

Caracterización de la demanda de potencia y energía de estrato socioeconómico 4 y URE en propiedad horizontal

Olarte Contreras, Alfonso, Guzmán Guzmán, Diego Enrique, Pérez Santos, Alexandra.
olarte_88@hotmail.com, diegocarmander@hotmail.com, asperezs@udistrital.edu.co

*Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Facultad Tecnológica. Tecnología en Electricidad*

Resumen

Se describen los resultados obtenidos al determinar la curva de demanda diaria de potencia y energía asociada al estrato socioeconómico cuatro en propiedad horizontal en la ciudad de Bogotá, D.C, Colombia, como insumo para el dimensionamiento de transformadores y redes de baja tensión. Identificando la potencia máxima diversificada, a partir del comportamiento de la carga. Se confronta los datos obtenidos, con respecto a las diferentes formas de dimensionamiento de transformadores y redes de baja tensión utilizados por las electrificadoras en los mercados más significativos en Colombia (Bogotá, D.C y Medellín).

En forma paralela se realiza en la propiedad horizontal el diagnóstico de las instalaciones eléctricas a la luz de la normatividad vigente y el levantamiento de planos unifilares, que en conjunto con estrategias de uso racional de energía propuestas para cada predio en particular, y que se presentan en forma de anexo, pretenden mejorar la calidad de vida de los habitantes de la ciudad de Bogotá, D.C.

Palabras clave: Demanda máxima diversificada, Dimensionamiento de transformadores, Normatividad en instalaciones eléctricas, Uso racional de energía.

Abstract

Above bellow there is a description about the results we got in order to determinate the daily demand curve of power and energy that is connected to the fourth social economic strata in Horizontal Property (joint freehold) at Bogota city, Colombia, as supplies for the transformer dimensions and low tautness net.

As we could identify the diversified maximum power, from the behavior of the residential charge and rural zones during a 8 days period of measuring time.

There is a face up to the results and the different ways of transformer dimensions and low tautness net, which are

using for the electric energy factory on the more relevant and important markets of Colombia.

In parallel bars it takes place in the horizontal property a diagnosis of the electric installations, according to the nowadays law and to the arising of one-line drawings, that joined all them together with strategies of well management of energy, designed for each particular territory, present above as an add, it is pretended to improve the life's quality residents of Bogota City.

Keywords: Maximum diversified demand, Transformer Sizing, Regulations on electrical installations, Rational use of energy.

1. Introducción

En el área urbana de la ciudad de Bogotá, D.C. los servicios públicos domiciliarios tienen como clientes o suscriptores a personas naturales y jurídicas, para el caso del servicio de energía eléctrica domiciliaria este se presta bajo dos modalidades, residencial y no residencial. El servicio residencial es el que corresponde a los hogares o núcleos familiares, incluyendo las áreas comunes de los conjuntos habitacionales (1). No existen estudios que describan el comportamiento de la demanda de potencia y energía eléctrica para usuarios residenciales, específicamente en propiedad horizontal de estrato socioeconómico cuatro, dado que la demanda de un sistema eléctrico se define como la carga que recibe un consumidor en promedio durante un intervalo de tiempo (2), si se quiere identificar la demanda máxima diversificada o modelar la demanda diaria de potencia y energía es necesario recurrir al uso de un equipo eléctrico con cualidades de registro, capaz de caracterizar el comportamiento de un circuito eléctrico y a su vez almacenar estos datos para un posterior análisis. Este modelamiento permite identificar estrategias de uso racional y eficiente de energía URE, con lo cual se pretende mejorar la calidad de vida de los usuarios, y crear conciencia del uso eficiente de la energía con un menor requerimiento de potencia, trayendo consigo beneficios para sí mismos y contribuyendo a la

conservación de los recursos naturales, a través de un menor requerimiento de potencia instalada en el País, además se busca identificar la potencia nominal que debe tener un transformador en función del número de usuarios a atender, como insumo de diseño en un proyecto de vivienda de estrato socioeconómico 4, las tareas de campo relacionadas al estudio, tienen lugar en el mes de marzo de 2010.

2. Propiedades horizontales objeto de estudio

El estudio se centra en propiedades de tipo horizontal ya que estas agrupan clientes de energía eléctrica del orden de centenas con características socioeconómicas similares, condición ideal para establecer la curva de demanda diaria de potencia, y la curva de demanda máxima diversificada.

El consumo de energía interno que presentó Colombia para el año 2009 ascendió a 46.356 [GWh/año]. Para este mismo año se contaron con 10.234.900 suscriptores al servicio de energía eléctrica de tipo residencial, que corresponden al 91,30% del total, y consumen el 41,15% de la energía.

La ciudad de Bogotá, D.C, consume el 15% del total de la energía del País, y el 21.02% de la energía de uso residencial del País. Cuenta con 2.138.821 suscriptores urbanos, de los cuales el 87,92% son residenciales y de estos el 11,69% son de estrato socioeconómico 4. Los suscriptores de estrato 4 presentan un consumo promedio de 190,5 [kWh/mes], son responsables de consumir el 8,59% de la energía de uso residencial en el país y un 12,54% en la ciudad de Bogotá (3).

En Colombia desde el año 2007 para ciudades que se encuentren por encima de 1.000 metros sobre el nivel del mar, se fijó el consumo de subsistencia en 130 [kWh/mes] (4), con el cual un cliente de energía eléctrica satisface sus necesidades básicas, y sobre el cual el Ministerio de Minas y Energía establece los correspondientes subsidios. Específicamente para el estrato socioeconómico cuatro no se aplica el subsidio, ni contribución (5).

En el año 2009 en Bogotá DC. Se contó con 1.034.430 predios en P.H¹, donde el 27.65% equivalente a 286.020 corresponden al estrato socioeconómico cuatro.

A partir de la base de datos de transformadores existentes en Bogotá, D.C., en la cual se identificaba la existencia de

red de baja tensión asociada y la dirección, se procede a visitar y seleccionar la P.H. a intervenir.

El estudio caracterizó tres propiedades horizontales pertenecientes al estrato 4, donde sus habitantes son clientes del servicio de gas natural domiciliario. En cada una de estas propiedades se intervino los centros de distribución asociados, caracterizando la demanda de potencia utilizando un equipo analizador de calidad y en forma paralela se realizó el diagnóstico técnico de las redes de baja tensión, caracterización de las cargas asociadas a zonas comunes y se plantearon estrategias URE, los resultados obtenidos para cada una de las propiedades se consignan en los informes anexos. Las principales características de cada una de las propiedades horizontales se presentan en la tabla I y II

Conjunto Residencial	Número de clientes asociados al transformador	Centro de distribución	Potencia Nominal del Transformador [kVA]	Consumo promedio cliente [kWh/mes] (Muestra de 2 %)
Reserva Campestre Calle 148 # 56 A -55	86	CD 70476	112,5	187
Mazuren 04 Calle 152 A # 46 - 15	100	CD 11630	500	185
	100	CD 11631	500	162
Olmos de la Colina Calle 151 # 54 - 41	116	CD 11680	400	201

Tabla I: Conjuntos residenciales objeto de estudio.

Conjunto Residencial	Energía consumida Zonas Comunes [kWh/mes]	Ascensores # x [kW]	Bombas eléctricas # x [kW]
Reserva Campestre Calle 148 # 56 A -55	3916	3 x 5,5	3 x 5,5
Mazuren 04 Calle 152 A # 46 - 15	652	--	3 x 5,5
Olmos de la Colina Calle 151 # 54 - 41	6231	4 x 5,5	3 x 13,42

Tabla II: Cargas asociadas a zonas comunes.

¹ Propiedad Horizontal

² Operador de Red

³ Cotización creada el 2010-07-26 18:17:07.877

3. Metodología empleada para determinar la curva de demanda diaria de potencia y el consumo de energía en usuarios residenciales.

La construcción de la curva de demanda de potencia exige la configuración e instalación de un equipo analizador de calidad capaz de realizar registro y almacenamiento de variables eléctricas que constituyen el insumo para la construcción de base datos, y su interpretación.

La caracterización de la demanda de potencia de clientes actuando en grupos de centenas es primordial en el dimensionamiento de transformadores de distribución y diseño de redes de baja tensión para el sector residencial, en una ciudad como Bogotá, D.C., de alta densidad poblacional.

