gestionar su infraestructura en la Reducción de Pérdidas No Técnicas (RPNT), y es así como MVM y U de M, a través de tecnología desarrollada innovadora, pretenden apoyar la solución de problemáticas en dicho entorno, en diferentes

¹ El Plan Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación 2011-2021 se enmarca dentro del Plan de Desarrollo 2008-2011 de la administración de la alcaldía de Medellín

² SMARTIN nombre provisional.

mercados objetivos de Sur y Centro América, y beneficiar, a su vez, en Colombia, a diversos actores.

2 Capítulo 2. Problema y Solución.

Los índices de PNT, en el Centro y Sur del continente Americano, para las empresas distribuidoras - comercializadoras de energía muestran, en la actualidad, un porcentaje elevado, lo que implica incompatibilidad con la eficiencia requerida por el ciudadano [Casa, C.N. I., & Sunchá, C. M. G. (2009)]. Las PNT están relacionadas con la inexistencia de la información correcta en los procesos de facturación del consumo de energía, dificultad que puede ser controlada sí la empresa lo decide. Su falta de control origina: pérdida de ingresos por los consumos no facturados y cortocircuitos y sobrecargas en las redes e instalaciones, obligando a realizar fuertes inversiones en renovación y ajustes. El valor de las pérdidas de energía es uno de los indicadores de la gestión técnico - administrativa de la empresa, lo que hace imprescindible conocer y evaluar la incidencia de las mismas en todas las etapas de distribución hasta la entrega al usuario.

Durante el año 2013 se revisaron los planes de RPNT propuestos por los Operadores de Red (OR) de acuerdo con la metodología establecida en el año 2011, pero el estudio no fue culminado debido a la emisión del Decreto 1937 de 2013 [Ministerio de Minas y Energía, (2013)] el cual eliminó la distribución de pérdidas de energía entre todos los comercializadores de un mercado y determinó que la CREG [Comisión de Regulación de Energía y Gas, (2014)] estableciera acciones, para que fueran presentados acorde con la nueva metodología de remuneración de la actividad de distribución. El Gobierno Nacional consideró pertinente adelantar los proyectos que alcancen los índices de eficiencia, debido a que en la actualidad existen empresas que muestran valores superiores a los límites establecidos. Para tal efecto se expidió el Decreto 387 de 2007, modificado por el Decreto 4977 de 2007. La propuesta contempla tres aspectos fundamentalmente: (a) establecer los planes de RPNT, (b) modificar la variable para el cobro de los usuarios regulados y (c) ajustar la normatividad vigente, de las obligaciones de los comercializadores. La metodología contempla, para ello, entre otros, dos esquemas: uno de determinación de costos eficientes de los planes y su duración y otro de seguimiento al cumplimiento de la senda y las consecuencias de su quebranto. La propuesta de modificación de la variable dispuesta en la Resolución CREG 119 de 2007 para el cobro de los planes a los usuarios regulados, se hace con el fin de evitar distorsiones tarifarias en su ejecución y permitir que todos los usuarios de un mismo mercado, independientemente que sean atendidos por comercializadores distintos, tengan el mismo costo por este concepto [Comisión de Regulación de Energía y Gas (2011)]. El gobierno busca mejorar las condiciones para que el sector privado participe más efectivamente, en el desarrollo y construcción de infraestructura en el subsector, donde el estado participa como planeador y estructurador de proyectos. A partir del año 2014 los recursos se reorientan a fortalecer el Programa de Normalización de Redes Eléctricas - PRONE - mediante el cual se financian los proyectos para la legalización de usuarios y la adecuación de las redes a los reglamentos técnicos vigentes, en barrios subnormales, situados en municipios del Sistema Interconectado Nacional (SIN). El Ministerio de Minas y Energía realiza una convocatoria

para seleccionar el plan que tenga mayor impacto en minimización de costos, mayor población atendida y prioridad de la zona [Contraloría General de la República (2010)].

El problema de no ejecutar los proyectos y planes de RPNT se traduce, con el tiempo, en la degradación de los procedimientos a acciones ilícitas por parte de integrantes de la empresa, ya sea por beneficio propio o de terceros perjudicándola económicamente y aumento en la ejecución de todo tipo de fraude para reducir ilícitamente, los registros de consumo y por ende el valor de la facturación.

2.1 Planteamiento del problema

En un sistema de distribución eléctrica siempre se tienen pérdidas técnicas (PT) pero existen márgenes, si estos límites son excedidos se presentan resultados negativos para la comunidad en general. También se presentan PNT las cuales conducen a: deterioro de las instalaciones por agresión de las mismas, cuando se produce apropiación ilegítima de la energía eléctrica con consecuencias para la seguridad pública; el no posible uso de los electrodomésticos en las horas de máxima demanda, debido a que el voltaje en estas zonas es menor al aceptable; riesgo alto de tragedias por corto circuito ya que los abordajes sobre las instalaciones se realizan sin ninguna norma técnica con uniones manuales, conductores inadecuados los mismos que atraviesan paredes, árboles, etc., hasta llegar a las viviendas; detrimento de los medidores por manipulación impropia de los mismos, la acción sobre las borneras conlleva al recalentamiento de las mismas y por lo tanto a la inutilización del elemento correspondiente, lo que provoca cambios o reparaciones necesarias para normalizarlos; incitación a los usuarios que cumplen normalmente con sus obligaciones y pagos de sus consumos, a evadir los registros reales a través de fraudes o a no pagar las facturas teniendo la empresa que ordenar el corte del servicio.

El hurto de energía eléctrica a través de conexiones directas (sin registro en la empresa) y la alteración de las mediciones para obtener registros fraudulentos, producen efectos económicos negativos sobre los ingresos de las empresas e impacta ética y moralmente a la población. Esta acción ilegal se da en todos los estratos sociales y en la mayoría de los casos el mayor volumen de pérdidas se encuentra en los grandes consumidores. En Colombia existe dicha problemática y en algunas zonas el porcentaje de pérdidas por este concepto merece consideración especial. También ocurre en la industria y comercio donde la modalidad característica del ilícito consiste en la manipulación de los sistemas de medición, con una intervención técnicamente más calificada; la degradación ética-moral es más injustificable, dado que persigue fines de lucro, fomentando la competencia desleal y la evasión fiscal que repercute luego sobre toda la sociedad.

