

## ANÁLISIS DEL NUEVO ESQUEMA DE CALIDAD DE LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN LOCAL –SDL–

Héctor A. Gómez<sup>\*†</sup>, Álvaro H. Castro<sup>\*</sup>, Hugo A. Cardona<sup>\*</sup>

*\*Universidad Pontificia Bolivariana, Cir. 1 #70-01, of. 11-259, Medellín, Colombia.*

Recibido 27 Abril 2014; aceptado 15 Diciembre 2015  
Disponible en línea: 19 Diciembre 2016

**Resumen:** En este artículo se analiza el esquema de calidad de los Sistemas de Distribución Local (SDL) implementado en Colombia, se identifican los conceptos regulatorios que afectan directamente la medición de la calidad de los SDL, los cuales, no solo indican el mejoramiento o desmejoramiento de la calidad del servicio de suministro sino que también afectan directamente la tarifa del usuario final. Adicionalmente, se realizan simulaciones a través de una herramienta de cálculo que permite identificar un comportamiento lineal de la medición de la calidad de manera que facilite a los Operadores de Red (OR) realizar estimaciones de la calidad de su SDL.

*Palabras clave:* Regulación eléctrica Colombiana, Sistemas de Distribución Local, Calidad.

## ANALYSIS OF THE NEW QUALITY SCHEME OF LOCAL DISTRIBUTION SYSTEMS –LDS–

**Abstract:** In this article the quality scheme of Local Distribution Systems (LDS) implemented in Colombia is analyzed, the regulatory concepts that directly affect the quality measurements of the LDS are identified, which not only indicate the improvement or decline in the supply service quality, but also directly affect the end user tariff. Additionally, simulations are done through a calculation tool that allows to identify a linear behavior of quality measuring in a way that facilitates the Network Operators (NO) to make quality estimates of their LDS.

*Keywords:* Colombian electric regulation, Local Distribution Systems, Quality.

### 1. INTRODUCCIÓN

La remuneración de la actividad de distribución en Colombia, para los Sistemas de Distribución Local (SDL), se basa en la metodología de precio techo ([Sioshansi & Pfaffenberger, 2006](#)). El cambio en la medición de la calidad, busca incentivar directamente a cada empresa de distribución, para que mejore y/o mantenga sus niveles de calidad, de tal manera que perciba mejoras en sus ingresos en función de incrementar la calidad del servicio de

distribución. De igual manera, existe la posibilidad que la calidad del servicio baje, por tanto, se afecten los ingresos del Operador de Red (OR).

Este artículo aporta al marco de la remuneración de la actividad de distribución en Colombia porque se identifican los factores y variables que más afectan la calidad de los SDL, que a su vez afectan los ingresos de las empresas de distribución. La importancia de reconocer estas variables es que permite al OR mantener una mejor prestación en el

---

<sup>†</sup> Autor al que se le dirige la correspondencia:  
Tel. (+574) 3217228 celular 3175734873.  
E-mail: [hector.andres.gomez@gmail.com](mailto:hector.andres.gomez@gmail.com) (Héctor Gómez).

servicio de suministro de energía, generando beneficios tanto al usuario como a la misma empresa de distribución (Cardona, 2013).

Adicionalmente, se realizará una simulación con una herramienta de cálculo desarrollada en *Visual Basic* de *Excel* (Gómez, 2013), que permite calcular el Índice Trimestral Agrupado de la Discontinuidad (ITAD), el cual es el índice que mide la calidad de los SDL. Como resultado de las simulaciones, se identifica una metodología para que los OR hagan un seguimiento continuo a la calidad de su servicio.

Inicialmente se realizará una contextualización del tema, luego se realiza un análisis de sensibilidad de cada una de las variables implicadas en la medición de la calidad por medio de simulaciones. Posteriormente se modela el comportamiento del ITAD como una función lineal para luego indicar como se pueden realizar estimaciones de la medición de la calidad. Finalmente se plantearán las conclusiones.

## 2. CONTEXTUALIZACIÓN

Colombia en el mejoramiento del servicio de energía eléctrica, ha desarrollado nuevas regulaciones en los últimos años; la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), entidad encargada de regular las actividades de los servicios públicos en Colombia (Ley 142, 1994), ha estado velando para que las empresas del sector eléctrico cumplan de manera confiable y eficiente con las prestaciones de sus servicios, particularmente porque una mala administración o un manejo inadecuado referente al servicio prestado, se ve directamente reflejado en los usuarios.

Entre los aspectos que la CREG ha venido trabajando, se encuentra incluido la calidad del suministro de energía a los usuarios. Se pretende que el usuario final se encuentre satisfecho por el servicio que está pagando, y al mismo se incentive a las empresas de distribución para que se comprometan en mantener una red confiable y con disponibilidad las 24 horas del día.