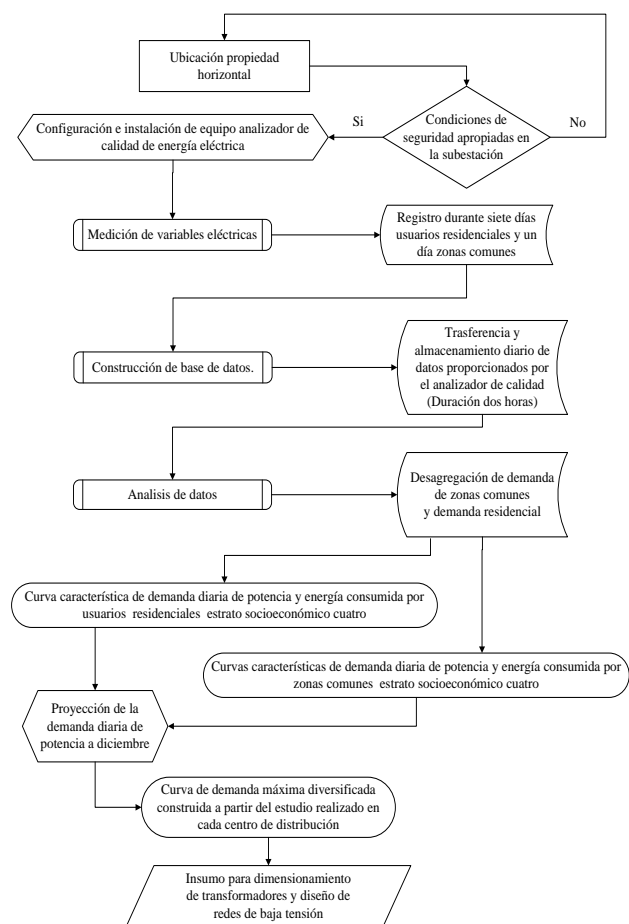


Figura 1: Metodología empleada.

3.1. Variables eléctricas a evaluar.

Las medidas de las variables eléctricas necesarias se obtienen utilizando un equipo analizador de calidad eléctrica instalado en uno de los barrajes del centro de distribución en estudio de propiedad horizontal. El equipo es el analizador de calidad eléctrica Fluke 435. Dentro de sus características principales de destaca la medición de los parámetros del sistema de alimentación eléctrica, como tensión y corriente de verdadero valor eficaz, frecuencia, alimentación, consumo eléctrico, desequilibrio y flicker. Además cuenta con la opción de registro, donde se proporcionan lecturas de valores mínimos, máximos, y promedios de hasta 100 parámetros distintos tanto en las tres fases, como en el neutro, con un tiempo medio de medida ajustable hasta 0,5 segundos, dispone de memoria para registrar 400 parámetros con un minuto de resolución hasta un mes (6). El tiempo de medida se ajusta en 10 segundos, de esta manera se garantiza que las medidas conformen una base de datos útil para este estudio, y para futuros estudios asociados a calidad de la potencia.

3.2. Medición de las variables eléctricas y Curva de demanda diaria.

Las medidas realizadas en los diferentes centros de distribución se realizan siguiendo la normatividad de trabajo en línea viva, y la posibilidad de instalación del equipo, es por eso que en las subestaciones los clientes caracterizados no son el total asociados al centro de distribución. Los parámetros que hacen parte de la base de datos construida empleando el analizador de calidad eléctrica y requeridos para el estudio son: Potencia activa [W], Potencia reactiva [VAr], Potencia aparente [VA], Factor de potencia, de forma adicional se obtienen los parámetros de tensión [V] (rms y pico), Corriente [A] (rms y pico), Factor de cresta de tensión, Factor de cresta de corriente, , Flicker, DPF, frecuencia [Hz], THD en tensión [%] y THD en corriente [%], con los que se puede realizar estudios sobre la calidad de la potencia en el sector residencial.

Los centros de distribución en los cuales se realizaron medidas se relacionan en la tabla III.

Conjunto Residencial	Centro de distribución CD	Usuarios asociados al CD	Cientes caracterizados	Zonas comunes caracterizadas [%]
Reserva Campestre Calle 148 # 56 A - 55	70476	86	86	100
Mazuren 04 Calle 152 A # 46 - 15	11630 11631	100 100	100 0	100 0
Olmos de la Colina Calle 151 # 54 - 41	11680	116	116	100

Tabla III: Clientes y zonas comunes caracterizadas.

La base de datos correspondiente a cada uno de los días de registro, se compone de 8640 lecturas de cada parámetro requerido por el estudio, los intervalos de agregación objeto de análisis corresponden a 10 minutos, de esta manera se crean 144 grupos de 60 datos cada uno, donde se identifica el valor máximo registrado en cada parámetro de potencia y el valor mínimo para el factor de potencia, de este modo se obtiene la demanda de potencia máxima registrada bajo las condiciones más adversas de trabajo para el transformador de distribución.

En las mediciones realizadas para caracterizar la demanda de potencia se encuentra inmersa la demanda residencial y la demanda de zonas comunes, estas se desagregan para cada uno de los siete días de la semana efectuando la diferencia entre la demanda diaria total y la demanda de zonas comunes.

Con el fin de obtener una curva de demanda diaria residencial más general, se combinan las curvas pertenecientes a días hábiles (lunes a viernes) y se combinan las curvas pertenecientes a días no hábiles (sábado y domingo), creando respectivamente una envolvente a partir de los valores máximos registrado en cada intervalo de agregación (10 minutos). Es de resaltar que esta curva es válida para el número de clientes residenciales objeto de medición.

Para efectos de trasladar los datos obtenidos en marzo al mes de más alta demanda de potencia, que en Colombia corresponde a diciembre, se utiliza los porcentajes de variación mes a mes propuestos en el Plan de Expansión 2009-2023, lo cual corresponde a una aumento del 3,41%.

3.3. Demanda máxima diversificada y dimensionamiento de transformadores de distribución.

La curva de demanda diaria de potencia construida en el estudio para cada uno de los centros de distribución, es válida para un número determinado de clientes con disponibilidad de gas natural, en un estrato económico específico, en este caso el 4, y suministra un punto de la curva de demanda máxima diversificada (Potencia demandada por cliente, en función del número de clientes), este punto es el cociente entre la demanda máxima y el número de clientes, constituye la demanda máxima diversificada válida para el número de usuarios analizados. Los puntos obtenidos responden a un comportamiento de tipo potencial decreciente.

$$\begin{aligned} \text{Demanda Máxima Diversificada } DMd(c) \\ = A * \text{clientes}^{-b} \text{ [kVA/cliente]} \end{aligned}$$

Ver anexo número 1 “Manejo de datos para calcular la demanda máxima Diversificada”.

Ecuación 1

El cálculo de la demanda máxima diversificada se realiza utilizando la potencia aparente máxima, valor que al no conocer lo debemos calcular utilizando la potencia activa máxima proyectada al mes de Diciembre y un factor de potencia que nos permita dicho cálculo. Debido a que contamos con 144 valores de factor de potencia en el consolidado de los 7 días de la semana es necesario calcular un factor de potencia representativo.

El cálculo del factor de potencia representativo se efectúa realizando un conteo de las veces que se repite cada uno de los diferentes valores de factor de potencia en los 144 datos obtenidos y que peso porcentual representa cada uno de estos valores en la totalidad. Luego se calcula el producto del número de veces que se repite cada valor de factor de potencia con su respectivo peso porcentual y este se suma con cada uno de los valores obtenidos de los demás productos para de esta manera contar con un factor de potencia único (representativo).

Ejemplo: Se supone que de estos 144 datos solo hay 5 valores distintos los cuales se repiten diferentes números de veces lo cual se puede observar en la tabla IV.

Factor de potencia registrado	0,71	0,76	0,81	0,86	0,91	SUMA
Veces que se repite el F.P. registrado en la totalidad de datos (144)	15	25	40	54	10	144
Peso porcentual del F.P. registrado en la totalidad de datos (144)	10%	17%	28%	38%	7%	100%
Producto de veces que se repite y el peso porcentual del F.P. registrado	0,07	0,13	0,23	0,32	0,06	0,82
FACTOR DE POTENCIA REPRESENTATIVO						0,82

Tabla IV: Ejemplo de factor de potencia representativo.