2.2 Solución al problema

De acuerdo al ítem 2.1, el Sector Eléctrico Colombiano, oficial y privado, precisa de un sistema de alertas e información adecuado, que permita el reporte de hechos y resultados de forma oportuna, además la distribución de energía eléctrica es una actividad cuyas técnicas están en un proceso constante de evolución que se refleja en: el tipo de equipos y herramientas utilizadas, la estructuración, los materiales con los que se construyen las redes, los métodos de

trabajo de las cuadrillas de construcción y mantenimiento y la metodología de diseño y operación que brinde el *software* utilizado [Ramírez, C. S. (2004)]. Y es justo aquí donde los activos de información generados por el producto tecnológico desarrollado por MVM y U de M, enmarcado en el modelo *Smart Grid*, contribuyen de forma efectiva a la toma de decisiones frente a situaciones sospechosas en los siguientes contextos: fraude de energía y fallas de los equipos las cuales generan PNT. Es un producto altamente especializado e intensivo en conocimiento que hace uso de analítica avanzada³ para mitigar el problema mencionado y beneficia a las empresas del sector eléctrico en Colombia y Latino América. La solución no debe cumplir con ninguna regulación establecida por el sector energético, sin embargo se desarrolló bajo modelos mundiales de calidad establecidos por la industria del *software*, como lo es el modelo CMMI⁴ en el cual MVM se encuentra certificada en el nivel más alto.

El Desarrollo Tecnológico considerado, corresponde a un sistema que gestiona la información que proviene de medidores y otras fuentes, el cual tiene la capacidad de notificar y la funcionalidad de utilizar un desbalance para detectar irregularidades en el servicio ofrecido por el distribuidor e involucra: la identificación de datos, clasificación de los mismos, y pronóstico. Controla la información desde su obtención hasta su disposición final, garantizando su integridad y confidencialidad. Este sistema genera alertas bajo la integración del uso de medidores inteligentes que detallan el consumo de energía eléctrica y comunica esta información a un repositorio centralizado, del cual se extraen los datos, con programas creados, capaces de generalizar comportamientos erráticos y propiciar soluciones factibles a dichas situaciones. La solución definida está en vía de validación y tiene como objetivo generar información, para que las empresas comercializadoras y distribuidoras de energía puedan usarla en la gestión integral de reducción de PNT.

Dicho *Software* permite: mejorar y optimizar los procesos de recuperación de servicios no facturados en empresas distribuidoras - comercializadoras de energía, siempre y cuando éstas impriman acciones una vez dadas las alertas; identificar causas comunes y analizar comportamientos a partir de la recolección, organización, análisis y visualización de la información generada, en el proceso de medición de consumos de energía de los usuarios regulados y no regulados. Entre sus características principales se destacan: componente de *software* con arquitectura web, con fácil expansión a la nube; arquitecturas para multiservicio, multiequipo y multiprotocolo; visualización de la información de alertas por medio de GIS, generación de alertas a partir de la gestión efectiva de la información, para que se identifiquen acciones orientadas a la RPNT de energía.

³ Es una manera exhaustiva de utilizar los datos para definir estrategias y tomar decisiones óptimas. Esta se basa en herramientas que permiten el análisis estadístico ya sea cuantitativo y/o cualitativo; así como en diversos tipos de modelos de predicción, descripción y optimización.

⁴ CMMI. El modelo CMMI (Capability Maturity Model Integration) fue creado por el SEI (Software Engineering Institute) el cual define unas áreas de proceso que permite que las organizaciones puedan evaluar el nivel de madurez en cuanto a los procesos de desarrollo de software. Este modelo es el estándar de más aceptación en el mundo en este contexto. <http://www.sei.cmu.edu/cmmi/>

3 Capítulo 3. Justificación

Según los informes de la Asociación Nacional de Empresas de Servicios Públicos y Comunicaciones (Andesco) los avances conseguidos por el sector eléctrico a través de los incentivos dados por la regulación son importantes. Al inicio de la implementación de la Ley 142 de 1994 [Tabarquino, M. R. A. (2011)], el índice promedio de pérdidas en Colombia era del 30% aproximadamente, en el 2004 llegaba al 18% y en la actualidad es cercano al 13%. Las ciudades de Bogotá y Medellín muestran un promedio inferior al 10%, mientras que en el Norte Caribeño no es menor del 15%, como se puede observar, este valor cambia dependiendo de la región del país. Los departamentos que registran el índice de hurto de energía más alto son Atlántico, en donde se pierde mensualmente 54 GW y Bolívar con 41 GW [Higuera, J. M. (2013)]. Según Andesco, en el año 2012 Electricaribe dejó de facturar 140 mil millones de pesos por defraudación de fluidos. Esta compañía tiene unas pérdidas mensuales del orden de los 100 GW, es decir unos 30.000 millones de pesos. La Electrificadora del Meta (Emsa), según la gerencia, tuvo pérdidas de 12 mil millones de pesos por este hecho en el 2013. En general, el robo de energía alcanza valores que oscilan entre los 130.000 y 150.000 millones de pesos anuales, por lo tanto se necesitan soluciones, desde el punto de vista social, tecnológico, cultural y educativo para controlar este problema.

