



**REPÚBLICA DE CUBA  
MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO  
FACULTAD METALURGIA Y ELECTROMECAÁNICA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA ELÉCTRICA**

***TESIS EN OPCIÓN AL TÍTULO DE INGENIERO ELÉCTRICO***

***Estudio del consumo energía eléctrica en edificios  
multifamiliares: caso de estudio edificio 6E de Moa.***

***AUTOR: Juan Carlos Reyes Arrues***

***TUTOR: MSc. Reineris Montero Laurencio***

**MOA - 2012**

## **Declaración de Autoridad**

En decisión conjunta, el autor Juan Carlos Reyes Arrues y el tutor MSc. Reineris Montero Laurencio, certificamos nuestra propiedad intelectual en este Trabajo de Diploma con título “Estudio del consumo energía eléctrica en edificios multifamiliares: caso de estudio edificio 6E de Moa”. El Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa podrá hacer uso del mismo para fines docentes y educativos.

---

Juan Carlos Reyes Arrues  
Autor

---

MSc. Reineris Montero Laurencio  
Tutor

## **Pensamientos**

**"Invertir en conocimientos produce siempre los mejores beneficios".**

**Benjamín Franklin.**

**"Hay una fuerza motriz más poderosa que  
el vapor, la electricidad y la energía atómica:**

**La voluntad."**

**Albert Einstein.**

## **Dedicatoria**

Este trabajo que va a definir el curso de mi vida se lo dedico a las personas que han consagrado muchos años para instruirme, guiarme, y darme todo el amor que se le puede dar a un hijo, A mis padres, Juan Reyes Aguirre y Zoraida Arrues Fuentes y a mis hijos por su cariño incondicional.

Además de mi hermana Dorquis Reyes Arrues, al resto de mi familia y amigos, por su ayuda bajo cualquier circunstancia.

## **Agradecimientos**

Agradezco infinitamente a todas las personas que de una forma u otra, me apoyaron y que con su ayuda fue posible la culminación de este trabajo de diploma. Dentro de ellas:

- A mi tutor M.Sc. Reineris Montero Laurencio por su infinita colaboración y su gran experiencia puesta en función de este trabajo, por tantas horas de dedicación y por su empeño.
- A mi madre y mi padre por guiarme siempre por el buen camino y darme aliento para llegar hasta aquí.
- A mis amigos y compañeros de estudio por la ayuda, armonía y coherencia en las relaciones de equipo.
- Agradezco especialmente a mis familiares y amigos por su fe, amor, confianza, y apoyo brindado durante estos años de estudiante.

## **Resumen**

En el presente trabajo se toma como referencia un edificio multifamiliar de 24 apartamentos para demostrar el comportamiento de las principales variables eléctricas presentes en los circuitos secundarios de distribución residenciales. A partir de las mediciones eléctricas realizadas con un analizador de redes de alta precisión, es posible también, realizar el análisis de los fenómenos vinculados con la calidad de la energía eléctrica. Se resaltan los comportamientos de la demanda, los desequilibrios entre las fases y sus consecuencias en las corrientes del neutro, además de los niveles de Distorsión Total Armónica de corriente con niveles preocupantes. A partir de la aplicación de una encuesta, es posible evaluar aspectos relacionados con la cultura energética de los consumidores, así como las relaciones entre variables socioeconómicas y el consumo de energía eléctrica. Se identifica el modelo matemático que caracteriza de forma porcentual, la cantidad de cliente por niveles de la facturación en un conjunto de rutas con la presencia de edificios multifamiliares. Mediante la asociación de los consumos promedios mensuales a diferentes transformadores se determina los modelos de regresión lineal con respecto a cantidad de clientes, también es posible relacionar la cantidad de clientes con los ingresos que se reportan del servicio eléctrico. Estos modelos facilitan los análisis econométricos. Se evalúan las pérdidas presentes por desequilibrio entre las fases y las pérdidas por transformación indicándose el bajo coeficiente de carga.

## **ABSTRACT**

In the current work paper, a multifamily building of 24 apartments is taken as reference in order to show the behavior of the main electrical variables present in the secondary circuits of the residential distribution. From the electricity measurements taken with a high precision grid analyzer, it is also possible to carry out the analysis of phenomena related to the electric power. Behaviors in the demands stand out as well as the imbalance between phases and their consequences in the neutral current, and also the Total Harmonic Distortion levels of the current are a concern. From surveys carried out, it is possible to assess the aspects related to the energy culture of the consumers, as well as the relations between socioeconomical variables and the electric power consumption. The mathematical model characterizing, in percentage, the number of customers by invoice levels is identified in several directions, gathering multifamily buildings. By associating the monthly average consumes to different transformers, the linear regression is determined in accordance with the number of customers, it is also possible to relate the number of customers with incomes reported in the electric service. Losses present by imbalance between phases are assessed as well as the losses by transformation indicating the load low coefficient.

## INDICE

Introducción.....	1
CAPÍTULO 1 Aspectos generales del consumo de energía en el sector residencial. ....	- 5 -
1.1 Consumo de energía en el sector residencial en Cuba.....	- 5 -
1.2 Comportamiento energético en edificaciones y variables socioeconómicas vinculadas al consumo de energía en el sector residencial .....	- 9 -
1.3 Características técnicas de la explotación de los circuitos secundarios de distribución .....	- 17 -
CAPITULO 2. COMPORTAMIENTO DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL EDIFICIO.....	- 19 -
2.1 Caracterización del edificio caso de estudio.....	- 19 -
2.2 Consumo de energía eléctrica característicos.....	- 20 -
2.3 Resultados y análisis de las mediciones de las variables eléctricas en el transformador de alimentación.....	- 23 -
2.3.1. Calidad de la energía eléctrica.....	- 28 -
2.4 Pérdidas por transformación .....	- 33 -
2.5 Pérdidas por desequilibrio .....	- 35 -
CAPÍTULO 3. ESTUDIO SOCIOECONÓMICO DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EDIFICIOS MULTIFAMILIARES Y EN EL CASO DE ESTUDIO .....	37
3.1 Caracterización social del edificio caso de estudio .....	37
3.2 Estado técnico del equipamiento electrodoméstico.....	39
3.3 Aspectos de la cultura energética. ....	40
3.4 Interrelación de las variables sociales con el consumo de energía eléctrica en el edificio.....	41
3.5 Interrelación entre los consumos de energía eléctrica de edificios multifamiliares asociados a transformadores de distribución secundaria.....	44
3.6 Generalidades del consumo de energía eléctrica en edificios multifamiliares mediante la estructuración y modelación de la facturación eléctrica. ....	48
Conclusiones.....	50
Recomendaciones.....	51
Bibliografía .....	52
Anexos.....	53

## **Introducción**

En Cuba, el desarrollo energético ha sido un objetivo estratégico de la Revolución dirigido a lograr el crecimiento económico, la calidad de vida de la población y la protección del medio ambiente. En esta dirección, diferentes planes energéticos han sido implementados durante los últimos 50 años, divididos en tres periodos, el primero comenzando en 1959 y finalizando con la caída de la Unión Soviética en 1991, produciéndose las mayores inversiones en infraestructura de generación de energía y altos niveles de consumo de portadores energéticos, soportado por el combustible y productos importados de la antigua Unión Soviética.

Durante el segundo periodo, entre los años 1992 y el 2003, fue implementado el programa para el desarrollo de las fuentes nacionales de energía con el objetivo de reducir las importaciones de combustibles y obtener el máximo beneficio de los recursos energéticos nacionales (NESDP, 1993); en éste periodo, se alcanza un crecimiento en la producción nacional de combustible logrando un incremento del 7 % por año, la introducción y uso del combustible nacional en siete plantas termoeléctricas, lo cual permitió alcanzar un nivel de generación de electricidad de más de 15,000 GWh por año; desafortunadamente, el alto contenido de azufre de este combustible fue dañando severamente la infraestructura de generación.

La Revolución energética en el 2006 cambió la forma en la que el país transforma y usa las tecnologías y las fuentes de energía. Actualmente, el sector es significativamente más estable que durante la crisis energética, pero la alta dependencia de la energía importada continua limitando el desarrollo de la economía nacional debido a los altos precios de los combustibles, y una infraestructura industrial poco eficiente, con más de 20 años de obsolescencia; por otro lado, el mercado y el soporte financiero del sector energético cubano depende fuertemente de la Alternativa Bolivariana para las Américas (ALBA), si este soporte es reducido o finaliza, el país podría caer nuevamente en una crisis energética.

Hoy en día, Cuba enfrenta varios desafíos, pudiéndose señalar la necesidad de incrementar la producción de energía a partir de sus recursos naturales, reducir la dependencia de la energía importada, introducir las fuentes renovables y proteger el medio ambiente, lo cual contribuirá considerablemente a su desarrollo económico y social sostenible.

El municipio de Moa por la actividad minera y metalúrgica que se desarrolla, constituye uno de los que más energía consume en Cuba. Este elemento se refleja en sus dos plantas productoras de Níquel que ocupan el primer y tercer lugar dentro de las 1000 empresas más consumidoras. A pesar de esta situación el sector residencial tiene su porcentaje de incidencia en el balance nacional de energía y en términos generales este sector ha incrementado su consumo independientemente de la política tarifaria y las mejoras técnicas implementadas.

Una gran parte de los clientes residenciales en la localidad de Moa viven en edificios multifamiliares. La composición de las redes internas en los edificios tiene características específicas que los diferencian de los clientes que viven en barrios residenciales en los que las acometidas llegan a cada casa de forma individual a través de largas redes. El deterioro de las infraestructuras constructivas de los edificios trae aparejada el deterioro de las redes eléctricas. Como consecuencia de las filtraciones y demás aspectos que deterioran las redes, incrementándose las pérdidas.

Ante estas situaciones se hace necesario un estudio particular del comportamiento de las variables eléctricas en los circuitos de distribución secundarios, evaluando los efectos en el transformador. También se puede definir las características de la demanda y los fenómenos de de calidad de la energía a los cuales puede estar sujeto el alto índice de roturas de los transformadores de distribución a nivel nacional. Por lo tanto se debe elementos como el factor de simultaneidad, el equilibrio de las redes y las pérdidas de energía a partir del incremento de cargas significativas como son los equipos de cocción de alimentos.

**Problema:**

Insuficiente conocimiento de los regímenes de explotación de los Circuitos Eléctricos Urbanos de Distribución Secundarios compuestos por edificios multifamiliares.

**Hipótesis**

Si se estudia los fenómenos inherentes al consumo de energía eléctrica en edificios multifamiliares mediante un caso de estudio, se podría tener una mayor precisión de los regímenes de explotación de estos circuitos eléctricos.

**Objetivo General**

Realizar un estudio integral de los regimenes de explotación de un Circuito Eléctrico de Distribución Secundario compuesto por un edificio multifamiliar.

**Objetivos Específicos**

- Realizar un levantamiento de la información comercial y de operación de los circuitos eléctricos urbanos de Distribución Secundaria en Moa cuya composición fundamental sea edificios multifamiliares.
- Estudiar en detalles los regimenes de operación de un edificio multifamiliar donde se pueda identificar las características más relevantes de las variables de potencia y de calidad de la energía.
- Interrelacionar las variables que definen el comportamiento del circuito caso de estudio y las variables socioeconómicas inherentes a la explotación de las cargas, mostrando además las respuestas colectivas al uso de la energía eléctrica en edificios multifamiliares.

**Objeto de estudio:**

Circuitos Eléctricos Urbanos de Distribución Secundarios compuestos por edificios multifamiliares.

**Campo de acción:**

Aspectos técnicos y socioeconómicos del consumo de energía eléctrica de una muestra de edificios multifamiliares en Moa.

## **Tareas de la investigación**

- Búsqueda y análisis de información relacionada con el objeto de estudio.
- Confección, aplicación y análisis de la encuesta para caracterizar aspectos técnicos y socioeconómicos vinculados con el consumo de electricidad en el edificio caso de estudio.
- Análisis de la base de dato comercial de los circuitos urbanos secundarios de Moa que cuentan con edificaciones multifamiliares.
- Modelación de la relación entre la cantidad de clientes y los niveles de consumo y las ventas.
- Simulación del circuito caso de estudio con un software especializado.
- Mediciones de campo para el estudio de las variables de potencia del circuito, haciendo énfasis en la demanda y en la energía.
- Estudio de la calidad de la energía eléctrica.
- Relacionar las variables socioeconómicas con las variables eléctricas.
- Confección del informe.

## **Métodos de Investigación**

- Métodos de investigación empíricos para contribuir a la descripción y caracterización del objeto de estudio y sus principales regularidades.
- Métodos de compilación de conocimientos mediante entrevistas, revisión de bibliografía y encuesta para la sistematización del conjunto de conocimientos y teorías relacionadas.
- Métodos de las matemáticas, específicamente los que se derivan del uso de los análisis de regresión que permiten relacionar las variables socioeconómicas con: el consumo de electricidad en los hogares analizados, con los niveles de consumo promedio en transformadores de distribución secundaria en edificios, así como rutas eléctricas con composición solo de edificios multifamiliares.



---

**CAPÍTULO 1. Aspectos generales del consumo de energía en el sector residencial.****1.1 Consumo de energía en el sector residencial en Cuba.**

El comportamiento de la demanda de energía en el sector residencial cubano está relacionado con un conjunto de factores que van desde restricciones en las entregas físicas de los llamado combustibles domésticos (en particular keroseno y gas licuado de petróleo), el incremento en la tenencia de equipamiento “moderno” por parte de los hogares y algunos procesos de sustitución que se han ido materializando sobre todo en los últimos año del período analizado, como es el caso de la gasificación (sustitución de queroseno por GLP y gas manufacturado), esto último en ciudad de La Habana.

Sin embargo, es de esperar importantes cambios en el comportamiento de la demanda energética del sector residencial, en la medida en que se complete el amplio proceso de sustitución de equipos del hogar, por el nuevo equipamiento de mayores prestaciones y que utiliza un portador energético más eficiente para el uso final (la electricidad) Por otra parte, es de esperar una respuesta mas dinámica de los precios de la energía en este sector con relación a la demanda de la misma, en la medida que la estructura del consumo de los hogares varíe a favor de la electricidad, donde a la vez ha ocurrido un cambio importante en la tarifa, con fuertes implicaciones en el incremento de los precios promedios reales.

Finalmente decir que el proceso de sustitución de la demanda de energéticos derivados del petróleo como la kerosina y el GLP, por electricidad tendrá un impacto notable en la población, por dos vías. La primera, el mejoramiento de las condiciones ambientales en los hogares, Particularmente en aquellos que cocinaban con kerosina, combustible tóxico y peligroso quede hecho implica una mejora en las condiciones de vida de la mujer ama de caso y trabajadoras, en las cuales recae la actividad de preparación de alimentos en el hogar cubano.

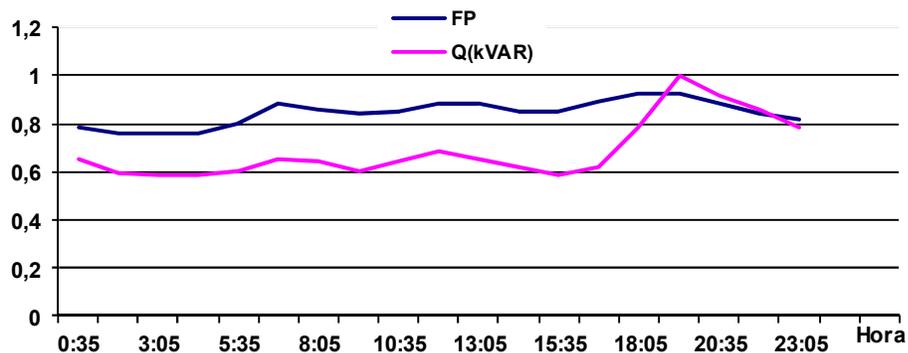


En Cuba, el consumo de energía ha permanecido estable en correspondencia con el modesto crecimiento del producto interno bruto (PIB), el cual ha alcanzado un crecimiento promedio del 5,5 % en la última década.