La regulación actual establece el esquema de calidad de los SDL, basado en la filosofía de incentivos y compensaciones. Si el OR presta un buen servicio, recibe una remuneración como incentivo, proveniente de un aumento en la tarifa

de usuario final. Para el caso contrario se debe compensar al usuario, vía tarifa final, por no recibir un buen servicio (Resolución CREG 097, 2008).

La regulación indica que trimestralmente se debe evaluar la calidad de los SDL presentada por los OR a sus usuarios. Esta evaluación se realiza mediante el cálculo del ITAD el cual es comparado con un índice de referencia denominado Índice de Referencia Agrupado de la Discontinuidad (IRAD). Cuando se comparan estos dos índices se logra determinar si la calidad del SDL fue buena o mala. Cuando el valor del ITAD sobrepasa el valor del IRAD, la calidad prestada por el OR fue mala, pero si el valor del ITAD es inferior al valor del IRAD, la calidad fue buena. De esta manera se determina si el OR, según el esquema, aplicaría a compensar o es incentivado.

La Fig. 1. representa gráficamente la interpretación del funcionamiento del esquema de calidad de los SDL. Los puntos de colores corresponden al valor del ITAD para cada uno de los trimestres del año. Según su color y la ubicación en que se encuentra cada punto en la gráfica con referencia al IRAD, representa para el esquema diferentes evaluaciones de la calidad del SDL.

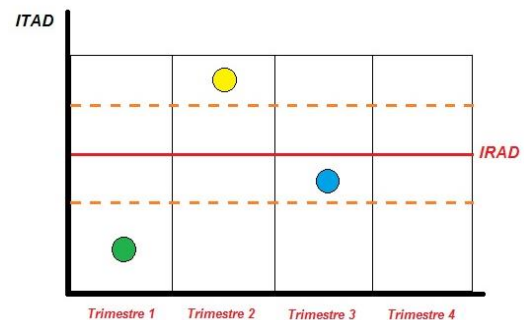


Fig. 1. Esquema gráfico de la evaluación de la calidad de los SDL.

**Punto verde.** EL ITAD se encuentra dentro de la zona de cumplimiento, por consiguiente se presenta una buena calidad, y el OR, según el esquema, puede aplicar al incentivo y en consecuencia puede aumentar el cargo.

**Punto Amarillo.** El ITAD se encuentra en la zona de incumplimiento, por lo tanto se presenta una mala calidad del SDL, en consecuencia el cargo disminuye y el OR aplica para compensar.

*Punto Azul.* El ITAD se encuentra entre la banda de indiferencia, por lo tanto no puede aumentar el cargo, pero no presenta mala calidad.

### 3. ASPECTOS QUE SE REQUIEREN PARA APLICAR EL ESQUEMA DE CALIDAD DE LOS SDL

#### 3.1. Nivel de tensión

Se categorizan cuatro niveles de tensión definidos de la siguiente manera ([CODENSA, 2016](#)):

*Nivel de tensión 1.* Tensiones inferiores a 1 kV.

*Nivel de tensión 2.* Tensiones iguales o superiores a 1 kV e inferiores a 30 kV.

*Nivel de tensión 3.* Tensiones iguales o superiores a 30 kV e inferiores a 57,5 kV.

*Nivel de tensión 4.* Tensiones iguales o superiores a 57,5 kV e inferiores a 220 kV.

Las redes de distribución pertenecientes a los niveles de tensión 1,2 y 3 corresponden a los (SDL).

#### 3.2. Grupos de Calidad

Los grupos de calidad son una clasificación georeferencial que indica la ubicación de los circuitos, tramos o transformadores que hacen parte de los activos de las redes de distribución, según el número de habitantes de una región, ubicados en la zona donde se encuentran dichos activos. Se clasifica los grupos de calidad de la siguiente manera ([Resolución CREG 097, 2008](#)):

*Grupo 1.* Circuitos o transformadores ubicados en cabeceras municipales con una población igual o mayor a 100.000 habitantes.

*Grupo 2.* Circuitos o transformadores ubicados en cabeceras municipales con una población igual o mayor a 50.000 habitantes y menor a 100.000 habitantes.

*Grupo 3.* Circuitos o transformadores ubicados en cabeceras municipales con una población menor a 50.000 habitantes.

*Grupo 4.* Circuitos o transformadores ubicados en suelo que no corresponde al área urbana.

#### 3.3. Clasificación de las interrupciones del servicio de energía

Las interrupciones se encuentran clasificadas de la siguiente manera ([Resolución CREG 097, 2008](#)):

*Programada.* Son aquellas interrupciones que obedecen a eventos no programados por el OR y que suceden por situaciones no preestablecidas por él.

