

**DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UNA TÉCNICA PARA LA
CONSTRUCCIÓN DE LAS CURVAS DE DEMANDA MÁXIMA
DIVERSIFICADA PARA EMPRESAS DEL SECTOR ELÉCTRICO
COLOMBIANO**

LUISA FERNANDA GUZMÁN GÓMEZ

Código.1088246475

DIRECTOR

RICARDO ALBERTO HINCAPIÉ ISAZA

INGENIERO ELECTRICISTA

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA

FACULTAD DE INGENIERÍAS

PROGRAMA EN INGENIERÍA ELÉCTRICA

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO 1 GENERALIDADES	2
1.1 CARACTERÍSTICAS DEL SECTOR ELÉCTRICO COLOMBIANO.	2
1.2 SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN.	4
1.3 DEFINICIONES.	5
CAPITULO 2 CÁLCULO DE LA DEMANDA MÁXIMA	7
2.1 IMPORTANCIA DE LAS CURVAS DE DEMANDA MÁXIMA DIVERSIFICADA.	7
2.2 MÉTODOS EMPLEADOS PARA LA OBTENCION DE LA DEMANDA MÁXIMA.	8
2.2.1 MÉTODO DE ARVIDSON.	8
2.2.2 NORMAS ELÉCTRICAS COLOMBIANAS NTC 2050.	12
CAPITULO 3 METODOLOGÍA PROPUESTA	13
3.1 DETERMINACIÓN DE LA MUESTRA DE TRANSFORMADORES.	14
3.1.1 MÉTODOS DE MUESTREO.	14
3.1.2 SELECCIÓN DEL TIPO DE MUESTREO A USAR.	15
3.2 ESTRATIFICACIÓN SOCIOECONÓMICA.	17
3.3 EQUIPOS DE MEDIDA Y MEDICIONES.	18
3.3.1 EQUIPO DE MEDICIÓN TOPAS 1000.	19
3.3.2 EQUIPO DE MEDICIÓN MEMOBOX.	20
3.3.3 EQUIPO DE MEDICIÓN ALPHA A1200.	20
	21

3.3.4 EQUIPOS DE MEDIDA HIOKI.	
3.4 DEMANDA E INTERVALO DE DEMANDA.	22
3.5 RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN.	22
3.6 POLINOMIOS DE INTERPOLACIÓN Y AJUSTE DE CURVAS.	24
CAPITULO 4 IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA	27
PROPUESTA	
4.1 CARACTERÍSTICAS DE LA EDEQ.	27
4.1.1 ASPECTOS GENERALES DE LA ZONA.	27
4.1.2 CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA ELÉCTRICO.	28
4.1.3 CARACTERÍSTICAS COMERCIALES DEL SISTEMA EDEQ.	29
4.2 TABLAS DE DEMANDA DIVERSIFICADA ACTUALES Y LA PROBLEMÁTICA EN SU APLICACIÓN.	31
4.3 APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA.	33
4.3.1 SELECCIÓN DE TRANSFORMADORES.	33
4.3.2 MEDICIÓN EN LOS TRANSFORMADORES.	35
4.3.3 ANÁLISIS DE LAS MEDICIONES.	37
4.3.4 OBTENCIÓN DE LAS CURVAS DE DEMANDA.	39
4.3.5 RESULTADOS OBTENIDOS.	41
CAPITULO 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	49
5.1 CONCLUSIONES.	49
5.2 RECOMENDACIONES.	49
BIBLIOGRAFIA	51

AGRADECIMIENTOS

Por todo el tiempo dedicado, los consejos oportunos, la solución a los problemas que se presentaron para la realización de este proyecto, por la paciencia y el apoyo en el momento de haber realizado mi práctica empresarial, quiero agradecer de todo corazón a mi director Ricardo Hincapié.

Quiero dar un gran agradecimiento especial:

Al Ingeniero Oscar Gómez, quien con su apoyo, paciencia y tiempo dedicado, me colaboró en el desarrollo del ajuste de las curvas por métodos estadísticos.

A los Ingenieros Carlos Andrés Pulgarin y Juliana Buriticá de la empresa de Energía del Quindío quienes apoyaron el proyecto de primeros practicantes universitarios para edeq. Y me colaboraron al máximo en la contratación de personal, compra y alquiler de equipos para realizar el proyecto de curvas de demanda.

A mis padres Luis Alberto y Patricia Elena, por brindarme la oportunidad de estudiar en una excelente Universidad, por estar a mi lado día y noche en el transcurso de esta etapa tan importante para mi futuro.

A todos mis compañeros y amigos por todos esos grandes momentos de estudio, diversión, alegrías y tristeza que me ayudaron a crecer como persona.

INTRODUCCIÓN

Un sistema de potencia está compuesto por los sistemas de generación, transmisión y distribución, los cuales tienen como objetivo generar energía eléctrica a partir de cualquier tipo de energía, transmitir dicha energía hasta los centros de consumo y distribuirla entre los usuarios o clientes, siempre garantizando calidad y continuidad en el servicio.

El consumo de esta energía es una característica importante en la sociedad actual, pues es un factor que está directamente ligado al desarrollo de los sectores residenciales, comerciales e industriales.

Los usuarios residenciales están siempre en constante crecimiento, lo que ocasiona que se deban tener ciertos aspectos que conlleven a un correcto dimensionamiento de los sistemas de distribución, con el fin de cubrir dicha demanda en forma adecuada. Para garantizar que esto se cumpla, las empresas distribuidoras de energía eléctrica cuentan con unas curvas de demanda máxima diversificada que reflejan el comportamiento del sistema de acuerdo al estrato socioeconómico al que pertenece cada usuario o grupo de usuarios.

Unas curvas de demanda máxima diversificada que no estén acordes con sistema en el cual están siendo usadas, ocasionan un sobredimensionamiento en los elementos empleados en distribución como conductores y transformadores, lo que se ve reflejado en el incremento de las pérdidas en los transformadores y los costos para las empresas.

Con el fin de garantizar que el diseño de los sistemas de distribución se realice adecuadamente, se propone en este trabajo, una metodología para la construcción de las curvas de demanda máxima diversificada, que se ajusten a las necesidades del sector residencial, a partir del agrupamiento de los usuarios en grupos homogéneos según la estratificación económica.

El desarrollo de este trabajo se realiza de la siguiente manera:

En el capítulo uno se encuentra algunas generalidades de los sistemas eléctricos.

En el siguiente capítulo se presentan diversos ítems relacionados con las curvas de demanda máxima diversificada.

En el tercer capítulo se ilustra la metodología planteada en este trabajo para obtener las curvas de demanda.

En el último capítulo observa la aplicación de la metodología a un sistema de distribución real, con el fin de verificar la validez del procedimiento propuesto.

Finalmente se encuentran las conclusiones, las recomendaciones y por último la bibliografía.