En el año 2011 el índice de pérdidas totales en Brasil fue del 16,76% de la energía generada, y cerca del 6% en PNT. CEMIG invirtió 22.1 millones de reales para su reducción en este mismo año. Desde 1998, Laas Empresas Públicas de Medellín (EPM) ha invertido alrededor de 52 millones de dólares en este problema. Codensa invirtió en el primer semestre del 2013, 7.500 millones de dólares en su plan de control. Codensa y Primestone alcanzaron a junio del 2013, el índice más bajo en su historia, 7.14%, gracias a la implementación de nuevas tecnologías como el Centro de Monitoreo Mantis, la macromedición en media tensión, el control del hurto, seguimiento de clientes y el Programa Cultura De La Legalidad. Empresas como Itron con Choice y Siemens con Senergy establecieron grandes alianzas para resolver y evitar dicha dificultad.

De acuerdo al Director de Innovación del Cidet (Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico del Sector Eléctrico) “con la implementación de soluciones basadas en desarrollos tecnológicos se adelantan en Colombia proyectos que permiten que el sistema pueda satisfacer exigencias aún mayores de calidad, cobertura y sostenibilidad ambiental, además de brindar a los clientes conectados nuevos servicios y opciones más allá de solo la disponibilidad de electricidad”. Y en este aspecto toman especial protagonismo las *smart grids* o redes inteligentes que se diferencian de las tradicionales, porque facilitan que por la red se transmita, además de energía, información y datos que satisfacen la demanda de los usuarios, con una infraestructura que comprende sistemas de gestión, control, protección de fallas, seguridad y privacidad, entre otros, y que integra a todos los implicados en la cadena de suministro, incluidos los generadores, transmisores y distribuidores [Dirección de Innovación del Cidet, (2014)].

Ante este panorama, Colombia Inteligente, una iniciativa sectorial conformada por las empresas EPM, Codensa, Emcali, Epsa, Electricaribe, EEB e Isagen, centros de desarrollo

tecnológico como Cidet y Cintel y otras entidades sectoriales y el Gobierno Nacional, por medio del Ministerio de Minas y Energía, han establecido una alianza para avanzar en el proyecto de creación del mapa de ruta para las redes inteligentes en el país, con un costo estimado de 900 mil dólares, de los cuales 500 mil son aportados por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y el resto por los distintos actores interesados, a través de la colaboración y participación en el estudio que esperan concluir en el 2015.

Los avances más sobresalientes que se tienen en el país, relacionados con *smart grids* son: medición inteligente (AMI), generación distribuida (GD), red flexible, la mayoría a nivel de pilotos a escala. Las empresas Emcali, Electricaribe, Codensa y EPM han desarrollado proyectos con medidores inteligentes y medición prepago de electricidad, buscado la RPNT.

XM, junto con la Universidad Pontificia Bolivariana, ha establecido, a lo largo del Sistema de Transmisión Nacional, una red de medidores sincrofásicos, denominada iSaac (Intelligent Supervision and Advanced Control System), que permite la detección temprana de fallas y evitar colapsos del sistema; Isagen, con apoyo del BID, evalúa la posibilidad de asumir dos proyectos geotérmicos, uno en el Macizo Volcánico del Ruiz y otro binacional en la frontera con Ecuador: Tufiño-Chiles-Cerro Negro. Una de las firmas que más ha enfrentado este problema es Codensa, la cual en el 2010 alcanzó pérdidas por 32.000 millones de pesos, y en los primeros seis meses del 2011, la cifra ya se acercaba a 15.000 millones; la entidad, sin embargo, sigue trabajando en una cultura de legalidad, a través de mensajes en los recibos de cobro [Naranjo, F. (2011)].

En Centro América, donde MVM visiona un mercado objetivo, es todavía más grave la situación en lo que se refiere al índice de PNT. El Gobierno de la República Dominicana a través de las empresas distribuidoras de energía (Ede-Este, Ede-Sur y Ede-Norte) pierde anualmente, de acuerdo a la Corporación Dominicana de Empresas Eléctricas Estatales (CDEEE), por robo de energía 482.4 millones de dólares; si a esta cifra se le adicionan 245.2 millones de dólares debidos a PT, se obtiene el valor de 727.6 millones, es decir, RD\$30,000 millones. El robo de la luz equivale al 23.6% de pérdidas y las fallas técnicas, que pueden ser por sobrecarga de redes, tensión inadecuada y mal estado al 12%, para un total de 35% de pérdidas en general. Por cada 100 MW generados en el sistema interconectado, la estatal pierde 31,3 MW. El Control de la energía servida mediante la telemedición utilizando una plataforma tecnológica unificada, la rehabilitación de redes, la normalización de clientes y la expansión de la distribución, son los puntos con los que el Gobierno Dominicano planea bajar este déficit [Corporación Dominicana de Empresas Eléctricas Estatales (CDEEE), 2013].

De igual forma, el informe estadístico de la estatal eléctrica de Honduras, detalló en el año 2013 que los ingresos por venta de energía ascendieron a 19.830,5 millones de lempiras (989 millones de dólares), menor que los 26.112,5 millones de lempiras (1.303 millones de dólares) establecidos como meta en el presupuesto de ingresos. El nivel de cumplimiento en los ingresos por facturación fue de 75,9% durante 2013. Al compararse con los ingresos registrados en 2012, los que ascendieron a 19.320,2 millones de lempiras (964 millones de dólares), el incremento apenas fue de 510,3 millones de lempiras, equivalente a 2,6 puntos en valores porcentuales. Los generadores térmicos aportaron 4.598,3 GW (57,9%), la energía hídrica contribuyó con 2.738,5 Gwh (34,5%), el parque eólico con 310,2 GW (3,9%), las

plantas de biomasa con 179,7 GWh (2,3%) y se importaron 114,6 GW (1,4%) para cubrir la demanda interna. La estatal eléctrica reportó que la energía vendida en todo el sistema fue de 5.452.5 GW, equivalente al 68,7% del total generado. Los restantes 2.488,5 GWh correspondieron a pérdidas [América Economía Negocios & Industrias (2014)].