*No programada.* Son aquellas interrupciones que obedecen a eventos programados por el OR a efectos de realizar expansiones, remodelaciones, ampliaciones, mejoras, mantenimientos preventivos y/o correctivos, etc. En sus redes, instalaciones o equipos.

*Causadas por terceros.* Dentro de este tipo de interrupciones, únicamente se clasifican las siguientes causas:

- Interrupciones por racionamiento de emergencia del sistema eléctrico nacional debidos a insuficiencia en la generación nacional o por otros eventos de generación
- Eventos de activos pertenecientes al STR y al STN.
- Interrupciones por seguridad ciudadana solicitadas por organismos de socorro o autoridades competentes
- Cuando la empresa debe reponer un activo fallado de nivel 1 de propiedad de los usuarios, siempre y cuando el OR haya informado previamente su decisión de excluirlos.

De igual manera la regulación indica que no todas las interrupciones se tienen en cuenta, tales como:

- Las causadas por terceros.
- Las asociadas a proyectos de expansión.
- Las debidas a catástrofes naturales.
- Las causadas por cortes de servicio por incumplimiento del contrato de servicio público.
- Las debidas a actos de terrorismo.

- Las originadas por trabajos de subestaciones que correspondan a un Programa Anual de Reposición y/o Remodelación.
- Las debidas a acuerdos de calidad.
- Las originadas en exigencias de traslados y adecuaciones de la infraestructura eléctrica por parte de entidades Distritales, Departamentales, organismos viales o por demás autoridades, o por proyectos de desarrollo en concordancia con planes de ordenamiento territorial.
- Las asociadas a cortes o suspensiones del servicio por programas de limitación del suministro del comercializador.

#### 4. ÍNDICES DE DISCONTINUIDAD DEL SERVICIO PARA LA MEDICIÓN DE LA CALIDAD

##### 4.1. Índice de Referencia Agrupado de la Discontinuidad (IRAD)

El IRAD corresponde a un valor de referencia calculado una única vez y de manera independiente para cada OR, a partir de la información reportada a la base de datos del Sistema Único de Información (SUI), acerca de las interrupciones que se presentaron en los años 2006 y 2007. El resultado del cálculo del IRAD es un valor adimensional, este valor tiene como concepto ser la referencia de la medición trimestral de la calidad ([ANDESCO, 2011](#)).

##### 4.2. Índice Trimestral Agrupado de la Discontinuidad (ITAD)

El ITAD es el valor que indica el resultado final de la calidad y por consiguiente, determina si el OR es incentivado o tiene que compensar. Esta variable se calcula trimestralmente con base a las interrupciones de suministro de energía que se presentaron durante ese periodo de tiempo por cada uno de los OR.

El ITAD corresponde a un valor adimensional que mide la calidad del OR durante un trimestre. Cuando se considera que la calidad es mala, el OR tiene que compensar a todos sus usuarios, descontándoles no más del 10% del valor total de la factura en los siguientes tres meses. Si la calidad

es buena, el OR es incentivado y se le cobra un mayor valor a los usuarios por disponer de un suministro confiable.

#### 5. ESQUEMA DE INCENTIVOS Y COMPENSACIONES

Según los resultados de la medición de la calidad y la evaluación del desempeño trimestral de cada uno de los OR en Colombia acerca de la calidad media del servicio presado en los diferentes niveles de tensión (nivel 1 y nivel 2-3), el cargo por uso de cada mes ( $Dt_{n,m}$ ), puede ajustarse a un valor que constituya o represente un incentivo para cada OR dependiendo de la Variación Trimestral de la Calidad ( $\Delta Dt$ ) que obtuvieron ([EPSA, 2016](#)). Este ajuste se puede determinar por medio de unos cálculos y ecuaciones que permiten establecer si el ingreso en pesos por cargo por uso de la empresa de distribución aumenta o disminuye. “El incentivo es otorgado al OR del SDL que atiende los usuarios a los cuales se les aplicó el incentivo, por lo tanto, no afecta los ingresos de los operadores del STR” ([Resolución CREG 097, 2008](#)).

Para calcular el Cargo por Uso Ajustado por incentivo ( $DtA$ ) de cada OR inicialmente se tiene que determinar el Cálculo del incentivo por Variación Trimestral de la Calidad ( $\Delta Dt$ ), el cual es el factor que determinará realmente si la calidad del SDL fue buena o mala; en caso de que este valor represente un factor positivo permitirá aumentar el ingreso del OR que será definido a partir del cálculo del Cargo por Uso Ajustado por Incentivo, o en caso contrario hará que el valor del ingreso disminuya. El Cálculo del incentivo por Variación Trimestral de la Calidad está determinado por la [Ecuación \(1\)](#):