Los cambios realizados en las cargas eléctricas en el sector residencial han puesto el uso de la electricidad en un escenario distinto a cuando se utilizaba combustibles para la cocción de alimentos. Otro parámetro incidente ha sido la sustitución de equipos ineficientes por otros con mejores prestaciones energéticas.

Conocer el comportamiento en cada momento de las variables eléctricas permite a los usuarios y a las empresas distribuidoras tomar medidas efectivas a tiempo. Para un comportamiento horario es prácticamente obligatorio analizar mediciones en instalaciones ya existentes estudiando, además, la composición de los receptores asociados. Los gráficos de carga del sector residencial se caracterizan por una elevada demanda en las primeras horas de la noche cuando la mayor parte de la familia regresa al hogar y se intensifica el uso de los equipos electrodomésticos.

Es de destacar que en el horario pico, que coincide con el mayor uso de los equipos para la elaboración de los alimentos durante los días de semana la diferencia entre los gráficos no es apreciable. Sin embargo los fines de semana las curvas no tienen el mismo comportamiento y el consumo de energía se hace mayor.



**Fig. 1.1 Factor de Potencia y Potencia Reactiva del sector residencial.**

Debido a la alta proporción de los equipos resistivos en la carga total, es evidente esperar un alto factor de potencia durante el horario en que estos tienen la mayor probabilidad de operar, o sea durante el horario diurno. La Fig.1.1 muestra el factor de potencia y la demanda de potencia reactiva característica en el sector residencial. Obsérvese como el factor de potencia es alto a las horas de cocción de alimentos y más bajo durante los demás, y como el consumo de potencia reactiva aumenta con la iluminación.

La influencia de los receptores en la eficiencia del sistema eléctrico ha sido y es un tema de permanente atención. La búsqueda se dirige ahora principalmente a averiguar las influencias negativas provocadas por los armónicos que los receptores 'no lineales' hacen aparecer en la tensión de la red y a crear magnitudes adecuadas para la medida de estas perturbaciones.

El tema de la eficiencia de los equipos electrodomésticos es ampliamente tratado por la bibliografía[2], así como los consejos prácticos para su utilización racional, pero el estudio para la cuantificación de la eficiencia en diferentes condiciones de operación es muy poco abordado. Por otra parte se conoce que los nuevos equipos electrodomésticos son más eficientes que los tradicionalmente utilizados en el país, sin embargo es importante evaluarlos como sistema completo donde se relacione la energía llegada al uso final y la energía eléctrica consumida para diferentes condiciones de trabajo. En la tabla 1.1 aparecen los datos de algunos equipos altos consumidores del sector residencial.

Tabla 1.1 Especificaciones técnicas de los equipos.

<b>Equipo</b>	<b>Potencia(W)</b>	<b>Voltage(V)</b>
Hornilla HACEB	1100 (Alto)	120
	600 (Medio)	
	300 (Bajo)	
Calentador de Agua	1000	110
Olla de presión LIN 30 min	800	110
Olla arrocera OHO 1,5 lts	500	110
Horno microwave	1120	120



El consumo de energía eléctrica para la cocción de alimentos es muy variable de acuerdo a las condiciones concretas del lugar, del sistema de suministro y de las características de los alimentos. Es muy conocido por las amas de casa, que no todos los frijoles necesitan la misma cantidad de energía para su cocción. El objetivo de estas mediciones es esencialmente para tener una referencia sin que esto implique una cifra categórica.

La eficiencia durante la cocción se incrementa entre un 6 y un 7% cuando los recipientes se encuentran tapados y si las tapas son buenos aislantes térmicos, como el caso de la cazuela, jarro y sartén antiadherente con tapas de cristal, la diferencia llega a un 10 %.

Es conveniente profundizar en el efecto que tiene las variaciones de voltaje en la eficiencia, no solo en los equipos que tienen un comportamiento de impedancia constante, si no también en los receptores dinámicos.

El horno microwave no es una buena opción para calentar agua, llega a ser menos eficiente que una hornilla con un recipiente de fondo plano y con tapa, sin embargo para calentar arroz, por ejemplo, consume solo dos tercios de la energía que se consume en una hornilla con un recipiente tapado. Este es un tema que medita la pena continuar investigando.

### **Modelos de demanda para el sector residencial cubano.**

Las motivaciones para seleccionar el sector residencial en este estudio están dadas, en primer lugar, por la relevancia y dinamismo que ha presentado este sector en el consumo de electricidad, en particular en esta década recién finalizada. La dinámica de la demanda eléctrica del sector residencial escapa a los mecanismos tradicionales y nuevos aplicados a la planificación de este portador para el resto de los actores económicos.

Es a partir de la incidencia en los factores que explican la demanda de electricidad en este sector que se puede ejercer un “control” indirecto sobre la dinámica de su consumo, siendo esto, precisamente, el elemento básico que puede arrojar el trabajo de estimación del modelo de demanda de electricidad.



Por otra parte, y continuando con esta línea de pensamiento, si se compara el consumo de electricidad per cápita del país con otros países del área se puede notar que Cuba exhibe uno de los niveles más bajos de la región, no obstante presentar uno de los niveles de electrificación más elevados de América Latina y el Caribe. Tal situación hace suponer que, en un escenario económico expansivo o incluso “tendencial”, la tasa de crecimiento de la demanda eléctrica por parte de este sector será mayor que la del resto de la economía en su conjunto.

## **1.2 Comportamiento energético en edificaciones y variables socioeconómicas vinculadas al consumo de energía en el sector residencial**

El Sistema Electroenergético Nacional (SEN) en el 2008 le brindaba servicio a un total de 11.4 millones de habitantes. La electrificación abarca el 96% del país. Para esto, la Unión Eléctrica dispone de 14 Centrales Eléctricas principales, casi 7 mil kilómetros de Líneas de Transmisión de Alto Voltaje, más de 75 mil kilómetros de Líneas de Distribución, 131 Subestaciones de Alto Voltaje, 2 096 Subestaciones de Distribución y más de 120 000 transformadores de distribución.

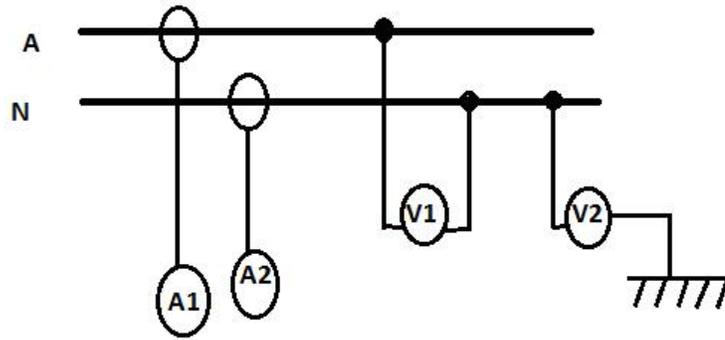
La mayor parte del sector residencial del municipio está constituido por edificaciones multifamiliares que la mayoría de estas tienen un periodo de envejecimiento en la actualidad, teniendo en cuenta que fueron construidas a finales de los años 70, principio de los años 80. los circuitos eléctricos de muchas de estas edificaciones constan de un nivel de deterioro que conllevan en muchos casos a pérdidas y mayor consumo de energía.

El sistema de alimentación de los edificios en el municipio es a través de transformadores monofásicos de una potencia que oscila entre los 25 kVA y 50 kVA.

El factor de potencia en estas residencias oscila entre 0.95 y 0.99 según datos de las mediciones realizadas en 5 edificios aledaños al edificio caso de estudio.

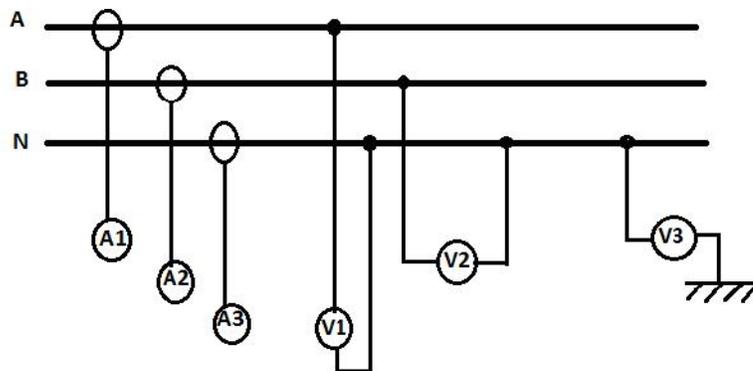
Para el reconocimiento eléctrico de los hogares se deben utilizar dos tipos de conexiones en dependencia del nivel de tensión que se alimente. Para el caso de los apartamentos

que utilizan voltaje de hasta 127 V se tiene que, el esquema de conexión a utilizar es el monofásico de 2 hilos (ver figura 1.2) y para el caso de las viviendas con niveles de tensión de 220 V, se debe emplear el esquema de medición para circuitos monofásicos de tres hilos (ver figura 1.3)



**Fig. 1.2 Método de medición en un circuito monofásico de 2 hilos.**

En ambos casos se puede optar por no utilizar las mediciones de las variables corriente y tensión en el neutro. No obstante se dejan de reconocer fenómenos inherentes a las funciones del neutro en los sistemas eléctricos. Además en el sector residencial se da el caso que con los años, el deterioro de las redes puede provocar contactos entre el neutro y las fases o tensiones al neutro fuera de norma.



**Fig. 1.3 Método de medición para un circuito monofásico de 3 hilos.**

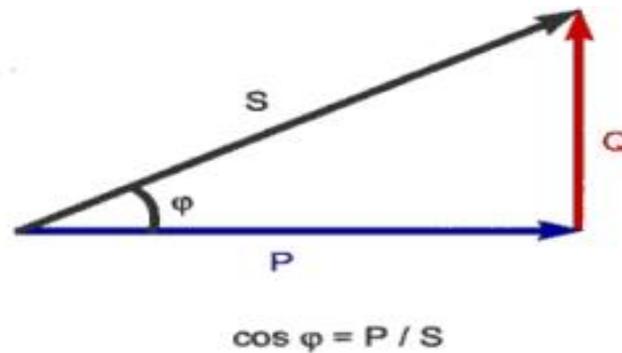


Una de las variables para conocer el grado de eficiencia con el cual está utilizando la energía eléctrica es el llamado factor de potencia. La corrección de este parámetro permite una mejor utilización de la electricidad.

Las cargas en su naturaleza eléctrica son de carácter reactivo, a causa de la presencia principalmente de equipos de refrigeración, motores, etc. Este carácter reactivo obliga que junto a la potencia activa (kW) exista una potencia llamada Reactiva (kVAr), las cuales en su conjunto determinen el comportamiento operacional de los equipos. Esta potencia reactiva ha sido tradicionalmente suministrada por las empresas de electricidad. Al ser suministrada por las empresas de electricidad deberá ser producida y transportada por las redes, ocasionando necesidades de inversión en capacidades mayores de los equipos y redes de transporte..

Indirectamente la potencia útil que se puede disponer en una instalación aumenta conforme se mejora el  $\cos \varphi$  de la instalación. La potencia instantánea de una instalación se compone de dos sumandos: la potencia oscilante a una frecuencia doble de la fundamental, y la potencia media ( $P_m = VI \cos \varphi$ ) que realmente nos determina la potencia útil o activa de la instalación y que es un valor constante.

La conexión de cargas inductivas en una instalación provoca el desfase entre la onda de intensidad y la tensión ( $\cos \varphi$ ). El ángulo  $\varphi$  mide este desfase e indica la relación entre la intensidad reactiva (inductiva) de una instalación y la intensidad activa de la misma. Esta misma relación se establece entre las potencias o energías activa y reactiva. El  $\cos \varphi$  indicará por tanto la relación entre la potencia activa y la potencia aparente de la instalación (los kVA que se pueden consumir como máximo en la misma). Por esta razón el  $\cos \varphi$  indicará el "rendimiento eléctrico" de una instalación (ver figura 1.4).



**Fig.1.4  $\cos \varphi$  como representación del rendimiento eléctrico en una instalación.**

Desequilibrios y pérdidas asociadas en instalaciones eléctricas residenciales.

La extracción de potencia de la red eléctrica por medio de un receptor monofásico puede multiplicar por seis la potencia perdida respecto a las menores pérdidas posibles. Las mínimas pérdidas se producen si la potencia se demanda por medio de un receptor trifásico equilibrado. La influencia de los receptores en la eficiencia del sistema eléctrico ha sido y es un tema de permanente atención. La búsqueda se dirige ahora principalmente a averiguar las influencias negativas provocadas por los armónicos que los receptores 'no lineales' hacen aparecer en la tensión de la red y a crear magnitudes adecuadas para la medida de estas perturbaciones. Sin embargo, siguen existiendo influencias negativas de las cargas "lineales" cuya disminución no sólo no se acomete, sino que, en algún caso, las soluciones adoptadas no consiguen el objetivo perseguido. El bajo factor de potencia de los receptores como causa del incremento de pérdidas de energía en la distribución es la única de las influencias perjudiciales que ha merecido un intento generalizado de control por las empresas de distribución de energía eléctrica y por las administraciones de los países desarrollados y subdesarrollados.

El procedimiento de bonificación o penalización, que es de total eficacia en distribución monofásica, puede resultar una forma de contribución al beneficio de la empresa de distribución de energía en cuanto a eficiencia en el correcto uso de la energía eléctrica.



## Pérdidas por Transformación.

En los sistemas de distribución existen dos variantes de distribución de energía mediante el empleo de los transformadores, en el primero de los casos en la entrada se emplea un transformador de potencia que recibe la energía del SEN y por el secundario del transformador se distribuye la energía a un nivel de tensión acorde con toda la carga presente en las instalaciones. En la segunda variante además de utilizar el transformador de potencia de entrada se utilizan otros transformadores de menor potencia que por lo general son transformadores secos los cuales adaptan los niveles de tensión a una distribución de las cargas totales del sistema, en este caso es donde se acentúan las pérdidas por distribución debidas a los bajos coeficientes de carga.

Los transformadores de distribución no deben trabajar en un coeficiente de carga superior al 70%, garantizando así las reservas de energía adecuadas para futuros cambios en los sistemas.



**Tabla 1.2.1 Fórmulas para calcular las pérdidas por transformación.**

Pasos	Entrada	Cálculo
1	$K$ coeficiente de carga $K \Delta P_0, \Delta P_C$ pérdidas en vacío y cortocircuito calculadas o seleccionas por tablas	Pérdidas en transformadores de distribución $\Delta P = \Delta P_0 + \Delta P_C K^2$
2	$\Delta P_{01}$ pérdidas en vacío para el transformador de menor capacidad $\Delta P_{C1}$ pérdidas en cortocircuito para el transformador de menor capacidad	Coefficiente de carga límite, del transformador menor $K_L = \sqrt{\frac{\Delta P_0 - \Delta P_{01} + \Delta P_C K^2}{\Delta P_{C1}}}$
3	$I_L$ corriente en la línea $V_L$ tensión en la línea	Entrega de potencia para el banco completo $S_C = \sqrt{3} I_L V_L$
4	$T$ y $t$ tiempo total de carga del banco y de pérdidas $S$ y $S_N$ potencia aparente de la carga total y nominal de un transformador	Pérdidas de energía para el banco de transformadores $\Delta E = 3\Delta P_0 + \frac{1}{3} \Delta P_{CC} \left( \frac{S}{S_N} \right)^2 t$

Para el cálculo de las pérdidas por transformación es importante tener en cuenta el régimen de trabajo del transformador así como determinados parámetros como las pérdidas en el hierro y en el cobre que están debidamente tabulados por el fabricante en los expedientes técnicos del equipamiento. Para la determinación de estas pérdidas se emplea la ecuación (1) aparece descrita a continuación.

$$PT = P_{fe} * T_3 + (KVAR / KVAn)^2 * PCU * T_1 \quad (1.1)$$



Donde:

$P_t \Rightarrow$  Pérdidas totales.

$P_{fe} \Rightarrow$  Pérdidas del Hierro (Anexo 2)

$P_{cu} \Rightarrow$  Pérdidas del Cobre (Anexo 2)

$T_1 \Rightarrow$  Tiempo de trabajo en 24 horas.