4 Capítulo 4. Marco Teórico

Se define las pérdidas eléctricas, como aquella energía que se pierde en cada una de las etapas funcionales del sistema de distribución más las PNT o comerciales producidas por la falta de medición y/o facturación a usuarios que se aprovisionan de energía en forma ilegal o cuyos sistemas de medición sufren algún daño. El incremento de estas pérdidas afecta directamente a la empresa distribuidora-comercializadora ya sea en el marco socioeconómico, futuras inversiones y en la necesidad de racionalizar el uso de la energía. La falta de inversión en los sistemas de distribución y comercialización de la energía eléctrica no solo conduce a un deterioro en la calidad de servicio que se presta, sino que es uno de los factores contribuyentes al incremento de las pérdidas tanto las técnicas como las no técnicas.

El problema radica especialmente en la gestión de las empresas eléctricas, es decir en su eficiencia y optimización de recursos. Los factores que involucran pérdidas son transferidos a la tarifa del usuario final puesto que las empresas tienen que comprar una energía adicional [Casa, C.N. I., & Suncha, C. M. G., (2009)].

4.1 Pérdidas técnicas de energía

Constituyen la energía que se disipa y que no puede ser aprovechada de ninguna forma. Se producen en todos los niveles desde la salida de los generadores hasta la llegada a los equipos de los usuarios. De una manera general se pueden clasificar en: pérdidas en vacío y pérdidas en carga [Casa, C.N. I., & Suncha, C. M. G., (2009)].

4.1.1 Pérdidas en Vacío

Dependen principalmente de la variación de la tensión pero no de la variación de la demanda y se presenta normalmente en los transformadores y las máquinas eléctricas. Se deben a las corrientes de Foucault [Bernal, S.I. R. (2010)] y a las de Histéresis [Diaz, R. (2012)] producidas por las de Excitación, también se incluyen las debidas al Efecto Corona [Sashenka, P. S. A. (2006)], que se dan a niveles de voltaje más elevado. Como en los sistemas eléctricos se tienen fluctuaciones de tensión relativamente pequeños es frecuente considerar las pérdidas de vacío como de un valor constante.

4.1.2 Pérdidas de carga

Están asociadas con la variación de la demanda. Esta clase se encuentra relacionada con las corrientes que circulan por los elementos del sistema - Efecto Joule [Endesa Energy (2012)]; cada componente del sistema tiene asociada una resistencia a sus características técnicas y al material del que está construido, que al combinarse con la corriente producen éstas pérdidas.

4.2 Pérdidas no técnicas de energía

Las pérdidas no técnicas no constituyen una pérdida real de energía. En efecto, esta energía es utilizada por algún usuario para alguna actividad, el cual puede estar registrado o no en la empresa de distribución y por ello esta recibe solo parte o ninguna retribución por la prestación del servicio, ocasionándole así una pérdida económica. Por ciertas causas una parte de esta energía efectiva no es facturada, y si a esto se le adicionan los gastos financieros (obtenidos por la gestión de deuda de los usuarios) y las facturas incobrables se obtienen las pérdidas no técnicas de la empresa. La revisión de las instalaciones de medida y acometidas constituye la herramienta más usada para la detección de infractores y para el control de las PNT.

Tener pérdidas de energía significa las empresas: menor disponibilidad de capacidad instalada, disminución de ingresos por los consumos no facturados, mayor pago en la compra de energía debido al despilfarro de la misma. Se tiene como consecuencia: mayor pago por el transporte de energía por la red de transmisión nacional y el sistema de distribución local; disminución de vida útil de la infraestructura eléctrica, obligando a fuertes inversiones tanto en renovación como en ampliaciones; cobros no reales en la factura de los clientes y menores planes de expansión y reposición.

Entre los principales factores que hacen que aumenten las pérdidas de energía en una empresa distribuidora - comercializadora se pueden citar: aumento de las tarifas, lo que origina el incremento de la sustracción de energía; la vulnerabilidad de las redes (los usuarios se conectan directamente), la falta de inversión en comercialización; compromisos ilícitos con personal de la empresa o de índole político; desorden administrativo en la empresa distribuidora; falta de recursos financieros y humanos para implementar proyectos y programas de reducción; falta de continuidad de los programas para asegurar resultados permanentes; desplazamientos de dichos programas dando mayor prioridad a los de inversión, ya que los anteriores reflejan menos beneficios visibles para las gestiones operativas a corto plazo [Casa, C.N. I., & Suncha, C. M. G., (2009)].

Según la naturaleza y origen de las PNT se las puede clasificar como:

4.2.1 Pérdidas administrativas

La deficiencia en la gestión administrativa de una empresa distribuidora, generalmente lleva a un incremento de las PNT, las mismas que son un reflejo de: organización y eficiencia empresarial, recursos y esfuerzos que se dedican a la operación comercial, controles y seguimientos de los procesos administrativos y de gestión del usuario.

Estas pérdidas corresponden a la energía no registrada por problemas de gestión administrativa de la empresa distribuidora como son: errores en la medición de consumo y errores en los procesos administrativos de los registros de los consumos tales como: medidores instalados pero no ingresados al sistema de cómputo, medidores ingresados al sistema de cómputo pero que no muestran consumos, medidores instalados hace varios años, los mismos que entregan facturas recientes, información inadecuada que produce errores y/o demoras en la facturación,

falta de registro adecuado en los consumos propios, errores y/o atrasos en los registros y censos de alumbrado público.

El fraude legal corresponde al tipo administrativo debido a la ineficacia de los controles de la empresa comercializadora del servicio. Consiste en un acuerdo entre un empleado de la empresa y el usuario para que periódicamente y mediante la manipulación del medidor se ajuste la lectura del mismo a un consumo preestablecido, de forma que permita la cancelación de un valor menor por parte de éste. La posibilidad de detectar este tipo de fraude es cuando se rompe el convenio entre el infractor y el empleado de la empresa. La rotación de lectores ayudaría al control de este tipo de fraude.

4.2.2 Pérdidas accidentales

Son pérdidas por error en el equipo de medición debido a su antigüedad.