$$\Delta Dt_{n,m} = (IRAD_{n,pm-4} - ITAD_{n,pm-4}) \cdot CRO_{m-1} \quad (1)$$

Dónde  $\Delta Dt_{n,m}$  es el Incentivo por Variación Trimestral de la Calidad calculado y reportado al SUI en el mes  $m$ , aplicable al Cargo por Uso del Nivel de Tensión  $n$ , en \$/kWh, el  $ITAD_{n,p}$  es el Índice Trimestral Agrupado de la Discontinuidad, que representa el nivel promedio de discontinuidad del servicio que percibieron todos los usuarios de un OR conectados al nivel de Tensión  $n$ , durante el trimestre  $p$ , y el  $CRO_{m-1}$  es el Costo de Racionamiento  $CROI$  calculado por la UPME para el mes  $m-1$ .

Como se puede apreciar en la [Ecuación 1](#), el resultado podría tomar valores tanto negativos como positivos dependiendo del valor del ITAD, ya que el IRAD está definido como una constante siempre positiva. Como el signo negativo acompaña al índice del ITAD, que también es un valor siempre positivo, esto quiere decir que si el valor del ITAD es mucho mayor que el valor del IRAD, el resultado del incentivo por Variación Trimestral de la Calidad será un valor negativo, que más adelante se verá reflejado en pérdidas en los ingresos del OR. Caso contrario ocurre si el valor del ITAD es menor al del IRAD, pues el resultado del Incentivo por Variación Trimestral de la Calidad sería positivo.

El hecho de que este factor sea positivo o negativo, es el que calificará si la calidad media del servicio prestado por el OR a sus usuarios del SDL fue buena o mala respectivamente, Sin embargo siempre hay que tener en cuenta la banda de indiferencia o la tolerancia permitida por la CREG para determinar si el OR puede ser incentivado o tiene que compensar a los usuarios.

EL  $DtA$  o Cargo por Uso Ajustado por Incentivo, es el precio final de los cargos por uso de la red que tienen que pagar los usuarios a los OR. Esta variable permite añadir al precio del cargo por uso de la red el valor en \$/kWh del Incentivo por Variación Trimestral de la Calidad, que puede ser positivo si la calidad del SDL fue buena o negativa si la calidad del SDL fue mala. EL  $DtA$  se estimará como se muestra en la [Ecuación \(2\)](#):

$$DtA_{n,m} = Dt_{n,m} + \Delta Dt_{n,m} \quad (2)$$

Donde el  $DtA_{n,m}$  es el Cargo por Uso Ajustado por incentivo aplicable en el mes  $m$ , para los usuarios del nivel de tensión  $n$ , en \$/kWh, y el  $Dt_{n,m}$  es el Cargo por Uso aprobado al OR mediante la resolución CREG aplicable en el mes  $m$ , para los usuarios del nivel de tensión  $n$ , en \$/kWh ([Resolución CREG 067, 2010](#)).

En esta ecuación es donde se percibe como afecta al OR prestar un servicio del SDL de mala calidad debido a que se están reduciendo sus ingresos monetarios; el  $\Delta Dt$  solamente es negativo si la prestación de la calidad del servicio del SDL es mala, por lo tanto, siguiendo la [Ecuación \(2\)](#), se reducirá el precio de cobro del cargo por uso que deben hacer los OR a los usuarios que les presta el servicio. Sin embargo, también existe la

motivación de que el  $\Delta Dt$  puede ser positivo y por consiguiente el precio del cargo por uso que se les cobra a los usuarios puede incrementar. A esto es a lo que se refiere la CREG cuando estableció que el nuevo esquema de calidad de los SDL se encontrada basado en el principio de incentivos y compensaciones; se incentiva al OR con la posibilidad de cobrar más y ganar más si el servicio mejora la calidad, o se tiene que compensar cobrando menos y perdiendo más si el servicio es de mala calidad.

## 6. ANÁLISIS DEL ITAD A PARTIR DE LA HERRAMIENTA DE CÁLCULO

Se realizó un análisis de sensibilidad con cada una de las variables implicadas en el cálculo del ITAD de acuerdo a la formulación planteada en la regulación. Para esto se realizaron diferentes simulaciones con la herramienta de cálculo del ITAD, en donde se modificaba el valor de una variable y los valores de las demás variables permanecían estáticas, de manera que se permitiera identificar cuáles eran las variables que tenían mayor influencia en la medición de la calidad y que deben ser objeto de control.