CAPITULO 1. GENERALIDADES

1.1. CARACTERÍSTICAS DEL SECTOR ELÉCTRICO COLOMBIANO

Actualmente Colombia cuenta con un mercado energético liberalizado desde 1995, el cual se caracteriza por un marco que desagrupa la generación, transmisión, distribución y comercialización. La estructura de dicho mercado está basada en las leyes 142 y 143 de 1994, donde las principales instituciones involucradas en dicho proceso son la UPME (Unidad de planeación minero-energética) y la CREG (Comisión de regulación de energía y gas), las cuales tienen como finalidad la planeación y la regulación conjunta del sector eléctrico.

En Colombia se tiene una oferta de electricidad conformada principalmente por centrales hidráulicas y térmicas a gas y a carbón, con una participación mayoritaria de las centrales hidráulicas. La capacidad hidráulica actual representa el 63.4% del total de la capacidad efectiva del SIN, la térmica el 32.3% y las plantas menores y cogeneradores el 4.2% [1]. En la siguiente tabla se observa los diferentes tipos de generación eléctrica en Colombia.

Tabla 1.1. Oferta de Electricidad en Colombia

TIPO DE RECURSO	MW	%
Hidráulica	8525.0	63.4
Térmica	4343.0	32.3
Gas	2757.0	
Carbón	967.0	
Menores	564.3	4.2
Hidráulica y térmica	545.8	
Eólica	18.4	
Cogeneradores	24.5	0.2
TOTAL	13456.8	100

El sistema eléctrico Colombiano está dividido en:

- Sistema de Transmisión Nacional -STN
- Sistema de Transmisión Regional - STR
- Sistema de Distribución Local - SDL

Los tres sistemas anteriores componen el Sistema Interconectado nacional (SIN).

El consumo interno colombiano involucra los sectores comerciales, residenciales, oficiales e industriales, entre otros. El porcentaje del consumo por sector presenta en la tabla 1.2.

Tabla 1.2. Consumo sectorial en Colombia

SECTOR DE CONSUMO	%
Residencial	42.2%
Industrial	31.8%
Comercial	18%
Oficial	3.8%
Otros Usos	4.3%
Total	100%

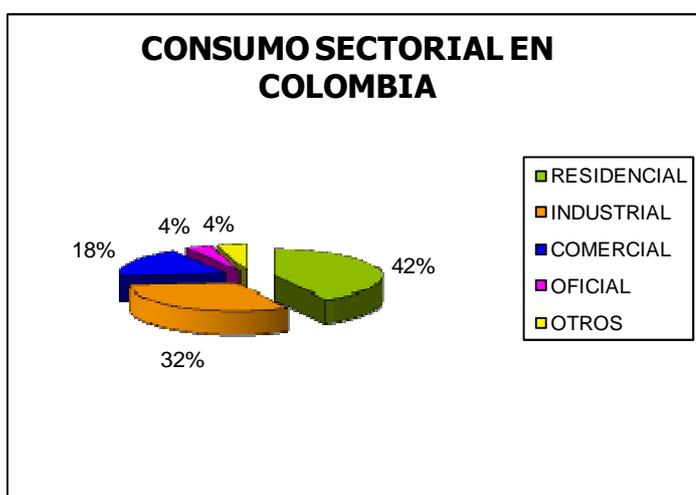


Figura 1.1. Consumo sectorial en Colombia

Colombia tiene registrados 66 productores de electricidad. Las compañías privadas son propietarias del 60 % de la capacidad de generación instalada y totalizan del 43 al 49 % de la energía suministrada a la red interconectada. Las Empresas Públicas de Medellín e ISAGEN, así como EMGESA controlan el 52 % de la capacidad de generación total.

La transmisión en el Sistema Nacional Interconectado es servida por siete compañías públicas distintas, cuatro de las cuales trabajan exclusivamente en transmisión (ISA, EEB, TRANSELCA y DISTASA). Las tres restantes (EEPPM, ESSA y EPSA) son compañías integradas que llevan a cabo todas las demás actividades de la cadena eléctrica [2].

Hoy en día existen 28 compañías comercializadoras, 22 de distribución y comercialización, 8 que integran generación, distribución y comercialización, y 3 completamente integradas.

Actualmente Colombia es un exportador de energía a países como Ecuador, Panamá y Venezuela. De acuerdo con el Ministerio de Minas y Energía, se estima que las exportaciones se incrementarán en un 5 por ciento anualmente en los próximos años.

Como proyectos futuros se actuales y tienen el Plan Puebla Panamá, el cual incluye un proyecto de interconexión eléctrica entre Colombia y Panamá que permite integrar a Colombia con Centroamérica. Este proyecto, llevado a cabo por ISA en Colombia y la Empresa de Transmisión Eléctrica S.A. (ETESA) en Panamá, comprende la construcción de una línea de transmisión de 300 MW de capacidad desde Colombia a Panamá y 200 MW de capacidad de modo revertida. Se calcula que la línea entrará en operación este año. Además de eso, el gobierno Colombiano suscribió un acuerdo con República Dominicana y Puerto Rico para el suministro de energía eléctrica por medio de una red submarina que conectaría el norte de Colombia con República Dominicana, la cual tendría un costo aproximado de 4.000 millones de dólares [3].

1.2. SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN

Los sistemas de distribución son los encargados de entregar a los consumidores la energía recibida del Sistema de Transmisión Nacional y/o Regional. Estos deben garantizar siempre un servicio confiable, continuo y con ciertos estándares de calidad. Por eso al planear los sistemas de distribución, se crea una responsabilidad de mantener un suministro de electricidad sin interrupciones, determinando la infraestructura necesaria para atender el crecimiento de la demanda y garantizar la confiabilidad y continuidad del servicio de energía.

Para efectuar el planeamiento es necesario definir los criterios de operación del sistema y establecer índices de confiabilidad con los que se medirá si el suministro de energía eléctrica es adecuado o no, además se debe lograr el correcto funcionamiento de todos los elementos que comprenden el sistema de distribución como líneas, equipos de medida, reconectores, transformadores y subestaciones, entre otros, teniendo siempre una flexibilidad a variaciones repentinas, dadas por el crecimiento de la demanda, inconsistencias y fallas en el sistema. La planeación aplica a las actividades desarrolladas desde el análisis de la información, hasta la elaboración del estudio de expansión para determinar la infraestructura a corto, mediano y largo plazo.

El objetivo general del planeamiento es definir las estrategias para la construcción de nuevos proyectos con el fin de garantizar una reducción de pérdidas de potencia, un suministro adecuado del futuro crecimiento de la carga y el incremento de la confiabilidad, seguridad y calidad en el sistema.

Para la planeación de cada empresa, los procesos de toma de decisiones y las estrategias se deben apoyar en metodologías y herramientas que modelen diversos escenarios de comportamiento y crecimiento de los sistemas eléctricos. Los estudios más comunes que se realizan son:

- Recopilación y análisis de información.