4.2.3 Pérdidas Fraudulentas

Cuando los medidores no registran el verdadero valor del consumo de energía eléctrica del usuario, surge un problema para la empresa por las afectaciones financieras, económicas, políticas y sociales que se generan. Estas pérdidas afectan a los agentes del sector eléctrico, a la futura expansión del sistema y a la calidad del servicio.

4.2.3.1 Pérdidas por fraude en los equipos de medición

La evolución de las redes de energía eléctrica se traduce en crecimiento y desarrollo de la sociedad, pero esto acarrea costos altos y el aumento de las tarifas eléctricas, lo que hace que se incurra al delito, así el robo de energía se da, entre otras razones, por: tener facturas más económicas, no ahorrar energía y la falta de control y penalización de las empresas. Así surgen los diferentes tipos de fraudes a nivel de los medidores y/o equipos de medición instalada a los clientes residenciales, comerciales, industriales y hasta en sectores públicos y privados de la región.

4.2.3.2 Borneras punteadas

Consiste en la desviación de la corriente a través de un puente colocado en la parte inferior de la bornera la cual une la línea de corriente de entrada con la línea de la salida, evitando de esta manera que esta circule por la bobina del medidor. Dependiendo del calibre del conductor (resistencia) con la que se realice el puente, el medidor deja de registrar la energía real consumida por el usuario. Los daños más frecuentes por este tipo de fraudes son: violación de los sellos de la tapa bornera, manipulación de los elementos de la bornera con riesgo a producir corto circuito y borneras quemadas.

4.2.3.3 Desconexión de las bobinas internas

Reside en cortar el cable de alimentación de una o más bobinas de tensión del medidor. Los daños que producen este tipo de fraude son: violación de sellos de seguridad (tapa-medidor), manipulación y corte del cableado interno.

4.2.3.4 Cojinetes apretados

Radica en manipular la base del cojinete inferior (doble zafiro), apretándolo un poco, lo que impide que el disco gire normalmente, este girará cuando haya una corriente apreciable. Por lo general se deja de registrar más del 45% del consumo real del usuario. Los daños son los siguientes: violación de sellos de seguridad (tapa-medidor) y manipulación de las partes internas del medidor.

4.2.3.5 Cambio de constantes de medición (rev/KWh)

Es, talvez, una intervención de personal de la empresa y/o extrabajador en la manipulación del medidor. Al intercambiar las relojerías se mantendrán los valores de KWh propios del medidor pero la Rr no serán las correspondientes al KWh, para registrar un KWh cuando el consumo sea realmente ese. Por ejemplo si existen dos medidores similares con valores de KWh diferentes (1.8Wh/Rev y 3.6Wh/Rev) las Rr de las relojerías de los medidores serán diferentes y mantendrá la misma proporción del KWh, pero en forma inversa (es decir la primera será el doble de la otra). Esto es debido a que el producto de ambas debe registrar el mismo valor de KWh. Esto quiere decir, que si tomamos el medidor con KWh de 3.6 Wh/Rev cuya relojería será igual a 25 y se le instala una relojería con Rr de 50, el medidor registrará la mitad del consumo ya que la relojería requerirá el doble de vueltas para registrar un KWh. De esta forma modifica la constante de medición del medidor por supuesto con una relación que favorece al usuario. Este tipo de fraude solo es posible de efectuar en medidores de la misma marca. Los daños son los siguientes: violación de sellos de seguridad (tapa medidor), manipulación de partes internas de medidor (integrador) y sustitución de componentes.

4.2.3.6 Engranaje integrado dañado

Es una versión mejorada del fraude del ítem 4.2.3.5, pero menos original por la poca delicadeza en su ejecución. Consiste en cortar una porción del engranaje menor, para permitir, por un lapso de tiempo, que el engranaje mayor no trabaje y en consecuencia no arrastre los números del integrador, hasta que nuevamente hace contacto y se normaliza el funcionamiento de registro de carga. Se deja de facturar más del 50 % de la energía consumida.

4.2.3.7 Otros tipos de fraudes técnicos

Se trata de métodos muy rudimentarios, por ejemplo, perforación mínimo de la tapa del medidor para introducir alambres muy finos que impiden el funcionamiento normal del equipo, extracción de la tapa del medidor y aplicación de pegamentos en los números del integrador para obtener el mismo resultado. En general se practica en sectores de áreas marginales. Los daños son los siguientes: violación sellos de seguridad (tapa medidor), manipulación de partes internas del medidor y rotura de componentes del medidor (engranaje de plástico).

4.2.3.8 Pérdidas por hurto

Se define como la interferencia intencional en la red eléctrica, así como también la alteración de la acometida antes de llegar al medidor. Se clasifican en:

4.2.3.8.1 Pérdidas por conexiones clandestinas

Son aquellas que se presentan debido a que el usuario, a pesar de tener equipo de medición, se conecta directamente a la red o pica la acometida de tal forma que esta no sea visible, causando pérdidas a la empresa ya que el medidor no registra el consumo real y por lo tanto la facturación no es real.

4.2.3.8.2 Pérdidas por conexiones ilegales

Se realizan a la redes de distribución sin el respectivo equipo de medición y sin la previa autorización de la empresa. En la mayoría de los casos, son efectuadas sin los requerimientos técnicos de seguridad y protección (fusible o breakers).

Son varias las causas que originan las conexiones irregulares: falta de apoyo financiero para inversiones en la ampliación de las redes de distribución; sistemas de distribución altamente vulnerables, que permiten el fácil acceso de terceros; recursos humanos limitados para atender las pérdidas no técnicas de energía; ausencia de un régimen legal claro que tipifique la sustracción de energía como delito; falta de apoyo de organismos oficiales para contrarrestar la sustracción de energía; costumbres de grandes sectores de la población para hurtar energía; dificultad para electrificar a gran cantidad de terrenos invadidos, por baja capacidad de pago.

Las conexiones ilegales no cumplen con ninguna norma técnica y se caracterizan por ser realizadas con conductores inadecuados y en ocasiones con alambres de púas colgando por árboles, paredes, techos, suelo y postes rudimentarios, lo que crea una maraña de cables en precarias condiciones provocando riesgo y peligro, a esto se añade que para ahorrar cable se toma como punto de tierra las tuberías de agua de las viviendas, pocas veces se conectan al cable neutro de la red de distribución.