A partir de todas las simulaciones realizadas, se determinó lo siguiente:

- La variación mensual del consumo de energía eléctrica en kWh que tengan los usuarios del OR, no afectan el resultado del ITAD. Esto indica que la cantidad de demanda de energía atendida por el OR no influye en la medida de la calidad, pues esta variable no hace que el ITAD aumente o disminuya; lo mismo ocurre con el incentivo o compensación.
- El Número de facturas emitidas a los usuarios (Nfact) no afectan la medición de la calidad, siempre y cuando, la emisión de las facturas se encuentre completa y no se haya omitido facturas de usuarios que percibieron desconexiones del servicio de suministro.
- El número de usuarios que tiene el OR afectan en la medición de la calidad, entre mayor sea el número de usuarios que tiene el OR vinculados a su red, es más probable que el valor del ITAD se encuentre por debajo del IRAD y por consiguiente, presente incentivo económico.

- El aumento de horas de interrupción del servicio, implican una que el valor del ITAD incremente.
- Independientemente del mes en que haya ocurrido la interrupción, el cálculo del ITAD será el mismo
- Sí se presenta una interrupción en un transformador que tenga vinculado en su conexión mayor cantidad de usuarios, hace que se aumente el valor del ITAD en mayor proporción, que si se presentara una interrupción, de la misma cantidad de horas, en un transformador que tenga vinculados menor cantidad de usuarios.
- Las horas de interrupción que se presentan en el transformador no deben ser vistas desde lo que presencia el transformador como tal, sino desde lo que presencia cada usuario, es decir, en realidad las horas de la Duración Trimestral de las interrupciones por Transformador (DTT) ([Resolución CREG 067, 2010](#)) que afectan el resultado final del ITAD, no son las horas de interrupción sumadas por lo que presencia el transformador, sino las horas de interrupción sumadas por lo que presencian los usuarios que se encuentran conectados a un mismo transformador.
- El ITAD aumenta directamente proporcional al aumento del DTT siempre y cuando se mantengan los mismos números de usuarios por grupos de calidad, en caso de que el número de usuarios por grupo de calidad sea diferente en un siguiente trimestre, el ITAD también aumentará cuando aumente el DTT pero en proporciones diferentes.
- Variables como las Ventas de energía (VT), el Nivel de Discontinuidad Trimestral (NTG) y el Índice Trimestral de Discontinuidad por grupo de calidad (ITG) hacen parte del cálculo del ITAD pero dependen directamente del resultado de las variables anteriormente analizadas. Por lo tanto las modificaciones en estas variables se explican por los cambios de las variables ya mencionadas.

## 7. COMPORTAMIENTO DEL ITAD

Con base a las sensibilidades, se determinó que el factor más importante en la medición de la calidad

de los SDL, es la sumatoria de todas las horas de interrupción que se dejaron de suministrar energía eléctrica por cada usuario, y que un aumento o disminución de esta cantidad de horas, hará que el ITAD aumente o disminuya de manera proporcional respectivamente. Sin embargo, también se encontró que el aumento o disminución del ITAD va ligado con la cantidad total de usuarios del OR registrados en cada grupo de calidad, ya que según sea esta cantidad, implica que la relación lineal entre el ITAD y las horas de interrupción tenga una mayor o menor inclinación. Una menor pendiente en un comportamiento lineal, implica que por cada cambio porcentual en horas de interrupción, el valor del ITAD aumentará en mayor proporción.

Modelar el comportamiento del ITAD como una relación lineal, permite a los OR a realizar mejores estimaciones del valor del estado actual de la calidad del servicio, además no sería necesario que finalice el trimestre para conocer los resultados definitivos. Adicionalmente, este modelamiento lineal, sirve para mantener un control y vigilancia de la calidad del SDL del OR, ya que se podrían estimar la cantidad de horas de interrupción que harían falta para que el valor del ITAD sobrepase el valor del IRAD. La idea es que con este modelamiento, los OR mejoren su calidad de los SDL.

El procedimiento para encontrar la linealidad del ITAD de una manera generalizada y aplicable a cualquier OR es: (i) realizar tablas para diferentes números de usuarios en los grupos de calidad, en donde se pueda apreciar como es el incremento del ITAD a medida que un usuario presencia interrupciones en el servicio de energía eléctrica, por esto debe usarse la herramienta de cálculo del ITAD, donde se puede realizar sensibilidades modificando las horas de interrupción y observando el incremento del ITAD. (ii) Con la información anterior se realiza la gráfica del valor del ITAD vs horas de interrupción. La [Tabla 1](#) y la [Fig. 2.](#) corresponden a los resultados obtenidos bajo el procedimiento antes mencionado.

La [Fig. 2.](#) indica el comportamiento lineal del aumento del valor del ITAD a medida que se aumentan las horas de interrupción. A partir de esta gráfica se realizó una linealización para encontrar la ecuación que describe este comportamiento, de manera que el OR pueda encontrar el valor del aumento del ITAD para

cualquier hora adicional de interrupción que se presente en el servicio de energía eléctrica. La [Ecuación \(3\)](#) corresponde a la linealización del comportamiento del ITAD.

$$y = 0,0005x - 7E^{-17} \quad (3)$$

Dónde  $y$  son las unidades que aumenta el ITAD y  $x$  la duración de las horas de interrupción que se suministró o dejó de suministrar energía eléctrica.

