

ESTRATEGIA INTELIGENTE PARA LA DETECCIÓN EFICIENTE DE CLIENTES RESIDENCIALES CON CONDICIONES FRAUDULENTAS DE LAS EMPRESAS DE SERVICIO ELÉCTRICO

Liliana Lima, Carmen Vásquez.

Universidad Nacional Experimental Politécnica "Antonio José de Sucre". Vicerrectorado Barquisimeto.

RESUMEN. Las pérdidas de energía en empresas de servicio eléctrico representan un problema que afecta su sustentabilidad económica y financiera. De éstas, las pérdidas no técnicas pueden ser detectadas y controladas contribuyendo a la recuperación financiera de la empresa y puede reinvertirse para mejorar la calidad del servicio. El objetivo de esta investigación es desarrollar una estrategia inteligente para detectar eficientemente clientes residenciales con *condiciones fraudulentas* que oriente la planificación de las inspecciones de suministros de las empresas de servicio eléctrico. Se construye una estrategia inteligente basada en registros de consumos de seis (6) meses y de información aportada por expertos en planificación de inspecciones de suministros obtenida a través de la Técnica Delphi. En su validación teórica se obtienen 92,5% de precisión y 31,48% de eficiencia. Para su evaluación se selecciona una muestra de 32 clientes de la lista generada por la estrategia inteligente obtenida de la base de datos de la empresa de servicio eléctrico local y se encuentra una eficiencia de 6,25%, lo cual representa un incremento de 3,66% por encima de la reportada con filtros manuales. Se presenta un plan integral de pérdidas de energía eléctrica basado en información aportada por los expertos.

Palabras claves: Estrategia inteligente, pérdidas no técnicas, técnica Delphi, plan de inspecciones.

AN INTELLIGENT STRATEGY OF POWER UTILITIES FOR EFFICIENT DETECTION OF RESIDENTIAL CUSTOMERS UNDER FRAUDULENT CONDITIONS

ABSTRACT. Losses suffered by power utilities represent a problem affecting its financial and economic sustainability. Among them, non-technical losses can be detected and controlled, contributing to the financial recovery of the company, and thus using such surplus of money to improve the quality of service. The aim of this research is to develop an intelligent strategy to efficiently detect residential customers under *fraudulent conditions* that will direct planning of supply inspections in power utilities. An intelligent strategy is constructed based upon 6-month consumption records and information provided by supply planning experts obtained through the Delphi Technique. In its theoretical validation, 92.5 % accuracy and 31.48 % efficiency are obtained. A sample of 32 customers out of the list obtained by the intelligent strategy is selected for evaluation, obtained from the data base of the local power utility, reaching an efficiency of 6.25 %, representing a 3.66 % increase over that reported by the use of manual filters. A comprehensive plan of electrical energy losses is presented based upon information provided by experts.

Key words: Intelligent strategy, non-technical losses, Delphi technique, inspection plans.

I. INTRODUCCIÓN

Las Empresas de Servicio Eléctrico (ESE) prestan una asistencia de primera necesidad que provee a la sociedad de un bien para garantizar su calidad de vida. Sin embargo, a lo largo de todo el proceso productivo se suscitan pérdidas, unas, en los propios sistemas de generación, transmisión y distribución, llamadas pérdidas técnicas y otras por diversas manipulaciones de los medidores de consumo, de las acometidas, conexiones ilegales o por procesos administrativos, que reciben el nombre de pérdidas no técnicas. Ambas inciden en la productividad de estas empresas, pero las primeras requieren de importantes inversiones para ser reducidas y al corregirlas no hay recuperación financiera. Las segundas, pueden ser manejadas de manera técnica y organizada y requieren de menor inversión. Esto ofrece a las empresas la posibilidad de recuperación financiera aplicando las leyes jurídicas existentes para contribuir con su sustentabilidad.

Las empresas de países como Bangladesh, India, Pakistán y Líbano reportan pérdidas en promedio entre 20 y 30%, a diferencia de las ubicadas en naciones desarrolladas, como Estados Unidos, donde anualmente se alcanzan entre el 0,5 a 3,5% [1]. Venezuela no escapa de esta realidad reportando pérdidas totales del 30,68% [2] y de 31,91% [3], pero los años 2011 y 2012, respectivamente. De estas pérdidas, las denominadas no técnicas, ocasionan problemas financieros a las ESE que inciden en la productividad de las mismas y, por tanto, en la toma de decisiones en la necesaria inversión para mejorar la calidad del servicio [4].

Para las pérdidas causadas por manipulación de los medidores de consumo y las acometidas interceptadas, consideradas como fraude, se han aplicado diversos métodos para detectar a clientes con *condiciones fraudulentas*, entre ellos varias herramientas de Inteligencia Artificial (IA), sin embargo la eficiencia de éstos no es satisfactoria para compensar la inversión y así minimizar las pérdidas no técnicas. Por otra parte, siendo una realidad multivariable debido a la intervención humana, el problema no puede ser abordado por la observación exclusiva de los consumos de los clientes en los registros y, por tanto, requiere de la obtención de otros indicadores para clasificar las conductas en sus consumos.

Las *condiciones fraudulentas* ocasionan fluctuaciones de tensión que provocan el daño de equipos electrodomésticos y las interrupciones del servicio que deterioran las instalaciones eléctricas, incrementan los gastos de mantenimiento, generan peligro a viviendas y personas y reducen los recursos que pueden ser destinados para mejorar la calidad del servicio que se presta. Al disminuir esta calidad se incrementan sus costos y esto afecta a usuarios legalmente conectados [5, 6, 7, 8]. Todas estas consecuencias van en detrimento de la sociedad y de la sustentabilidad de las ESE.

