

PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL CDITI: UNA PROPUESTA

ASSESSMENT METHODOLOGY ENERGY EFFICIENCY: A PROPOSAL.

Autores: Carlos Rafael Lozano*, Sebastian Jaimes*, Juan David Obando, Carlos Eduardo López, Viviana Ramirez*, Ing. Andrés Tafur**, Ing. Carlos Alberto Henao****

* CDITI Estudiantes Ambiente Procesos Eléctricos,

** Instructora Ambiente Proceso Eléctricos

*** Instructor Ambiente Automatización

**** Gestor Línea de Electrónica y Telecomunicaciones
Tecnoparque Nodo Pereira

Centro de Diseño e Innovación Tecnológica Industrial (CDITI)

chenaob@sena.edu.co

RESUMEN

El Centro de Diseño e Innovación Tecnológica Industrial como entidad gubernamental debe adelantar procesos de educación, investigación y desarrollo tecnológico orientados en la temática de eficiencia energética debido a una política de estado, estado (Ley 1715 y Decreto 2469), en la cual se obliga y estimula a las entidades estatales a la implementación de mecanismos, encaminados al uso eficiente de la energía y se lanza el premio de eficiencia energética en Colombia.

Con base en lo anterior en este documento se propone un procedimiento basado en datos, con el fin de establecer rutas de acción encaminadas a la eficiencia energética aplicable a cada uno de los ambientes de formación del Centro. La estrategia considera las siguiente etapas:

modelamiento armónico de la carga, construcción de perfiles iluminación, registro termográfico de los ambientes y cálculo de pérdidas técnicas causadas por componentes de frecuencia, a partir de medidas directas de tensión y corriente en los terminales de interés, niveles de iluminación en los ambientes e identificación de la naturaleza de la carga aplicando un diagnóstico. Finalmente la metodología considera una etapa de recomendaciones finales en función de los resultados entregados por la ejecución del procedimiento.

PALABRAS CLAVE: Eficiencia Energética, Calidad de la Energía, Armónicos, Pérdidas Técnicas.

ABSTRACT

The Center of Design and Technological Industrial Innovation (CDITI) as a governmental entity, is required to engage in processes of education, research and technological development, oriented on the thematic of energetic efficiency, due to a state policy (Law 1715 and decree 2469), which is undertaker and stimulate to public corporation in the implementation of mechanisms, oriented the efficient use of energy are ahead and the energy efficiency use prize is launched in Colombia.

Based on the above in this document it is proposed a procedure based on data, with the purpose of establishing routes of action oriented to the energetic efficiency, applicable to each of the learning environments of the

center. The strategy considers the following stages: Harmonic load modeling, Lighting profiles building, Thermographic recording of the learning environments and Technical losses calculation caused by frequency components, from direct measurements of voltage and current in the terminals of interest, lighting levels in the learning environments and identification of the nature of the load applying a diagnosis. Finally, the methodology considers a stage of final recommendations in function of the given results by the procedure execution.

KEYWORDS Energetic efficiency, Energy quality, Harmonic, Technical losses.

1. INTRODUCCIÓN

La eficiencia energética se ha definido como una política de estado, mediante la cual se busca garantizar el desarrollo sostenible del país en el sector energético, a través de instrumentos y recursos que fomenten el desarrollo tecnológico y la investigación, adicionalmente esta política pública establece que las entidades estatales deben promover e implementar acciones y estrategias basadas en la aplicación de programas de Uso Racional y Eficiente de la energía eléctrica y la eficiencia energética (Confreso de Colombia, 2014), (Congreso de Colombia, 2001).

Para lograr eficiencia energética, se hace necesario implementar estrategias que involucren tanto al recurso humano como el técnico. El primero de ellos involucra un

componente exclusivamente educacional, con el propósito de articular a los usuarios como agentes activos del sistema y así fortalecer escenarios (campañas publicitarias, diversificación de la demanda) para el uso eficiente del recurso energético.

El segundo de ellos, pretende la identificación de brechas con el fin de evitar consumos innecesarios y pérdidas técnicas (Banco Interamericano de Desarrollo, 2011), por ejemplo haciendo uso de mediciones eléctricas, de iluminación o diagnóstico a instalaciones existentes.