Tabla 1. Aumento del ITAD generalizado

Horas de interrupción de todos los usuario	Aumento del ITAD generalizado	Horas de interrupción de todos los usuario	Aumento del ITAD generalizado
-10	-0,00462963	0	0
-8	-0,003703704	1	0,000462963
-7	-0,003240741	2	0,000925926
-6	-0,002777778	3	0,001388889
-5	-0,002314815	4	0,001851852
-4	-0,001851852	5	0,002314815
-3	-0,001388889	6	0,002777778
-2	-0,000925926	7	0,003240741
-1	-0,000462963	8	0,003703704
0	0	10	0,00462963

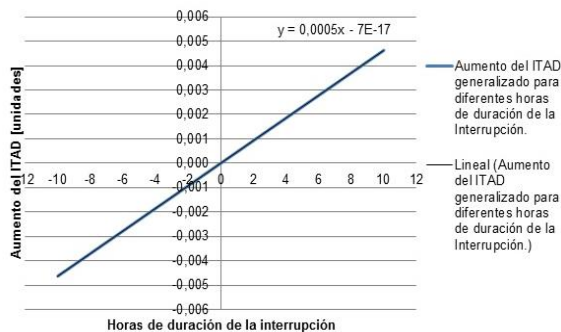


Fig. 2. Gráfica del Aumento del ITAD generalizado para diferentes horas de duración de la interrupción.

### 7.1. Estimación del ITAD

Para estimar el valor del ITAD se parte del supuesto de que se conoce un valor inicial, este valor puede corresponder al último ITAD calculado. En caso de no tener un valor inicial del ITAD, se debe suponer uno con la información del OR y haciendo uso de una herramienta que permita simular dicho valor. La [Tabla 2](#) indica los valores de referencia utilizados para la estimación.

Tabla 2. Valores del ITAD de referencia.

ITAD n=1	ITAD n=2-3
0,0197936	0,01989435

Para realizar la estimación se plantea el siguiente escenario:

- El OR ha presentado la misma duración de interrupciones del trimestre anterior
- El usuario que pertenece al nivel de tensión 1 y grupo de calidad 1 (grupo de calidad que solo tiene un usuario), ha presentado una interrupción adicional de 4 horas de duración.
- Otro usuario del nivel de tensión 2 y grupo de calidad 1 (grupo de calidad que tiene 3 usuarios) presenció una interrupción adicional de 2 horas de duración.
- El trimestre de evaluación no ha terminado, el OR quiere estimar con estas duraciones extra que se han presentado, en cuanto se encuentra el valor de su ITAD.

Los pasos para la estimación son los siguientes:

- Se identifican en la [Tabla 1](#) los aumentos de las dos interrupciones que se presentaron. Para la duración de 4 horas se tiene un aumento de 0,001851852 unidades y para la duración de 2 horas se tiene un aumento de 0,000925926 unidades.
- Cada aumento de cada nivel de tensión, se debe dividir por el valor de la variable  $G$ , que para este caso equivale a un valor de 2 y por el número de usuarios que tiene el grupo de calidad que tiene el usuario que presenció la interrupción. Para el valor de aumento que corresponde a las 2 horas de interrupción (0,000925926 unidades), se divide por 2 que es el valor de la variable  $G$  y luego el resultado se divide por 3, ya que es el número de usuarios que tiene el grupo de calidad en el cual se presenció la interrupción. Este resultado correspondería a un aumento del ITAD de referencia del nivel de tensión 2 de

0,000154321 unidades. Al hacer el mismo procedimiento para la otra interrupción se tendría un aumento del ITAD de referencia del nivel de tensión 1 de 0,000925926 unidades.

- (iii) Para estimar el valor actual del ITAD se suman los aumentos calculados a los ITAD de referencia según corresponda el nivel de tensión en el cual se presentó la interrupción. Para la interrupción de 4 horas se presentó en un usuario del nivel de tensión 1, por lo tanto el aumento estimado (0,000925926) se le debe sumar al ITAD de referencia del nivel de tensión 1. La interrupción de 2 horas se presentó en un usuario del nivel de tensión 2, por lo tanto el valor del aumento (0,000154321) se le debe sumar al ITAD de referencia del nivel de tensión 2. El resultado de estas dos sumas corresponderá al valor actual del ITAD en ambos niveles de tensión.

Estos resultados encontrados del ITAD actual, se pueden comparar haciendo el mismo ejercicio con la herramienta del cálculo del ITAD referenciada en este trabajo, de la cual se encontró que ambos resultados eran idénticos, y por consiguiente se confirmó que los valores de la [Tabla 1](#), son una generalización del comportamiento del ITAD cuando se presentan cambios en la duración de las interrupciones.