- Cumplimiento de los requerimientos técnicos establecidos por las normas colombianas de energía.
- Análisis de las necesidades de infraestructura.
- Gestión de los recursos para los diferentes estudios y análisis del comportamiento del sistema.
- Estudio del pronóstico de la demanda en tiempo y forma, precisando un método que evalúe año a año y realice predicciones de crecimiento.

Con lo planteado anteriormente se busca conocer realmente el comportamiento de la demanda para poder tomar decisiones a la hora de diseñar y dimensionar los elementos nuevos y verificar si es necesario el cambio de elementos existentes.

1.3. DEFINICIONES

Con el fin de conocer la terminología empleada a la hora de evaluar la demanda de potencia, se presentan en este numeral las siguientes definiciones.

- **Demanda:** es la potencia requerida por el consumidor en un instante dado.
- **Demanda Promedio:** es la relación que hay entre el consumo de energía en KW-h en un intervalo y ese mismo intervalo.
- **Demanda diversificada o coincidente:** es la suma de las demandas de varios usuarios en un momento determinado, considerando el mismo intervalo de tiempo.
- **Demanda máxima diversificada:** es el máximo valor de la demanda diversificada.
- **Demanda máxima no coincidente:** es la suma de las demandas máximas individuales sin importar que ocurran o no al mismo tiempo.
- **Carga Instalada:** es la suma de todas las potencias nominales continuas de los aparatos de consumo conectados a un sistema o a parte de él. Se expresa generalmente en kVA, MVA, KW o MW. Matemáticamente se indica como:

$$CI = \sum \text{Potencias_nom_de_la_CARGA} \quad (1.1)$$

- **Curva de Carga:** es el gráfico que indica la demanda de potencia, de un consumidor en cada instante de tiempo, durante un periodo. Muestra mediciones continuas o discretas.

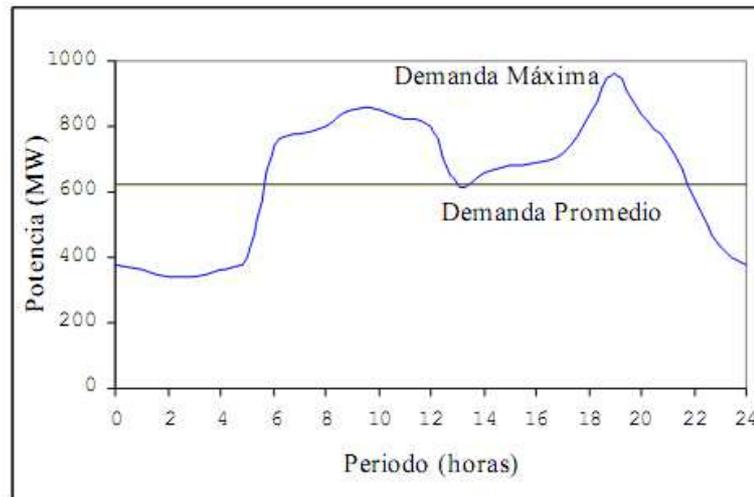


Figura 1.2. Curva de carga típica

- **Diversidad de carga:** es la diferencia que hay entre la suma de demandas máximas no coincidentes con la demanda máxima coincidente. Muestra que tan diferente es el comportamiento entre los usuarios.

$$LD = \sum_{i=1}^n D_{mi} - D_{m(\text{div})} \quad (1.2)$$

- **Factor de diversidad:** mide cuán grande es la demanda máxima individual por usuario con respecto a su contribución a la demanda máxima del grupo. Está dada por:

$$f_{\text{div}} = \frac{\sum_{i=1}^n D_{mi}}{D_{m\text{grupo}}} = \frac{D_{m\text{nocoinc}}}{D_{m\text{coinc}}} \quad (1.3)$$

- **Factor de coincidencia:** mide la fracción de la demanda máxima individual que cada usuario contribuye para la demanda máxima.

$$f_{\text{co}} = \frac{D_{m\text{grupo}}}{\sum_{i=1}^n D_{mi}} = \frac{1}{f_{\text{div}}} \quad (1.4)$$

- **Factor de carga:** es la relación que hay entre el consumo durante un periodo de tiempo determinado y el consumo que habría resultado de la utilización permanente de la potencia máxima.
- **Factor de utilización:** es la relación que hay entre la potencia máxima y la potencia instalada.

CAPITULO 2. CÁLCULO DE LA DEMANDA MÁXIMA

2.1. IMPORTANCIA DE LAS CURVAS DE DEMANDA MÁXIMA DIVERSIFICADA

Un sistema de distribución debe contar con un diseño óptimo el cual permita mantener unos estándares de calidad y estar a la vanguardia de las posibilidades de crecimiento de una forma sostenible para una electrificadora.

El objetivo general del planeamiento de sistemas de distribución es minimizar el costo de subestaciones, alimentadores, transformadores, redes secundarias, pérdidas de potencia y energía, sometido a restricciones de valores permisibles de voltaje, caídas momentáneas de voltaje, así como de continuidad en el servicio.

Para el planeamiento, diseño, construcción, operación y mantenimiento de un sistema de distribución se debe cumplir con requisitos como la aplicación de las normas del código Eléctrico Nacional, simplicidad en la construcción, optimización de costos, localización de la alimentación para el sistema, conocimiento de las cargas, conocimiento de las tasas de crecimiento de las cargas, información sobre la ubicación de cargas para zonas residenciales, comerciales e industriales, nivel socioeconómico, ubicación de diferentes instalaciones ya existentes en la zona, selección de los equipos de distribución incluyendo interruptores, líneas, transformadores y conductores, entre otros.

Todos estos estudios permiten construir las curvas de demanda máxima diversificada las cuales expresan el comportamiento de los usuarios conectados al sistema de distribución.

No contar con unas curvas adecuadas que reflejen el comportamiento de un sistema puede costarle a las electrificadoras grandes problemas operativos como sobrecargas en los alimentadores cuando su capacidad máxima es excedida, sobrecargas en los transformadores cuando su capacidad de potencia es excedida y sobredimensionamiento del mismo si el consumo es bastante inferior a la carga instalada, ocasionando esto un incremento en las pérdidas en los transformadores, lo que también se puede ver relegado en pérdidas económicas al no tener una optimización de los costos de los equipos.

Algunas empresas distribuidoras y comercializadoras de energía han utilizado ajuste de curvas de carga de otras regiones adaptándolas a su sistema. Este procedimiento se basa en observar y comparar el comportamiento de los usuarios residenciales dividido por estratos socioeconómicos, obteniendo semejanzas en el consumo entre las diferentes

zonas, evitando así costos en el estudio de medida y diseño. Sin embargo las regiones tienen diferencias culturales, climáticas y costumbres, y al realizar las adaptaciones de un sistema a otro, los diseños pueden presentar inconsistencias ya sea a corto o mediano plazo, como equipos sobrecargados, sobredimensionados, problemas de operación en alimentadores y transformadores, inadecuados niveles de tensión, incremento de pérdidas técnicas y por ende el incremento de pérdidas económicas [4].