Se estima que únicamente la carga instalada en los ambientes de confecciones y Teleinformática del Centro de Diseño e Innovación Tecnológica Industrial (CDITI) adscrito al SENA seccional Risaralda, supera los 80KVA (Henao, 2016), en donde predominan cargas resistivas (maquinaria de planchado), inductivas (asociados a motores) y de naturaleza no lineal (elementos de estado sólido como computadores, UPS, iluminación fluorescente entre otros).

Estas últimas de especial atención, debido a que estimulan la aparición de fenómenos electromagnéticos que inciden en la calidad del servicio prestado. Uno de ellos, es la generación de componentes de frecuencias que absorben energía de forma no sinusoidal generando pérdidas por calentamiento (Rosa, 2006). Naturalmente el CDITI es una fuente generadora de armónicos debido a los equipos tecnológicos instalados en cada uno de los ambientes de formación,

sin embargo el centro no reporta la implementación de un estudio o metodología para cuantificar variables físicas asociadas a la eficiencia energética y/o calidad de la energía. Con base en lo anterior, en el presente documento se expone un marco procedimental que incluye una etapa de medición, análisis de información, modelamiento, validación y recomendaciones finales, orientadas al uso eficiente de la energía eléctrica en cada uno de los ambientes de formación del CDITI.

Para ello el esquema base hace uso de mediciones de Tensión y Corriente en el punto de acople común, niveles de iluminación y perfiles termográficos en las áreas de estudio, luego en la etapa de análisis, se realiza el cálculo de diferentes métricas para cuantificar la participación de pérdidas técnicas asociadas con las componentes de frecuencia.

Finalmente el procedimiento contempla una etapa de comparación con la legislación Colombiana en la temática de calidad de la energía. Este documento se encuentra organizado así: en la primera parte se enseña el estado del arte con énfasis en la legislación colombiana, en segundo lugar se enseña el esquema procedimental propuesto y por último la respectiva discusión del presente caso.

2. ESTADO DEL ARTE

Esta sección describe el marco legislativo colombiano asociado al uso racional y eficiente de la energía eléctrica,

sin embargo para abordar un estudio de eficiencia energética en una instalación es imprescindible la integración con la temática de calidad de la energía eléctrica. Es por esto, que a continuación se mencionan algunas resoluciones, documentos normativos y académicos de interés en esta área, aplicable al caso Colombiano.

3. LEGISLACIÓN COLOMBIANA

Mediante la ley 697 del 2001 se promovió el Uso Racional y Eficiente de la energía eléctrica (URE) como una política de Estado, con el propósito de asegurar el desarrollo sostenible del país, a través de acciones que fomentan el uso de fuentes de generación no convencionales (fotovoltaica, eólica, biomasa, geotérmica, entre otras), la educación de la población y la investigación (Congreso de Colombia, 2001).

A partir de esta, se han emitido otras como la ley 1715 del 2014, la cual promueve el desarrollo de fuentes de energía renovables, el desarrollo de proyectos (investigación científica, desarrollo tecnológico e innovación) que incluyan fuentes no convencionales de energía (FNCE) y/o eficiencia energética, adicionalmente precisa al Estado como ente estimulador económico para el desarrollo de estudios, auditorias y adecuaciones de los programas y proyectos definidos en la ley (Congreso de Colombia, 2014).

Por otro lado, la entidad encargada de establecer los parámetros técnicos del sistema eléctrico Colombiano tanto a nivel de funcionamiento como de calidad, es competencia

de la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), para ello la comisión decreta resoluciones que son aplicables y de obligatorio cumplimiento tanto para Operadores de Red (OR) como usuarios finales.

En lo que respecta a calidad de la energía, el ente regulador emitió el código redes (resolución CREG 025 de 1995) donde se define los límites permisibles de tensión, frecuencia (código de operación CREG 025 de 1995) y contenido armónico en las señales de tensión y corriente, (creg, 2016) por otro lado la resolución CREG 070 del año 1998 fijo y definió los fenómenos electromagnéticos (flicker, índice de contenido armónico, transitorios, fluctuaciones entre otros) como indicadores de calidad asociados a la naturaleza en la forma de onda suministrada, (creg, 2012) por otro lado la resolución CREG 025 de 1999 introdujo el tiempo (en horas) de las interrupciones en un circuito (DES) y el número de veces en que el servicio ha sido interrumpido (FES) (CREG, 1999), los límites de estos parámetros se fijan en la resolución CREG 096 del año 2000, (creg 6414, 2002) es de notar que los indicadores antes mencionados miden la continuidad en el servicio ofrecido por el OR.