$T_3 \Rightarrow$  Tiempo energizado en 24 horas.

El coeficiente de carga no es más que la relación entre los kVA reales y los nominales.

Estas pérdidas pueden analizarse además de la siguiente forma:

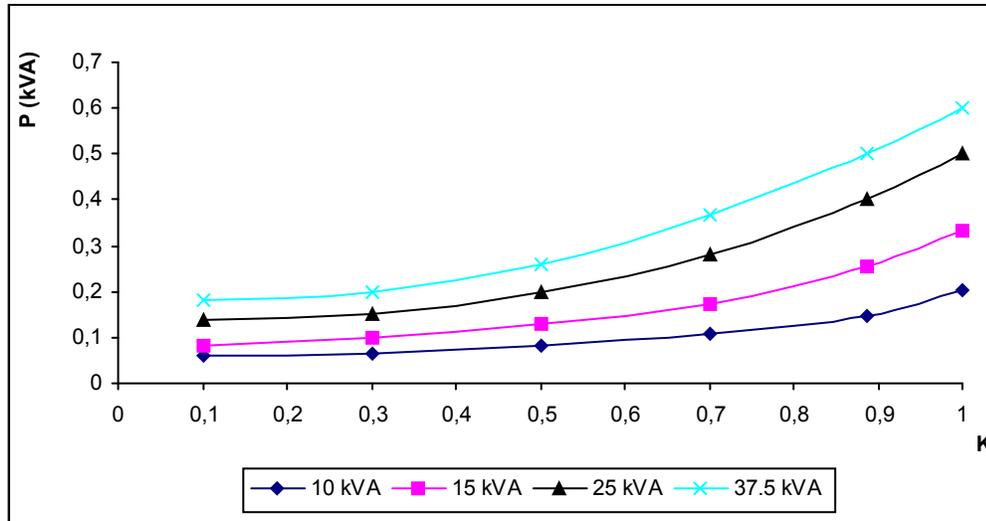
$$\Delta P = \Delta P_0 + \Delta P_c K^2 \quad (1.2)$$

Donde:

$K =$  coeficiente de carga

$\Delta P_0, \Delta P_c =$  pérdidas de vacío y cortocircuito, respectivamente.

Vale la pena indicar que estos datos se los encuentra en tablas ya que cada fabricante realiza una lista de las principales características referentes a pérdidas tanto en vacío como en cortocircuito, rendimiento, potencia, etc.



**Fig.1.5 Dependencia de las pérdidas en función de K**

En la figura 1.5 se plantea  $\Delta P$  Vs. K para transformadores de distribución. De estas curvas se observa (a modo de ejemplo) que para un transformador de 25 kVA de potencia nominal, trabajando con un coeficiente de carga igual a 0.2, puede ser sustituido, con el objetivo de disminuir las pérdidas y eliminar capacidad ociosa, por uno de 15 kVA siempre y cuando el nuevo coeficiente de carga sea menor de 0.52, siendo este último el coeficiente de carga límite. En esa misma línea, ese transformador de 25 kVA puede ser sustituido por otro de 10 kVA si el coeficiente de carga es menor de 0.70.

De esta forma el coeficiente de carga límite, por debajo del cual se puede sustituir un transformador de mayor capacidad por uno de menor potencia nominal, se podrá hallar a partir de igualar ambas expresiones de pérdidas de potencia, de donde:

$$K_L = \sqrt{\frac{\Delta P_0 - \Delta P_{01} + \Delta P_C K^2}{\Delta P_{C1}}}$$

Donde:

$\Delta P_0$ ,  $\Delta P_{01}$  = Pérdidas de vacío para transformador de mayor y menor capacidad, respectivamente.



$\Delta P_c, \Delta P_{c1}$  = Pérdidas de cortocircuito para el transformador de mayor y menor capacidad respectivamente.

K = Coeficiente de carga del transformador de mayor capacidad.

$K_L$  = Coeficiente de carga límite del transformador menor.

### **1.3 Características técnicas de la explotación de los circuitos secundarios de distribución.**

Los circuitos secundarios de distribución son alimentados por transformadores de entre 25 kVA y 50kVA en el caso de los edificios.

En estos circuitos secundarios de distribución se utiliza voltaje nominal fase- neutro para 120 V y fase- fase para 220 V. El tipo de conductor secundario puede ser aéreo o soterrado, también aéreo-soterrado.

En el caso del aéreo se utiliza:

- Aluminio con centro acerado (ACSR) de 35mm<sup>2</sup>.
- Aluminio con centro acerado (ACSR) de 70mm<sup>2</sup>.
- Aluminio con reforzamiento de acero (AAAC) de 39mm<sup>2</sup>.
- Aluminio con reforzamiento de acero (AAAC) de 78mm<sup>2</sup>.
- Aluminio con menos reforzamiento de acero (AAC) de 55mm<sup>2</sup>
- Aluminio con menos reforzamiento de acero (AAC) de 85mm<sup>2</sup>.

Para el caso de los circuitos secundarios soterrados se utiliza:

Conductor de cobre de 3/0 y 2/0 en el tronco de los circuitos.

Conductor de cobre de 1/0, 2 y 4 en los extremos del circuito.

Para los secundarios aéreos se utilizan postes de madera y de hormigón de 9.15m y 10.70m de longitud. Para aislar el conductor de la parte metálica se usa el aislante de patea de 600 V.

Como herraje se usan tornillos de máquina de 5/16 x 12, percha con pasador.

Como anclaje (cuando existe ángulo) se utilizan muertos, cables tensores, elementos preformados, guardacabos y aisladores de tensión o de corte.



Los circuitos soterrados son construidos con registros para distribuir en los distintos puntos de entrega (pasos de escaleras) y los gabinetes (en cada paso de escalera) donde se instala el metro contador de energía eléctrica y los breaker para la protección del mismo contra corto circuitos internos en la instalación del cliente.

Los empalmes entre conductores se realizan con grampas AMPACI, grampas UDC, también se utiliza el type de goma como aislante.

Para las instalaciones internas se utilizan conductores de calibre 8 o 10 desde el contador hasta el apartamento. Son utilizados además contadores chinos monofásicos de 110V y 220 V tipo DDS666 3hilos, de 40 A 3200pulsos por 1kW en el caso de 110 V y 1600 pulsos por 1kW para 220 V.

Las protecciones utilizadas son breaker de 1 y 2 polos de 120-240 V 32 A

## **CAPITULO 2. COMPORTAMIENTO DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL EDIFICIO.**

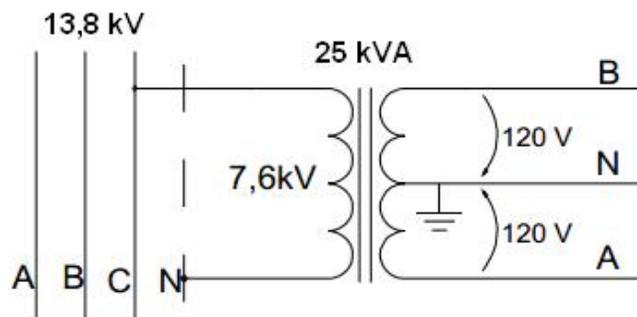
### **2.1 Caracterización del edificio caso de estudio.**

Para la selección del edificio caso de estudio, se tuvo en cuenta que la alimentación eléctrica fuera exclusiva de un solo transformador de fuerza. Este elemento facilitó todos los trabajos experimentales realizados. El edificio escogido fue el 6E del reparto Las Coloradas perteneciente al CDR 8 de la circunscripción 66 de dicho reparto el cual cuenta con tres escaleras de ocho apartamentos cada una para un total de 24 apartamentos. El edificio en estudio cumplirá próximamente treinta años de explotación y es apreciable en el interior de los apartamentos, el deterioro del sistema de suministro eléctrico debido a la edad de las instalaciones, así como las filtraciones que presentan las mismas por los conductores eléctricos. En la figura 2.1 se muestra una imagen de dicho edificio.



*Figura 2.1. Vista parcial del edificio 6E del reparto Las Coloradas.*

El transformador de distribución que alimenta el edificio tiene una potencia de 25 kVA y está conectado en la fase C del circuito de distribución primario; como se conoce estos transformadores tienen la configuración que se presenta en la figura 2.2.



*Figura 2.2. Configuración e imagen del transformador que alimenta el edificio caso de estudio.*

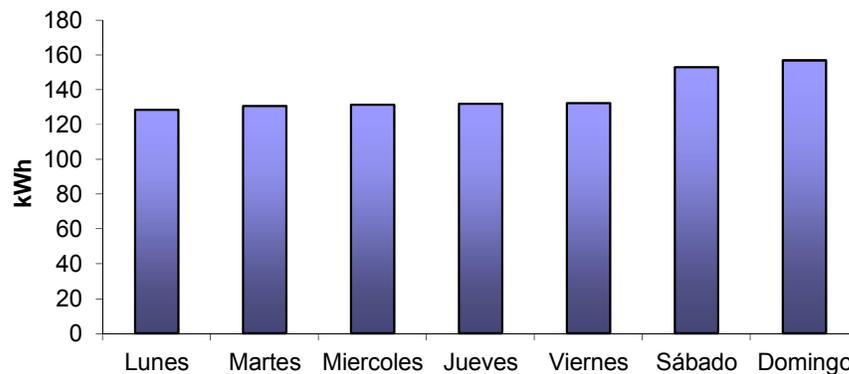
## **2.2 Consumo de energía eléctrica característicos.**

Para poder determinar los consumos de energía eléctrica característicos del edificio, fue necesario buscar las informaciones en la empresa Eléctrica así como la realización de un monitoreo de los contadores de energía durante seis semanas. Los contadores de energía con que cuenta este edificio son del tipo DDS666. El rango de corriente que pueden medir estos contadores es de 40 A, están diseñados para circuitos monofásicos de 3 hilos y su principio electrónico de funcionamiento indica que para 1500 pulsos del LED se registra 1 kW más. En la siguiente figura 2.3 se muestra una vista de los contadores pertenecientes a una escalera.



*Figura 2.3 Vista de los contadores de una escalera del edificio.*

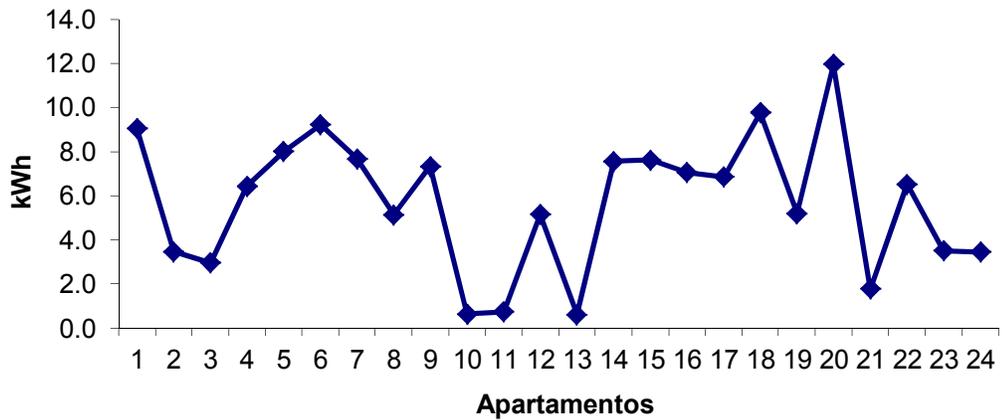
Luego de procesar todos los datos de medición de energía eléctrica de cada uno de los apartamentos se puede definir que el consumo promedio de la energía eléctrica del edificio, por cada uno de los días de la semana se comporta según el gráfico de la figura 2.4.



**Figura 2.4 Consumo promedio diario del edificio**

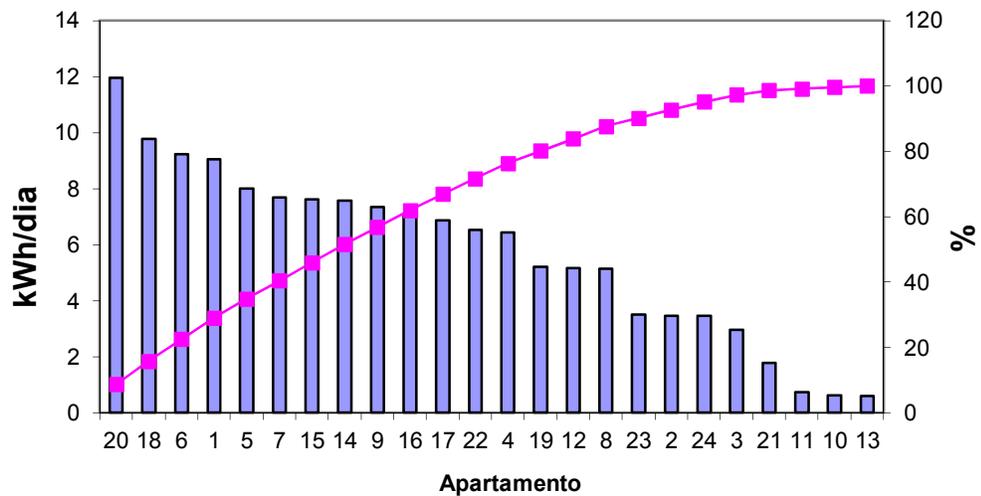
En el gráfico anterior se aprecian pequeñas diferencias en los consumos de energía eléctrica promedio durante los días de semana con valores cercanos a 131 kWh por día. Los fines de semana son los días que más se consume con valores promedios de 152,8kW/h por día los sábados y 156,95kW/h por día los domingos. Estos incrementos se deben a que en estos días se realizan similares tareas de forma colectiva, tales como lavar, planchar, cocinar, etc...

Existen marcadas diferencias en los consumos de energía eléctrica promedio diario de los diferentes apartamentos. Durante las pruebas experimentales, 4 apartamentos consumieron valores promedios inferiores a 2kW/h por día debido a que no había personas en ellos o esporádicamente sus moradores lo visitaban. En la figura 2.5 se muestra el gráfico de los valores de consumo promedio medidos.



**Figura 2.5. Consumo promedio de energía eléctrica diario de los apartamentos del edificio caso de estudio.**

En las condiciones actuales de explotación del edificio en 8 apartamentos se consume el 50% de la energía eléctrica y en 14 según resultados del gráfico de Pareto se define que el 80%. Fig.2.6



**Figura 2.6 Gráfico de Pareto del consumo de energía eléctrica promedio diario de los apartamentos**

### 2.3 Resultados y análisis de las mediciones de las variables eléctricas en el transformador de alimentación.

Para realizar el análisis de comportamiento de las variables eléctricas en el nodo del edificio se utilizó un analizador de redes del tipo PQM (POWER QUALITY METER) de la firma Multilin de la General Electric.