Debido a esto es importante que cada electrificadora realice los estudios pertinentes para obtener las curvas de demanda máxima diversificada que permita conocer el comportamiento de su demanda residencial diferenciada por estratos socioeconómicos y para diversos grupos de usuarios.

2.2. MÉTODOS EMPLEADOS PARA LA OBTENCIÓN DE LA DEMANDA MÁXIMA

2.1.1. MÉTODO DE ARVIDSON

Arvidson C.E en su publicación titulada “Diversified demand method of estimating residential distribution transformer loads“ [5] desarrolló un método para estimar analíticamente las cargas de los transformadores de distribución en áreas residenciales por el método de demanda diversificada el cual tiene en cuenta la diversidad entre cargas similares y la no coincidencia de los picos de diferentes tipos de cargas.

Para tener en cuenta la no coincidencia de los picos de los diferentes tipos de carga, se introdujo el factor de variación horaria, definido como la variación entre la demanda de un tipo particular de carga coincidente, con la demanda máxima de un grupo y la demanda máxima de este tipo en particular de carga. En la tabla 2.1 se presentan los datos de variación horaria para varios tipos de electrodomésticos.

En la figura 2.1 se ilustran las curvas de varios tipos de electrodomésticos para determinar la demanda máxima diversificada promedio por consumidor en Kw/carga. En esta figura, cada curva representa un 100% de nivel de saturación para una demanda específica.

Para aplicar el método de Arvidson para determinar la demanda máxima diversificada, para un nivel de saturación y un electrodoméstico en particular, se presenta el siguiente procedimiento:

- Determinar el número total de electrodomésticos y multiplicar el número total de consumidores por el valor de saturación en p.u. obtenido de la figura 2.1. Realizar esto para cada electrodoméstico.
- Leer la demanda diversificada correspondiente por consumidor de la curva para el número dado de electrodomésticos.

- Determinar la demanda máxima, multiplicando la demanda en el paso anterior por el número total de electrodomésticos.
- Determinar la construcción de este tipo de carga a la demanda máxima del grupo, multiplicando el valor resultante del paso anterior por el correspondiente valor de variación horaria.

Después de realizar este procedimiento se obtienen los valores de la demanda diversificada por usuario para diferentes grupos de usuarios. La curva resultante muestra el nivel de saturación al cual llegan los grupos de usuarios, es decir, el valor a partir del cual cada usuario consume lo mismo sin importar el número de usuarios que se presenten en el grupo.

Tabla 2.1. Factores de variación horaria

Hora	Iluminación y tomas misceláneos	Refrigerador	Congelador	Estufa	Aire acondicionado *	Bomba de calor		Calefacción de vivienda *	Calentador de agua †			
						Invierno	Verano		OPHW ‡		Elementos no controlados	Secadora de ropa §
									ambos elementos restringidos	solo bajo elementos restringidos		
12 AM	0.32	0.93	0.92	0.02	0.40	0.42	0.34	0.11	0.41	0.61	0.51	0.03
1	0.12	0.89	0.90	0.01	0.39	0.35	0.49	0.07	0.33	0.46	0.37	0.02
2	0.10	0.80	0.87	0.01	0.36	0.35	0.51	0.09	0.25	0.34	0.30	0
3	0.09	0.76	0.85	0.01	0.35	0.28	0.54	0.08	0.17	0.24	0.22	0
4	0.08	0.79	0.82	0.01	0.35	0.28	0.57	0.13	0.13	0.19	0.15	0
5	0.10	0.72	0.84	0.02	0.33	0.26	0.63	0.15	0.13	0.19	0.14	0
6	0.19	0.75	0.85	0.05	0.30	0.26	0.74	0.17	0.17	0.24	0.16	0
7	0.41	0.75	0.85	0.30	0.41	0.35	1.00	0.76	0.27	0.37	0.46	0
8	0.35	0.79	0.86	0.47	0.53	0.49	0.91	1.00	0.47	0.65	0.70	0.08
9	0.31	0.79	0.86	0.28	0.62	0.58	0.83	0.97	0.63	0.87	1.00	0.20
10	0.31	0.79	0.87	0.22	0.72	0.70	0.74	0.68	0.67	0.93	1.00	0.65
11	0.30	0.85	0.90	0.22	0.74	0.73	0.60	0.57	0.67	0.93	0.99	1.00
12 M	0.28	0.85	0.92	0.33	0.80	0.84	0.57	0.55	0.67	0.93	0.98	0.98
1	0.26	0.87	0.96	0.25	0.86	0.88	0.49	0.51	0.61	0.85	0.86	0.70
2	0.29	0.90	0.98	0.16	0.89	0.95	0.46	0.49	0.55	0.76	0.82	0.65
3	0.30	0.90	0.99	0.17	0.96	1.00	0.40	0.48	0.49	0.68	0.81	0.63
4	0.32	0.90	1.00	0.24	0.97	1.00	0.43	0.44	0.33	0.46	0.79	0.38
5	0.70	0.90	1.00	0.80	0.99	1.00	0.43	0.79	0	0.09	0.75	0.30
6	0.92	0.90	0.99	1.00	1.00	1.00	0.49	0.88	0	0.13	0.75	0.22
7	1.00	0.95	0.98	0.30	0.91	0.88	0.51	0.76	0	0.19	0.80	0.26
8	0.95	1.00	0.98	0.12	0.79	0.73	0.60	0.54	1.00	1.00	0.81	0.20
9	0.85	0.95	0.97	0.09	0.71	0.72	0.54	0.42	0.84	0.98	0.73	0.18
10	0.72	0.88	0.96	0.05	0.64	0.53	0.51	0.27	0.67	0.77	0.67	0.10
11	0.50	0.88	0.95	0.04	0.55	0.49	0.34	0.23	0.54	0.69	0.59	0.04
12 PM	0.32	0.93	0.92	0.02	0.40	0.42	0.34	0.11	0.44	0.61	0.51	0.03

* El ciclo de carga y la demanda diversificada máxima dependen de la temperatura exterior, del tipo de aislamiento y construcción de la vivienda.

† El ciclo de carga y la demanda diversificada máxima depende del tamaño del tanque, la capacidad nominal del elemento de calor (los valores mostrados se aplican a tanque de 52 galones y elementos de 1000 y 1500 kW).

‡ El ciclo de carga depende de la programación de la restricción de elementos.

§ El factor de variación horaria depende de los hábitos de vida individuales en un área en particular.