Los esquemas propuestos en el estado del arte encaminados a la eficiencia energética se plantean en función de datos, esta información se asocia a eficiencia de los equipos, variables fotométricas, diagnóstico de puntos calientes, variables eléctricas, variables ambientales etc.

Con respecto a variables eléctricas las instalaciones industriales y comercial con nivel de tensión 3 (Comisión de Regulación de Energía y Gas CREG, 2002), el índice de distorsión armónica (Harmonics and Power Systems, 2006) no debe superar el umbral del 5% (CREG, 1998), (IEEE Industry Applications Society/Power Engineering Society, 1993), (creg, 2012), Un alto contenido armónico desencadena daños en equipos, pérdidas por efecto Joule, sobre dimensionamiento de conductores y transformador, mediciones erróneas en sistemas de instrumentación y medida, afecta la confiabilidad de la instalación, entre otras, debido a la deformación que experimenta la señal de tensión y corriente originada por cargas no lineales (elementos de estado sólido, elementos almacenadores de energía y contingencias) (Miguel Ángel Ángel Silva, 2005).

Naturalmente para garantizar la eficiencia energética es necesario avalar los parámetros eléctricos asociado a la temática de calidad de la energía. En la literatura especializada se exponen trabajos académicos donde los autores ilustran metodologías para diagnosticar, cuantificar, modelar, validar procesos y así proponer recomendaciones. (Jorge Luis Strack, 2014).

Los autores elaboran un modelo matemático para determinar el impacto de la iluminación residencial en la calidad de la energía, la metodología inicia con una etapa de diagnóstico y elaboran un inventario en función de las características de la carga instalada (tecnologías de las bombillas,

potencia, fabricante, otras). Posteriormente realizan medidas para cuantificar el contenido armónico de cada una de las lámparas identificadas y finalmente validan el modelo teórico de acuerdo a los datos recopilados, finalmente los autores plantean diferentes escenarios con el fin de pronosticar el impacto que ejerce el sistema de iluminación en la deformación de la onda de tensión y corriente en los sistemas de distribución.

Otras metodologías para evaluar la calidad de la energía de una instalación, consiste en tomar medidas (de tensión y corriente instantánea) directamente en el punto de acople común PCC durante un tiempo determinado (ver (Herbert Enrique Rojas Cubides, 2014), (Instituto Colombiano de Normas Técnicas - ICONTEC., 2008, p. 60.), con estos datos es posible realizar un diagnóstico de la instalación o circuito que se esté estudiando y realizar diferentes tipos de análisis (cálculo de contenido armónico, desbalance de fases, factor de potencia, valores eficaces entre otras, pérdidas por componentes armónicas, registro de energía activa).

Esta metodología permite caracterizar la naturaleza de la planta o proceso bajo estudio permitiendo realizar comparaciones directas con los límites establecidos en las legislaciones o normas técnicas.

A continuación se describe el marco metodológico sugerido para evaluar la eficiencia energética en los ambientes de formación de CDITI.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología que se propone para realizar estudios de eficiencia energética en las instalaciones del CDIT se enseña en la figura 1. Esta incorpora una etapa de diagnóstico, análisis de la información, resultados y recomendaciones.