Se han implementado diversas formas para disminuir el número de las *condiciones fraudulentas*. Una de éstas, común en varios países, es la implementación de leyes y sanciones que regulan el uso y disfrute de este servicio. En Venezuela existe la Ley Orgánica del Sistema y Servicio Eléctrico (LOSSE) [9] que establece multas para los clientes con *condiciones fraudulentas* e incluso prisión desde uno (1) hasta cinco (5) años. Otras actividades preventivas y correctivas realizadas para minimizar y controlar las condiciones de fraude se muestran en la Tabla 1.

TABLA 1. Resumen de medidas implementadas para detectar PNT

País	Medidas	Ventajas	Desventajas
México [10]	Aplican dispositivos y técnicos para la detección de fraude con medidores de energía electrónicos multifunción y de lectura automática.	Evita la inspección visual, la cual no ha sido efectiva por el incremento de pérdidas y modalidades de fraude.	Incrementa costos por instalación de equipos y por su mantenimiento.
Jamaica [11]	Implementan campañas de remoción de conexiones ilegales visibles y colocación de medidores sellados. Instalación de medidores maestros en las entradas de comunidades de alto riesgo. Campañas educativas. Selección a través de auditorías de edificios a los cuales le colocaron medidores maestros para comparar el consumo eléctrico con los medidores individuales.	Eliminaron 30000 conexiones ilegales. Legitimaron 1600 clientes. Permitió corregir diversas fallas.	No se concluyeron los procedimientos por ser de significativo tiempo de duración.
Indonesia [11]	Realiza auditorías aleatorias a los lectores de medidores y concentran tácticas para inspección en campo. Promueve reportes anónimos a través de líneas telefónicas y ofrecen recompensas en efectivo por la denuncia de robo. Aplican débilmente la ley.	Posee apoyo de las autoridades.	Las auditorías aleatorias no son lo suficientemente precisas para detectar clientes fraudulentos.
Ecuador [12]	Ejecutan un plan integral que incluye implementar medidores más avanzados y resistentes, educación y publicidad, cables subterráneos y software de monitoreo en el uso de energía.	Abordan el problema de forma integral.	Alto costo y largo tiempo de ejecución para obtener resultados rentables.

TABLA 1. Continuación

País	Medidas	Ventajas	Desventajas
Brasil [11]	Utilizan la técnica de árbol de decisión para clasificación de clientes con conductas fraudulentas.	Representación simple del conocimiento, fácil construcción.	25% de clientes fraudulentos quedan fuera del conjunto. El sistema no aprende el modelo de comportamiento de los fraudulentos.
Venezuela [11]	Campañas educativas en mesas de diálogo con líderes de zonas de alto riesgo para eliminar conexiones ilegales, ofreciendo mejor servicio y mayor alumbrado público. Instalación y mantenimiento de medidores prepagados. Instalación de medidores colectivos y cooperativas eléctricas.	Cambio de visión de los clientes. Bajó de 18 a 12,74 % las PNT.	Requiere de gran inversión y largo tiempo para corregir fallas.
Argentina [6]	Aplican una estrategia multifrontal: tarifa social, plan de nuevas redes y medidores electrónicos, operativos para detectar ilícitos, concientización y educación.	Abordan el problema de forma integral.	Alto costo y largo tiempo de ejecución para obtener resultados rentables.
Malasia (TNB) [14]	Utilizan Máquina de soporte vectorial (Sistemas inteligentes) para la planificación de las inspecciones de suministros.	Usa sólo base de datos de los clientes. Ahorra costos.	Utiliza muchos parámetros.
Chile [15]	Aplican Sistema informático inteligente para detectar fraudes.	Incrementa la eficiencia en la detección de clientes con conductas fraudulentas.	El SI está patentado y se desconocen las características científicas del mismo.
Malasia (TNB) [1]	Utilizan Algoritmo Genético (AG) y Máquina de Soporte Vectorial (MSV) para la planificación de inspecciones de suministros (Sistemas inteligentes).	Mayor convergencia y optimiza globalmente los hiper-parámetros de la MSV generando una lista más corta de clientes a ser inspeccionados en el sitio. Ahorro de recursos.	Por sí solo no sería tan eficiente, complementarías las prácticas ya existentes en TNB.
España [16]	Planifica Inspecciones para detección de fraude.	Detecta 27 millones de kWh de fraude y recupera 14,5 millones de kWh en un sector industrial. Denuncias por fraude son sentenciadas a favor de la empresa.	La planificación para inspecciones en sitio se realiza de forma manual, sin un criterio estandarizado
Venezuela [17]	Planifica inspecciones de suministros a través de filtros manuales sobre base de datos en hojas de cálculo.	Se realizan inspecciones en sitio a una muestra seleccionada de la población.	La efectividad es del 9%.
Malasia del este [18]	Aplican Máquina de soporte vectorial y sistema de inferencia difusa para la planificación de inspecciones de suministros.	Emula los procesos de razonamiento humano. Incrementa en 12% la eficiencia de la MSV.	No están reportadas las variables aportadas por los expertos utilizadas en el sistema difuso.

Fuente: Lima L.(2013)

En virtud de lo expuesto anteriormente, en esta investigación se propone desarrollar una Estrategia Inteligente (EI) que detecte eficientemente clientes residenciales con *condiciones fraudulentas*, incluyendo la información existente en las bases de datos de las ESE y las variables identificadas por los aportes de los expertos en el área de planificación de inspecciones de suministros. Su futura implementación tiene como propósito incrementar la eficiencia en dicha planificación y, de esta forma, introducir mejoras en los procesos de gestión de las empresas que prestan este servicio. Se debe destacar que esta estrategia no puede detectar a usuarios con conexiones ilegales de quienes no hay registros de consumos de energía.