### 7.2. Otra manera de calcular el ITAD

Adicionalmente se realizó un estudio matemático de todas las ecuaciones implicadas en el cálculo del ITAD, del cual se encontró que todo el procedimiento del cálculo del ITAD puede ser simplificado en una sola ecuación. Esta ecuación permite realizar todo el cálculo del ITAD sin necesidad de hacer el cálculo de cada uno de los índices de calidad, sin embargo como la resolución CREG 097 de 2008 exige que los OR realicen el cálculo de cada uno de estos índices, esta ecuación no podría utilizarse como un medio para realizar la evaluación de la calidad de los SDL, sino más bien como una alternativa para que los OR puedan verificar el valor del ITAD. La [Ecuación \(4\)](#) permite realizar el cálculo del ITAD más rápidamente.

$$ITAD_{n,p} = \frac{1}{G} \cdot \sum_{q=1}^G \left( \frac{\sum_{t=1}^{N_{n,q}} DTT_{n,t,q,p} \cdot \frac{1}{Nniu_{n,q,p}} \cdot \frac{1}{24} \cdot NU_{n,t,q,p}}{90} \right) \quad (4)$$

En donde el  $DTT_{n,t,q,p}$  corresponde a la Duración Trimestral de las interrupciones por Transformador, medida en horas, para el transformador  $t$ , del Nivel de Tensión  $n$  y perteneciente al grupo de calidad  $q$ , durante el trimestre  $p$ , el  $NU_{n,t,q,p}$  corresponde al Número promedio de usuarios del transformador  $t$ , del grupo de calidad  $q$ , durante el trimestre  $p$ , el  $Nniu_{n,q,p}$  es el Número de usuarios identificados a partir del NIU, para los cuales durante el trimestre  $p$  se reporta por lo menos una factura en el SUI. Para calcular este número cada usuario sólo puede ser contado una vez, y  $G$  es la cantidad de grupos de calidad en los que el OR tiene usuarios.

### 7.3. Acciones que pueden mejorar la calidad de los SDL

Las acciones a las que puede recurrir el OR para que mejore la calidad de su SDL son:

- Conectar pocos usuarios a un mismo transformador o circuito ya sea instalando mayor cantidad de transformadores y/o circuitos o reinstalando las conexiones actuales, evitando conectar muchos usuarios en un mismo transformador y/o circuito, para que cuando ocurra una interrupción, el aumento del ITAD sea el mínimo posible.
- Aumentar el número de usuarios a los cuales el OR les presta el servicio de suministro de energía eléctrica, pues a mayor número de usuarios, mayor será la permisividad de presentar una interrupción sin que se afecte tanto el resultado final del ITAD.
- Disminuir el tiempo de la duración de las interrupciones especialmente en los usuarios que pertenecen a grupos de calidad que poseen pocos usuarios, ya que son los que más afectan el ITAD.
- Atender rápidamente una interrupción y evitar largas duraciones de las interrupciones; mayor



tiempo de duración implica menor calidad del SDL.

- Tener la misma cantidad de usuarios en todos los grupos de calidad, pues así se podría controlar y vigilar más fácil que la calidad del SDL se encuentre dentro de los estándares que solicita la CREG, pues así el ITAD tendría el mismo comportamiento en todo el sistema.
- Tratar de tener usuarios en los 4 grupos de calidad, pues la variable G se encuentra dividiendo el resultado final del ITAD, entonces entre mayor sea el valor de la variable G, el valor del ITAD será menor.

## 8. CONCLUSIONES

Se demostró cómo desmejorar la calidad de los SDL afecta a los OR del país, pues en la tarifa del cargo por uso de la red que cobran los OR a sus usuarios, existe una componente adicional que se le suma o se le resta al precio de esta tarifa dependiendo si la calidad del SDL fue buena o mala; si la calidad del SDL es mala, es decir, el valor del ITAD supera el valor del IRAD, esta componente se vuelve negativa, por lo tanto el precio de la tarifa del cargo por uso de la red disminuirá, perdiendo ingresos el OR. Si la calidad del SDL es buena, es decir el ITAD es menor que el valor del IRAD, esta componente será positiva, por lo tanto la tarifa del cargo por uso de la red será mayor, de tal manera que el OR es incentivado obteniendo mayores ingresos monetarios.

Se encontró que el tiempo de duración de las interrupciones que presentan los usuarios del OR, son la causa fundamental por la cual la calidad de los SDL se puede ver desmejorada, ya que a medida que las interrupciones tienen mayor tiempo de duración, el valor del índice ITAD, que es el índice que mide la calidad, será mayor, lo cual se traduce en el nuevo esquema de calidad, como una mala calidad del SDL. Esto podría conllevar al OR a aplicar en el esquema de compensaciones, disminuyendo el precio de la tarifa final, afectando sus ingresos.