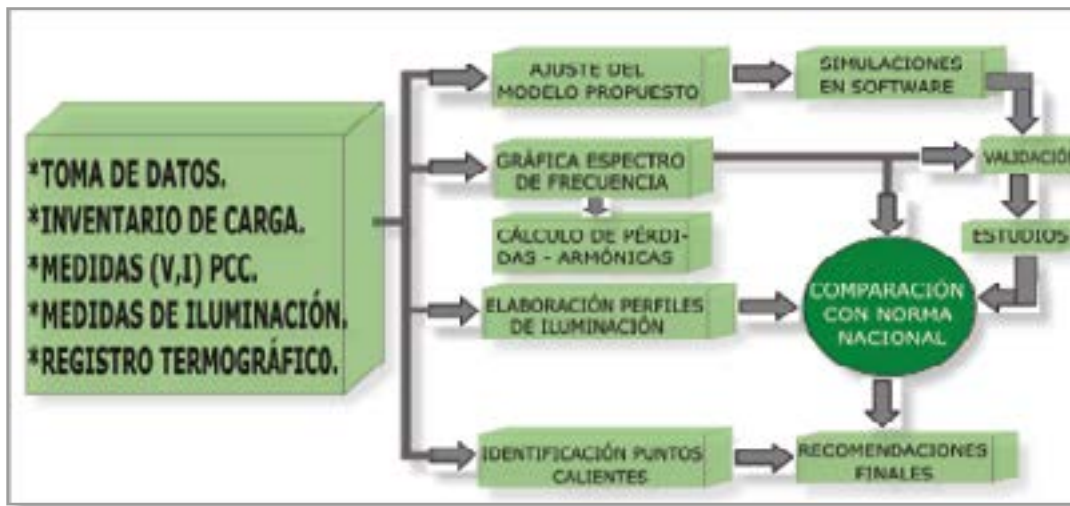


Figura 1: Metodología de Trabajo propuesta.

La etapa de diagnóstico tiene como propósito la recopilación de información con el propósito de identificar el tipo de carga en los ambientes de formación (inductiva, de estado sólido, resistiva), para ello se realiza inventario del tipo de carga instalada y realización de mediciones de tensión y corriente instantánea en el PCC (terminales tableros de distribución), así como medidas de iluminancia en los ambientes, perfiles térmicos en los conductores. Nótese que la metodología es válida aún en el caso en que se incorpore otro tipo de mediciones.

Por otro lado la etapa de análisis consiste en el procesamiento de la información. Estos son: el espectro de fourier para las señales de tensión y corriente, cálculo

energía activa consumida por cada una de las componentes armónicas y consumo total, perfil de iluminancia promedio en el ambiente y perfil térmico de la instalación eléctrica. Es de anotar que el contenido armónico de la instalación se puede inferir utilizando un analizador de red que cumpla con la normatividad respectiva (Instituto Colombiano de Normas Técnicas - ICONTEC., 2008, p. 60.), (International Electrotechnical Commission, 2003), aunque también es posible realizar un análisis en frecuencia a bajo costo por medio de los instrumentos que se enseñan en (João L. Afonso, 2007), (Jorge Luis Díaz-Rodríguez, 2015), sin embargo estos deben demostrar conformidad con el estándar IEC Standard 61000-4-7 (International Electrotechnical Commission., 2002).

Por último se construye un modelo matemático, este puede ser expresado en función de la impedancia de la carga recorrida por la fuente fundamental y cada una de la fuentes de corriente que inyectan las componentes armónicas (ver figura 2).

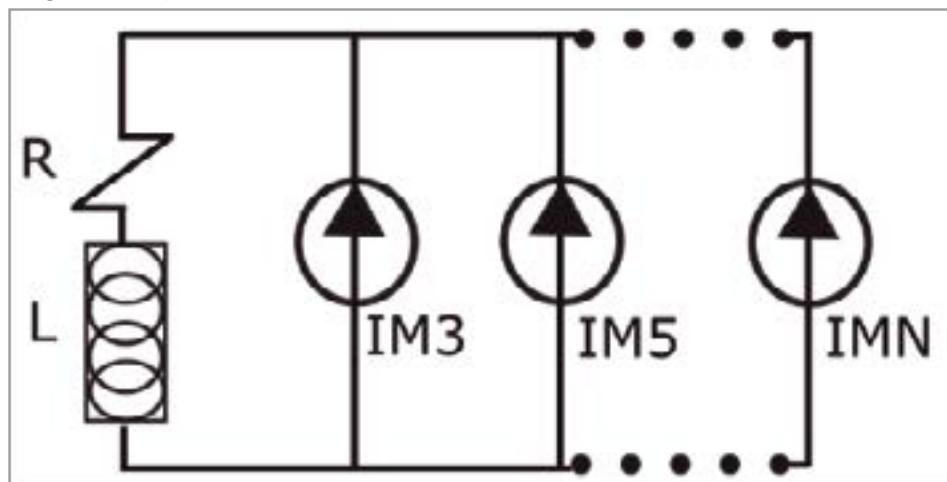


Figura 2: Modelo de circuito para análisis de componente armónico.

Los parámetros del modelo se ajustan de acuerdo al procedimiento enseñando en (Jorge Luis Strack, 2014), el cual consiste en sintonizar los factores de disposición y simultaneidad de la carga identificada en el proceso de diagnóstico, una vez entrenado, este se simula en un software especializado por ejemplo el utilizado en (Jorge Luis Strack, 2014), finalmente se valida dado el espectro de

FRECUENCIA CALCULADA EN LA ETAPA DE ANÁLISIS DADO LOS DATOS REALES.