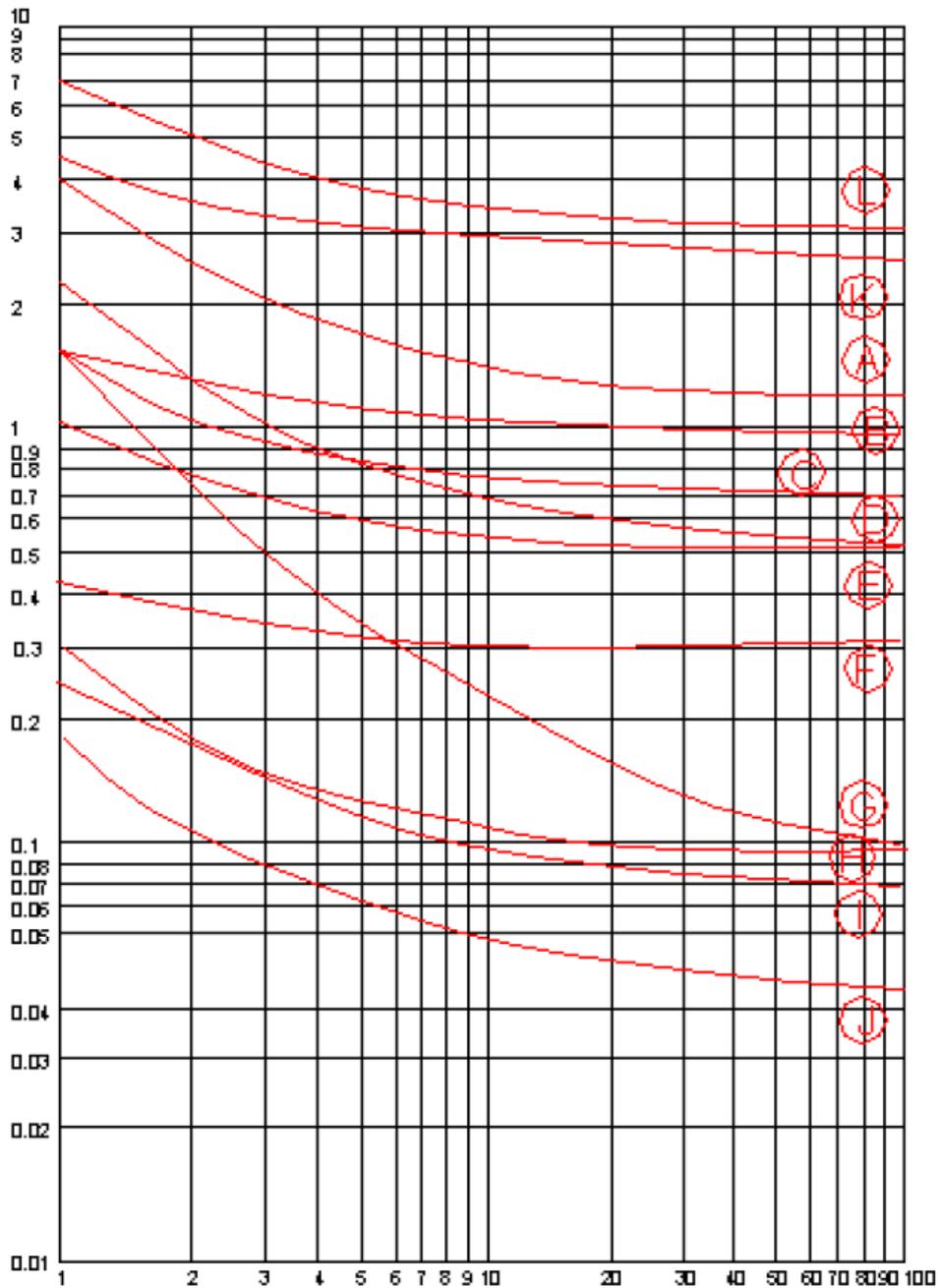


Figura 2.1. Características para varios tipos de electrodomésticos

En la figura anterior las curvas corresponden a los siguientes electrodomésticos:

- A. Secadora de ropa.
- B. Calentador de agua (fuera de pico).
- C. Calentador de agua (elementos no controlados).
- D. Estufa.
- E. Aparatos de iluminación y tomas misceláneos.
- F. Enfriadores de 0.5 hp

- G. Calentadores de agua (en el pico).
- H. Quemador de aceite.
- I. Congelador.
- J. Refrigerador.
- K. Aire acondicionado central.
- L. Calefacción vivienda.

2.2.2. NORMA NTC 2050

En Colombia la norma básica para el diseño y la construcción de las instalaciones eléctricas es el CÓDIGO ELÉCTRICO COLOMBIANO o Norma Icontec NTC 2050 [6]. Esta norma está basada en el "National Electrical Code - NEC " o Norma NFPA 70 de la "National Fire Protection Association" de los Estados Unidos de América.

La primera revisión de la norma NTC 2050 se llevó a cabo durante los años 1997 y 1998 y es publicada en el mes de Julio de 1999; las revisiones del NEC se realizan y divulgan cada tres años.

La normatividad Colombiana NTC-2050, se puede catalogar como la materialización de las necesidades nacionales en aspectos de seguridad para las instalaciones eléctricas en construcciones, basadas en parámetros aplicados y validados mundialmente, los cuales garantizan al usuario una utilización segura y confiable de las instalaciones eléctricas.

Por otro lado, propende por la racionalización de la energía, obedeciendo a la necesidad imperiosa de preservar sus fuentes, como uno de los objetivos medioambientales que se deben lograr para evitar su agotamiento [6].

Los cálculos de la instalación residencial incluyen la elaboración de:

- Cuadros de circuitos ramales, cargas conectadas, áreas servidas y equilibrio de fases.
- Cálculo de la demanda.
- Cálculo de los conductores de la acometida.
- Selección del equipo de acometida.

Para el cálculo de la demanda esta norma plantea varias alternativas para una instalación residencial. La primera de ellas está basada fundamentalmente en los Artículos 220-11, 220-15, 220-16, 220-18 y 220-19, que aplicados a este caso se tiene:

- Área de la vivienda medida según el Artículo 220-3 (b).
- Carga de iluminación según Tabla 220-3 (b).