Para lograr dicho objetivo, la presente investigación está estructurada de la siguiente manera: en primer lugar se presenta el esquema metodológico para la obtención de la información y validación de los resultados. Adicionalmente, se describen las técnicas e instrumentos utilizados para la adquisición del conocimiento y su análisis. En el segundo apartado se realiza la construcción de la EI y su validación teórica. Luego, se presenta la estrategia inteligente denominada EIESEL y la evaluación de su eficiencia a través de inspecciones en sitio de clientes listados por ésta. También se incluye un plan integral de pérdidas de energía eléctrica llamado PLANIPE en el cual se consideran los aspectos aportados por los expertos en planificación de inspecciones de suministros para tal fin.

II. METODOLOGÍA

La postura del proceso investigativo de este trabajo es pragmática, debido a que reduce la verdad a lo práctico, considera que los objetos son concebidos en función de los efectos utilitarios que producen [19]. Requiere de un conocimiento tecnológico especializado y de datos cuantitativos referidos a consumos de energía eléctrica. Adicionalmente, aborda una conducta que puede estar estimulada por factores sociales, económicos y culturales, por lo cual es necesario considerar los aportes que debido a su experiencia pueden proveer los expertos en el área de planificación de inspecciones de suministros de las ESE. El abordaje a la búsqueda del conocimiento, la recolección de datos y su análisis están orientados por una investigación holística que combina los datos obtenidos a través de documentos así como la información ofrecida por expertos, siendo de tipo proyectiva o tecnológica [20, 21]. Este método ofrece bondades como lograr profundizar más sobre el problema utilizando las fortalezas de lo

cuantitativo y lo cualitativo, producir datos variados, incentivar la creatividad, apoyar con mayor certeza las conclusiones generadas, entre otras. Este diseño puede minimizar errores compensando las debilidades [20, 21].

Considerando estos aspectos, la propuesta de esta investigación es Transeccional Retrospectivo de Fuente Mixta Multivariable. La población la conforman los sujetos identificados en las unidades de investigación que aportarán la información necesaria y las unidades de análisis que se presentan en la Tabla 2 [20, 21].

TABLA 2. Unidades de investigación y análisis

Unidades de investigación	Unidades de análisis	Descripción
Clientes de Empresas de Servicio Eléctrico	CORPOELEC Lara	Cientes residenciales registrados en la ESE local
Expertos en planificación de inspecciones de suministros de las ESE	Personas expertas por sus años de experiencia laboral y/o conocimientos	Personas expertas con trayectoria investigativa o profesionales en la planificación de inspecciones de suministros en Empresas de Servicio Eléctrico

Fuente: Lima L.(2013)

Considerando que el número de clientes registrados en la unidad de análisis es importante, se selecciona el sector residencial ya que la detección de clientes con *condiciones fraudulentas* proporciona mayores beneficios financieros. Por otra parte, los expertos que aportan información de sus experiencias científicas o prácticas en la planificación de inspecciones de suministros han tenido a su cargo esa responsabilidad en ESE. La información requerida de estos expertos se obtiene a través de la Técnica Delphi, seleccionada por las numerosas ventajas que tiene, entre ellas el anonimato, la no presencialidad y la valoración cuantitativa a través de herramientas estadísticas.

La forma de seleccionar a los expertos en planificación de inspecciones de suministros es a través de un muestreo intencional intensivo, debido a que se identifican los participantes con información por sus años de experiencia laboral y/o sus conocimientos en relación a la selección de clientes con *condiciones fraudulentas* [21] y luego de aplicarles los cuestionarios de auto evaluación para determinar su grado de experticia [22, 23]. Sin embargo el número de

ellos queda determinado en función de las características del tema de investigación, los objetivos de esta y los recursos con los que se cuenta [24].

Los clientes residenciales se eligen mediante un muestreo intencional de máxima variación [21], debido a que se requieren observar características heterogéneas, es decir las que presentan los consumos de energía eléctrica mensual de todos los clientes.

Para la aplicación del primer componente de la EI se calcula el promedio de los consumos de seis (6) meses de los clientes registrados, su desviación estándar y el promedio entre los consumos máximo y mínimo de cada uno. Se construye la matriz de correlación para estos estadísticos con el objeto de identificar cuáles son dependientes entre sí. Por último, se aplica el test de Fisher para seleccionar el indicador que más discrimine entre clases [25].

De la información aportada por los expertos en planificación de inspecciones de suministros a través de la entrevista semiestructurada se extraen las variables consideradas para la detección de clientes con *condiciones fraudulentas* y los requisitos necesarios para realizar un Plan Integral de Pérdidas (PLANIPE). El análisis estadístico se presenta a partir de la aplicación de la Regla de Pareto [26] y se construye un cuestionario con escala tipo Likert. Las respuestas a este cuestionario son procesadas utilizando una distribución normal estándar inversa [26, 27] y el promedio obtenido por el cociente entre la puntuación total de la escala y el número de afirmaciones [20, 28]. La intersección de estos resultados permite la obtención de las variables, denominadas variables de consenso y han sido reportados en [29]. De igual manera se procede para obtener los requisitos.