La NTC 2050, establece, para efecto de diseño de redes lo siguiente: “permite calcular la capacidad de un transformador para edificaciones multifamiliares o grupo de viviendas, de acuerdo con las tablas o métodos establecidos por las empresas locales de suministro de energía.” (7). Esto ha abierto la posibilidad a que cada Operador de Red, utilice metodologías diferentes para la determinación de las demandas de los clientes, en función del número de clientes. Incluso algunos OR², se acogen a metodologías de OR que atienden mercados sustancialmente diferentes en densidad, existencia de energético sustituto, y altura sobre el nivel del mar.

Es de resaltar que el operador de red Codensa S.A, establece criterios diferentes para seleccionar transformador y para dimensionar redes de baja tensión, tablas para el dimensionamiento de transformadores y el criterio de demanda máxima diversificada para los cálculos de cargabilidad de conductores en redes de baja tensión asociadas al transformador, en función del número de usuarios aguas abajo.

El resto de OR's utiliza el criterio de demanda máxima diversificada para las dos tareas anteriormente mencionadas, o carecen de metodologías de cálculo en su normatividad.

La curva de demanda máxima diversificada construida en el estudio, se confronta con lo establecido en norma de cada uno de los operadores de red: Codensa S.A. E.S.P. (8) y EPM E.S.P. (9) para el dimensionamiento de transformadores.

² Operador de Red

4. Resultados obtenidos

Los resultados permitieron establecer la energía promedio consumida al mes por usuario de estrato socioeconómico cuatro, la curva de demanda diaria en los centros de distribución, y la curva de demanda máxima diversificada.

4.1. Energía demandada promedio por usuario estrato socioeconómico cuatro.

El área bajo la curva de la demanda diaria establecida para cada uno de los días de la semana, permite establecer la energía promedio mensual para un usuario de estrato cuatro.

$$\text{Energía promedio mes [KWh/mes]} = \frac{30}{7} \times \sum_{i=1}^n E_i \text{ [kWh/día]}$$

Ecuación 2

Donde:

n: Día correspondiente a la semana (1,2,3,...,7)

E: Energía diaria calculada a partir de método matemático

Para determinar el consumo diario de energía se utilizó el método matemático de Simpson, con el fin de tener mayor certeza sobre los resultados obtenidos.

- Aproximación por regla de Simpson.

$$\text{Energía [KWh/día]} = \sum_{i=1,3,5,\dots}^{n-2} \frac{1}{3} (P_i + P_{i+1} + P_{i+2}) \Delta t$$

Ecuación 3

Donde:

P: Lectura de potencia activa en punto i

Po: Potencia de punto inicial.

i: Punto evaluado [1, 2,3,...,144].

n: n-ésima lectura registrada.

Δt: variación de tiempo (10 minutos)

El consumo promedio mensual de energía se consigna en la tabla en la tabla V.

Los registros de la superintendencia de servicios públicos domiciliarios muestran que el mes de febrero un cliente de estrato socioeconómico cuatro requirió en promedio 185[kWh/mes], en comparación con el estudio se halla una diferencia de 13,4% por encima, con lo cual se establece coherencia en los resultados obtenidos.

Energía promedio mes [kWh/mes]	
Facturado de la muestra del 2%	Regla de Simpson
185	209,16

Tabla V: Consumo promedio mensual cliente residencial estrato socioeconómico cuatro.

4.2. Curvas de demanda diaria y curva de duración de carga.

La curva de demanda diaria es una representación hora – hora de la demanda de potencia expresada en por unidad, es posible representar también en [A], [kVA], [kW], [kVAr].

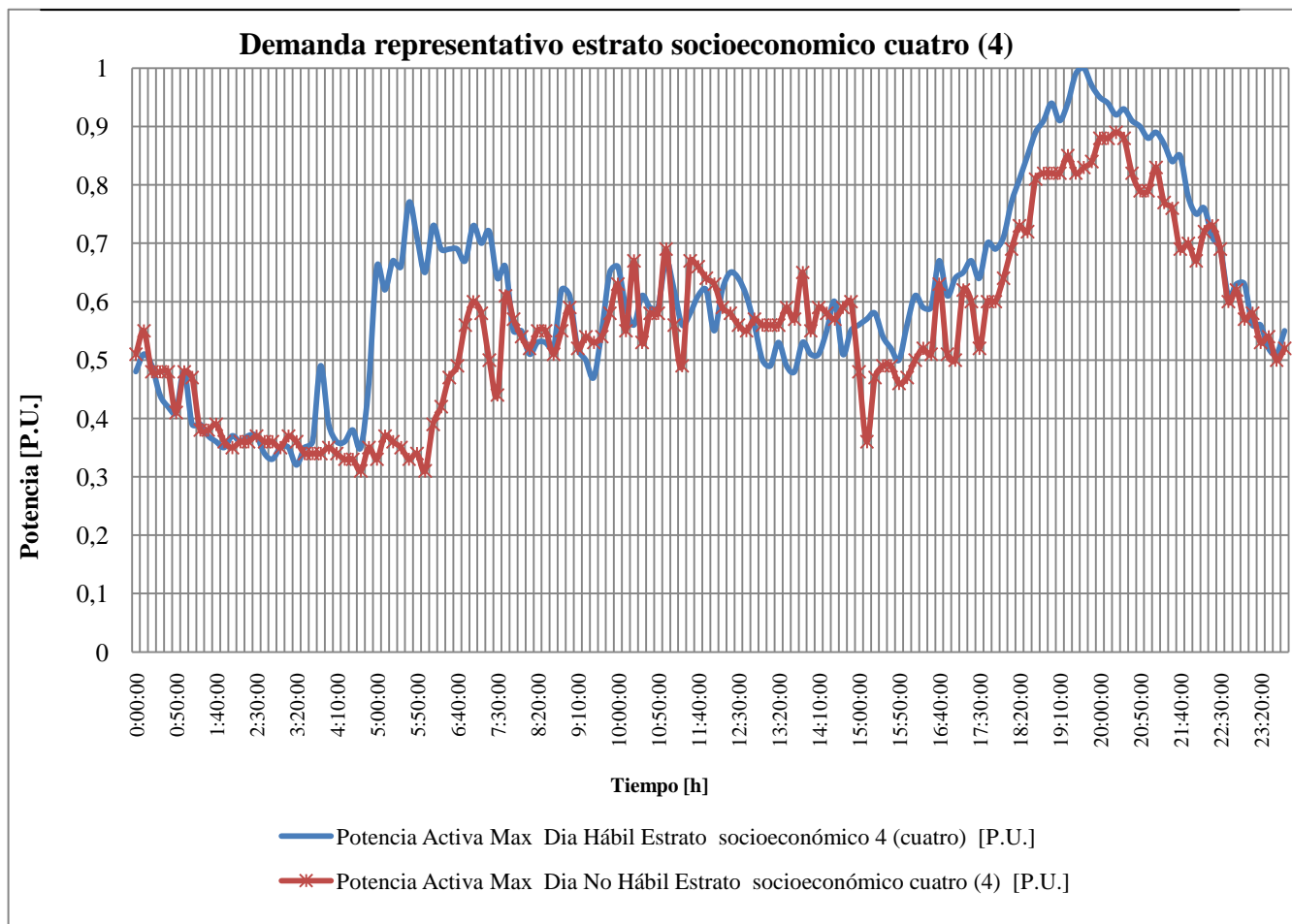


Figura 2: Curva de demanda diaria de potencia estrato socioeconómico cuatro.

La curva representativa del día hábil, indica que la demanda máxima en el estrato socioeconómico 4 ocurre alrededor de las 19:40 horas. La demanda mínima se presenta cerca de las 03:20 horas del día y corresponde al 30% sobre la demanda máxima.

Para días no hábiles la demanda máxima ocurre a las 20:00 horas y 21:00 horas del día, con una magnitud de 89% sobre la demanda máxima de un día hábil, la demanda mínima ocurre a las 04:40 horas del día y corresponde al 30% de la demanda máxima del día hábil.