La construcción de perfiles de iluminación en cada uno de los ambientes de formación tiene como fin identificar alternativas para disminuir el consumo energético de los circuitos de iluminación.

El procedimiento consiste en construir una grilla, donde en cada coordenada se mide el nivel de iluminancia, luego compara con los adoptados en el RETILAP (Ministerio de Minas y Energía, 2015). Por otro lado las comparaciones con los análisis realizados a las componentes de frecuencia se realizan en función de las legislaciones expedidas por la CREG en lo que compete a calidad de la energía eléctrica (CREG, 1995), (CREG, 1998)

Finalmente se establecen recomendaciones. Las cuales van enmarcadas a la disminución del consumo energético en cada uno de los ambientes, diseño e instalación de banco de condensadores en función de las componentes de frecuencia críticas identificadas, remodelaciones

arquitectónicas para aprovechar la iluminación diurna así como reformas tecnológicas a la medida, automatización de áreas con un consumo representativo para la instalación, identificación de curvas de carga y planteamiento de estrategias para disminuir pérdidas técnicas, entre otras.

5. CONCLUSIONES

En este documento se enseña un procedimiento con el objetivo de inferir recomendaciones para el uso eficiente de la energía eléctrica en cada uno de los ambientes del CDITI, la metodología incorpora una etapa de diagnóstico y medición de variables eléctricas, niveles de iluminación y registro termográfico de la instalación eléctrica del respectivo ambiente e identificación de la naturaleza de la carga.

El esquema considera una etapa de modelamiento, la cual pretende realizar estudios en base a diferentes escenarios propuestos de forma teórica, lo anterior permitiría evaluar el impacto de futuras adecuaciones (con respecto al contenido armónico) de forma controlada, sin embargo esta etapa sensible a la sintonización de los parámetros del modelo.

Finalmente la propuesta involucra una etapa de comparación con los parámetros de distorsión armónica y niveles de iluminación, los cuales son fijados por la legislación Colombiana, esta presunción permitirá realizar recomendaciones para ofrecer un servicio eficiente de calidad y a la medida en función de las necesidades del Centro.

6. BIBLIOGRAFÍA

Banco Interamericano de Desarrollo. (2011).

Proyecto: “Programa de Eficiencia Energética” Ministerio de Economía de la República de El Salvador Banco. Obtenido de Metodología de Eficiencia Energética en la Industria: http://www.cne.gob.sv/index.php?option=com_view=category&download=215:mind&id=31:metee&Itemid=63

Comisión de Regulación de Energía y Gas, CREG. (13 de 07 de 1995).

Resolución CREG 025. Obtenido de Por la cual se establece el Código de Redes, como parte del Reglamento de Operación del Sistema Interconectado Nacional [http://apolo.creg.gov.co/Publicac.b7b00789b0c/3a940408d14bf2e80525785a007a653b/\\$FILE/Cr025-95.pdf](http://apolo.creg.gov.co/Publicac.b7b00789b0c/3a940408d14bf2e80525785a007a653b/$FILE/Cr025-95.pdf)

Congreso de Colombia. (13 de 05 de 2014). LEY 1715 DE 2014. Obtenido de Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional.: <http://www.fedebiocombustibles.com/files/1715.pdf>

Congreso de Colombia. (05 de 10 de 2001). LEY 697 DE 2001. Obtenido de Mediante la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía, se promueve la utilización de energías alternativas y se dictan otras disposiciones.: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=4449>

creg. (11 de 09 de 2012).

apolo.creg.gov. Obtenido de <http://apolo.creg.gov.co/>

Publicac 55/ 219288a8b642d04405257a760073751e?
OpenDocument

creg. (22 de 08 de 2016). apolo.creg.gov.

Obtenido de <http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/4cc22458dd96408005256eef006e84eb/e71cfc96ec4b10dc05258017007589fd?OpenDocument>

creg 6414. (25 de 07 de 2002).

<http://apolo.creg.gov.co/>. Obtenido de
<http://apolo.creg.gov.co/Publicac.eb/5552a20c84f48af50525785a007a68b1?OpenDocument>

Harmonics and Power Systems. (2006). Obtenido de file:///C:/Documents%20and%20Settings/SENA/Mis%20documentos/Downloads/Harmonics%20and%20Power%20Systems%20(Electric%20Power%20Engineering)%20%20.pdf

Henao, C. (2016). Memorias de planos eléctricos ambientes de Teleinformatica y Confenciones SENA -CDITI. Dosquebradas.