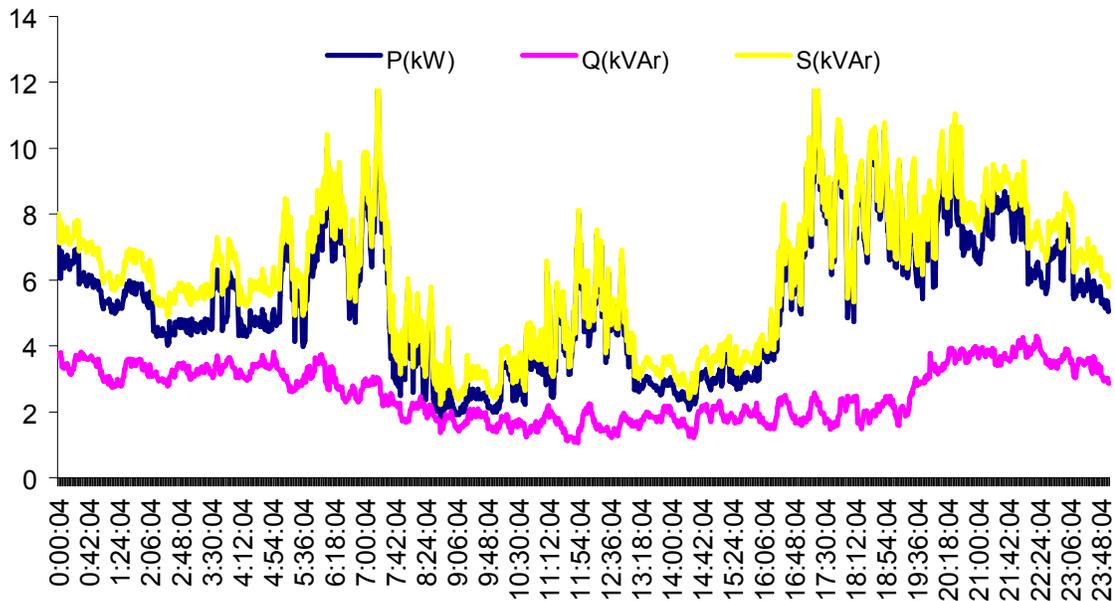
*Figura 2.7 Analizador de redes utilizado para las mediciones eléctricas.*

Las variables que forman parte de las mediciones se corresponden como:

- Potencia aparente.(por fase y total)
- Potencia reactiva.(por fase y total)
- Factor de potencia.(por fase y total)
- Corrientes.(por fase y por el neutro)
- Tensiones. (de fase y de línea)
- Energía. (activa, reactiva y aparente)
- Distorsión total armónica de corriente.
- Distorsión total armónica de tensión.
- Formas de honda. (de corriente y de tensión)

### - Comportamiento de las variables eléctricas durante un día de semana.

Una de las informaciones lógicas para el análisis de los circuitos eléctricos es el comportamiento de cada una de las potencias. Para el ejemplo que se analiza se presenta en el gráfico de la figura 2.8 el comportamiento de estas variables.



**Figura 2.8 Gráfico de las potencias eléctricas en el circuito eléctrico del edificio.**

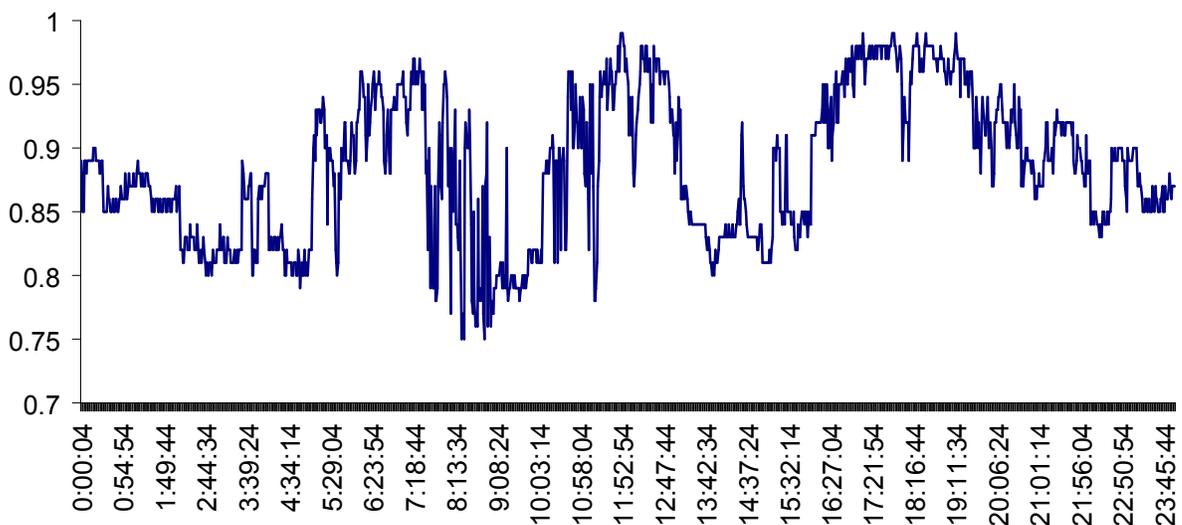
En la figura anterior durante el horario de la madrugada comprendido entre las 00:00 horas y las 05:00 horas, va disminuyendo la demanda de potencia activa. En este intervalo existe una diferencia entre potencia activa y aparente de un 20% aproximadamente, lo cual se ve reflejado en que la potencia reactiva aumente. Esto se debe a que en horario de la madrugada en la mayoría de los hogares los equipos que más predominan funcionando son los que demandan mayoritariamente potencia reactiva, como es el caso de (Refrigeradores). Comportamientos similares de estas potencias también se repiten entre las 21:00 y 24:00 horas. Sin embargo en los horarios restantes es evidente que en los 3 picos de máxima demanda, la potencia activa y aparente alcanzan valores similares debido a que la carga mayoritaria son resistivas puras y corresponden a los equipos de cocción de alimentos.



En el caso de los días de semana el primer intervalo de máxima demanda aparece entre las 05:30 AM y 07:00 AM alcanzando los valores hasta de 12 kW, luego se repite esta situación en el horario de cocción de alimentos para el almuerzo entre las 10:30 y 13:00 horas pero los valores de máxima demanda no superan los 8 kW.

El tercer pico de demanda de potencia comienza a manifestarse a partir de las 16:30 horas, manteniéndose aproximadamente hasta las 21:00 horas. Aparecen valores de máxima demanda más apreciables que en el primer pico de la mañana alcanzándose valores hasta de 12 kW.

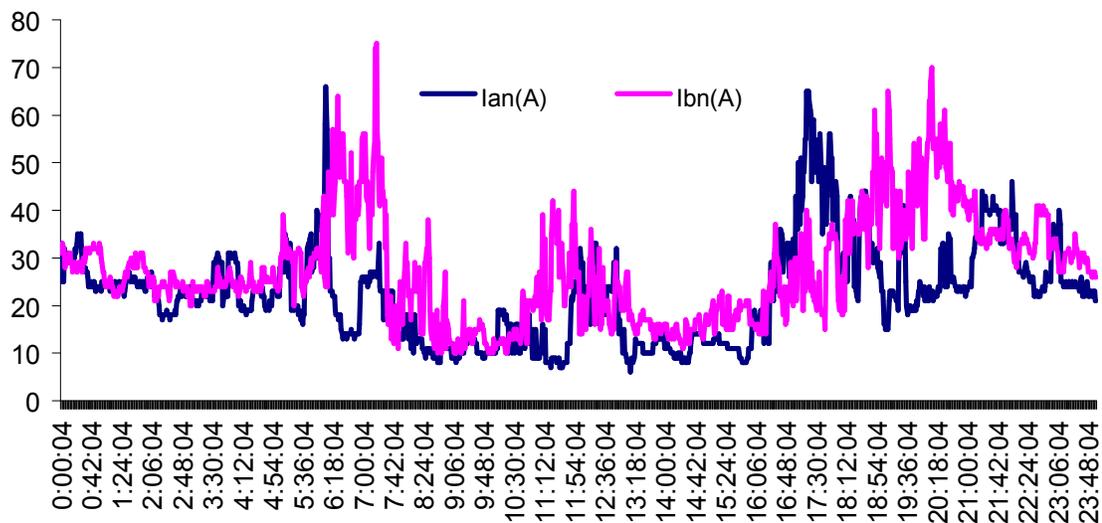
Es muy fácil comprobar a partir del gráfico del factor de potencia la gran cantidad de cargas resistivas que existen actualmente en el sector residencial. En coincidencia con los 3 picos de demanda que se observaron en la gráfica 2.8, aparecen 3 picos de factor de potencia con valores de 0.98. El factor de potencia es un reflejo del grado de aprovechamiento de la energía eléctrica con lo que se puede resumir que el valor promedio de esta magnitud es de 0.89.



**Figura 2.9 Comportamiento del factor de potencia**

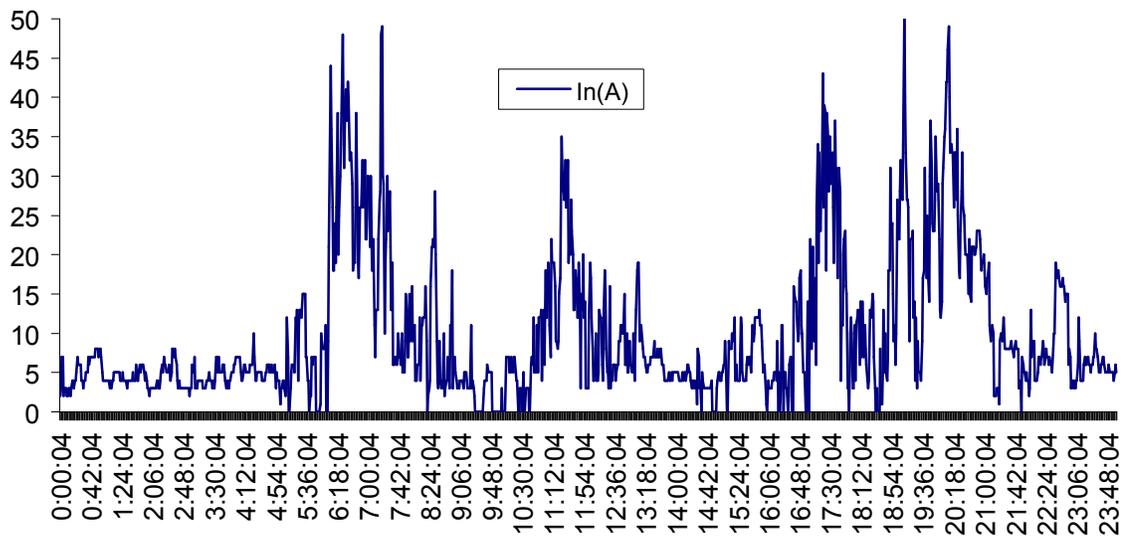


Para la figura 2.10 las variaciones de las corrientes en las fases están caracterizadas por el nivel de utilización de la carga eléctrica. En el edificio que se analiza, la fase B a pesar de tener similares niveles de corriente que la fase A, la misma mantiene los estados de carga de forma más prolongada. En los horarios de la madrugada los niveles de carga de las fases son similares. En este horario las cargas conectadas son de características muy parecidas (Refrigeradores, ventiladores y alguna que otra iluminación). También existen momentos en que el desequilibrio en las corrientes alcanza valores hasta de un 60%, contribuyendo a las pérdidas energéticas por este motivo.



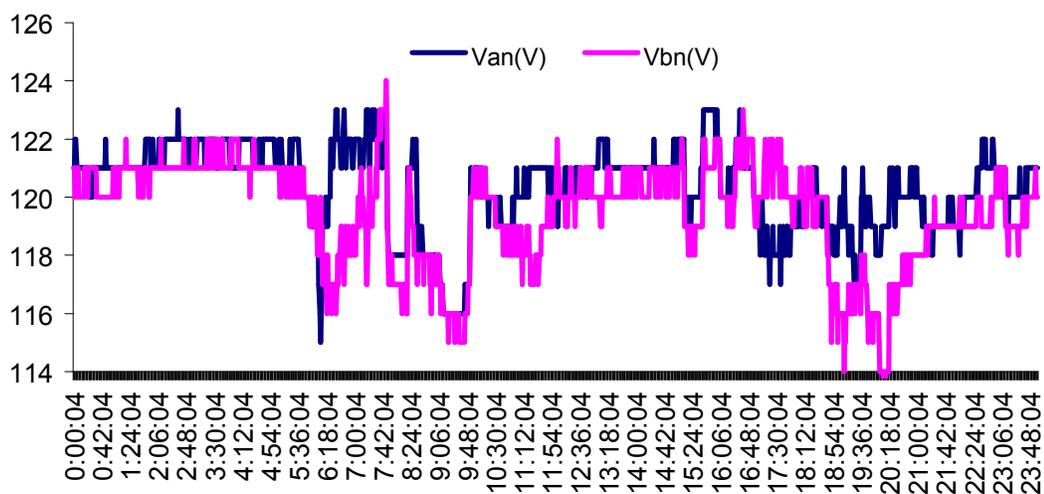
**Figura 2.10 Comportamiento de las corrientes de fase**

Una muestra del desequilibrio que alcanzan las cargas en los circuitos de distribución secundaria se puede ver reflejada a través de los valores de corriente en el neutro. Precisamente en el gráfico de la figura 2.11 mediante los valores que alcanza la corriente en el neutro, se puede identificar los momentos en que se acentúan los desequilibrios en las fases.



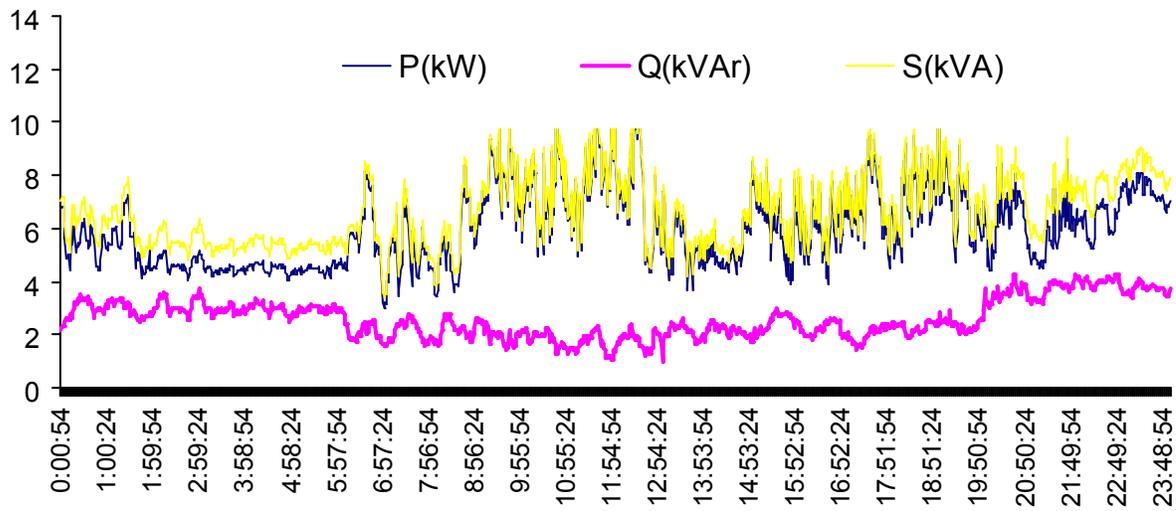
**Figura 2.11 Comportamiento de las corrientes en el neutro.**

Debido a los niveles de carga del transformador que no sobrepasa el 50%, es posible entonces que se manifieste el comportamiento de las tensiones que aparecen en la figura 2.12. Las variaciones de tensión de fase se encuentran entre valores de 114V Y 124V por lo que existen momentos en que la variación de tensión con respecto al valor nominal está muy cerca al 10 % sobre todo en horario de la madrugada.



**Figura 2.12 Variaciones de la tensiones de fase.**

Antes de iniciar las valoraciones de los aspectos relacionados con la calidad de la energía es necesario presentar los resultados de las mediciones de las potencias de un día de fin de semana característico. Los resultados expuestos hasta ahora corresponden a un día promedio de la semana. Solo se presenta el gráfico de la figura 2.13 debido a que los comportamientos de las otras magnitudes poseen características similares.



**Figura 2.13** Gráfico de las potencias de un día característico del fin de semana.

En la figura anterior se puede ver claramente que los fines de semana desaparece el pico de la mañana entre las 6:00 y las 9:00 horas debido a que las personas se levantan un poco más tarde, sin embargo a partir de las 9:00 horas es visible un aumento de la demanda, que se mantiene toda la mañana debido a las labores características que se realizan en el hogar tales como lavar, planchar, cocinar el almuerzo más temprano. Resulta curioso como el horario picote la mañana tiene niveles de demanda similares al de la tarde noche alcanzando valores hasta de 8Kw.

### 2.3.1. Calidad de la energía eléctrica.

Un aspecto que caracteriza la calidad de la energía lo constituye la distorsión total armónica de corriente. Estos se acentúan hasta alcanzar valores máximos hasta de un 40% en ambas fases. Se evidencia que el THD  $i$  es más sostenido en la fase B sobre todo en el horario entre 11:30 y 16:00 horas. El THD  $i$  permanece similar en ambas fases



durante el horario de la madrugada en niveles promedios del 10%. Dado los valores que alcanzan estas magnitudes y según las normas IEEE519 y la UNE-EN 50160 existe una contaminación significativa (THD i mayor que 10% y menor que 50%) por lo que se puede manifestar algún funcionamiento defectuoso del circuito de distribución. Los valores correspondientes a la distorsión total armónica de corriente pueden ser apreciados en la figura 2.14.