La curva de duración de carga es una representación porcentual de la duración de la demanda expresada en por unidad. Esta herramienta permite desagregar la demanda diaria en tres rangos diferenciables, la demanda considerada alta, la cual se encuentra entre el 80% y el 100% de la demanda máxima, la demanda media, que corresponde a demanda entre el 50% y el 80%, y la demanda inferior que corresponde a demandas por debajo del 50% de la demanda máxima.

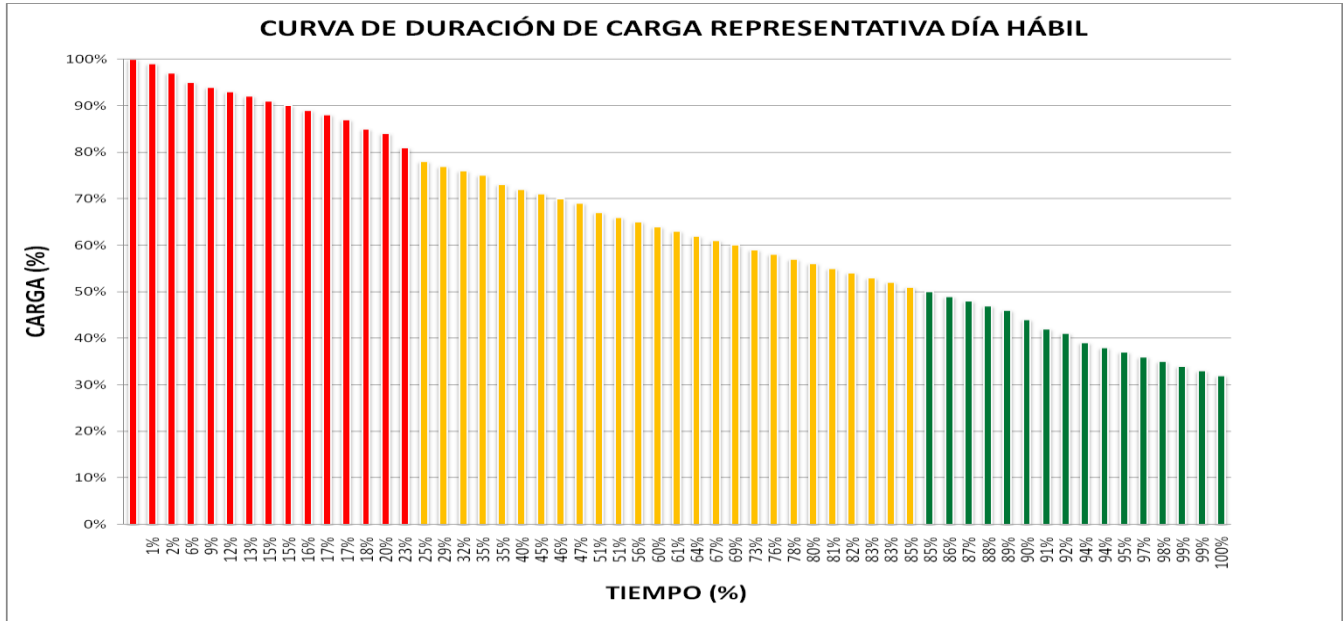


Figura 3: Curva de duración de carga día hábil para el estrato socioeconómico cuatro.

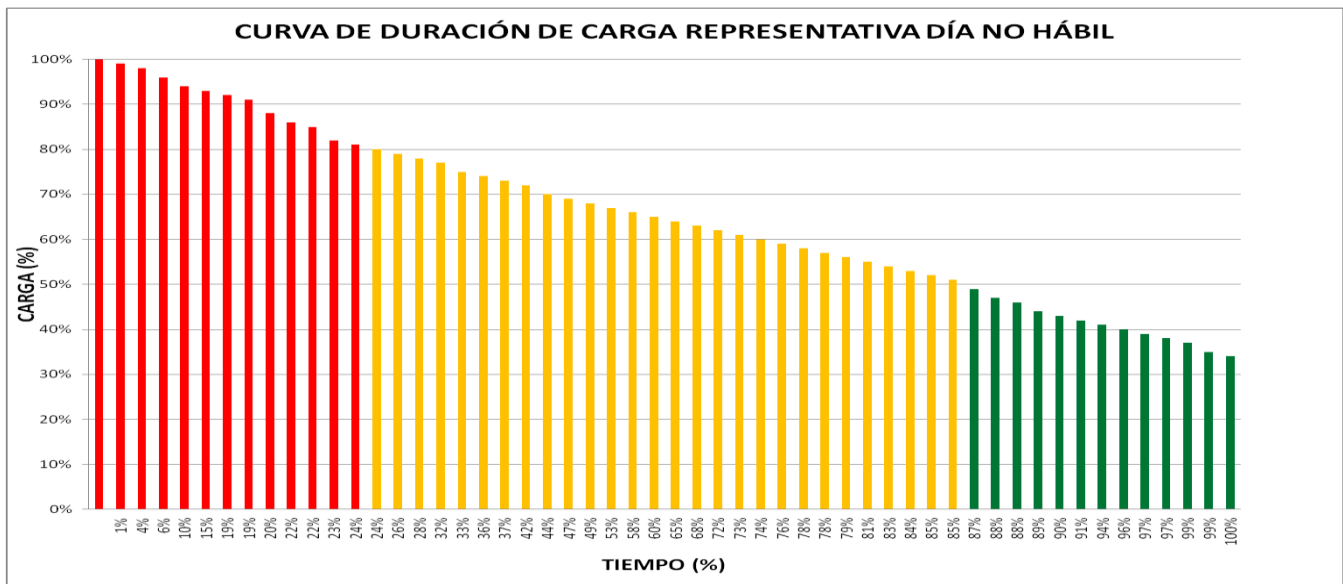


Figura 4: Curva de duración de carga día no hábil para el estrato socioeconómico cuatro.

La curva de duración de carga representativa para el día hábil nos indica que el 23% del tiempo la demanda es alta, 62 % del tiempo la demanda es media y el 15% del tiempo la demanda es baja y para los días no hábiles los porcentajes de duración son de 24% del tiempo cuando la demanda es alta, 63% del tiempo de la demanda es media y el 13% del tiempo la demanda es baja.

4.3. Demanda máxima diversificada

La proyección de la demanda diaria de potencia del mes de marzo al mes de diciembre, identifica la demanda máxima factible de ocurrir en cada uno de los centros de distribución para un número determinado de usuarios, esto permite modelar la demanda máxima diversificada a través de una curva, la ecuación descriptiva se muestra a continuación.

$$\begin{aligned} \text{Demanda máxima diversificada } DMd(c) \\ = -0.86 \ln(c) + 4.548 \text{ [kVA/cliente]} \end{aligned}$$

Ecuación 4

c: Número de clientes

El operador de Red Codensa S.A. E.S.P. maneja un criterio de diseño de redes de baja tensión, asociado a la curva de demanda máxima diversificada, descrita en la ecuación 5 mientras que para la selección de transformadores aplica el criterio de número máximo de usuarios con demandas diversificadas diferentes a las utilizadas para el diseño de baja tensión.

El operador de red Codensa S.A. E.S.P. establece una demanda máxima diversificada en el dimensionamiento de redes de baja tensión en estrato cuatro, con existencia de energético sustituto gas natural que se muestra

$$\begin{aligned} \text{Demanda máxima diversificada } DMd(c) \\ = 2,387 c^{-0.2} \text{ [kVA/cliente]} \end{aligned}$$

Ecuación 5

Y para efectos de selección de la potencia nominal del transformador aplica.

Número máximo de clientes asociados al transformador	D.M.d [C] [kVA/cliente]	Potencia nominal del transformador [kVA]
29	0,52	15
55	0,55	30
89	0,51	45
136	0,55	75
217	0,52	112,5
291	0,52	150
378	0,6	225
436	0,69	300
767	0,52	400

Tabla VI: Demanda máxima diversificada estrato 4 sin cargas comunes Codensa S.A. E.S.P.

EPM E.S.P. establece el criterio de demanda máxima diversificada tanto para el dimensionamiento de redes como para el dimensionamiento de transformadores de distribución. De manera general se describen lo más significativo en la tabla VII.

Número máximo de clientes asociados al transformador	EPM E.S.P. D.M.d [C] [kVA/cliente]	Potencia nominal del transformador [kVA]
12	2,57	15
27	1,86	30
41	1,33	45

Tabla VII: Demanda máxima diversificada estrato 4 sin cargas comunes EPM E.S.P.