4.2.4 Pérdidas no identificadas

Aquellas conexiones que se realizan en las noches, así como también la adulteración de medidores dándoles una opción en la cual no se registra el verdadero consumo de energía. Todas estas anomalías son difíciles de detectar durante la inspección ya que esta se realiza durante el día.

4.3 Métodos de reducción de pérdidas no técnicas de energía

Algunos son: Gestión de procesos para reducir las pérdidas debidas a los procesos administrativos; revisión completa de los usuarios ubicados en barrios o zonas no marginales, siguiendo rutas preestablecidas para evitar pérdidas por conexiones ilegales, fraude y conexiones clandestinas; instalación de medidores en cajas anti-hurto con el objetivo de evitar que sean intervenidos; fijación de sello plástico, difícil de violar, numerado, que consigne la sigla de la empresa sobre relieve para permitir un control inmediato sobre sus usuarios; instalación de un conductor anti-hurto para evitar las conexiones clandestinas, el cual está compuesto por un alarma de aluminio, una capa de aislante plástico que la rodea, una cubierta conductora de cobre que recubre a la primera capa aislante y otra capa aislante de plástico que se encuentra al exterior del conductor; planes especiales de facilidad de pago de deudas acumuladas, condonación de deudas, etc.; asesoría en el uso racional de la energía a fin de lograr que el usuario modere sus consumos, evitando así abonar facturas altas, con las posibles consecuencias de suspensiones de servicios, avisos de corte, etc.; replantear las estrategias de

control y reducción de las PNT, desarrollando un plan basado en la instalación de un producto *software* que permita la identificación de infractores o anomalías en la red que estén ocasionando pérdidas comerciales después del análisis de los datos extraídos de las fuentes (medidores) e instalación de medidores que totalicen la carga de los grupos de transformadores [Casa, C.N. I., & Suncha, C. M. G., (2009)].

5 Capítulo 5. Tecnología desarrollada por MVM y U de M

En el marco de las *smart grids* [Peralta, S. A. G. & Amaya, F. F. O. (2013)] , esta tecnología (*software*, procesos, conocimientos) fue concebida con el propósito de mejorar y optimizar los procesos de recuperación de servicios no facturados, originados por PNT, en empresas comercializadoras y distribuidoras de energía eléctrica.

La tecnología desarrollada (*software*) apoya la mejora y optimización de los procesos de recuperación de servicios no facturados, originados por pérdidas no técnicas, en empresas comercializadoras y distribuidoras de energía eléctrica. Permite la identificación de causas comunes y el análisis de comportamientos, a partir de la recolección, organización, análisis y visualización de la información generada en el proceso de medición de consumos de energía de los usuarios regulados y no regulados incorporando técnicas de analítica avanzada. Entre sus características principales se destacan: componente de *software* con arquitectura web, con fácil expansión a la nube; configuración de funcionalidades; visualización de reportes e integración de módulos: se puede acceder desde cualquier lugar sin necesidad de realizar instalaciones; arquitecturas para multiservicio, multiequipo y multiprotocolo: el producto está construido para cubrir medidores de energía, agua y gas y otros servicios para medir cualquier variable de medida, tiene el potencial de incorporarse a otro tipo de equipos (Bujes, Relay, Motores, entre otros); visualización de la información de alertas por medio de GIS: el producto genera alarmas georreferenciadas a partir de la configuración de grupos de usuarios con características comunes y prioridades del negocio, lo que permite tomar decisiones acertadas y a la vez planear actividades en campo (cuadrillas), además hacer análisis sectoriales a partir de la generación de alertas a partir de la gestión efectiva de la información, para que se identifiquen acciones orientadas a la RPNT.

El producto genera alertas a factores de riesgo que afectan la medición (irregularidades), direccionando a la recuperación por efecto de pérdidas, en la medición del consumo de energía, esta capacidad se hace uso de analítica avanzada y auto aprendizaje.

El producto tiene la capacidad de capturar información de medidores que operan bajo protocolos DLMS/COSEM [Divyang, D. V. & Pandya, H. N. (2012)] vía serial, ethernet, gprs o modem. Tiene potencial de lectura de 20 protocolos adicionales. Como parte del avance tecnológico, MVM y la UDEM se encuentran desarrollando una segunda fase, la cual consiste en aumentar las capacidades por medio de analítica avanzada. En la sección 5.1, se ilustra de forma general, sus principales componentes.

5.1 Arquitectura conceptual –Solución analítica avanzada

La solución de analítica avanzada se enfoca en la aplicación de técnicas sofisticadas para la identificación de irregularidades, en el contexto de las pérdidas no técnicas, la información base para la identificación reside en los medidores de energía y así mismo, en diversos sistemas de información (CRM, ERP, Sistemas de Facturación, entre otros) utilizados por los comercializadores para la ejecución de sus procesos de negocio. Esta información debe ser estructurada, estandarizada y centralizada para posteriormente ser utilizada en tareas de análisis que permitan no solo identificar hechos actuales sino también proyectar posibles acontecimientos futuros. El foco de la solución de analítica avanzada cubre: la recepción de la información en fuentes estructuradas; la carga de dicha información a una bodega de datos centralizada; la generación y aplicación de un modelo de minería basado en técnicas/algoritmos avanzados de análisis de información para identificación y predicción de pérdidas no técnicas; la calibración de dicho modelo, en el tiempo, a partir de nueva información histórica y la retroalimentación producto de la aplicación de los resultados en las actividades del negocio.

La arquitectura conceptual provee los siguientes puntos: visión holística de la solución, identificando aspectos dentro y fuera del alcance; componentes de la solución y sus interacciones (internas y externas); actividades críticas que deberán tener lugar para asegurar la correcta implementación de cada componente; relaciones de dependencia y los pre-requisitos para abordar los diferentes frentes de trabajo.