Para la construcción de las reglas de producción que representan el conocimiento aportado por los expertos en planificación de inspecciones de suministros se utiliza la estructura formal condicional Si (condición), entonces (conclusión/acción). La estrategia de inferencia aplicada para el razonamiento es Modus Ponendus Ponens con encadenamiento hacia adelante. Las condiciones son proposiciones en las que intervienen los conectores lógicos Y, O y NO [30, 31]. La eficiencia de la EI se calcula mediante la expresión $Efic = \frac{CF}{CV} \times 100$ donde *Efic* es la eficiencia de la EI, *CF* representa a los clientes fraudulentos y *CV* son los clientes visitados.

III. DESARROLLO

Se seleccionan dos herramientas de IA para construir una EI híbrida. En primer lugar, se utiliza una Máquina de Soporte Vectorial (MSV) ya que en la literatura científica se pudo observar la tendencia en su uso para la detección de fraude en ESE. La segunda herramienta, un Sistema Experto (SE), debido a que la información obtenida a través de los expertos en planificación de inspecciones de suministros puede representarse de manera natural usando reglas de producción.

Construcción de la máquina de soporte vectorial

La MSV es entrenada utilizando datos de una base conformada por clientes de la zona Oeste 1 de CORPOELEC, Lara. Está estructurada por los consumos de energía eléctrica registrados desde diciembre 2010 hasta junio 2012 de 16.260 clientes. También contiene las fechas en las que han sido detectados en inspecciones clientes con condiciones fraudulentas, normales y con anomalías. Sin embargo, de estos sólo se cuenta con los registros de los consumos de seis (6) meses antes de la inspección de 342 clientes y el promedio de sus consumos tiene características similares tal como muestra la Figura 1. Pero una alerta fue activada para que hayan sido inspeccionados, así que para evitar la confusión de la MSV se realiza una separación en dos (2) clases, los clientes inspeccionables y no inspeccionables. Los no inspeccionados son 6.213 y para conformar una data adecuada que no confunda a la MSV se hizo una selección aleatoria de 330 de éstos, conformando una base de datos de 672 clientes.

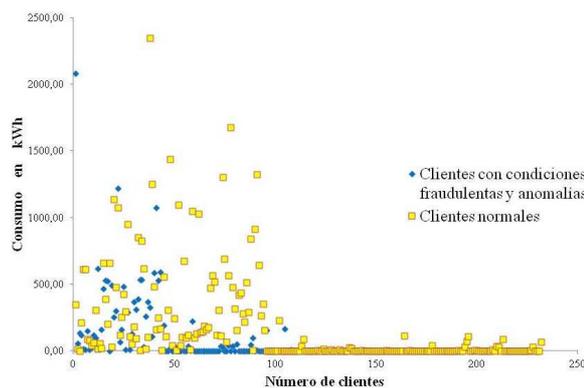


FIGURA 1. Promedio de los consumos de energía eléctrica de clientes normales y con condiciones fraudulentas de la zona Oeste 1 de CORPOELEC, Lara (Dic 2010-Junio 2012)

Fuente: Lima L.(2013)

Se consideran el promedio del consumo de energía eléctrica registrado de los seis (6) meses anteriores a la inspección, su desviación estándar y el promedio entre el valor máximo y mínimo, estas características cuentan con los requisitos de economía y velocidad para su selección [25]. El criterio de independencia es evaluado para cada clase por la matriz de coeficientes de correlación. Los resultados indican que las características promedio y desviación estándar de las variables están altamente correlacionadas con el promedio de máximos y mínimos. Esto sugiere que es indiferente seleccionar promedio de consumos o promedio de máximos y mínimos o desviación estándar de los consumos o promedio de máximos y mínimos. Sin embargo, aplicando el test de Fisher se puede identificar que la característica más discrimina entre los clientes inspeccionables y no inspeccionables es el promedio entre máximos y mínimos [25]. A pesar del resultado obtenido en el test de Fisher, también se realiza el entrenamiento de la MSV utilizando la combinación de las características promedio y promedio de máximos y mínimos, aplicando la herramienta LIB-SVM de MATLAB®.

Para la selección de los parámetros C y γ de la MSV se realiza una validación cruzada en malla dividiendo el conjunto de los 672 clientes en cinco (5) grupos de igual tamaño y se hacen corridas dejando un subconjunto fuera en la construcción de cada clasificador, este sirve para realizar la prueba y estimar el error. El error estimado por validación cruzada es el promedio. Se consideran los parámetros C y γ los que proporcionan mayor precisión en la malla [32]. Se obtienen los valores expuestos en la Tabla 3, los cuales evidencian una precisión y sensibilidad mayores para el caso combinado, en consecuencia se selecciona ésta para la construcción del modelo. El modelo generado por la MSV provee una lista de los clientes inspeccionables y los no inspeccionables que es suministrada al SE.

TABLA 3. Resultados del entrenamiento con promedio y promedio de máximo y mínimo

Parámetros	Matriz de confusión		
		Insp	No insp
C=724,07		Insp	No insp
$\gamma = 128$	Insp	100	34
VS= 150	No insp	8	127
$\rho = -10,128$			
Prec Malla=83,41		Precisión=92,59 % Sensibilidad= 74,62 %	

Fuente: Lima L.(2013)

$$\text{Precisión} = \frac{100}{100 + 8} \times 100 = 92,59\% \quad \text{Sensibilidad} = \frac{100}{100 + 34} \times 100 = 74,62\%$$

Construcción del sistema experto

Para implementar la técnica Delphi se envía la solicitud de colaboración y cuestionario de autoevaluación para la investigación a 21 expertos, tanto nacionales como internacionales, y de estos responden y se seleccionan ocho (8) [26]. Participaron en la segunda fase seis (6), que consiste en una entrevista semiestructurada, con esta información se elabora un cuestionario con las 23 variables aportadas por ellos relacionadas con la detección de fraude y 47 requisitos vinculados a PLANIPE, el cual les es enviado para que seleccionen aquellas con las que están de acuerdo. Aplicando un diagrama de Pareto se seleccionan un nuevo conjunto de variables para la detección de fraude y se clasifican en tres (3) áreas: las de consumo (VC), ubicación geográfica (VU) y conocimiento tácito de fraude (VT), similar a lo obtenido en [29]. Adicionalmente, los requisitos de PLANIPE se clasifican en cinco (5) grupos: los gerenciales (AG), administrativos (AA), técnicos (AT), educativos (AE) y legales (AL).