Para diseño de redes de baja tensión, la propuesta de los operadores de red Codensa S.A. E.S.P. y EPM E.S.P. como la formulada en el presente estudio, la cual consiste en proponer el número máximo de clientes en función de la potencia nominal del transformador se muestran en la figura 5.

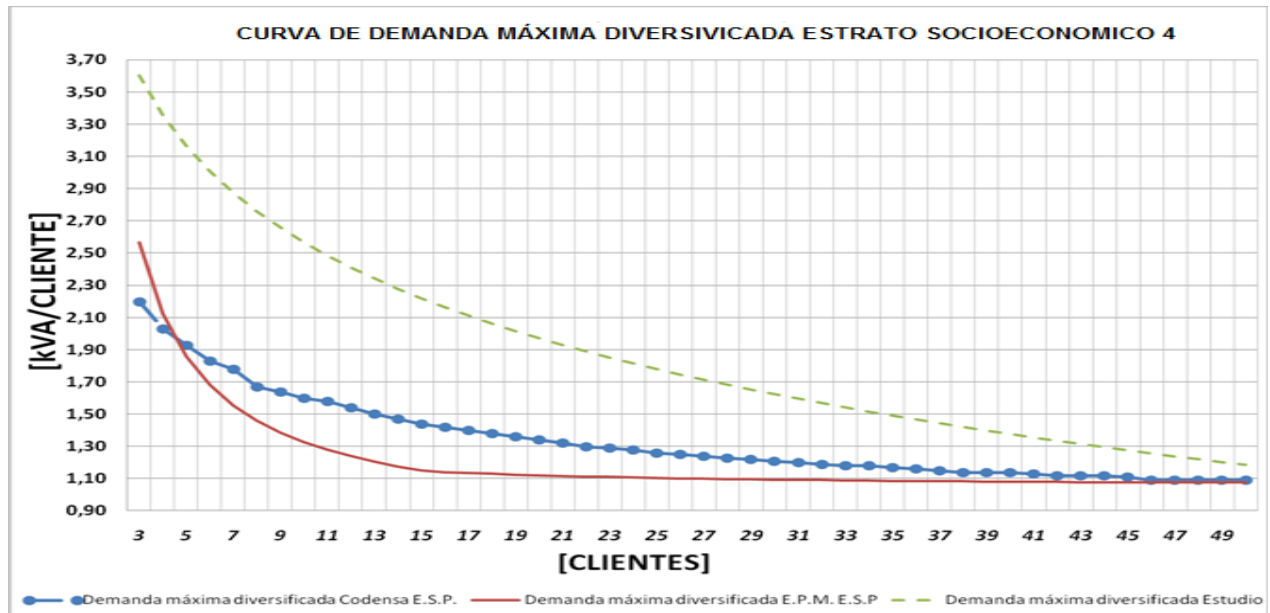


Figura5: Demanda máxima diversificada.

La curva de demanda máxima diversificada propuesta por el presente estudio, se muestra por encima de las curvas de demanda máxima diversificada de los operadores de red, lo cual indica que en el diseño de redes de baja tensión, se estaría realizando con demandas promedio por usuario inferiores.

Se puede presumir entonces que la red de baja tensión, presentaría condiciones de sobrecarga en hora pico.

4.3.1. Selección de potencia nominal de transformador

La normatividad empleada por cada uno de los operadores de red establece el número de usuarios máximos asociados a un transformador de distribución, las cuales refleja a través de tablas, y las cuales son comparadas con los resultados obtenidos por el estudio. Figura 6.

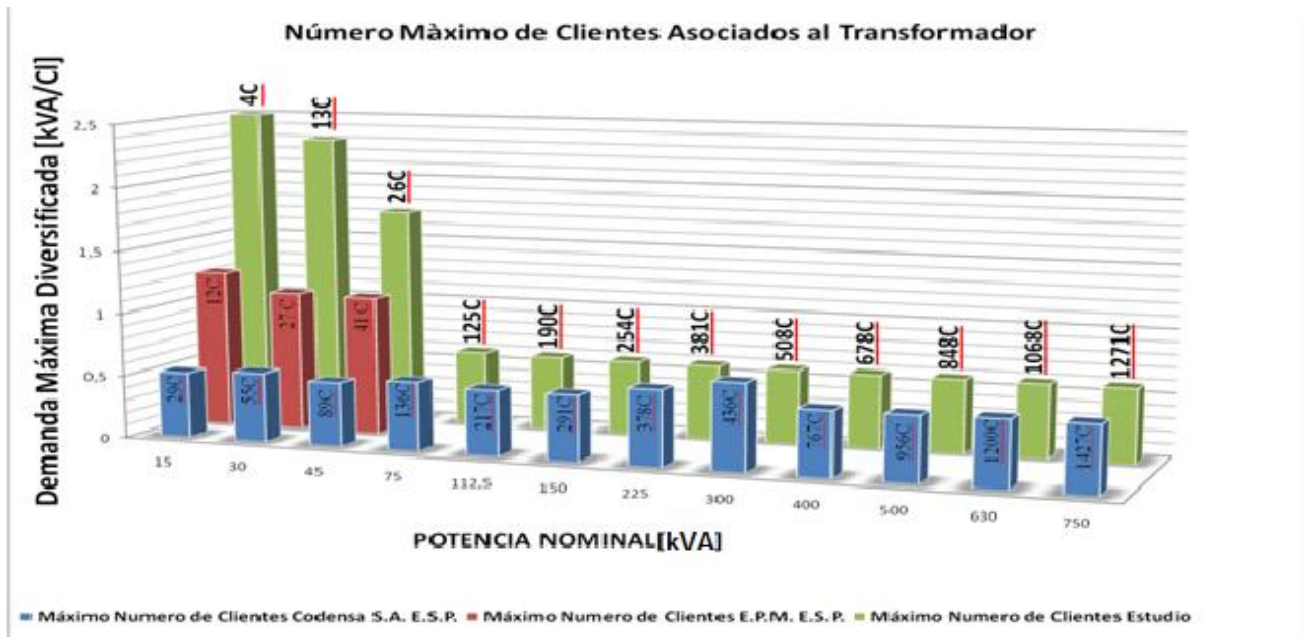


Figura6: Clientes máximos por transformador de distribución.

Se observó que existe una notable diferencia en el número máximo de clientes asociados a la potencia nominal del transformador, para un transformador de 15 [kVA] Codensa S.A. E.S.P asigna 29 clientes, EPM E.S.P. le asigna 12 clientes, y el estudio determinó que este se carga al 100% con 4 clientes. Es de resaltar que las normas de demanda publicadas por el operador de red EPM S.A. E.S.P. se presentan datos solamente para potencias nominales, asociadas a un máximo de 50 clientes.

En los transformadores de entre 15 [kVA] y 225 [kVA] asignados por las tablas del operador de red Codensa S.A. E.S.P presentan una demanda máxima diversificada en promedio de 0,52 [kVA/cliente], Esto refleja que la estimación de la demanda máxima diversificada se realiza sin tener en cuenta la variación que esta presenta en función de la cantidad de clientes actuando en conjunto, lo que afecta directamente la variación de la cargabilidad del transformador. Al dimensionar un transformador en estas condiciones, este puede llegar a operar bajo condición de sobrecarga, disminuyendo así su vida útil además de afectar en la calidad del servicio a los clientes asociados a él.

La demanda diversificada más alta asignada por Codensa S.A. E.S.P es de 0,69 [kVA/cliente] la cual se tiene para un transformador de 300 [kVA], el estudio determinó para un transformador de esta potencia nominal, que la demanda diversificada corresponde a 0,59 [kVA/cliente], en el cual no se presenta el caso de posible sobrecarga sobre el transformador de distribución.

En los transformadores de entre 400 [kVA] y 750 [kVA] asignados por la metodología del operador de red Codensa S.A. E.S.P presentan una demanda máxima diversificada constante de 0,52 [kVA/cliente], y al igual que en los anteriores persiste la posible condición de operación en sobrecarga.

En la norma empleada por el operador de red Empresas Publicas de Medellín EPM S.A. E.S.P. Se encuentra publicada la demanda diversificada hasta para 50 usuarios únicamente con lo cual se puede estimar con certeza los transformadores de 15 [kVA], 30 [kVA] y 45 [kVA].