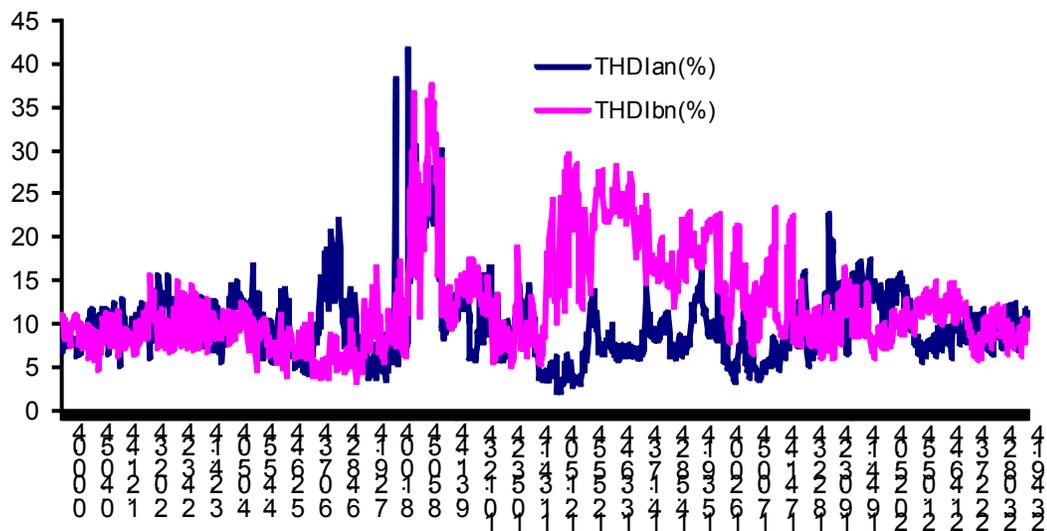
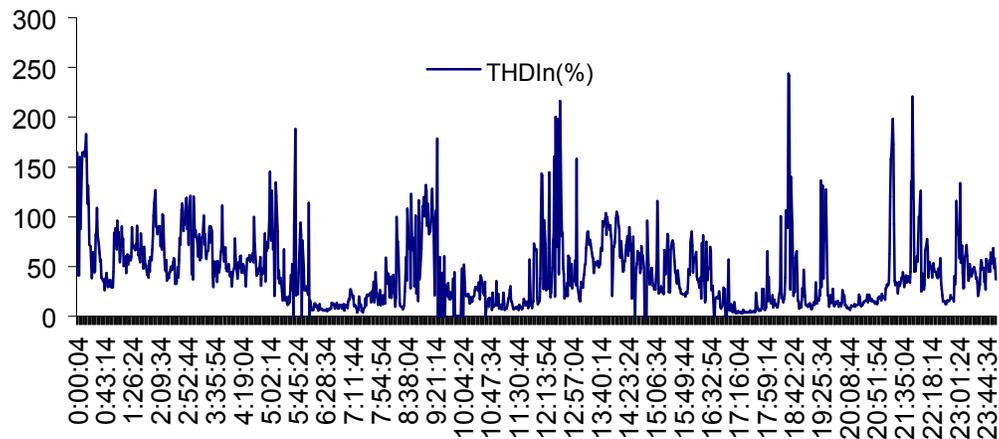


Figura 2.14 Distorsión Total Armónica de corrientes por cada una de las fases.

En el caso de las cargas eléctricas domesticas, estos armónicos son aportados por televisores, hornos microondas, computadoras, lámparas fluorescentes y equipos de audio y video.

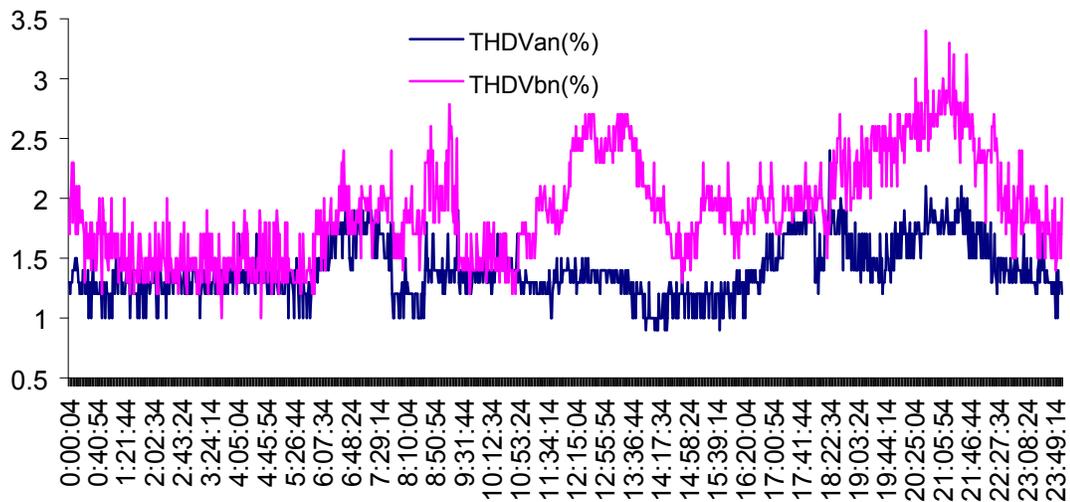
En el caso de la distorsión total armónica de corriente presente en el neutro resulta realmente alarmante ya que los valores promedios son de 44 % manifestándose frecuentemente THD i mayores que 50 % lo cual significa una contaminación importante y según sugieren las normas se hace necesario el uso de un dispositivo de atenuación. Al circular estos armónicos por el neutro se crean fuertes calentamientos que pueden ser la causa de graves averías con consecuencias muy desfavorables en los circuitos

de distribución. El corte del neutro es una de las averías más perjudiciales en los sistemas de distribución. En la figura 2.15 se aprecia la distorsión total armónica de corriente por el neutro.



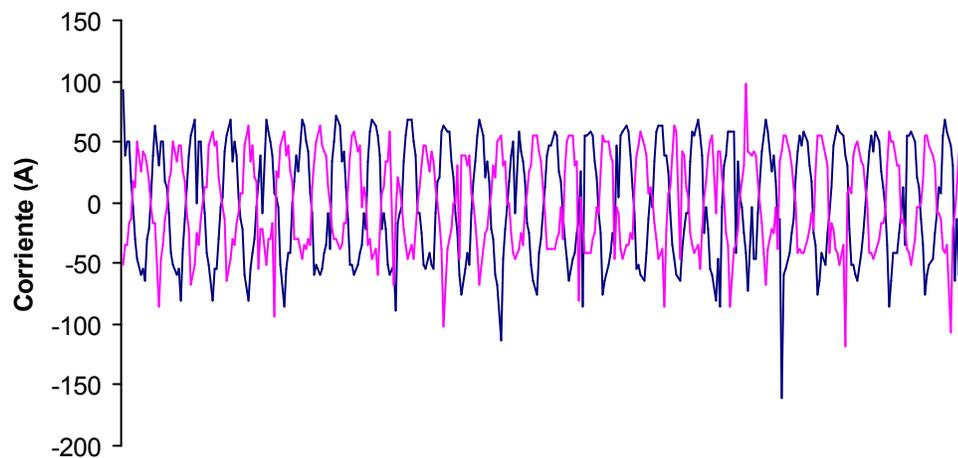
**Figura 2.15 Distorsión Total Armónica de la corriente por el neutro.**

En el caso de la distorsión total armónica de tensión según las mismas normas IEEE519 y la UNE-EN 50160, en el circuito analizado existe una situación normal debido a que los valores de THD u son menores que 5%. En la figura 2.16 se aprecia su comportamiento reflejándose los mayores niveles de armónicos en la fase B y presentes de manera profunda en valores mayores de 1,7% desde las 10:00 hasta las 24:00 horas.



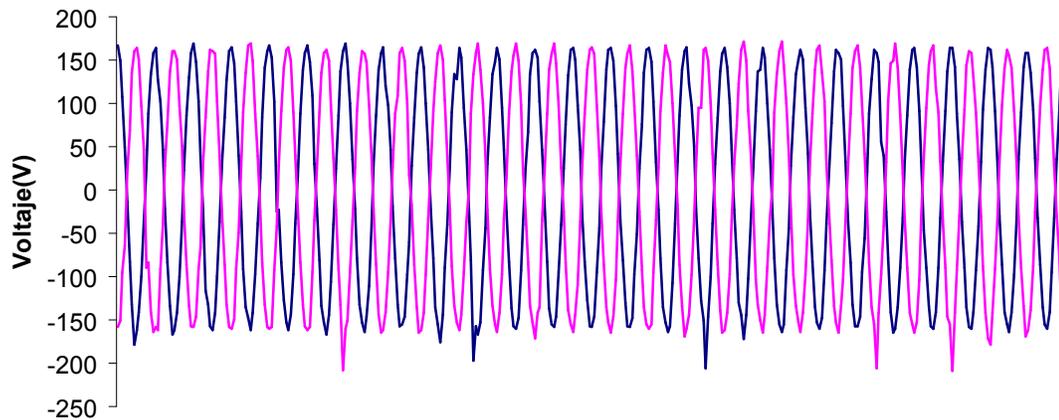
**Figura 2.16 Distorsión Total Armónica de tensión.**

Un reflejo de la distorsión total armónica de corriente se aprecia en la figura 2.17 en donde aparece un tren de ondas de las corrientes de fase A y B.



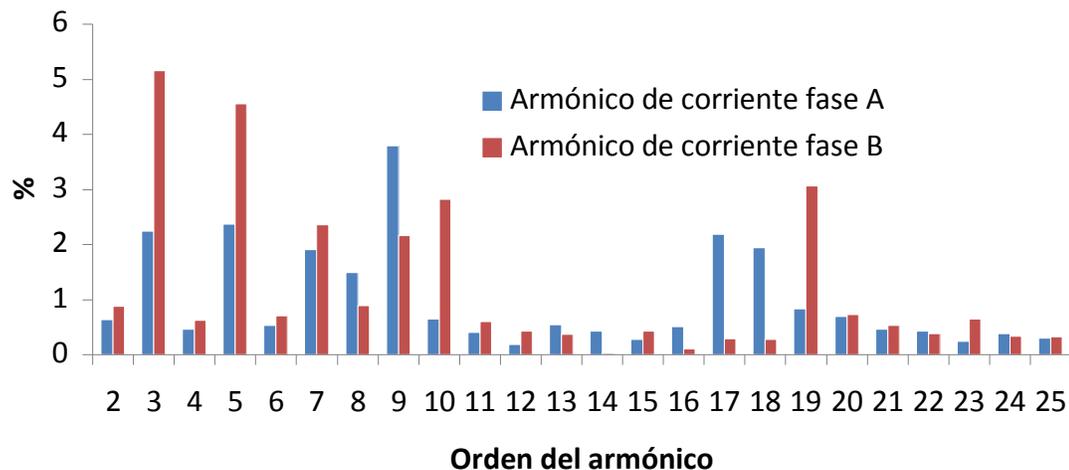
**Figura 2.17 Trend de ondas de corrientes de fase.**

En el caso de la distorsión total armónica de tensión, la misma no tiene niveles significativos que pudieran deformar en gran medida la forma de onda de la tensión. Un reflejo de este comportamiento se refleja en la figura 2.18.



**Figura 2.18** Trend de ondas de tensiones de fase.

El analizador de redes utilizado en las mediciones tiene la capacidad de monitorear los componentes armónicos tanto de corriente como de tensión. El comportamiento no lineal de las cargas presentes en el edificio multifamiliar indica en que se acentúen los armónicos de corriente de orden impar 3, 5, 7,9. Los armónicos de orden 3 y 5 se acentúan más en la fase B. (ver figura 2.19).



**Figura 2.19**

Una situación similar se refleja en los armónicos donde los de orden 3, 5 y 7 también son representativos. En particular el armónico de orden 5 es el que más se acentúa.

Ver figura 2.20.

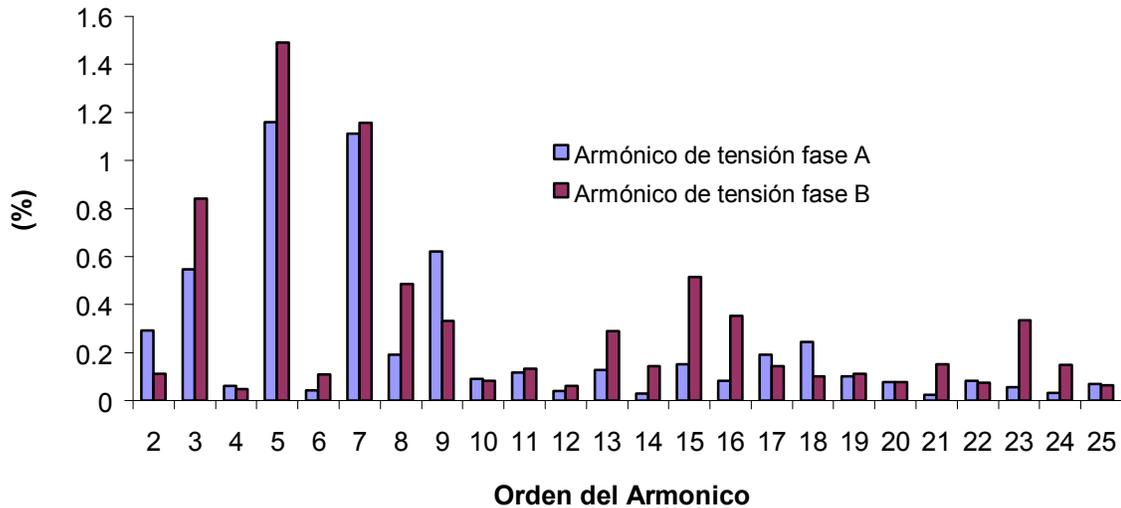


Figura 2.20

## 2.4 Pérdidas por transformación

A continuación se cuantifica la energía que se pierde debido al bajo estado de carga del transformador del circuito en análisis. También mediante el cálculo del coeficiente de carga se valora la posibilidad de sustituir por un transformador por uno de menor potencia. Los transformadores de distribución no deben trabajar en un coeficiente de carga superior al 70%, garantizando así las reservas de energía adecuadas para futuros cambios en los sistemas.

El transformador que se analiza tiene los siguientes datos operacionales necesarios para el cálculo de las pérdidas por transformación:

$P_{fe} \Rightarrow$  Pérdidas del Hierro: 0,115 kWh

$P_{cu} \Rightarrow$  Pérdidas del Cobre: 0,389 kWh



$T_1 \Rightarrow$  Tiempo de trabajo: 24 horas

$T_3 \Rightarrow$  Tiempo energizado: 24 horas

$K = \text{KVA}r / \text{KVAn} -$  Coeficiente de carga (se consideró los kVA real promedio): 0,28

$$P_t = P_T = P_{fe} * T_3 + (\text{KVA}r / \text{KVAn})^2 * \text{PCU} * T_1$$

$$P_t = 2.76 \text{ kWh} + 0.732 \text{ kWh}$$

$$P_t = 3.492 \text{ kWh/día}$$

Estas pérdidas por transformación en términos de un año serían 1274,78 kWh o sea unos 1,3 MWh.

Si se considera el cambio de transformador debido a los estados de carga se puede pensar en la sustitución de uno con menor capacidad, en este caso de 15 kVA. Bajo estas condiciones los cálculos indican que el nuevo coeficiente de carga límite para un transformador de 15 kVA sería:

$$K_L = \sqrt{\frac{\Delta P_0 - \Delta P_{01} + \Delta P_C K^2}{\Delta P_{C1}}}$$

$$K_L = \sqrt{\frac{0,115 - 0,084 + 0,389(0,48)^2}{0,251}}$$

$$K_L = 0,69$$

Los cálculos evidencian que es posible cambiar el transformador actual de 25 kVA por uno de 15 kVA donde el nuevo coeficiente de carga límite alcanzaría los valores de 0,7 lo cual es admisible para los sistemas de distribución en los cuales los transformadores deben tener un 30 % de reserva de potencia. Sustituir este transformador disminuir las pérdidas por transformación aproximadamente entre un 2 y un 5% de la energía eléctrica.