Adicionalmente se pueden obtener los valores de demanda máxima para un número dado de electrodomésticos o circuitos de iluminación a partir de los factores de demanda establecidos en las diferentes tablas. Estos valores se obtienen a partir de la siguiente expresión:

$$f_{\text{demanda}} = \frac{\text{Demanda.max}}{\text{C.instalada}} \quad (2.1)$$

CAPITULO 3. METODOLOGÍA PROPUESTA

Para obtener las curvas de demanda máxima diversificada se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Selección de una muestra representativa de los transformadores a medir.
- Realizar un estudio socioeconómico de la zona, donde se encuentran los estratos de consumo que se encuentran en la región estudiada.
- Sectorizar la zona para homogenizar las cargas a medir, agrupando los usuarios que mantengan características comunes de consumo.
- Determinar la potencia en KVA correspondiente al consumo pico de los diferentes consumos de usuarios en función de la tensión y la corriente de la medida obtenida en la red o de la lectura del registrador de demanda. Esta medida debe ser corregida empleando la siguiente expresión:

$$\text{kVA corregidos} = \left(\frac{V_{\text{nom}}}{V_{\text{medido}}} \right)^{1.5} * \text{KVAmedidos} \quad (3.1)$$

De los datos obtenidos se calcula la demanda máxima promedio por acometida o consumidor para diferentes circuitos y la demanda máxima promedio para n consumidores.

$$D_{\text{max_promedio}} = \frac{\text{kVAcorregidos}}{n} = \frac{(D_{\text{max_grupo}})\text{corregidos}}{n} \quad (3.2)$$

Es importante el comportamiento de la curva en su comienzo, debido a que se especifica la demanda máxima individual, para lo cual se emplean medidas hechas en las acometidas individuales. De igual manera en el trazado de la curva en la zona del cambio fuerte de pendiente, pues en ese lugar se presentan mayores diferencias en los factores de diversidad de una zona a otra o de un tipo de consumo a otro. La tendencia de la curva determina la magnitud del alimentador principal o acometida secundaria del transformador. [7].

De igual modo, la curva de factores de diversidad debe estar ligada a este estudio, teniendo en cuenta que este factor es cuantitativamente igual a la relación entre la demanda máxima individual y la demanda máxima promedio por consumidor, para n consumidores.

$$F_{\text{div_para_n_consumidores}} = \frac{D_{\text{max_individual}}}{D_{\text{max_promedio_por_consumidor}}} \quad (3.3)$$

Luego se debe determinar el tipo de polinomio de interpolación o el método de ajuste de curva correspondiente a usar con los datos obtenidos de los puntos anteriores. Al tener todos los valores para cada estrato y luego de observar el tipo de comportamiento que toma la curva de datos se puede emplear el ajuste seleccionado y así relacionar la curva a una ecuación característica, definiendo los valores reales de demanda diversificada por usuario.

3.1. DETERMINACIÓN DE LA MUESTRA DE TRANSFORMADORES

3.1.1. MÉTODOS DE MUESTREO

Al elegir una muestra se espera que ésta caracterice a la población estudiada. Para que el muestreo sea válido y se realice un estudio adecuado, se deben cumplir ciertos requisitos como estimar los márgenes de error que se tienen de las estimaciones hechas a la población, aunque no se está completamente seguro de que la muestra sea una muestra representativa sí se puede actuar de manera que esta condición se alcance con una probabilidad alta.

Existen dos métodos para seleccionar la muestra, el muestreo no aleatorio o de juicio que se basa en la experiencia de alguien con la población y el muestreo aleatorio o probabilístico en el que todos los elementos de la población tienen la oportunidad de ser elegidos en la muestra.

Cuando el universo de estudio es bastante numeroso es recomendable realizar la investigación por muestreo probabilístico, y dependiendo de la población y de los resultados esperados, se escoge el método que más se acomode a la investigación.

- **Muestreo Aleatorio simple:** es la extracción de una muestra de la población finita, el cual garantiza a cada uno de los elementos de la población la misma oportunidad de ser incluidos. Existen tres tipos: sin reposición de los elementos (donde cada elemento extraído se descarta para la siguiente elección), con reposición de los elementos (donde las observaciones se realizan con reemplazo de los individuos, de forma que la población es idéntica en todas las extracciones) y con reposición múltiple (se emplea en poblaciones muy grandes existe gran probabilidad de repetir una extracción).
- **Muestreo Sistemático:** se utiliza cuando la población es de gran tamaño o ha de extenderse en el tiempo.
- **Muestreo por estadios múltiples:** esta técnica es la única opción cuando no se dispone de lista completa de la población de referencia o bien cuando por medio de

la técnica de muestreo simple o estratificado se obtiene una muestra con unidades distribuidas de tal forma que resultan de difícil acceso. En el muestreo a estadios múltiples se subdivide la población en varios niveles ordenados que se extraen sucesivamente por medio de un procedimiento de embudo. El muestreo se desarrolla en varias fases o extracciones sucesivas para cada nivel.

- **Muestreo por conglomerados:** es una técnica similar al muestreo por estadios múltiples y se utiliza cuando la población se encuentra dividida, de manera natural, en grupos que se supone que contienen toda la variabilidad de la población, es decir, la representan fielmente respecto a la característica a elegir. Pueden seleccionarse sólo algunos de estos grupos o conglomerados para la realización del estudio.
- **Error de Estimación:** es una medida de la precisión que se corresponde con la amplitud del intervalo de confianza. Cuanta más precisión se desee en la estimación de un parámetro, más estrecho deberá ser el intervalo de confianza y, si se quiere mantener o disminuir el error, más ocurrencias deberán incluirse en la muestra estudiada. En caso de no incluir nuevas observaciones para la muestra, más error se comete al aumentar la precisión [8].

3.1.2. SELECCIÓN DEL TIPO DE MUESTREO A USAR

La población de transformadores que comprenden las empresas de distribución y comercialización de energía eléctrica es generalmente grande, por lo cual es necesario elegir un método de muestreo aleatorio o probabilístico que caracterice de la mejor manera a este universo.

Como el objetivo es estimar las curvas de demanda máxima que representen los usuarios conectados al sistema, es necesario dividirla por estratos, capacidad de los transformadores y zonificar la región. Para esto es recomendable utilizar el Muestreo Aleatorio Simple con asignación proporcional de acuerdo a:

$$n = \frac{N \cdot \sigma^2}{(N - 1) \cdot D + \sigma^2} \quad (3.4)$$

Donde:

n : es el tamaño de la muestra.

N: es el tamaño de la población.

σ : desviación estándar.

$$D = \frac{E^2}{4} \quad (3.5)$$

Donde:

E = es el error de estimación

El error de estimación es una medida de la precisión que corresponde con la amplitud del intervalo de confianza. Cuanta más precisión se desee en la estimación de un parámetro, más estrecho deberá ser el intervalo de confianza y, si se quiere mantener o disminuir el error, más ocurrencias deberán incluirse en la muestra estudiada. En caso de no incluir nuevas observaciones para la muestra, más error se comete al aumentar la precisión. Se suele llamar E, según la fórmula $E = \theta_2 - \theta_1$.

El nivel de confianza se denota por $(1-\alpha)$, aunque habitualmente suele expresarse con un porcentaje $((1-\alpha) \cdot 100\%)$. Es habitual tomar como nivel de confianza un 95% o un 99%, que se corresponden con valores α de 0,05 y 0,01 respectivamente [9].

La desviación estándar permite determinar el promedio aritmético de fluctuación de los datos respecto a su punto central o media. Esta medida da como resultado un valor numérico que representa el promedio de diferencia que hay entre los datos y la media.