Herbert Enrique Rojas Cubides, E. R. (2014). Aspectos técnicos y normativos para el monitoreo y medición de armónicos. Ingenieria, VOL. 19 • NO. 2.

IEEE Industry Applications Society/Power Engineering Society. (1993). Estándar IEEE – 519, IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems, 1993. USA. . Piscataway, NJ 08855-1331: IEEE Power Engineering Society.

Instituto Colombiano de Normas Tecnicas - ICONTEC. (2008, p. 60). NTC 5001: Calidad de la Potencia Eléctrica. Límites y metodología de Evaluación en Punto de Conexión Común, p. 60. . Bogota, Colombia: ICONTEC.

International Electrotechnical Commission. (2003). 61000-4-30: Testing and measurement techniques - Power quality measurement methods. IEC.

International Electrotechnical Commission. (2002).

Standard 61000-4-7:

Testing and measurement techniques - General guide on harmonics and interharmonics measurements and instrumentation, p45. IEC.

João L. Afonso, J. B. (2007). Sistema Digital de Bajo Coste para la Monitorización de la Calidad de Energía Eléctrica. Información Tecnológica – Vol. 18 No 4.

Jorge Luis Díaz-Rodríguez, L. D.-F.-P. (2015). Plataforma de bajo costo para la evaluación de fenómenos electromagnéticos monofásicos de calidad de la energía según el estándar IEEE 1159. Dyna, vol.82 no.194.

Jorge Luis Strack, J. A. (2014). Impacto de la Iluminación Residencial Eficiente en la Calidad de la Energía de una Red de Distribución. Inge Cuc, Vol. 10, N° 2., 9-19.

LA COMISIÓN DE REGULACIÓN DE ENERGÍA Y GAS.

(09 de 06 de 1999). Resolución-1999-CREG025-99. Obtenido de Por la cual se establecen los Indicadores de Calidad DES

y FES para el año 1 del Período de Transición de que trata el Reglamento de Distribución de Energía Eléctrica (Resolución CREG-070 de 1998), y se modifican algunas normas de esa misma resolución: <http://apolo.creg.gov.co/PUBLICAC.NSF/Indice01/Resoluci%C3%B3n-1999-CREG025-99>

LA COMISIÓN DE REGULACIÓN DE ENERGÍA Y GAS, CREG.

(28 de 05 de 1998). Resolución-1998-CREG070-98. Obtenido de Por la cual se establece el Reglamento de Distribución de Energía Eléctrica, como parte del Reglamento de Operación del Sistema Interconectado Nacional.: <http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/Indice01/Resoluci%C3%B3n-1998-CREG070-98>

LA COMISIÓN DE REGULACIÓN DE ENERGÍA Y GAS, CREG. (17 de 12 de 2002). Resolución-2002-CREG082-2002. Obtenido de Por la cual se aprueban los principios generales y la metodología para el establecimiento de los cargos por uso de los Sistemas de Transmisión Regional y Distribución Local.: <http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/Indice01/Resoluci%C3%B3n-2002-CREG082-2002>

Mediante la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía, se promueve la utilización de energías alternativas y se dictan otras disposiciones. (03 de 10 de 2001). [alcaldiabogota. Obtenido de http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=4449](http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=4449)

Metodologia de Eficiencia Energetica en el Sector Servicios. (2011). Consejo Nacional de Energía . Obtenido de <http://www.cne.gov.co>

gob.sv/mwg-internal/de5fs23hu73ds/progress?id=VKuz9v
wAUTBIKFwlXXpUUYnQxHpvwoblYDu2Xkuj-zY,

Miguel Ángel Ángel Silva, G. O. (2005). Calidad de la energía eléctrica: Diseño y construcción de un prototipo como alternativa para la monitorización de interrupciones y caídas de tensión. UIS Ingenierías., 75-84.

Ministerio de Minas y Energía. (2015). Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público - RETILAP. Obtenido de RETILAP - Iluminación y Alumbrado Público: <https://www.minminas.gov.co/retilap>

Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no. (13 de 05 de 2014). fedebiocombustibles. Obtenido de <http://www.fedebiocombustibles.com/files/1715.pdf>

Rosa, F. C. (2006). HARMONICS AND POWER SYSTEMS. Hazelwood, Missouri, U.S.A.: Taylor & Francis Group .