Método 1

Se construye la tabla de las frecuencias relativas acumuladas y se prescinde de la última columna. Se calculan los correspondientes valores de la distribución normal estándar inversa utilizando la función DISTR.NORM.STAND.INV de EXCEL®. Los promedios de cada columna generan los puntos de corte de las categorías de la escala Likert, los cuales son representados en una recta numérica. Para calcular el valor de la escala se promedian los puntos de corte (h) y los datos de las filas de la tabla de distribución inversa. Los valores de escala quedan determinados por la expresión h-promedio de fila. Se seleccionan los items ubicados en la categoría Muy de Acuerdo (MA) [26, 27].

Método 2

Se suman los valores obtenidos por cada ítem y se dividen entre el mayor valor posible de obtener que en el caso de estudio es 30. Luego, se seleccionan los valores superiores al puntaje cuatro (4) de la escala Likert correspondiente a la opción Muy de Acuerdo (MA) [20, 28].

Para la construcción del SE se establece una relación objeto-valor considerando las ocho (8) variables seleccionadas estadísticamente. Estas variables generan reglas de producción a las que se les asigna un puntaje calculado según las frecuencias obtenidas en la adquisición de conocimiento, dividiendo el puntaje obtenido por la variable en el cuestionario con escala Likert entre el máximo valor posible (30). Para la validación de la EI se utiliza una base de datos que no contiene información sobre tres (3) de las variables seleccionadas. Los resultados obtenidos después de la aplicación del SE a la base de datos de entrenamiento y la lista generada por la MSV, utilizando la combinación del promedio de los consumos con el promedio de máximos y mínimos se presentan en la Tabla 4, cuya eficiencia es

$$Efic = \frac{34}{108} \times 100 = 31,48\%.$$

TABLA 4. Resultados del Sistema Experto con promedio y promedio de máximos y mínimos

Puntaje	Condición fraudulenta	Normales
4,35	21	1
3,42	6	56
2,66	3	0
2,59	0	2
1,83	2	0
1,76	0	1
1,73	1	3
0,90	1	3
0	0	8

Fuente: Lima L.(2013)

Estrategia Inteligente

La estructura de la EI conformada por una MSV y un SE es presentada en la Figura 2.



FIGURA 2. Estructura de la Estrategia Inteligente

Fuente: Lima L.(2013)

Los parámetros utilizados tanto para el entrenamiento de la MSV como para la construcción del SE se describen en la Tabla 5.

TABLA 5. Parámetros utilizados por EIESEL para la selección de clientes con condiciones fraudulentas

Número	Dato	Descripción
1	NIC	Número que identifica a cada cliente registrado en la ESE
2	CEEC	Consumos de energía eléctrica en kWh de los clientes durante los seis (6) meses anteriores a la fecha de generación de inspección
3	PCEEC	Promedios de los consumos de energía eléctrica en kWh de los clientes durante los seis (6) meses anteriores a la fecha de generación de inspección
4	PMm	Promedios entre el consumo de energía eléctrica máximo y el mínimo de los clientes durante los últimos seis (6) meses
5	LCI	Lista de los clientes inspeccionables según la MSV
6	CR	Condición de reincidente (cliente que ha presentado <i>condiciones fraudulentas</i> en inspecciones anteriores)
7	RI	Reporte de incidencias
8	UR	Grado de riesgo de condiciones fraudulentas según la ubicación del cliente
9	DF	Denuncia presentada de cliente con posibles <i>condiciones fraudulentas</i>

Fuente: Lima L.(2013)

Evaluación de la eficiencia

Para evaluar la eficiencia de la EI se aplica a la BD de la zona Oeste 1 de los consumos de energía eléctrica desde marzo de 2012 hasta febrero de 2013. Se genera un listado de 161 clientes con sospecha de condiciones fraudulentas y se selecciona una muestra de 32 de ellos para ser inspeccionados.

En ese mismo año, la empresa realiza 154 inspecciones de las cuales resultan cuatro (4) clientes con *condiciones fraudulentas* (irregulares). Esto representa un 2,59 % de eficiencia en la detección de clientes con irregularidades. Los resultados obtenidos luego de las inspecciones en sitio corresponden a dos (2) clientes con condiciones fraudulentas y cuatro (4) con anomalías. Ésto representa una eficiencia de $E_{f_{tc}} = \frac{2}{32} \times 100 = 6,25$ en la detección de condiciones fraudulentas y 12,5 % para las anomalías. Se observa un incremento en la eficiencia de la detección de condiciones fraudulentas utilizando EIESEL de 3,66 puntos respecto a la modalidad manual utilizada en la ESE local.

La Tabla 6 presenta un cuadro comparativo entre EIESEL y algunas medidas aplicadas para la detección de clientes con condiciones fraudulentas en ESE reportadas en la Introducción.