## 2.5 Pérdidas por desequilibrio

La extracción de potencia de la red eléctrica por medio de un receptor monofásico puede multiplicar por seis la potencia perdida respecto a las menores pérdidas posibles. La influencia de estos receptores en la eficiencia del sistema eléctrico es un tema de permanente atención. Se busca averiguar las influencias negativas provocadas por los armónicos que los receptores no lineales hacen aparecer en la tensión de la red. Sin embargo, siguen existiendo influencias negativas de las cargas lineales cuya disminución no solo no se acomete, sino que, en algunos casos, las soluciones adoptadas no consiguen el objetivo perseguido.

El bajo factor de potencia de los receptores como causa del incremento de pérdidas de energía en la distribución es la única de las influencias perjudiciales que ha merecido un intento generalizado de control por las empresas de distribución de energía eléctrica. Otra característica de los receptores que provoca pérdidas de energía en el sistema eléctrico es el desequilibrio de las cargas. No existen acciones dentro de las propias empresas eléctricas dirigidas a evaluar en detalles el equilibrio de las cargas. Esto se debe a la enorme cantidad de clientes y circuitos eléctricos que se deberían verificar.

Para realizar el análisis de las pérdidas en los conductores que alimentan el edificio multifamiliar, primeramente se debe seleccionar un punto de referencia que en este caso sería la salida del transformador del circuito de distribución. Para calcular el valor de las pérdidas se tuvo en cuenta las distancias de los conductores que recogen todo el edificio por cada una de las fases la cual es de 0,540 km aproximadamente con una resistencia promedio del cableado utilizado de  $0,051 \Omega/\text{km}$  y los valores promedios de corriente por fase son de 24 A en la fase A y 27,8 A en la fase B.

$$P_{2\phi} = (I_a^2 R_a) + (I_b^2 R_b);$$

Donde:

P: pérdidas en el conductor.



$I_a, I_b$ : corriente por fases.

$R_a, R_b$ : resistencias de los conductores por fases (en una longitud dada).

Conociendo los datos de corriente y resistencia de las fases se pueden calcular las pérdidas promedio. Utilizando la expresión antes mencionada se tiene que:

$$P_{2\phi} = (I_a^2 * R_a) + (I_b^2 * R_b)$$

$$P_{2\phi} = ((24,2A)^2 * 0,051\Omega) + ((27,8A)^2 * 0,051\Omega)$$

$$P_{2\phi} = 69,28W$$

Estas pérdidas están reflejadas en 1 hora. Para ver cuanta energía se pierde en 1 año sería:

$$P_{2\phi} = 69,28W * 24h * 365días$$

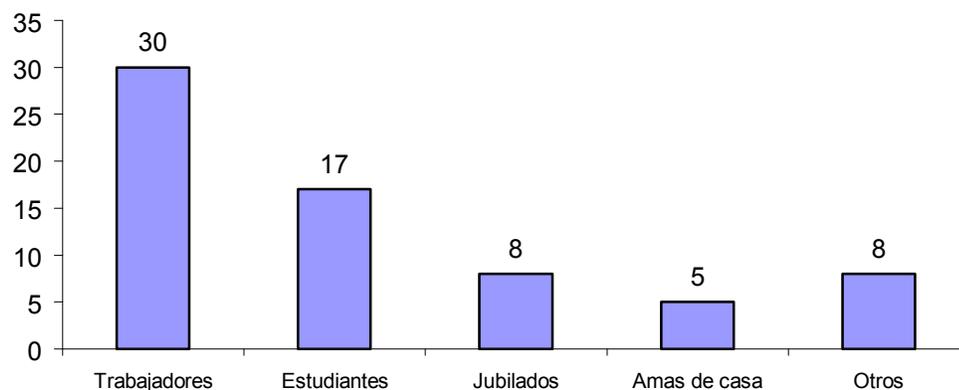
$$P_{2\phi} = 0.607MWh / año$$

## CAPÍTULO 3. ESTUDIO SOCIOECONÓMICO DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EDIFICIOS MULTIFAMILIARES Y EN EL CASO DE ESTUDIO

### 3.1 Caracterización social del edificio caso de estudio

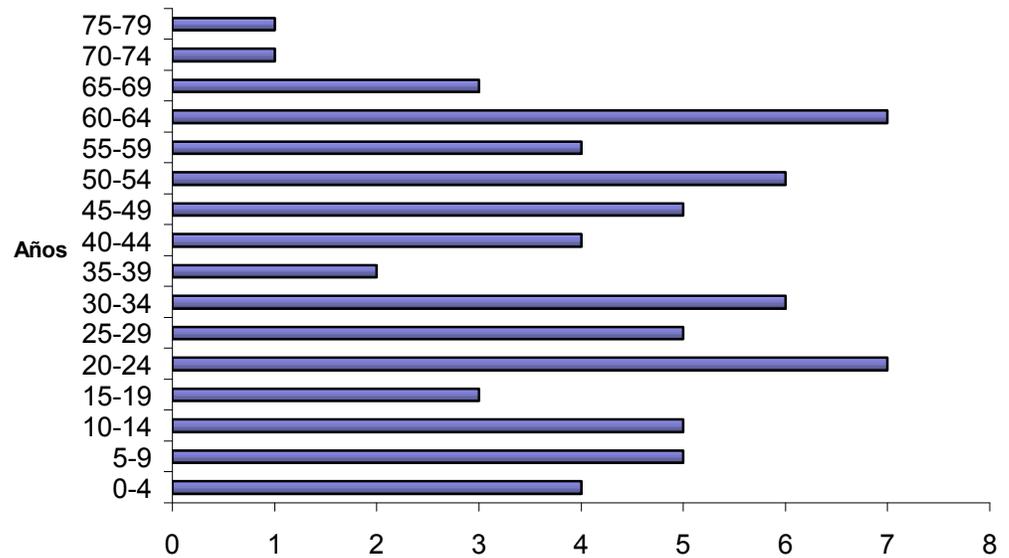
Para tener una idea de un conjunto de parámetros socioculturales que identificaron a los hogares encuestados y de estrecha relación a la cultura energética en el sector residencial, se realizó encuesta a los residentes del edificio multifamiliar en análisis, las que facilitaron en los resultados cuantitativos y cualitativos del tema.

Las encuestas se realizaron a 17 familias para el 70% de la población. En esta muestra los encuestados fueron 3 hombres y 14 mujeres. La sumatoria de la cantidad de los miembros que componen estos hogares es de 68 de los cuales 36 son mujeres y 32 hombres. Para tener una idea de los componentes sociales de estos hogares de manera general, se presenta el siguiente gráfico.



**Figura 3.1 Componentes sociales de habitantes de los apartamentos encuestados**

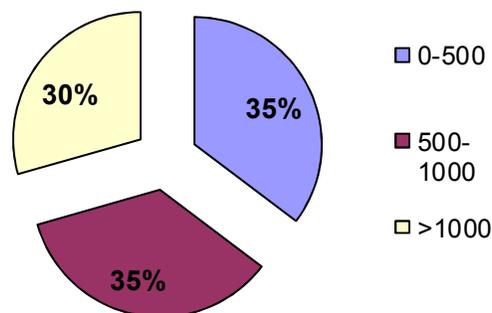
Para cualquier análisis de corte social los grupos etarios son importantes. Tomando como referencias la clasificación que sugiere la Oficina Nacional de Estadística (ONE), se presenta los resultados de las personas involucradas (ver figura 3.2).



**Figura 3.2 Grupos etarios de las familias encuestadas.**

De forma general el total de personas que componen los hogares encuestados se pueden clasificar de la forma siguiente: Los niños y jóvenes hasta 35 años representan el 58,6%, los adultos de 35 a 59 años el 30,8% y los adultos mayores 17,6%.

Se analizaron tres tipos de ingresos familiares totales en moneda nacional, en la figura 3.3 se presenta los resultados. Se tuvo que preguntar por rangos de ingreso pues fue difícil lograr precisión en el valor cuantitativo real. Los encuestados manifestaron reservas al responder estas preguntas.



**Figura 3.3 Niveles de ingreso de las familias encuestadas.**

Los ingresos familiares son un reflejo del nivel de vida, el cual puede incidir en el consumo de energía, pues el uso del equipamiento electrodoméstico es más representativo en las familias con mayores ingresos.

### 3.2 Estado técnico del equipamiento electrodoméstico

Un reflejo de estado técnico, las reparaciones y el tiempo diario que se usan los equipos electrodomésticos que mayor incidencia tienen en el consumo de electricidad se presenta en la tabla 3.1

*Tabla 3.1 Estado técnico y empleo de los equipos electrodomésticos.*

Equipos	Existen		Cantidad de Reparaciones	Estado Técnico Actual			Tiempo diario en que se usa
	Si	No		B	R	M	
Olla arrocera	17	-	41	12	4	1	9h, 50min
Olla de presión	15	-	22	10	5	-	16h, 40min
Hornilla eléctrica	17	-	37	14	1	2	15h, 25min
Calentador	8	9	7	4	1	3	1h, 15min
Refrigerador	16	1	14	15	-	1	110h
Televisor	16	1	20	12	3	1	90h
Lavadora	16	1	26	15	-	-	41h
Plancha	16	1	26	14	2	-	12h, 30min

La tabla anterior registra los 8 equipos que de forma muy particular aportan al comportamiento del consumo de electricidad. Han pasado aproximadamente más de cinco años de la entrega de este equipamiento y es notable que algunas personas ya no cuenten con ellos, por ejemplo en el caso del calentador, 17 hogares entrevistados el 60%



no lo poseen, sin embargo en una investigación paralela a esta se ha demostrado que con el calentador se consume un 25% menos de la energía eléctrica al calentar agua que hacerlo con la hornilla eléctrica.

El estado técnico de los equipos también incide en el consumo de energía. A nivel de sociedad son claramente visibles las aglomeraciones de personas en los talleres de reparación como muestra del deterioro de los equipos. Las encuestas reflejan que de los equipos que aparecen en la tabla 3.1, en estos 17 hogares se han efectuados 193 reparaciones de los 127 equipos existentes. Con respecto al estado técnico el 79% está en buen estado, el 13% regular y 8% en mal estado.

### **3.3 Aspectos de la cultura energética.**

Una cuestión fundamental en la cultura energética que se refleja en los consumos energéticos, lo constituyó el saber manipular los equipos electrodomésticos, sobre todo respetando sus funciones. En este caso todas las personas encuestadas manifiestan saber manipular los principales equipos electrodomésticos y que mayormente inciden en la demanda (equipos de cocción de alimentos, refrigeradores, lavadora, plancha y calentador)

El 88% de los encuestados manifiestan que los nuevos equipos electrodomésticos favorecen el desempeño de las labores domésticas, el 12% manifiesta que la ayuda es parcial y ningún encuestado refleja que los equipos entregados no le han servido.

El 100% de los encuestados manifiesta que conocen en que consiste el horario pico. A pesar de que se comprenden esta situación el 82% de los encuestados no sabe leer el metro contador aspecto básico para poder iniciar con el reconocimiento energético de los hogares. El resto de las personas que manifiesta saber leer el metro contador lo hacen regularmente o a veces.

El 58% de los encuestados conocen el consumo de electricidad promedio mensual de electricidad de su hogar y paralelamente hay un porcentaje mayor del 88% que conoce el valor promedio mensual que paga por el servicio eléctrico.



El 41% respondió que realizan alguna planificación de consumo de electricidad y el mismo porcentaje plantea que el comprobante de pago de electricidad le ha servido para ello.

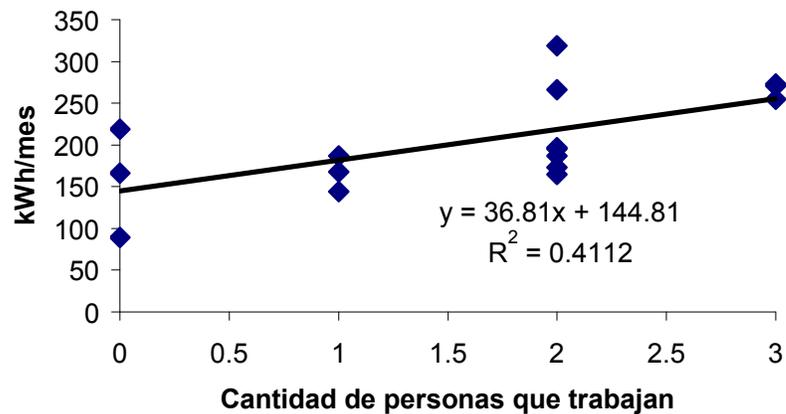
Aunque la cultura energética no presenta resultados relevantes en este grupo de personas, sin embargo el 100% de los encuestados afirman que se han realizados acciones suficientes para fomentar una cultura energética en la comunidad, a través de la radio, la televisión, la propaganda escrita. *Sin embargo las actividades de intervención social directa son aun insuficientes a criterio de los encuestados.*

Otros aspectos resultados de la encuesta reflejan que:

- El 94% utiliza colores claros en las paredes del hogar.
- El 30% utilizan bombillos ahorradores.
- El 94% prefiere lámparas fluorescentes.
- El 82% tiene ubicados refrigeradores en lugares con circulación de aire.
- Nadie utiliza la televisión como radio en ningún momento.
- El 100% llena la lavadora a su máxima capacidad.
- El 24% plancha primero las ropas gruesas y después las piezas finas.
- El 70% conoce que sus instalaciones tienen fugas eléctricas, aunque por lo general no saben como comprobarlo.

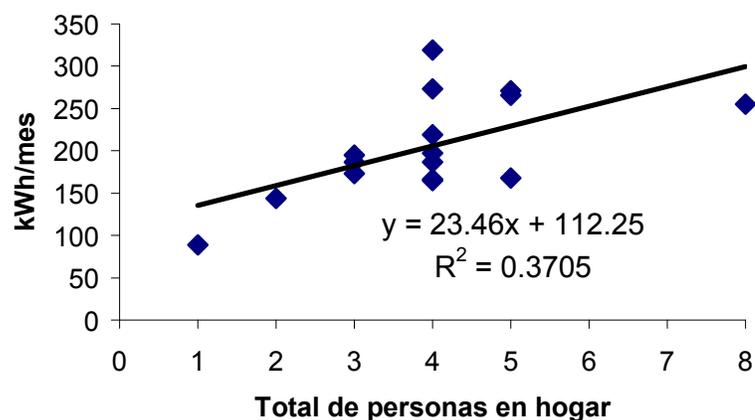
### **3.4 Interrelación de las variables sociales con el consumo de energía eléctrica en el edificio.**

En el grupo de familias encuestadas existen un 42,6% de personas que trabajan, por tanto en el horario laboral estas personas no tienen una incidencia notable en el uso del equipamiento electrodoméstico. Por lo general los modelos de pronósticos de consumo para el sector residencial valoran la cantidad de personas, pero no el status laboral de las mismas. En el gráfico de la figura 3.4 aparece la curva de regresión lineal que identifica los nexos entre la cantidad de persona que trabajan y la energía promedio mensual que consume su familia. Los resultados indican que las personas que trabajan explican el 64% de la energía consumida.