Para un transformador de 15 [kVA] según el estudio la demanda máxima diversificada es de 3,75 [kVA/cliente], para un transformador de esta potencia nominal EPM S.A. E.S.P. estima que la demanda máxima diversificada es 1,25 [kVA/cliente], la norma data del año 2000, se sugiere una actualización. Para un transformador de 30 [kVA] la demanda diversificada que se presume según esta metodología, es de 1,11 [kVA/cliente], en este punto se sigue evidenciando la posible operación en sobrecarga

para el transformador de distribución comparándola con lo obtenido en el estudio que corresponde a 2,31 [kVA/cliente], presentándose así los mismos problemas de sobrecarga y menor vida útil. Para un transformador de 45 [kVA] la demanda estimada por el OR EPM S.A. E.S.P. es de 1,1 [kVA/cliente] en tanto el encontrado para este transformador es de 1,73 [kVA/cliente]

Para analizar de manera más detallada el estado de sobrecarga de los transformadores, se toman como ejemplos específicos el cálculo del transformador para cada uno de los conjuntos residenciales objeto de estudio utilizando la metodología planteada por el operador de red Codensa S.A. y lo enfrentamos contra la potencia aparente máxima calculada partiendo de la potencia activa máxima obtenida de los registros del analizador de red y de el factor de potencia representativo calculado para cada uno de los conjuntos.

CONJUNTO RESIDENCIAL RESERVA CAMPESTRE:

Cálculo de transformador:
Número de Usuarios: 86

Según criterios de diseño sugeridos por el operador de red Codensa S.A. (Figura 6) un transformador con capacidad para 45kVA sería el adecuado para este conjunto, ya que este supliría la demanda requerida por un máximo de 89 usuarios.

Según datos registrados por el analizador de calidad y proyectados al mes de más alta demanda de potencia que sería el mes de Diciembre, el pico obtenido sería de 48kVA dando así una sobre carga del transformador de un orden del 106.6%.

CONJUNTO RESIDENCIAL OLMOS DE LA COLINA:

Cálculo de transformador:
Número de Usuarios: 116

Según criterios de diseño sugeridos por el operador de red Codensa S.A. (Figura 6) un transformador con capacidad para 75kVA sería el adecuado para este conjunto, ya que este supliría la demanda requerida por un máximo de 136 usuarios.

Según datos registrados por el analizador de calidad y proyectados al mes de más alta demanda de potencia que sería el mes de Diciembre, el pico obtenido sería de 48.8kVA obteniendo un uso del 65% de la capacidad del transformador.

CONJUNTO RESIDENCIAL MAZUREN 04:

Cálculo de transformador:

Número de Usuarios: 100

Según criterios de diseño sugeridos por el operador de red Codensa S.A. (Figura 6) un transformador con capacidad para 75kVA sería el adecuado para este conjunto, ya que este supliría la demanda requerida por un máximo de 136 usuarios.

Según datos registrados por el analizador de calidad y proyectados al mes de más alta demanda de potencia que sería el mes de Diciembre, el pico obtenido sería de 60.35kVA obteniendo un uso del 80.4% de la capacidad del transformador.

5. Uso racional y eficiente de energía URE

El uso racional de energía actualmente se toma como una práctica voluntaria por parte del sector residencial, la desinformación, y la falta de asesoramiento, hacia los clientes residenciales crea un impedimento para una implementación adecuada que genere algún tipo de beneficio, la propiedades horizontales presentan la cualidad de agrupar clientes residenciales con características socioeconómicas similares, condición que puede ser beneficiosa al momento de establecer estrategias de uso racional y eficiente de energía.

5.1. URE en unidades habitacionales

El uso racional y eficiente de la energía debe entenderse como el aprovechamiento óptimo de los recursos energéticos, de modo que las estrategias propuestas no necesariamente están encaminadas en la renovación equipos con baja eficiencia o de inversiones por parte del cliente, el buen uso de la energía se encamina en generar una conciencia tendiente a mejorar el uso final de la energía eléctrica.

Debido a que el consumo de energía en una vivienda no es homogéneo ni constante, en las diferentes áreas de esta se requieren niveles diferentes de energía para suplir las necesidades de consumo habitual, las prácticas que contribuyen con el uso racional y eficiente de la energía para una vivienda de estrato socioeconómico cuatro se presentan en los informes anexos al presente artículo. En ellos se identifica los niveles de iluminación adecuados en las diferentes áreas de la vivienda como en el baño y en la sala con un nivel de iluminación de 300 (lx), en la habitación y cocina con 150 (lx) y en pasillos, cuarto de ropas con un nivel de iluminación de 100(lx) y así sugerir

recomendaciones para las cuales se contribuyan a una implementación adecuada de URE.

Uno de los aspectos más importantes de gran aporte dentro de una planeación de URE es en la iluminación, práctica que se debe realizar teniendo como premisa principal el nivel adecuado de iluminación, tipo de luz, tecnología aplicar, eficiencia, y porcentaje de ahorro que se ofrece. La principal fuente de iluminación artificial por parte de un usuario residencial de estrato socioeconómico cuatro se es de lámparas incandescentes, tecnología de baja eficiencia aproximadamente el 10% de la energía consumida por una lámpara incandescente es transformada en luz la energía restante se transforma en calor, razón por la cual se sugiere realizar un cambio de este tipo de bombillas por otro tipo de tecnología la cual ofrece una mayor eficiencia y un nivel adecuado de iluminación, además que el decreto 3450 de 2008 reglamenta la prohibición en la importación, distribución, comercialización y utilización de fuentes de iluminación de baja eficacia lumínica (10).

Se puede llegar a disminuir el consumo de energía por parte de la iluminación en un porcentaje considerable, en el caso de una lámpara incandescente de 100 [W] al reemplazarla por una lámpara fluorescente compacta de 23 [W], que emite la misma cantidad de luz, el porcentaje de ahorro es de 77 %, que equivale a 77 W que deja de consumir, además que estas ofrecen mayor vida útil y diferentes tonos de luz con el que se logra mejorar el confort del área iluminada, además duran, como mínimo, 6 veces más que una bombilla tradicional y su costo se recupera en menos de 1 año.

5.2. URE en Zonas comunes

Las propuestas para la implementación del uso racional de energía en zonas comunes en propiedades horizontales, dependen de su infraestructura, el año de puesta en marcha y mantenimiento en equipos asociados a servicios comunes. Los puntos principales del estudio se centraron en iluminación y diferentes tipos de motores, ya que estos caracterizan principalmente las demandas en zonas comunes.

Físicamente se realiza un seguimiento sobre la infraestructura de las propiedades horizontales de manera que se identificaron los puntos en los cuales se puede implementar técnicas de URE y así reducir y mejorar la eficiencia de estos equipos, la implementación propuesta para mejorar la eficiencia, requiere de una inversión inicial, como cada una de las zonas comunes presentan una infraestructura diferente, estas fueron analizadas separadamente aunque con la misma metodología. Inicialmente se evaluaron las condiciones de las redes de

distribución desde el tablero general de acometidas hasta los armarios de medidores, este seguimiento permitió realizar de manera precisa el diagnóstico de las redes de baja tensión y caracterizar las cargas asociadas a zonas comunes, verificando simultáneamente su estado y correcto funcionamiento.

En algunos motores (ver anexos) se optó por realizar mantenimientos correctivos inmediatos, ya que algunos de ellos se encuentran con un funcionamiento inadecuado. En otros casos sólo se opta por realizar un mantenimiento preventivo el cual se inspecciona el motor ya que si no se hace puede significar paradas no deseadas del equipo. Cualquier pieza en mal estado, ya sea por roturas, golpes de partes torneadas, roscas defectuosas, etc., preferiblemente se debe reemplazar evitándose recuperaciones. Daños mecánicos o eléctricos ocasionan directamente un incremento en el consumo de energía eléctrica, aumentando así los costos de operación del mismo.