TABLA 6. Comparación entre medidas implementadas para la detección de clientes con condiciones fraudulentas

Características	Atkinson (2008)	Nagi y otros (2008)	Nagi (2009)	Werley y otros (2011)	CORPOELEC Lara * (2012)	EIESEL (2013)
País	Chile	Malasia	Malasia	Brasil	Venezuela	Venezuela
Fines	Comerciales	Investigación	Investigación	Investigación	Uso Interno	Investigación
Tipo de usuario que clasifica	No se especifica	No se especifica	Residencial, comercial e industrial de bajo consumo	Residencial y comercial	Residencial	Residencial
Tipo de aplicación a base de datos	Automatizada	Automatizada	Automatizada	Automatizada	Filtros manuales	Automatizada
Herramientas de IA	3 métodos no identificados	AG y MSV	MSV y SED	Fuzzy clustering	No aplica	MSV y SE
Precisión de la MSV (%)	No aplica	78,24	93,71	No aplica	No aplica	92,59
Estadísticos utilizados	No lo indica	No lo indica	5	No lo indica	No lo indica	2
Número de variables o parámetros	No lo indica	1	10	1	No lo indica	8
Tipo de información utilizada	Base de datos de consumos	Base de datos de consumos, reducida en función de las restricciones	Base de datos de consumos, información aportada por expertos (no reportada)	Base de datos de consumos	Base de datos de consumos	Base de datos de consumos, información aportada por los expertos
Número de meses de consumo	No lo indica	25	25	18	24	6
Eficiencia teórica (%)	No lo indica	90,16	85,23	90,9	No lo indica	31,48
Eficiencia por prueba piloto (%)	3 o 4 veces más que la aplicada por la ESE de Chile	42	40,67	No se realizó	2,59	6,25

Fuente: Lima L.(2013)

Plan integral de pérdidas eléctricas

Adicionalmente, a través de la adquisición de conocimientos aplicando la Técnica Delphi a expertos en planificación de inspecciones de suministros en ESE se evidencia la necesidad de proponer un Plan Integral de Pérdidas Eléctricas (PLANIPE). Estos especialistas exponen que para el control de pérdidas no es suficiente detectar a los clientes con condiciones fraudulentas, es necesario abordar el problema de manera general, de forma integral, con el propósito de intervenir en las diferentes áreas que afectan la sustentabilidad económica y financiera de las ESE, por tanto deben ser rigurosas en su control, aunque según la OLADE [4] no pueden llevarse a cero (0), estas pueden reducirse a niveles aceptables.

Se propone PLANIPE integrado por cinco (5) componentes engranados adecuadamente que encierran los requisitos resaltantes de la información obtenida. El gerencial desde donde se establecen la misión, visión, objetivos y políticas de la ESE, así como el apoyo económico para la ejecución del plan; el administrativo, encargado del proceso de facturación y cobro; técnico, desde el cual se establecen las estrategias técnicas para el control de pérdidas; educativo para estimular en las comunidades la cultura de pago, el uso eficiente de la energía eléctrica y la correcta conexión al sistema y, por último, el legal que se encarga de aplicar las leyes regulatorias y sancionatorias correspondientes. En la Figura 3 se presenta la estructura general de PLANIPE.

Para desarrollar a PLANIPE se deben establecer acciones que cubran cada requisito, considerando los dos tipos de pérdidas. Sin embargo, se realizan sólo los correspondientes a PNT por ser las estudiadas en este trabajo y se describen a continuación:

1. Gerenciales: Fortalecer la sustentabilidad económica y financiera a través de la comercialización de la energía eléctrica.
2. Administrativos: Reducir las pérdidas por procesos administrativos.



FIGURA 3. Estructura de PLANIPE

Fuente: Lima L.(2013)

3. Técnicas: Desarrollar y aplicar estrategias eficientes en la detección de pérdidas de energía eléctrica. Corregir las fallas que generen pérdidas de energía eléctrica.
4. Educativas: Realizar campañas publicitarias de concientización en el uso de la energía eléctrica, fortaleciendo la cultura de pago y la necesidad de las conexiones legales para disfrutar una mejor calidad de servicio. Realizar campañas educativas en comunidades e instituciones educativas que expliquen sobre los riesgos que se presentan cuando se realizan conexiones ilegales y el deterioro en la calidad del servicio en estos casos. Sensibilizar al personal de la ESE para que esté comprometido con el control de pérdidas eléctricas.
5. Legales: Aplicar las leyes regulatorias y sancionatorias aprobadas por los Estados para el uso y disfrute de la energía eléctrica.

II. CONCLUSIONES

En esta investigación se evidencia el problema de las pérdidas de energía eléctrica a través de los porcentajes presentados sobre éstas y la importancia que tiene reducirlas, principalmente las correspondientes a las no técnicas debido a que requieren menos inversión y permiten recuperar económicamente lo no facturado, lo cual incide en la sustentabilidad económica y financiera de las empresas de servicio eléctrico y se traduce en mejoras en la calidad del servicio. Para contribuir a solucionar este problema se propone desarrollar una estrategia inteligente que detecte eficientemente clientes residenciales con condiciones fraudulentas para las empresas de servicio eléctrico.

En cumplimiento del objetivo de este trabajo se construye la estrategia inteligente EIESEL, no reportada en la literatura científica, que genera de forma automatizada un listado de clientes con posibles *condiciones fraudulentas*, conformada por dos componentes, uno integrado por una Máquina de Soporte Vectorial que realiza una biclasificación entre los clientes inspeccionables y los no inspeccionables. Un segundo bloque, constituido por un Sistema Experto que contiene ocho (8) reglas de producción generadas por la información aportada por los expertos en planificación de inspecciones de suministros de las empresas de servicio eléctrico obtenidas a través de la aplicación de la Técnica Delphi.