También se encontró que la cantidad de usuarios que tenga el OR conectados en su SDL, es un factor clave en la determinación de la evaluación del SDL, pues a medida que el OR tenga un mayor número de usuarios, este tendrá mayor permisividad para presentar interrupciones de

mayor tiempo de duración sin que se vea afectado su calidad, pues el valor del ITAD aumenta en menor proporción cuando los OR tienen gran cantidad de usuarios.

Se determinó que el valor del ITAD disminuye en mayor proporción para aquellos OR que su factor G sea igual a 4, es decir para aquellos OR que tengan usuarios pertenecientes a los 4 grupos de calidad, pues este factor se encuentra dividiendo en la ecuación del ITAD, lo cual significa que entre más grande sea este factor, el valor del ITAD va disminuir en mayor proporción, y por ende, la calidad del SDL será mejor y el OR podrá aplicar para ser incentivado y aumentar la tarifa que se le cobra al usuario final.

El aumento del DTT o Duración Trimestral de las Interrupciones por Transformador desmejora la calidad de los SDL, pues el aumento de la duración de las interrupciones hace que el valor del ITAD aumente, sin embargo se encontró que una interrupción en un transformador que tiene conectado muchos usuarios, afecta en mayor medida la calidad, que si se presenta una interrupción de igual tiempo de duración en otro transformador que tiene conectados menor cantidad de usuarios.

El esquema de calidad de los SDL ignora, en la evaluación de la calidad, la cantidad de energía eléctrica que consume cada uno de los usuarios, para el esquema es indiferente si las interrupciones se presentan en un usuario que consume mucha energía que si se presentan en un usuario que consume poca energía, lo más importante para el esquema es la duración de la interrupción, lo cual tiene mucha lógica pues la calidad del servicio debe ser buena para todos independientemente del consumo de cada uno. Incluso se pudo determinar que el ITAD se comporta igual en el nivel de tensión 1 y en el nivel de tensión agrupado 2 y 3, así las cantidades de energía consumidas sean diferentes.

## REFERENCIAS

- ANDESCO. (2011). *Slideshare*. Obtenido de <http://es.slideshare.net/andesco/4-calidad-serviciodistribucion>
- Cardona, V. A. (2013). *Metodologías para ajustar el modelo de simulación de los circuitos de distribución de energía eléctrica*. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira.

- CODENSA. (2016). *likinormas CODENSA*. Obtenido de [http://likinormas.micodensa.com/Norma/otros/niveles\\_tension\\_conexion\\_cargas\\_clientes](http://likinormas.micodensa.com/Norma/otros/niveles_tension_conexion_cargas_clientes)
- EPSA. (2016). *portal web EPSA*. Obtenido de <http://portal.epsa.com.co/nosotros/sobre-epsa/pol%C3%ADticas-y-adhesiones/pol%C3%ADticas/calidad-del-servicio#itad>
- Gómez, H. A. (2013). *Análisis del nuevo esquema de calidad de los Sistemas de Distribución Local -SDL-*. Medellín.
- Ley 142. (11 de julio de 1994). Bogotá: Diario oficial.
- Resolución CREG 067. (2010). Bogotá: Diario Oficial.
- Resolución CREG 097. (26 de Septiembre de 2008). Bogotá: Diario Oficial.
- Sioshansi, F., & Pfaffenberger, W. (2006). *Electricity Market Reform: An International Perspective*. Oxford: ELSEVIER.
- miembro activo del grupo de Investigación Transmisión y Distribución de Energía Eléctrica (TyD).

## SOBRE LOS AUTORES

### **Héctor A. Gómez**

Ingeniero electricista e ingeniero electrónico de la Universidad Pontificia Bolivariana. Especialista en finanzas y Magister en Administración Financiera en la Universidad de EAFIT. Actualmente es Analista de intercambios del mercado de la compañía XM S.A. E.S.P en el equipo de liquidación y facturación SIC.

### **Álvaro H. Castro**

Ingeniero electricista de la Universidad Nacional de Bogotá, M.Sc. Eléctrica y MBA de la Universidad de los Andes. Especialista de la Dirección de Intercambios de Mercado de la compañía XM S.A. E.S.P. Profesor de cátedra de la asignatura Mercados Eléctricos de la Universidad Pontificia Bolivariana.

### **Hugo A. Cardona**

Ingeniero Electricista y Magíster en Ingeniería Área Transmisión y Distribución de Energía Eléctrica de la Universidad Pontificia Bolivariana de Medellín. Actualmente es el director de la facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Universidad Pontificia Bolivariana. Realizó estancia investigativa en XM S.A. E.S.P. es