Algunas de las estrategias de URE en motores se enfoca a su conexión ya que si se conecta el motor en estrella reduce la tensión en bobinas a un 58%; la implementación de arrancadores suaves ya que reducen el pico de intensidad en el arranque del motor

La iluminación perimetral se puede manejar realizando cambios masivos de bombillos, en conjunto con un mantenimiento de las luminarias, ya que en una de las propiedades horizontales se realiza la iluminación perimetral con lámparas de vapor de mercurio que en comparación con las de vapor de sodio presentan una eficiencia baja, siendo así una inversión adecuada de rápida recuperación, si se sustituye una lámpara de 125[W], de vapor de mercurio con un flujo luminoso de 6250 [lm] que provee una eficiencia luminosa de 50 [lm/W] por una de 70[W] de vapor de sodio a alta presión con un flujo luminoso de 6650 [lm] y que provee una eficiencia luminosa de 95 [lm/W], teniendo 400 [lm] más que el de vapor de mercurio se logra un ahorro de 203 [kWh/ año].

Los pasillos, escaleras y ascensores son áreas de circulación, por tanto debe mantenerse una buena iluminación y un buen control para obtener un eficiente ahorro de energía.

En el caso de las escaleras, es necesario iluminar bien los escalones y los puntos potencialmente peligrosos para evitar posibles accidentes.

Debido a que estas áreas tienen que permanecer la mayor parte de tiempo iluminadas, utilizar lámparas fluorescentes tubulares es una buena opción, ya que

ayudan a ahorrar energía. Además, en los últimos años, con el desarrollo de la iluminación con leds, se ha evidenciado que iluminar los ascensores con esta tecnología proporciona un ahorro energético del 45%. No debemos, sin embargo, olvidar que ésta es todavía una tecnología en desarrollo. Para estas áreas el nivel de iluminación debe ser de 100 luxes.

Evitar dejar lámpara quemadas o desconectadas intencionalmente, pero unidas al balasto, ya que así sigue consumiendo energía eléctrica, del orden del 20% de la potencia de la lámpara. Por otra parte, si un balasto está conectado a dos lámparas y una de ellas fue desconectada, la lámpara en funcionamiento reducirá su vida útil.

6. Resultados obtenidos Uso racional de energía

De primera mano los resultados obtenidos por las estrategias propuestas se ven reflejados en el tiempo, estos dependen principalmente del porcentaje de ahorro que se desea obtener, y el costo de la inversión inicial. Actualmente lo que se realizó es presumir el impacto y los resultados que se pueden obtener con base en las diferentes propuestas con el objetivo de ilustrar a la propiedad horizontal acerca de la inversión inicial, y el beneficio brindado. Cada uno de las propuestas se basa estrictamente en los diagnósticos realizados en las tres propiedades horizontales, (ver anexos, Numeral 4. Uso Racional de Energía en propiedad horizontal).

Dando un claro ejemplo con la sustitución de una bombilla incandescente común de 100 [W] por una fluorescente compacta de 23 [W] que emite la misma cantidad de luz podemos observar en la tabla VIII la comparación de la inversión y su costo de energía.

ARTEFACTO O EQUIPO	POTENCIA	Vida útil	POTENCIA	Costo inicial del producto	Costo energía hora
	WATT	Horas	kW		
Lámpara Incandescente	100	1000	0,1	\$ 1.500	\$ 35,59
Lámpara fluorescente	23	6000	0,023	\$ 7.710	\$ 8,18

Tabla VIII: Comparación lámpara incandescente y lámpara Fluorescente Compacta³

El costo unitario de la energía es de 355,9553 [\$/ kWh]⁴

³ Cotización creada el 2010-07-26 18:17:07.877
 ILUMEC sistema@ilumec.com
 2010 precios minoritarios

El costo de la energía consumida por cada uno de los Bombillos está dada por

$$P * T * Costo$$

$P = Potencia (kW)$

$T = Tiempo (horas)$

$$Costo = Costo\ unitario\ de\ la\ energia \left(\frac{\$}{kWh} \right)$$

De la tabla se observa que el Costo de una Lámpara fluorescente compacta supera en \$6.210 el costo de la lámpara incandescente, un equivalente al 514%; si comparamos el costo que representa tener encendida durante 1 hora una lámpara incandescente y una lámpara fluorescente compacta, esta última nos representaría un ahorro de \$27.41, que equivale al 335%.

Para calcular la recuperación de la inversión hecha al sustituir una lámpara incandescente por una fluorescente es necesario dividir la diferencia entre el costo inicial del producto y el ahorro que nos representaría dicha sustitución.

Diferencia de costo inicial del producto (DCI) = 6.210 [\$]

Ahorro en 1 hora de consumo (AE) = 27,41 [\$/hora]

Recuperación de la inversión

$$\frac{DCI}{AE} [Horas] = 226,559 [horas]$$

Ecuación 6

Hecha la sustitución, después de 226,55 horas de consumo de energía se habrá recuperado la inversión hecha al adquirir la lámpara fluorescente y a partir de ese momento y hasta que caduque la vida útil de la lámpara fluorescente que es aproximadamente 6000 horas se reflejará un ahorro de \$27.41 por cada hora, lo que equivaldría a \$158.250 sumado a que para ese entonces ya habríamos sustituido 5 veces la lámpara incandescente aumentando de esta manera el ahorro en \$7.500.

Cabe resaltar que los ciclos de encendido y apagado de las bombillas fluorescentes compactas afectan la duración de su vida útil, de manera que las bombillas sometidas a frecuentes encendidos pueden envejecer antes de lo que marca su duración teórica, reduciendo por tanto el ahorro económico y energético. Esto es aplicable en lugares de uso puntual, como pasillos. Deben evitarse también que las bombillas fluorescentes compactas sean utilizadas en luminarias muy cerradas, pues las altas temperaturas también reducen su vida útil.

⁴ Precio de la energía correspondiente al mes de Noviembre de 2010

Ahorro en 6000 horas de consumo de energía = \$158.250

Ahorro en sustitución de lámparas = \$7.500

Lo anterior nos indica que si sustituimos una lámpara incandescente por una lámpara fluorescente compacta, para cuando se haya cumplido la vida útil de la lámpara fluorescente compacta, se habrán dejado de pagar \$165.750 por consumo de energía y sustitución de productos, lo cual es equivalente al consumo de 2 meses 15 días, y 12 horas de energía eléctrica promedio de un usuario residencial en estrato socioeconómico 4 que esquivale a 185[kWh/mes].

En los usuarios residenciales se puede generalizar el mismo resultado final, ya que las condiciones socioeconómicas que presentan son similares para cualquiera de estos.

- Si un usuario promedio distribuye sus labores cotidianas a diferentes horas del día se logrará reducir los picos de demanda máxima en el sector residencial
- El mantenimiento en equipos electromecánicos residenciales, garantiza una operación eficiente de los mismos, equipos como neveras, lavadoras, secadoras, aspiradoras, deben tener un mantenimiento periódico
- En la parte de iluminación se encontró que se puede lograr una reducción de 75% tan solo reemplazando una lámpara incandescente por una de tipo fluorescente compacta, la cual brinda las mismas características de flujo luminoso
- Los equipos electrónicos operando en modo de espera, deben ser desenergizados ya que estos en este modo operan con un consumo entre el 10% y 20% que en funcionamiento normal.

En la tabla IX se observa la potencia y el consumo de energía de diferentes aparatos electrónicos funcionando en modo espera (Stand by) (11).

EQUIPO	CONSUMO MODO STAND BY (W)	DURACION DE CONSUMO EN EL DIA EN HORAS (hora)	ENERGÍA CONSUMIDA DIARIA (Wh)
Estabilizadores de tensión	15,7	24	376,8
DVD	15	23	345
Horno	14,5	23	333,5
Decodificadores	11	21	231
Teléfonos inalámbricos	8,7	24	208,8
Monitor	6,9	20	138
TV	10	12	120
Contestador	4,6	24	110,4
Cargador de baterías	5,1	6	30,6

Tabla IX: Consumo de diferentes equipos eléctricos funcionando en modo espera (Stand by)

Supongamos un televisor que en funcionamiento consume unos 100 W de potencia, lo que quiere decir que requiere 100 W cada hora. Una vez apagado permanece a la espera o en modo Stand by, por lo que su consumo no cesa sino que disminuye a 10 W. Si el televisor funciona durante cuatro horas al día, el gasto asciende a 400 W, pero el consumo total del mismo será de 600 W por día si se añaden los 200 W que precisa a lo largo de las 20 horas en que permanece apagado. Es decir, el 33% del total podría ahorrarse si el aparato fuera desconectado de la corriente.