Adicionalmente, utiliza menor número de registros del consumo eléctrico incluidos en las bases de datos de las empresas de servicio eléctrico que otras propuestas encontradas (6 meses), lo que genera menos costo computacional y una detección temprana de las irregularidades, Por otra parte se incrementa su eficiencia respecto a la obtenida por filtros manuales en la misma zona de la empresa local donde fue evaluada y el tiempo que utiliza para generar el listado de posibles clientes con condiciones fraudulentas, el cual oscila entre dos (2) y tres (3) minutos.

Para la validación de EIESEL se utiliza una base de datos de la empresa de energía eléctrica local de una zona bajo su administración con registros desde diciembre 2010 hasta junio 2012 de clientes residenciales, contentiva de la información correspondiente a clientes inspeccionados y sus resultados. Esta información permite entrenar a la Máquina de Soporte Vectorial para clasificar entre clientes inspeccionables y no inspeccionables y validarla. Se obtuvo 92,59 % de precisión y 74,62 % de sensibilidad. Con esta misma base de datos y el listado de clientes inspeccionables arrojado por la Máquina de Soporte Vectorial se aplica el Sistema Experto y se consigue 31,48 % de eficiencia.

Para evaluar la eficiencia se aplica EIESEL a la base de datos de la misma zona utilizada para el entrenamiento y validación, con registros desde julio 2012 hasta febrero 2013. Se genera un listado de 161 clientes con posibles condiciones fraudulentas y se toma una muestra de 32 de ellos con confianza del 95 % y error de muestreo del 5 %. La empresa de servicio eléctrico local realiza las inspecciones en sitio encontrando el hallazgo de dos clientes con condiciones fraudulentas, lo cual representa 6,25 % de eficiencia, lo que es comparativamente mucho mayor a la obtenida con la aplicación de filtros manuales, que para el mismo caso de estudio (clientes de CORPOELEC Lara) es del 2,59 %.

A través de la aplicación de la Técnica Delphi para la adquisición de conocimientos, aportados por los expertos en planificación de inspecciones de suministros de las empresas de servicio eléctrico, los expertos manifiestan la necesidad de abordar el problema como un todo, pues estas pérdidas no se controlan solamente ubicando a los clientes que cometen fraude y normalizando el servicio, sino considerando otros requisitos que, en conjunto, inciden en ellas. En tal sentido, se propone un Plan Integral de Pérdidas (PLANIPE) contentivo de los requisitos indicados por los expertos en planificación de inspecciones de suministros de las empresas de

servicio eléctrico, relacionados con lo gerencial, administrativo, técnico, educativo y legal. PLANIPE integrado por los cinco (5) requisitos listados anteriormente, constituye una guía para el control de las pérdidas no técnicas, dentro del cual, específicamente en el aspecto técnico, se inserta EIESEL.

REFERENCIAS

- [1] Nagi, J., Yap, K., Tiong, S., Mohammed, A. Detection of Abnormalities and Electricity Theft using Genetic Support Vector Machine. TECON. IEE region 10 conference. Malasia. 2009. Pp. 1-6.
- [2] (MPPEE) Ministerio para el Poder Popular de la Energía Eléctrica. Anuario Estadístico 2010 para el sector eléctrico. Caracas: Autor. 2010.
- [3] (MPPEE) Ministerio para el Poder Popular de la Energía Eléctrica. Anuario Estadístico 2011 del sistema eléctrico nacional. Caracas: Autor. 2012.
- [4] (OLADE) Organización Latinoamericana de Energía. *Manual latinoamericano y del Caribe para el control de pérdidas eléctricas*. Bogotá: Autor. 1990.
- [5] (AEE) Autoridad de Energía Eléctrica. *Hurto de energía*. Puerto Rico. 2009. [Consulta el 18/10/2009]. Disponible en: <http://www.aeepr.com/HURTOENERGIA.ASP>
- [6] (EPEC) Empresa Provincial Energía de Córdoba. Ilícitos y robo de energía. Un problema extendido en Córdoba. [Artículo en línea]. *Afinidad Eléctrica*. 2007. [Consulta el 18/10/2009]. Disponible en: <http://www.afinidadelctrica.com.ar/articulo.php?IdArticulo\\=86>
- [7] (ELEVEL) CA. Electricidad de Valencia. *Hurto de la energía*. [Página web en línea]. (s/f). [Consulta el 16/10/2009]. Disponible en: <http://www.elevel.com/elevelweb/hurto.asp?sec=6>
- [8] (CALIFE) CA Luz y Fuerza Eléctrica de Puerto Cabello. [Página web en línea]. (s/f). [Consulta el 16/10/2009]. Disponible en: http://www.calife.com.ve/calife/de/_hurto.asp
- [9] Ley Orgánica del Sistema y Servicio Eléctrico. (2010, Febrero 14). Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela, 39.573.