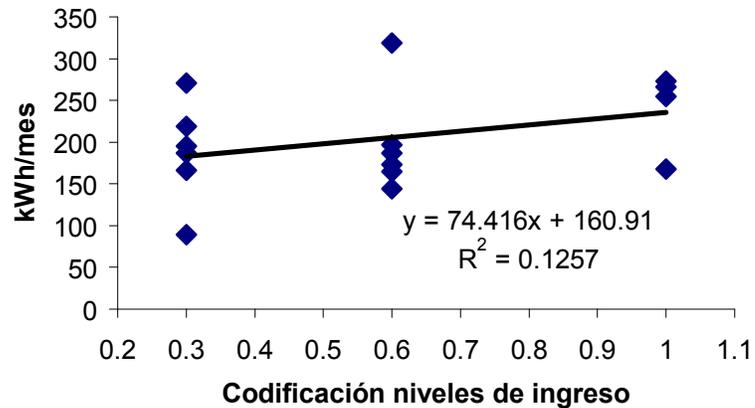
**Figura 3.4 Gráficos de dispersión entre la cantidad de personas que trabajan por apartamentos y los kWh/mes promedio.**

Algo similar a la incidencia en el consumo de energía de la cantidad de personas que trabajan lo refleja el total de personas de los hogares. En el gráfico de la figura 3.5 aparece la regresión lineal entre el total de personas en el hogar y el consumo promedio mensual, en este caso el 60% de la energía consumida puede explicarse, a través del total de personas. En la figura también aparecen la ecuación de la expresión lineal correspondiente.



**Figura 3.5 Gráficos de dispersión entre el total de personas por apartamentos y los kWh/mes promedio**

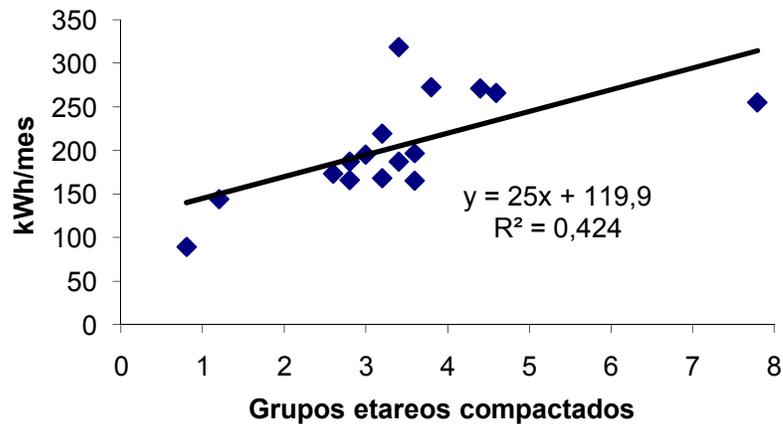
En el caso de la regresión lineal entre los niveles de ingresos y el consumo de energía eléctrica el coeficiente de correlación es de solo 0.35. No existe relación estadísticamente significativa entre estas variables y el coeficiente  $R^2$  de igual 0.12 indica que el modelo solo explica el 12% de la variabilidad de la energía. La relación entre las variables es relativamente débil.



**Figura 3.6 Gráficos de dispersión entre los niveles de ingreso y los kWh/mes promedio**

Es probable que al tomarse niveles de ingresos específicos de la familia esto haya influido en los resultados. En próxima investigación se perfeccionará esta tarea.

Otras de las variables que inciden en el consumo de la energía en los grupos etarios. Para determinar esta incidencia fue necesario en primer lugar dividir los grupos etarios en tres grupos fundamentales, el primer grupo hasta 35 años, el segundo de 35 hasta 60 años y tercero mayores de 60 años. A cada uno de estos rangos se le asignó un peso específico de 1, 0.8, 0.6 respectivamente. En la figura 3.7 se presenta el gráfico de correlación que indica que el 65% del consumo de energía puede explicarse a través de los grupos etarios.

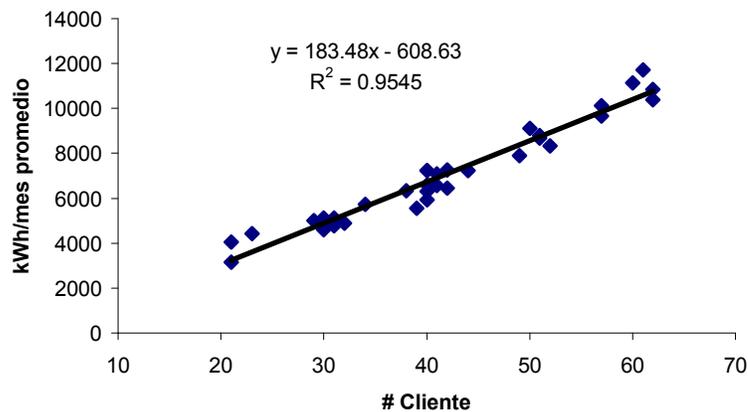


**Figura 3.7 Gráficos de dispersión entre los grupos etáreos por apartamento y los kWh/mes promedio**

En este grupo de familia aparece una familia que está compuesta por 8 personas, la cual se aleja de los valores promedios a nivel de país. Al eliminar esta familia del análisis, el coeficiente de correlación se incrementó hasta 0.76% dando una representación más significativa de este fenómeno.

### **3.5 Interrelación entre los consumos de energía eléctrica de edificios multifamiliares asociados a transformadores de distribución secundaria.**

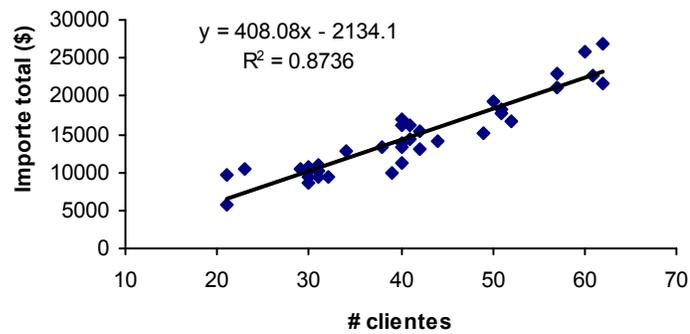
Cuando se realiza un balance de la cantidad de clientes por transformadores que conforman el circuito de distribución objeto de estudio se tiene los resultados en la tabla que aparece en el anexo 3. A partir de un análisis de regresión entre los consumos promedios mensuales del circuito de distribución en relación con la cantidad de clientes de cada uno de los transformadores se obtiene el gráfico de dispersión de la figura 3.8



**Figura 3.8 Gráfico de dispersión entre kWh promedio mensual en cada transformador con carga residencial en el circuito y el número de cliente correspondiente.**

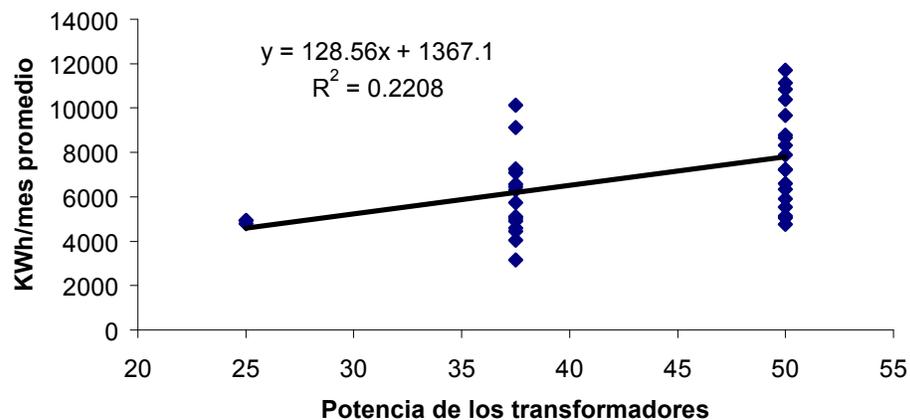
En el gráfico anterior se presenta un coeficiente de determinación de  $R^2=0,95$  lo que indica un coeficiente de correlación de 0,96. Se puede decir que la expresión lineal  $y = 183,48x - 608,63$ , puede ser utilizada como modelo matemático que permita estimar los niveles de consumo en función del número de clientes según la tipología de clientes presentes en el circuito.

De manera similar al análisis de regresión del consumo promedio mensual versus número de clientes, se puede obtener además la expresión matemática mediante una regresión lineal que relaciona el importe total en función del número de clientes. Para este caso la expresión lineal es  $y = 408,08x - 2134,1$ , con un coeficiente de determinación  $R^2=0,8736$  y coeficiente de correlación igual a 0,93. En la figura 3.9 se presenta este resultado.



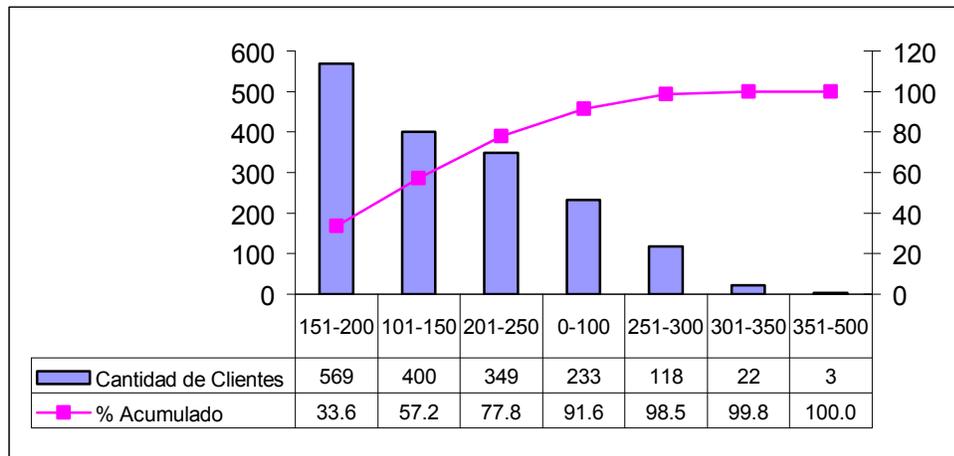
**Figura 3.9** Gráfico de dispersión entre el importe de los kWh promedio mensual en cada transformador con carga residencial en el circuito y el número de cliente correspondiente.

Como se puede apreciar claramente en la figura 3.10 no existe relación significativa entre la potencia instalada en cada uno de los transformadores del circuito y el consumo promedio que se experimenta en los mismos. Claro esta que el consumo depende de la utilización de la carga pero resulta significativo como existe una variación entre valores mínimos y máximos de unos 6000 kWh mensuales a pesar de que los transformadores sean de la misma potencia.



**Figura 3.10** Gráfico de correlación entre la potencia de los transformadores y el consumo promedio mensual por facturación

Los resultados que aparecen en la figura anterior obligan a realizar una estructuración del consumo de los clientes para poder referenciarlos a su transformador correspondiente, en aras de tener una dinámica del proceso de facturación (informaciones comerciales) asociado a la composición física del circuito. En la figura 3.11 se puede apreciar los resultados de la estratificación de la cantidad de clientes residenciales en relación a su estructura de consumo promedio según los escalones de las facturas.

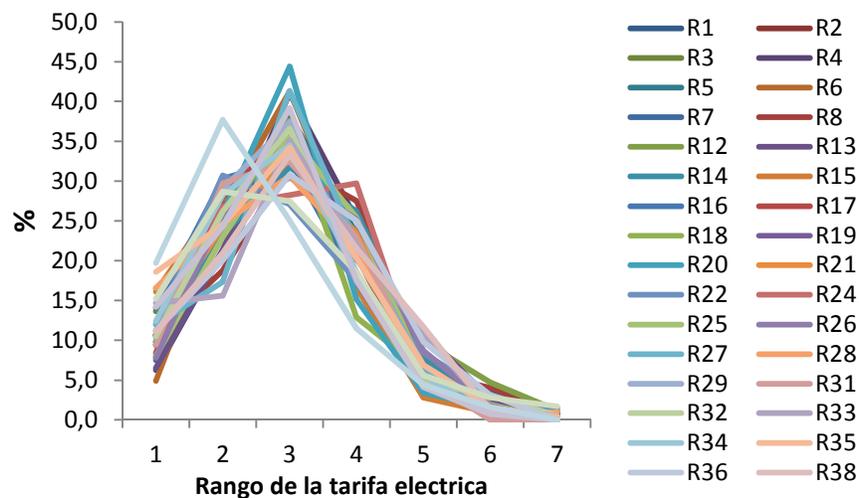


**Figura 3.11 Estratificación de la cantidad de clientes en relación a su consumo en el circuito de distribución primaria que incluye el edificio caso de estudio.**

En el gráfico de la figura 3.11 se puede apreciar un pareto que establece que el 77.8 % de los clientes están concentrados en los rangos de consumo de 151 – 200 (33,6 %), 101 – 150 (23,6 %) y 201 – 250 (20,6 %) (Ver anexo 3.1). Estos resultados indican que en el circuito caso de estudio desde el punto de vista comercial se puede estimar que efecto tendría un cambio de tarifas en los resultados económicos de la empresa eléctrica. Para tener una idea más específica de este fenómeno de la facturación eléctrica se amplió el estudio varias rutas de facturación eléctrica en las cuales solo están presentes edificios multifamiliares. Estos resultados aparecen en el próximo epígrafe.

### 3.6 Generalidades del consumo de energía eléctrica en edificios multifamiliares mediante la estructuración y modelación de la facturación eléctrica.

La estructura de facturación eléctrica, indica que independientemente en que todas las familias tienen acceso a la electricidad, los consumos siguen determinados patrones mensuales. Independientemente de las rutas del servicio eléctrico que se analice, existe aproximadamente la misma cantidad de cliente de forma porcentual en los siete primeros rangos de facturación (ver figura 3.12).

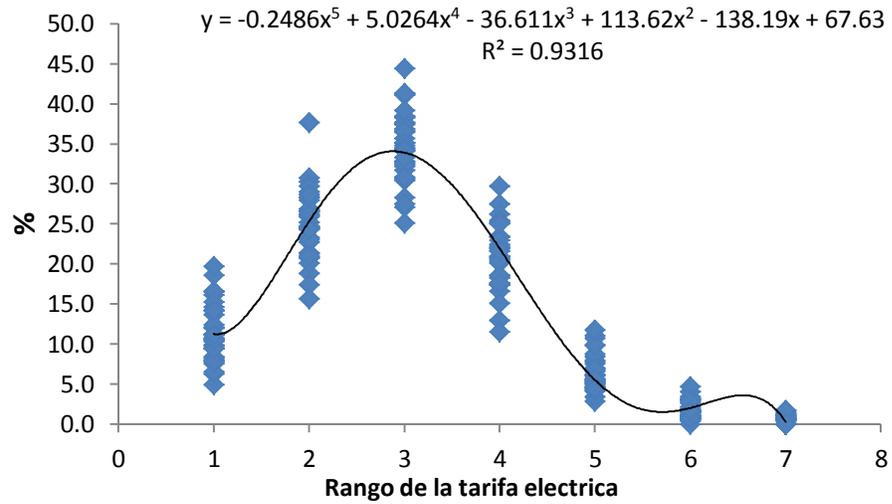


**Figura 3.12** *Curvas características de las estructuras porcentuales de la tarifa eléctrica de diferentes rutas de servicio eléctrico compuesta solo por edificios multifamiliares.*

Una vez procesados los datos del consumo de energía eléctrica de 34 rutas de servicio eléctrico en las cuales solo hay presencia de edificios multifamiliares, se propuso buscar un modelo matemático que se adaptará a esta respuesta colectiva. Para lograr este propósito se le asignó a los siete primeros rangos de la factura eléctrica valores cuantitativos de: 1 (0 - 100 kWh), 2 (101 - 150 kWh), 3 (152 - 200 kWh), 4 (201 - 250 kWh), 5 (251 - 300kWh), 6 (301 - 350 kWh), 7 (351 - 500 kWh).



En la figura 3.13 se aprecia la ecuación del polinomio del quinto orden el cual explica el 93% de la estructura porcentual de los consumos energéticos según las tarifas eléctricas. El coeficiente de correlación de la curva es de 0.965.



**Figura 3.13 Modelo matemático de la estructura de consumo por las tarifas eléctricas.**



## Conclusiones

1. La información comercial de las empresas eléctricas favorecen la identificación de patrones de comportamiento como respuestas colectivas al uso de la electricidad en el sector residencial con presencia de edificios multifamiliares.
2. La calidad de energía se ve afectada en el caso de estudio por la presencia marcada de THD de corriente lo cual puede provocar comportamientos anómalos del circuito sobre todo por el corte de neutro por calentamiento del conductor.
3. Se aprecia una diferencia marcada en los niveles de consumo de los apartamentos: en 8 viviendas consumen el 50 % de la energía eléctrica, los fines de semana se consume un 20% más de energía que los días de semana y en las curvas de demanda se ven definidos los horarios de máxima carga caracterizados por el uso de las cargas resistivas del equipamiento de la cocina.
4. Existen relaciones significativas entre las variables socioeconómicas y el consumo de electricidad sobre todo con la cantidad de personas que trabajan en los hogares, la cantidad de personas y los grupos etareos. Estos modelos presentados tienen un coeficiente de correlación Los modelos presentados tienen coeficientes de correlación superiores a 0,8.