La figura 1, representa la arquitectura conceptual de la solución, en naranja los componentes arquitectónicos desarrollados. Las fechas ilustran las dependencias de información y así mismo la secuencia para el funcionamiento integrado del sistema.

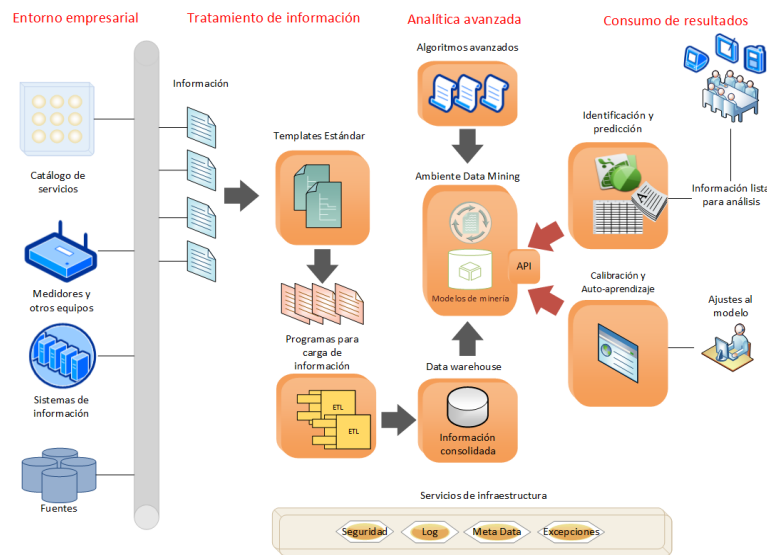


Figura 1. Arquitectura conceptual de la solución. Fuente: MVM.

5.2 Componentes de la solución

La tabla 1, describe el objetivo de cada componente.

Tabla 1. Componentes conceptuales de la solución

Nombre del componente	Propósito
Información	Base para la calibración y utilización del modelo analítico. Es la información de negocio a través de la cual se podrán identificar irregularidades.
Templates Estándar	Define las plantillas estandarizadas para organizar la información suministrada por el usuario para integrarla a la bodega centralizada.
Programas para carga de información	Carga la información organizada en las plantillas estándar a la bodega de datos donde reside la información consolidada.
Data Warehouse	Concentra la información base para el análisis en el repositorio centralizado de información.
Algoritmos avanzados	Algoritmos especializados para análisis de información, su objetivo es identificar y predecir pérdidas no técnicas dado un insumo de datos.
Ambiente <i>Data Mining</i>	Representa todos los elementos analíticos implementados en la tecnología seleccionada, es decir, los modelos de identificación y predicción y los mecanismos para calibración y auto-aprendizaje.
API	Representa la interface de acceso al ambiente Data Mining desde cualquier aplicación. Provee las operaciones para ejecutar los modelos, obtener los resultados, iniciar la calibración, realizar configuraciones, etc.
Identificación y predicción	Relacionada con el usuario final. Permite acceder a los resultados de identificación y predicción.
Calibración y auto-aprendizaje	Componente de usuario final que habilita la ejecución de actividades de administración, incorporación de nuevas variables y solicitudes calibración.
Servicios de infraestructura	Servicios transversales presentes en la solución y que permiten la seguridad, el seguimiento a excepciones, y la interpretación de datos, entre otros.

6 Capítulo 6. Conclusiones

El valor de las pérdidas de energía es uno de los indicadores de la gestión técnico - administrativa de la empresa, lo que hace imprescindible conocer y evaluar la incidencia de las mismas en todas las etapas de distribución hasta la entrega de energía al usuario.

El problema de no ejecutar los proyectos y planes de RPNT se traduce, con el tiempo, en la degradación de los procedimientos a acciones ilícitas por parte de integrantes de la empresa,

ya sea por beneficio propio o de terceros perjudicándola económicamente y aumento en la ejecución de todo tipo de fraude para reducir ilícitamente, los registros de consumo y por ende el valor de la facturación.

En el marco de las *smart grid*, la tecnología descrita permite la RPNT, por medio de analítica avanzada, es decir, la gestión especializada de la información con el uso de técnicas de minería de datos, auto-aprendizaje. Permitiendo la reducción de costos operativos y administrativos y agilidad en los procesos del negocio; ampliación o escalamiento de las soluciones tecnológicas y adaptación de forma eficiente de los diferentes estándares o normas y ciertas reglas o protocolos tal como DLMS/COSEM.

La solución direcciona a la gestión de PNT a partir de la gestión de la información. Realiza predicciones que permiten la toma de decisiones efectivas frente a situaciones sospechosas en las dimensiones: fraude y fallas de los equipos. Crea valor a las empresas distribuidoras-comercializadoras de energía, por medio de la recuperación de un estimado entre el 15 y 20% del servicio no facturado. El desarrollo de la tecnología otorga capacidades a MVM y a la U de M en relación al conocimiento adquirido, que puede ser parte del valor diferenciador de los clientes potenciales que adquieran el producto o para la comercialización de dichos activos intelectuales, enfocado a RPNT.

Agradecimientos.

A todo el equipo directivo de MVM, quien tiene el compromiso y la convicción empresarial, de que el desarrollo tecnológico e innovación, permiten generar soluciones de alto impacto a sus grupos de interés.

Al Ingeniero Electrónico Juan Camilo Cardona Graciano especialista del negocio y de las tecnologías requeridas para el desarrollo de la solución

Los resultados fueron obtenidos mediante proyectos de investigación financiados por Ruta N (www.rutanmedellin.org) bajo las convocatorias Inngenio e Inlab2Market y por Colciencias (www.colciencias.gov.co), bajo la convocatoria 535 Inserción de Doctores a la Empresa.