- [10] Delgado, E. Ofrecen cajita mágica para robarse la energía. *Listindiario.com*. (2009, Septiembre 22). [Consulta el 18/10/2009]. Disponible en: <http://www.listin.com.do/app/article.aspx?id=115617>
- [11] Moroig, C. AEE interviene en cinco municipios para combatir el hurto de electricidad. *Oficina de prensa AEE*. Puerto Rico. 2009. [Consulta el 18/10/2009]. Disponible en: <http://www.aeepr.com/noticiasread.asp?r=HJIPZDWMXN&\tab=>
- [12] Rodríguez, R. y Vidrio, G. Tendencias en medición: Detección de robos de energía eléctrica. Instituto de Investigaciones Eléctricas de México. [Artículo en línea]. *Afinidad eléctrica*. 1997. [Consulta el 18/10/2009]. Disponible en: <http://www.afinidadelectrica.com.ar/articulo.php?IdArticulo=71>
- [13] Millard, R., Emmerton, M. y Kong, H. Non Technical Losses-how the other countries take the problem. 22th AMEU Technical Convention. 2009. Pp. 67-81. [Consulta el 10/01/2011]. Disponible en: <http://cl.ly/2u3b2Z2w2P0U0R3w0a0o>
- [14] Intriago, L., Ramírez, C. y Veloz, H. Plan estratégico para la reducción de pérdidas comerciales en la Empresa Eléctrica Distribuidora Regional Manabi (EMELMANABI). [Tesis en línea]. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Ecuador. 2004. [Consulta el 18/10/2009]. Disponible en: <http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/244/1/398.pdf>
- [15] Filho, J., Gontijo, E., Mazina, E., Cabral, J., Pinto, J. y Delaiba, A. Fraud Identification In Electricity Company Costumers Using Decision Tree. IEEE International Conference on Systems, Man and Cibernetics. 2004. [Consulta el 18/10/2009]. Disponible en: <http://metalab.uniten.edu.my/~abdrahim/ntl/Fraud%20Iden\%20tification\%20In\%20Electricity\%20Company\%20Costumers.\%20pdf>
- [16] Ahmad, A., Ismail, F., Razak, F. y Mohammad, A. Intelligent System for Detection of abnormalities and Probable Fraud by Metered Customers. 19th International Conference on Electricity. Viena. 2007. Pp. 1-4.
- [17] Atkinson, J. Servicio de detección de consumo no registrado para las compañías eléctricas de distribución utilizando técnicas de inteligencia artificial. [Proyecto de investigación]. Universidad de Concepción. Concepción. 2008.

- [18] IBERDROLA. [Página web en línea]. 2009. [Consulta el 25/10/2009]. Disponible en:
<http://multimediamprofesionales.iberdrola.es/Noticias/IBERDROLA,realizado,9900,inspecciones,para,detectar,fraudes,electricos,region,2008,109.html>
- [19] (ENELBAR) CA. Energía Eléctrica de Barquisimeto. *Proyecto Sistema Inteligente para Incrementar la Efectividad en la Planificación de inspecciones (SIEPI)*. Barquisimeto: Autor. 2009.
- [20] Nagi, J., Yap, K., Tiong, S., Khaleel, S. y Nagi, F. Improving SVM-based nontechnical loss detection in power utility using the fuzz inference system. *IEEE Transactions on power delivery*, Vol. 25, 2, 2010. Pp. 1162-1171
- [21] Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. Metodología de la Investigación. 5ta Edición. México. McGraw-Hill. 2010.
- [22] Hurtado, J. Metodología de la investigación. 4ta Edición. Caracas, Venezuela. Quirón. 2010.
- [23] Igarza, R. Método Delphi. Apuntes para una implementación exitosa. Chile. Universidad Austral. 2008.
- [24] Blasco, J., López, A. y Santiago, A. Validación mediante método Delphi de un cuestionario para conocer las experiencias e interés hacia las actividades acuáticas con especial atención windsurf. *Ágora para la educación física y el deporte*, Vol. 12, No. 1, 2010. Pp. 75-96.
- [25] Alfaro, R., Castro, V. y Romero, B. *Pronóstico Delphi*. [Documento en línea]. Universidad del Salvador. 2005. [Consulta el 20/4/2012]. Disponible en:
<http://www.monografias.com/trabajos-pdf/pronostico-delphi/pronostico-delphi.pdf>
- [26] Vélez, J., Sánchez, A. y Sánchez, J. Visión por computador. España. Dyckinson. 2003.
- [27] Cruz, M. El método Delphi en las investigaciones educacionales. La Habana, Cuba. Editorial Academia. 2009.
- [28] Green, B. Attitude measurement. In: G. Lidzey (Ed.). *Handbook of Social Psychology*, Vol. I. Reading, MA Adison-Wesley. 1954.
- [29] Namakforoosh, M. Metodología de la investigación. 2da Edición. México. Limusa. 2008.

- [30] Paletta, M. *Inteligencia Artificial Básica*. Puerto Ordaz, Venezuela. Fondo Editorial UNEG. 2009.
- [31] Césari, M. *Sistema Basado en Reglas*. Material pedagógico de clases sobre Ingeniería del Conocimiento. Cátedra de Ingeniería Artificial. [Documento en línea]. Universidad Tecnológica Nacional. Argentina. 2011. [Consulta el 31/01/2012]. Disponible en: <http://dharma.frm.utn.edu.ar/cursos/ia/2012/material/APU\\NTES-FILMINAS/U2/SBReglasApuntesCesari.pdf>
- [32] Di Martino, M., Decia, F., Molinelli, J. y Fernández A. Improving electric fraud detection using class imbalance strategies. *International Conference on Pattern Recognition Applications and Methods*. Portugal. 2012. Pp. 135-141.
- [33] Lima, L y Vásquez, C. Variables determinadas para la detección de fraude en Empresas de Servicio Eléctrico. *Publicaciones de Ciencias y Tecnologías*, Vol 7, No. 1, Ene-Jun, 2013. Pp. 47-57.