### **Recomendaciones**

1. Sustituir el transformador instalado de 25 kVA que alimenta el edificio caso de estudio por otro de 15 kVA, teniendo en cuenta que el anterior está subcargado en un 50% de su capacidad nominal.
2. Replicar los enfoques del presente trabajo en todos los edificios que sea posible para enfatizar los resultados que se obtienen.



---

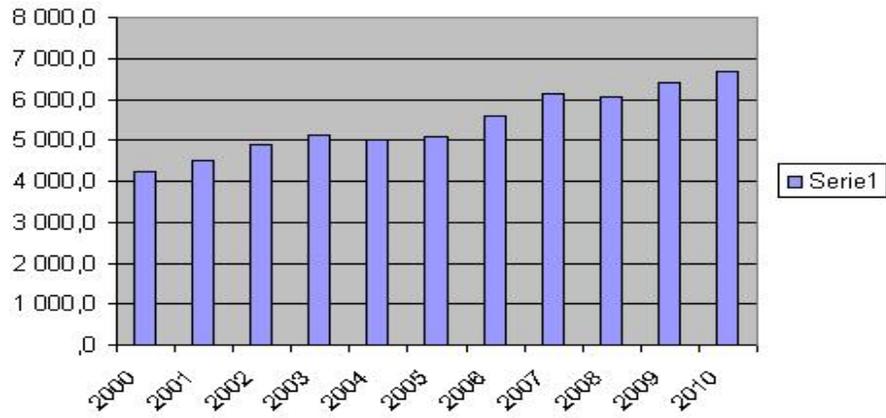
## Bibliografía

### (NESDP, 1993)

- Desequilibrio y pérdidas en las instalaciones eléctricas F. Redondo Quintela, J.M. García Arévalo y N. Redondo Melchor Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial. Universidad de Salamanca.
- De Armas Teyra Marcos A., Gómez Sarduy Julio & Pérez Tello Carlos. “Inteligencia Artificial Aplicada al Análisis de Sistemas Energéticos con Matlab”. Capítulos 3 y 6; Redes Neuronales y Temáticas Avanzadas. Universidad de Cienfuegos, Cuba. Marzo 2007
- Power Point “La revolución energética resultados y perspectivas”. Marzo 2008.
- Características de las Cargas del Sector Residencial en Cuba Autores: Leonardo Casas Fernández, Alberto Ramírez González & Alberto Limonte Ruiz
- TELENUL, SCADA de Supervisión y Telecontrol de Redes de Distribución Diseñado para Recerradores y Seccionadores NULEC. Autor: María Elena Otero Durán.
- Gallardo J. y col. Estimación de la demanda agregada de electricidad. Oficina de Estudios Económicos. OSINERG.. Perú. Enero 2004.
- Moral J. y col. Un modelo de predicción de la demanda de energía eléctrica: Thor II. Universidad Autónoma de Madrid. Noviembre 2003.
- Murillos J. y col. Estudio del pronóstico de la demanda de energía eléctrica utilizando modelos de serie de tiempo. Scientia et Técnica UTP. ISSN 0122 – 1701. Año IX, No. 23 Diciembre 2003.
- Predicción de la demanda eléctrica horaria mediante redes neuronales artificiales. Carlos Mallo González. Departamento de Economía Cuantitativa. Universidad de Oviedo.
- Aplicación de técnicas de redes neuronales artificiales al diagnóstico de procesos industriales. Antonio Muñoz San Roque. Tesis doctoral. Universidad Pontificia Comillas de Madrid. Colección de Tesis Doctorales: N° 209/1996



Anexo 1 Capítulo 1.



Consumo de energía eléctrica del sector residencial.

**10.19 - Consumo de energía eléctrica / Power consumption**

Gigawatt hora

AÑOS	Total	Industria	De ello: Insumo	Cons- trucción	Agro- pecuario	Transporte	Comercio	Otros	Población	Pérdidas
2000	15 032,2	4 856,2	927,5	57,2	224,7	96,8	345,2	2 835,4	4 246,1	2 370,6
2001	15 299,8	4 726,5	947,7	62,0	221,4	99,4	385,3	2 946,5	4 486,7	2 372,0
2002	15 698,8	4 616,4	986,0	65,9	199,5	97,4	377,4	3 023,8	4 892,9	2 425,5
2003	15 810,5	4 136,4	970,5	68,2	238,7	101,5	398,9	3 334,9	5 123,0	2 408,9
2004	15 633,7	4 093,8	956,0	65,8	263,8	92,3	390,4	3 306,5	5 010,0	2 411,1
2005	15 341,1	4 412,4	922,3	69,4	256,0	102,5	377,0	2 704,0	5 086,3	2 333,5
2006	16 468,4	4 631,6	885,0	74,5	274,8	110,0	392,2	2 743,0	5 593,3	2 649,0
2007	17 622,5	4 714,8	927,5	83,1	298,8	173,4	330,3	2 919,2	6 133,2	2 969,7
2008	17 681,3	4 469,4	897,3	85,1	315,0	279,4	306,4	3 367,6	6 050,3	2 808,0
2009	17 727,1	4 506,9	886,0	82,1	316,6	264,0	254,5	3 134,3	6 419,6	2 749,1
<b>2010</b>	<b>17 395,5</b>	<b>4 612,1</b>	<b>903,3</b>	<b>73,2</b>	<b>277,7</b>	<b>251,4</b>	<b>240,9</b>	<b>2 505,2</b>	<b>6 667,2</b>	<b>2 767,8</b>
<b>Tasas (%)</b>										
2000	3,7	2,0	-0,2	-10,5	4,3	7,9	11,6	11,3	6,4	-5,7
2001	1,8	-2,7	2,2	8,4	-1,5	2,7	11,6	3,9	5,7	0,1
2002	2,6	-2,3	4,0	6,3	-9,9	-2,0	-2,1	2,6	9,1	2,3
2003	0,7	-10,4	-1,6	3,5	19,6	4,2	5,7	10,3	4,7	-0,7
2004	-1,1	-1,0	-1,5	-3,5	10,5	-9,1	-2,1	-0,9	-2,2	0,1
2005	-1,9	7,8	-3,5	5,5	-3,0	11,1	-3,4	-18,2	1,5	-3,2
2006	7,3	5,0	-4,0	7,3	7,3	7,3	4,0	1,4	10,0	13,5
2007	7,0	1,8	4,8	11,5	8,7	57,6	-15,8	6,4	9,7	12,1
2008	0,3	-5,2	-3,3	2,4	5,4	61,1	-7,2	15,4	-1,4	-5,4
2009	0,3	0,8	-1,3	-3,6	0,5	-5,5	-16,9	-6,9	6,1	-2,1
<b>2010</b>	<b>-1,9</b>	<b>2,3</b>	<b>2,0</b>	<b>-10,8</b>	<b>-12,3</b>	<b>-4,8</b>	<b>-5,3</b>	<b>-20,1</b>	<b>3,9</b>	<b>0,7</b>

Fuente: Oficina Nacional de Estadísticas y Unión Eléctrica.

**Tabla de consumo para el anexo 1**



## ANEXO 2 PERDIDAS EN EL HIERRO Y EN EL COBRE EN TRANSFORMADORES MONOFASICOS Y TRIFÁSICOS EMPLEADOS PARA LA FACTURACIÓN EN EL SEN DE CUBA.

### Capítulo 1.

#### MONOFASICOS

CAPACIDAD	PERDIDAS	PERDIDAS
TRANSFORM.	HIERRO	COBRE
kVA	PFe	Pcu
5	0.046	0.1.07
10	0.065	0.180
15	0.084	0.251
25	0.115	0.389
37	0.162	0.487
50	0.199	0.626
75	0.269	0.882
100	0.332	1.185
167	0.482	1.893
250	0.660	2.802
333	0.830	3.587

#### TRIFASICOS

CAPACIDAD	PERDIDAS	PERDIDAS
TRANSFORM.	HIERRO	COBRE
KVA	PFe	Pcu
25	0.230	0.553
37	0.259	0.718
40	0.262	0.860
50	0.268	1.125
63	0.285	1.170
75	0.443	1.306
100	0.468	1.771
150	0.813	2.218
160	0.510	2.150
200	1.143	2.738
250	0.700	3.100
300	1.349	4.206
400	1.457	5.803
500	1.484	6.883
630	1.531	7.736
750	2.237	9.925
800	2.300	10.340
1000	2.594	11.115
1250	2.705	15.520
1600	3.174	16.587
2000	3.649	23.950
2500	5.175	23.100
3200	11.50	37.000
4000	6.861	29.240
6300	9.080	40.695
7500	11.50	55.000
10000	14.50	65.000
16000	18.20	78.110
25000	27.00	120.00
40000	52.00	175.00

**Anexo 3. Informaciones de los clientes de un grupo de transformadores de distribución que alimentan edificios multifamiliares.****Capítulo 3**

<b>Transformador</b>	<b>S(kVA)</b>	<b>Prom. kWh/mes</b>	<b># Clientes</b>	<b>Importe. Prom. (MN)</b>
OB 261	50	7883	49	15252.63
OB 439	50	6336	38	13326.71
OB 467	50	5048	30	10275.46
OB 406	37.5	6458	42	12939.08
OB 405	37.5	5725	34	12797.94
OB 268	50	5924	40	11321.6
OB 504	50	7237	40	17007.45
OB 404	37.5	3142	21	5763.34
OB 269	37.5	6308	40	13869.5
OB 270	50	8320	52	16578.74
OB 254	37.5	7269	42	15401.16
OB 256	37.5	10119	57	21129.63
OB 567	37.5	6578	41	14250.2
OB 566	37.5	7097	41	16158.28
OB 258	37.5	5120	31	10921.37
OB 565	50	6607	40	13260.68
OB 266	50	11706	61	22765.68
OB 331	50	9663	57	23049.3
OB 500	50	10844	62	26741.29
OB 574	37.5	4440	23	10442.54
OB 437	50	4772	31	10046.12
OB 264	50	8675	51	17868.28
OB 467	50	11137	60	25713.5
OB 265	50	10389	62	21528.01
OB 438	50	5133	30	10575.18
OB 451	50	7240	40	16078.93
OB 470	25	4930	30	9445.68
OB 557	25	4939	30	10049.06
OB 259	37.5	4590	30	8722.31
OB 258	37.5	9110	50	19183.24
OB 267	37.5	5016	29	10483.96
OB 255	37.5	4057	21	9646.36
OB 655	37.5	7225	44	14178.53
OB 506	37.5	4895	32	9454.74
OB 260	25	4803	31	9461.97
OB 507	50	8782	51	18338.52
OB 262	50	5545	39	9950.08

**Anexo 4 Informaciones de los clientes de un grupo de transformadores de distribución que alimentan edificios multifamiliares. Capítulo 3**

<b>Transformador</b>	<b>S(kVA)</b>	<b>Prom. kWh/mes</b>	<b># Clientes</b>	<b>Importe. Prom. (MN)</b>
OB 261	50	7883	49	15252.63
OB 439	50	6336	38	13326.71
OB 467	50	5048	30	10275.46
OB 406	37.5	6458	42	12939.08
OB 405	37.5	5725	34	12797.94
OB 268	50	5924	40	11321.6
OB 504	50	7237	40	17007.45
OB 404	37.5	3142	21	5763.34
OB 269	37.5	6308	40	13869.5
OB 270	50	8320	52	16578.74
OB 254	37.5	7269	42	15401.16
OB 256	37.5	10119	57	21129.63
OB 567	37.5	6578	41	14250.2
OB 566	37.5	7097	41	16158.28
OB 258	37.5	5120	31	10921.37
OB 565	50	6607	40	13260.68
OB 266	50	11706	61	22765.68
OB 331	50	9663	57	23049.3
OB 500	50	10844	62	26741.29
OB 574	37.5	4440	23	10442.54
OB 437	50	4772	31	10046.12
OB 264	50	8675	51	17868.28
OB 467	50	11137	60	25713.5
OB 265	50	10389	62	21528.01
OB 438	50	5133	30	10575.18
OB 451	50	7240	40	16078.93
OB 470	25	4930	30	9445.68
OB 557	25	4939	30	10049.06
OB 259	37.5	4590	30	8722.31
OB 258	37.5	9110	50	19183.24
OB 267	37.5	5016	29	10483.96
OB 255	37.5	4057	21	9646.36
OB 655	37.5	7225	44	14178.53
OB 506	37.5	4895	32	9454.74
OB 260	25	4803	31	9461.97
OB 507	50	8782	51	18338.52
OB 262	50	5545	39	9950.08



**Anexo 5 Estructura porcentual de la facturación eléctrica en 34 rutas del servicio eléctrico pertenecientes todas a edificios multifamiliares.**  
**Capítulo 3**

Ruta	Clientes	0-100	101-150	151-200	201-250	251-300	301-350	351-500
R1	286	9.8	25.2	38.5	17.5	7.0	1.4	0.7
R2	180	10.6	24.4	38.3	20.6	5.0	1.1	0.0
R3	132	13.6	22.7	34.1	22.0	4.5	1.5	1.5
R4	207	6.3	21.3	41.1	25.1	4.3	1.0	1.0
R5	120	7.5	20.8	38.3	23.3	7.5	1.7	0.8
R6	143	4.9	26.6	41.3	21.0	4.2	2.1	0.0
R7	207	10.6	26.6	34.3	17.4	7.7	3.4	0.0
R8	149	10.7	18.8	32.2	27.5	6.0	4.0	0.7
R12	256	8.2	20.7	34.8	20.7	9.8	4.7	1.2
R13	154	6.5	21.4	37.7	20.1	11.0	2.6	0.6
R14	202	9.4	23.3	31.7	26.2	7.9	1.5	0.0
R15	211	16.1	28.4	35.1	16.6	2.8	0.9	0.0
R16	241	14.1	30.3	32.8	17.4	4.6	0.8	0.0
R17	225	8.4	28.0	36.9	20.9	5.3	0.4	0.0
R18	194	16.5	24.7	37.6	12.9	6.2	1.5	0.5
R19	219	7.8	26.5	36.5	22.4	5.5	0.9	0.0
R20	205	9.8	25.9	44.4	15.1	3.4	1.5	0.0
R21	205	11.2	24.4	32.7	23.4	6.8	1.0	0.5
R22	166	12.0	30.7	27.1	17.5	8.4	3.0	1.2
R24	138	9.4	26.8	28.3	29.7	5.1	0.7	0.0
R25	213	8.0	23.0	35.7	25.4	6.1	1.9	0.0
R26	115	7.8	26.1	30.4	25.2	8.7	1.7	0.0
R27	167	12.0	17.4	41.3	22.2	6.6	0.6	0.0
R28	199	16.6	24.6	30.7	21.6	5.0	0.5	1.0
R29	155	10.3	29.0	37.4	17.4	5.2	0.6	0.0
R31	74	9.5	29.7	32.4	23.0	5.4	0.0	0.0
R32	191	10.5	26.2	36.6	18.3	4.7	3.1	0.5
R33	205	14.6	15.6	35.1	22.0	10.7	1.5	0.5
R34	145	12.4	28.3	34.5	18.6	5.5	0.7	0.0
R35	145	18.6	24.5	34.2	20.3	6.9	1.6	0.4
R36	224	11.2	20.1	30.8	25.0	9.8	3.1	0.0
R38	162	11.1	21.0	33.3	21.6	11.7	1.2	0.0
R39	178	15.2	28.7	27.5	18.5	5.6	2.8	1.7
R41	148	14.2	24.3	39.2	17.6	4.1	0.7	0.0
R42	183	19.7	37.7	25.1	11.5	4.4	1.6	0.0