La varianza permite identificar la diferencia promedio que hay entre cada uno de los valores respecto a su punto central. Este promedio es calculado elevando cada una de las diferencias al cuadrado con el fin de eliminar los signos negativos y calculando su promedio o media, es decir, sumando todos los cuadrados de las diferencias de cada valor respecto a la media y dividiendo este resultado por el número de observaciones que se tengan. Por lo tanto para conocer el valor de la desviación estándar se debe calcular la media (\bar{X}) y la varianza (σ^2) con las siguientes expresiones:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{j=1}^n X_j}{n} \quad (3.6)$$

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{j=1}^n (X_j - \bar{X})^2}{n} \quad (3.7)$$

Como la varianza es el cuadrado de la desviación estándar, entonces:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (X_j - X)^2}{n}} \quad (3.8)$$

Es decir, $\sigma = \sqrt{\sigma^2}$, donde:

$(X_j - X)$: es la media de las diferencias con la media

X : media

n : tamaño de la muestra

3.2. ESTRATIFICACIÓN SOCIOECONÓMICA

La estratificación socioeconómica es una clasificación de los domicilios o viviendas a partir de sus características físicas y de su entorno en seis grupos o estratos, en cuanto a grado de riqueza y calidad de vida, condiciones físicas de las viviendas y su localización.

En el decreto N° 262 de 2004 se otorgó al DANE la responsabilidad de diseño de la metodología de estratificación, la cual se basó en la utilización complementaria de métodos cualitativos y cuantitativos teniendo en cuenta la heterogeneidad del País [10].

La estratificación en Colombia se utiliza como instrumento de focalización geográfica para el cobro diferencial de los servicios públicos domiciliarios. Se han establecido históricamente seis estratos identificados de acuerdo a las características de la vivienda y del entorno, como indicador indirecto de la capacidad económica de quienes los habitan. De esta manera, la calidad de la vivienda se ha tomado como aproximación a la calidad de vida de sus habitantes. Todos los clientes del sistema poseen una gran variedad de la forma de consumo, es necesario agruparlos de tal forma que se mantengan las características comunes entre los clientes que poseen consumos similares, para realizar el cobro apropiado del servicio de energía eléctrica prestado.

La estratificación incluye variables relacionadas con las características de vivienda y su entorno. En total se tienen en cuenta un conjunto de ocho variables:

- Existencia de viviendas en el lado de la manzana con entrada principal.
- Tipo de vías de acceso sobre la calle o vía del lado de la manzana (sendero o camino peatonal, vehicular en tierra o en balasto o gravilla, vehicular en asfalto, cemento o adoquín).
- Presencia de aguas negras a la vista, botaderos de basura, plaza de mercado, talleres, fabricas, terminales de buses, bares, etc.
- Predominio de andenes en el lado de la manzana, viviendas sin andenes, con andenes pero sin zona verde.
- Predominio de viviendas sin antejardín, con antejardín grande, mediano o pequeño.
- Presencia de viviendas sin garaje, o con garaje en distintas características.

- Material de las fachadas (Guadua, caña, esterilla, placa prefabricada, bloque bahareque, ladrillo común).
- Tipo de material de la puerta principal (Tabla, guadua, esterilla, madera pulida, lámina metálica, madera fina tallada, vidrio, entre otros).

La vivienda por lo tanto se enmarca en cualquiera de los seis estratos existentes en el país. Al utilizar el estrato para el cobro de la energía eléctrica, el 15% de los hogares se ubica en el estrato bajo o estrato uno, otro 39% se ubica en estrato bajo o estrato dos y menos de 2% se ubica en estrato alto o estrato seis [11].

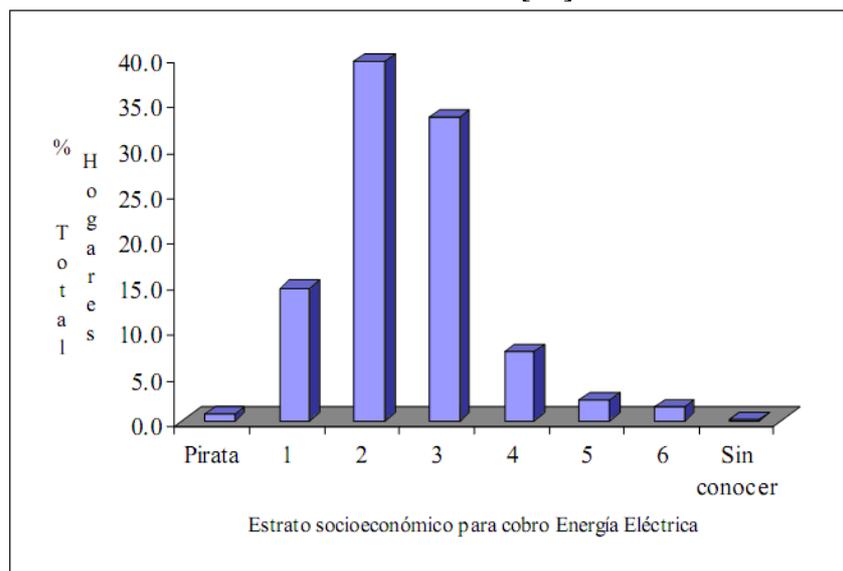


Figura 3.1 Estrato socioeconómico para el cobro de energía eléctrica

Es importante entonces estratificar las regiones para:

- Materializar los criterios de solidaridad y redistribución del ingreso, contemplados en el régimen tarifario.
- Facturar el cobro de servicios públicos domiciliarios que recibe cada residencia con estrato único.
- Aplicar (de manera opcional), la estratificación en el cobro del impuesto predial unificado.
- Dirigir eficientemente la inversión social y a la población que verdaderamente lo necesita (sisben, subsidios a las familias, pago diferencial en la educación pública, etc.)
- Aplicar subsidios a los sectores más favorecidos de la población y recaudar las contribuciones de los estratos superiores.

3.3. EQUIPOS DE MEDIDA Y MEDICIONES

Con el fin de registrar el comportamiento de los usuarios conectados a un sistema, se deben emplear los equipos de medida. Algunos equipos comúnmente empleados son:

TOPAS [12], MEMOBOX [13], A1200 ALPHA METER [14], HIOKI 3286 [15] y HIOKI 3197[16].

3.3.1. TOPAS 1000

Es un analizador de red que se utiliza para localizar fuentes de interferencia, evaluar la red y la calidad de la energía.