A partir de la socialización de los resultados en las diferentes propiedades horizontales se busca que se adopten iniciativas y se cree una conciencia de uso racional de energía, que traiga consigo un mejoramiento en el nivel de vida, como también en costos de facturación de energía eléctrica, factor que hace más fácil las labores de implementación de estrategias URE, ya que es el primer indicador en el cual los clientes confirman que es útil realizar este tipo de prácticas.

Cabe resaltar que en la implementación de sensores de movimiento en los parqueaderos del conjunto residencial Reserva Campestre obtenemos un ahorro de energía considerable ya que las 9 lámparas fluorescentes tubulares de 40W cada una, permanecen encendidas las 24 horas del día con un consumo de 518,4 [kWh/mes] que equivale a \$184.527, al implementar la utilización de sensores de movimiento reducimos el encendido de las lámparas en una 50% ya que estas tendrán un uso promedio del 12 horas y se reduce a la mitad el consumo de energía al mes.

En el conjunto residencial Mazuren 04 implementan en su iluminación perimetral lámparas de mercurio de 125 [W] y se pretende remplazarla por lámparas de 70 [W] de vapor de sodio a alta presión ya que con esta se logra reducir el consumo de energía en un 56%.

Si una bombilla de mercurio consume 90 [kWh/mes] que equivale a pagar \$32.035, al sustituirla por una bombilla de sodio a alta presión de 70[W] que consumiría 50,4 [kWh/mes] dejaríamos de pagar \$14.095 por consumo de cada una de las bombillas, sustituyendo las 27 que se encuentran instaladas se deja de pagar \$380.565 al mes.

7. Conclusiones.

La demanda de potencia se debe caracterizar, para días hábiles y días no hábiles, ya que depende directamente de las labores cotidianas realizadas por las personas y en días no hábiles el comportamiento es totalmente atípico.

La demanda máxima se produjo en horas de la noche, revelando que la mayor parte de las actividades que requieren de energía eléctrica en el sector residencial se hacen en este periodo, por lo que se obtienen datos como: Mientras en el Conjunto Residencial Olmos de la Colina hubo un pico de 41,5 kW producido a las 20:00 horas de un día no hábil, en el Conjunto Residencial Mazuren 04 el pico fue de 51,3kW ocurrido a las 19:00 horas en los días hábiles. Por último en el Conjunto Residencial Reserva Campestre el pico fue de 40,8 kW y ocurrió a las 19:30 horas en los días hábiles.

La demanda máxima de potencia en zonas comunes se produce en su gran mayoría en horas de la mañana debido al encendido de las bombas de agua a presión y en horas de la noche se produce un consumo constante por la iluminación perimetral. El resultado obtenido en el Conjunto Residencial Mazuren 04 da como resultado un pico de 26,2 kW el cual se produjo a las 9:00 horas del día. En el Conjunto Residencial Reserva Campestre el pico de 11,3 kW se produjo a las 6:00 horas del día. En cambio en el Conjunto Residencial Olmos de la Colina el pico de 13,3 kW ocurre a las 18:00 horas del día.

La demanda máxima diversificada para un estrato socioeconómico cuatro con el servicio de gas natural domiciliario usada como insumo para dimensionamiento de transformadores, muestra que actualmente un transformador de distribución asignado según la tabla suministrada por el operador de red Codensa S.A. E.S.P. o EPM S.A. E.S.P. se encuentra operando en condiciones de sobrecarga, razón por la cual se hace necesario una revisión o ajuste específicamente a este tipo de normatividad.

Debido a la falta de conocimiento técnico por parte de los clientes residenciales, estos optan por no realizar prácticas de uso racional y eficiente de energía, haciendo necesario la creación de ayudas didácticas que ilustren de manera breve y concisa los beneficios que conlleva el aprovechamiento en el uso final de la energía eléctrica.

Las zonas comunes de propiedades horizontales facilitan la implementación de estrategias URE ya que la implementación de estas depende de gestiones administrativas, las cuales con la adecuada información y asesoría se pueden lograr su ejecución.

Con la totalidad de los datos registrados por el analizador de calidad eléctrica, es posible realizar un análisis de calidad de energía para estrato socioeconómico cuatro, con la cual se pueda describir la calidad del servicio de energía eléctrica para usuarios residenciales, sin realizar nuevamente las labores de campo.

La aplicación de implantación de nuevas tecnologías, permite la detección oportuna de mejoras y permite introducir cambios positivos a los sistemas eléctricos, manteniendo la calidad de servicio.

La sustitución de las luminarias de vapor de mercurio por luminarias de vapor de sodio de alta presión en la iluminación perimetral, ofrece una mayor eficiencia, durabilidad y confiabilidad; minimizando los costos operativos y de mantenimiento del sistema de Alumbrado y permitiendo un alto nivel de iluminación en los sectores residenciales, mejorando la percepción de los usuarios sobre la calidad de servicio y la seguridad pública de su comunidad.

El factor de potencia representativo fue de 0,89 para el estrato socioeconómico 4, ya que fue el que tuvo mayor representación en los tres Conjuntos Residenciales donde se hizo en análisis.

Al utilizar una bombilla fluorescente compacta es conveniente instalarlas en los puntos de iluminación del hogar con mayor número de horas de encendido al año. Se Ahorra más y la bombilla de bajo consumo duran más, se aconsejable ponerlas en aquellas habitaciones de uso más continuo. El encendido y apagado frecuente de las bombillas fluorescentes compactas reduce su vida útil.

Elige la tonalidad de luz de la bombilla de bajo consumo de acuerdo a tus necesidades y gustos. Existe una amplia variedad de gamas.

Cuando termina su vida útil, deben ser recicladas. Se sugiere entregar en su tienda habitual o deposítalas en un punto limpio (12).

8. Referencias

1. **Resolución CREG 108.** *Por la cual se señalan criterios generales sobre protección de los derechos de los usuarios de los servicios públicos domiciliarios de energía eléctrica y gas combustible por red física.* Bogotá, D.C.; Colombia : Comisión Nacional de Energía y Gas, 1997.

2. **Pérez Santos, Alexandra Sashenka.** *Características de la carga. Notas de clase.* Bogotá : Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2005.

3. **Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios.** Sistema Único de Información de Servicios Públicos. *Energía Eléctrica.* [En línea] 01 de Junio de 2010. [Citado el: 01 de Junio de 2010.] <http://www.sui.gov.co>.

4. **Resolución 0355.** *Por la cual se modifica el consumo de subsistencia del servicio de energía eléctrica.* Bogotá, D.C. : Unidad de Planeación Minero Energética, 2004.

5. **Ley 142.** *Por la cual se establece el Régimen de los Servicios Públicos Domiciliarios y se dictan otras disposiciones.* Bogotá, D.C. : Ministerio de Minas y Energía , 1994.

6. **Fluke Ibérica, S.L.** Fluke Ibérica. *Fluke Ibérica.* [En línea] 2006. [Citado el: 18 de Enero de 2010.] www.fluke.es.

7. **Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, ICONTEC.** *Código eléctrico colombiano – NTC 2050 Primera Actualización, sección 220-37.* Bogotá, D.C. : Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, ICONTEC, 2002.

8. **Departamento Normas Técnicas CODENSA S.A. E.S.P.** *Carga Máxima para el sector Residencial.* Bogotá, D.C. : CODENSA S.A. E.S.P., 2010.

9. **Empresas Públicas de Medellín EPM E.S.P.** *Zonas de demanda.* Medellín : Empresas Públicas de Medellín EPM S.A. E.S.P., 2000.

10. **Decreto 3450.** *Por el cual se dictan medidas tendientes al uso racional y eficiente de la energía.* Bogotá, D.C. : Ministerio de Minas y Energía , 2008.

11. **Aparatos Electrónicos.** *Consumo de energía “Standby”.* INTI - *Electrónica e Informática* 2008.

12. **Resolución 1511.** *Por el cual se establecen los sistemas de recolección selectiva y gestión ambiental de residuos de bombillas.* Bogotá, D.C. : Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

ANEXO NÚMERO 1

MANEJO DE DATOS PARA CALCULAR LA DEMANDA MÁXIMA DIVERSIFICADA