Referencias

- América Economía (2014). *Honduras: ENEE registró US\$441M en pérdidas eléctricas en 2013*. Recuperado de: <http://www.americaeconomia.com/negocios-industrias/honduras-enee-registro-us441m-en-perdidas-electricas-en-2013>. [Consultado el 26 de julio de 2014].
- Bernal, S.I. R. (2010). *Corrientes Parásitas. Energía por corrientes parásitas. Pérdidas de Universidad Nacional de Colombia*. Recuperado de: <http://electromagnetismo2010a.wikispaces.com/file/view/corrientes%20parasitas.pdf> [Consulta do [Consultado el 25 de agosto de 2014].
- Casa, C.N. I., & Suncha, C. M. G. (2009). *Control y reducción de pérdidas no técnicas de energía mediante el método balance de energía por transformador en 19 sectores de la provincia de*

- Cotopaxi designados. por ELEPCO S.A.* (Tesis). Universidad Técnica de Cotopaxi. Latacunga. Cotopaxi. Ecuador. Ed. UTC. Recuperado de: <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/1031/1/T-UTC-1264.pdf>. [Consultado el 2 de septiembre de 2014].
- Comisión de Regulación de Energía y Gas (2014). *Informe de Gestión y de Resultados 2013*. Recuperado de: http://www.creg.gov.co/html/cache/gallery/GC-1/G-4/informe_gestion_creg_2013.pdf [Consultado el 10 de Septiembre de 2014].
- Comisión de Regulación de Energía y Gas (2011). *Propuesta para remunerar planes de reducción de pérdidas no técnicas de energía eléctrica en sistemas de distribución local*. Recuperado de: http://www.creg.gov.co/html/cache/gallery/GC-1/G8/CONTENIDO_CARTILLA_PERDIDAS.pdf. [Consultado el 6 de Septiembre de 2014].
- Contraloría General de la República, Contraloría Delegada Sector Minas y Energía (2010). *Análisis del documento Bases del Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014 Comentarios sobre el fundamento económico del PND Capítulo III. Crecimiento sostenible y competitividad Locomotoras para el crecimiento y la generación de empleo Desarrollo Minero y Expansión Energética (Documento preliminar)*. Recuperado de: http://www.contraloriagen.gov.co/documents/10136/43568066/Analisis+PND+2010++2014_Sector+Minero+Energ%C3%A9tico_VF_05032011.pdf/fbd59c11-81fc-4585-910f-1d0c6d5782c2 [Consultado el 1 de septiembre de 2014].
- Corporación Dominicana de Empresas Eléctricas Estatales (CDEEE) (2013). *Robos y fallas técnicas causan a la CDEEE pérdida por RD\$30,000 MM cada año*. DiarioLibre.com. Recuperado de: http://www.diariolibre.com/economia/2013/06/13/i388173_robos-fallas-tenicas-causan-cdeee-prdida-por-rd30-000-cada.html. [Consultado el 27 de julio de 2014].
- Díaz, R. (2012). *Pérdidas por histéresis y por corrientes parásitas*. Archivo de Blog. Recuperado de: <http://induccionelectromagneticagrupo1.blogspot.com/2012/11/perdidas-por-histeresis.html>[Consultado el 24 de agosto de 2014].
- Dirección de Innovación del Cidet, (2014). *Redes que generan valor al sistema eléctrico colombiano*. Portafolio.co. Recuperado de: <http://www.portafolio.co/economia/uso-eficiente-energia-electrica>. [Consultado el 4 de septiembre de 2014].
- Divyang, D. V. & Pandya, H. N. *Advance Metering Infrastructure and DLMS/COSEM Standards for Smart Grid. International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT). Volumen 1 Número 10*. Recuperado de: <http://www.ijert.org/view.php?id=1965&title=advance-metering-infrastructure-and-dlmscosem-standards-for-smart-grid> [Consultado 21 de agosto de 2014].
- Endesa Energy, (2012). *Los circuitos eléctricos. Aplicaciones del Efecto Joule*. Endesa Educa. Recuperado de: http://www.endesaeduca.com/Endesa_educa/conocenos/oferta_actividades/ . [Consultado el 24 de agosto de 2014]
- Higuera, J. M. (2013). *Hurto de energía se baja con más medidas sociales*. Portafolio.co. Recuperado de: <http://www.portafolio.co/economia/hurto-energia> [Consultado el 28 de julio de 2014].
- Ministerio de Minas y Energía (2013). *Decreto 1937 del 9 de Septiembre de 2013*. Recuperado de: http://wsp.presidencia.gov.co/Normativa/Decretos/2013/Documents/SEPTIEMBRE/09/DECR_ETO%201937%20DEL%2009%20DE%20SEPTIEMBRE%20DE%202013.pdf [Consultado el 10 de Septiembre de 2014].

-
- Naranjo Fredy (2011). *Pérdidas por robo de energía ascienden a 130.000 millones*. *Portafolio.co*. Recuperado de: <http://www.portafolio.co/negocios/perdidas-robo-energia-ascienden-130000-millones> [Consultado el 27 de julio de 2014]
- Peralta, S. A. G. & Amaya, F. F. O. (2013). *Evolución de las redes eléctricas hacia smart grid en países de la región andina*. *Revista Educación en Ingeniería*. Volumen 8, Número 15. Recuperado de: <http://www.educacioneningeneria.org/index.php/edi/article/view/285> [Consultado el 25 de agosto de 2014].
- Sashenka, P. S. A. (2006). *Curso virtual de redes eléctricas. Efecto Corona*. *Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Facultad Tecnológica*. Recuperado de: <http://gemini.udistrital.edu.co/comunidad/grupos/gispud/redeselectricas/site/cap5/c5efectocorona.php> [Consultado el 23 de agosto de 2014].
- Tabarquino, M. R. A. (2011). *Los servicios públicos domiciliarios en Colombia: una mirada desde la Ciencia de la Política Pública y la Regulación*. *Eumed.net Enciclopedia virtual*. Recuperado de: <http://www.eumed.net/libros-gratis/2011c/997/ley%20142%20de%201994.html> [Consultado el 1 de septiembre de 2014].