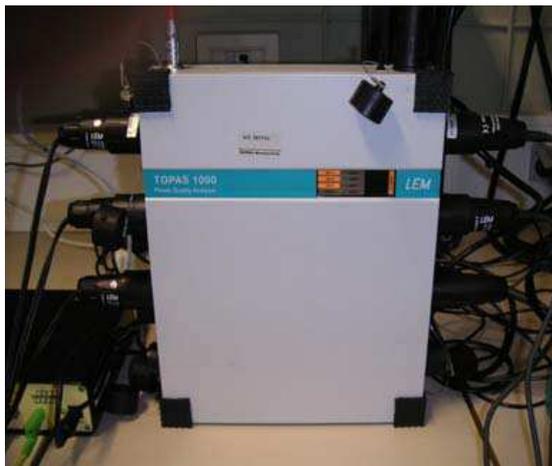


Figura 3.2. Analizador Topas 1000

Algunas características presentes en este equipo son:

- Analizador con 8 canales de entrada a 16 bits (4 corriente/4 tensión ó 8 de tensión), interfase serie RS232, Ethernet, disco duro 1 GB, IP65. Incluyendo: 1 cable RS232, 1 cable Ethernet, 1 cable de alimentación y el software apropiado.
- Función Trigger. El nivel del trigger puede ser seleccionado manualmente o automáticamente (3 sec.), análisis de 4 canales de tensión y 4 de corriente, análisis de 8 canales de tensión, armónicos, THD.
- Función de análisis de transitorios-10 Mhz.
- Análisis de 4 canales de tensión, frecuencia de muestreo 100 kHz-10 MHz, rango de tensión 6 kv., tiempo de registro por evento 20 ms.-2 s.
- UN Modem GSM, que ofrece la posibilidad de comunicar sin hilos con el TOPAS 1000, sin importar donde se encuentre el equipo. Incluye: 1 MODEM GMS, 1 alimentador, 1 cable RS232 y 1 antena.
- Transformadores de corriente tipo pinza: 5-50 A.
- Transformadores de corriente tipo pinza: LEMFLEX 10-1000 A, 600 V.
- Transformadores de corriente tipo pinza: 10-100 A.
- Sensores de tensión de 400 V con conexiones.
- Cables paralelo para conexión al ordenador.
- Dos cables de comunicación (uno rojo y otro negro).

3.3.2. MEMOBOX

Es un instrumento de medida que se emplea para registrar los parámetros eléctricos del sistema, supervisión de la calidad de energía y para monitorear perturbaciones. Los valores registrados son almacenados dentro del equipo donde la capacidad de almacenamiento depende de la tasa de muestreo de la información.



Figura 3.3. Equipo MEMOBOX

Algunas características presentes en este equipo son:

- Registro y análisis de voltaje, corriente, y factor de potencia.
- Rango de voltaje: 115 - 830 V.
- Transductores de Corriente LEM-Flex (fijos), rango: 5 - 1500 A.
- Configurable para mediciones de redes 3 hilos Delta o 4 hilos Estrella.
- Valores min. y Max de voltaje, corriente, y potencia ajustable desde 8 m seg. / 60 Hz.
- Disminuciones de voltaje, sobrecargas, e interrupciones ajustables desde 8 m seg.
- Mediciones de Flicker según norma IEC 61000-4-15 (anterior IEC 868).
- Se conecta al computador por puerto RS-232.
- Software Codam Plus para programación, adquisición, y análisis incluido.
- A prueba de intemperie.
- Compacto en dimensiones, peso: 1.5 Kg.
- Precio competitivo.

3.3.3. ALPHA A1200

Algunas características presentes en este equipo son:

- Suministro de tres fases de energía.
- CT conectados.

- $I_n = 1 \text{ A}$ a 5 A (clase 1.0).
- $I_n = 5 \text{ A}$ (clase 0,5 S).
- Rango de voltaje: $3 \times 120/208$ a $3 \times 254/440 \text{ VAC}$, o 3×100 a $3 \times 240 \text{ VAC}$ (delta or 3-wire) Amplio rango de voltaje: $3 \times 120/208$ a $3 \times 254/440 \text{ VAC}$ (estrella), o 3×100 a $3 \times 240 \text{ VAC}$ (delta o 3-wire).
- Rango de temperatura ambiente: -40° C a $+55^\circ \text{ C}$.
- LED and S0 relay outputs LED y salidas de relé S0.
- Protección contra sobretensiones. Cumple o excede las especificaciones de ensayo de la norma IEC 61036. Además proporciona protección contra sobretensiones a 6 kv.
- Puerto óptico IEC 61107.

A1200 ALPHA meter



Figura 3.4. Equipo ALPHA A1200

3.3.4. HIOKI

Son analizadores de calidad de energía los cuales se encargan del monitoreo de corriente de arranque, variaciones de voltaje, caídas de voltaje, transientes de sobre voltaje, interrupciones, miden y graban, potencia y factor de potencia, energía Activa/Reactiva, demanda, cambios de carga (con pantalla grafica), voltaje y corriente.



Figura 3.5. Equipo HIOKI

3.4. DEMANDA E INTERVALO DE DEMANDA

La demanda es la potencia requerida por un sistema o parte de este en un intervalo de tiempo previamente establecido. En un sistema de distribución lo que realmente es útil para dimensionarlo, es la demanda. Existen varios intervalos de demanda que se utilizan para desarrollar diferentes estudios. Los más empleados son 15, 30 y 60 minutos.

Tabla 3.1. Intervalos de demanda

INTERVALO	VALORES OBTENIDOS
Intervalos de 5 minutos	Se obtienen 12 valores en 1 hora
	Relacionados de 2 (10 minutos): se obtienen 6 valores en una hora
	Integrados de 3 (15 minutos): Se obtienen 4 valores en 1 hora.
Intervalos de 10 minutos	Se obtienen 6 valores en 1 hora
Intervalos de 15 minutos	Se obtienen 4 valores en 1 hora.

Para realizar los registros de demanda es conveniente utilizar un intervalo de 15 minutos, pues permite modelar mejor la demanda. Por lo tanto, todos los equipos utilizados para las mediciones deben ajustarse para tomar registros en este intervalo.

Así mismo se debe seleccionar el día de la semana más representativo en los picos de demanda para el sistema eléctrico. Las mediciones se realizan todos los días de la semana, separando los días ordinarios de los días de fiesta para no tener inconsistencia en las mediciones [17].

3.5. RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN

Para la recopilación y depuración de los datos obtenidos, es necesario verificar que las mediciones se hayan realizado teniendo en cuenta los intervalos de tiempo escogidos para el estudio y que se realicen en los 7 días de la semana.

Las mediciones se deben realizar en los transformadores seleccionados en la muestra característica de la población para la zona urbana y la zona rural dividida en estratos socioeconómicos.

Para realizar esto se deben emplear los registros estadísticos de los picos de demanda presentados a lo largo de la semana y en horas específicas. Hay que tener total entendimiento y conocimiento acerca de cuándo se presentan estos picos de demanda, lo cual involucra a qué horas del día se realizan las mediciones y cual día en particular de la semana se toma como característico.

Se deben considerar los siguientes aspectos:

- El intervalo realizado debe ser siempre de 15 minutos.
- Los registros deben separarse según el día y la hora.
- Revisar que los transformadores seleccionados del sistema de información tengan carga residencial.
- Revisar que los transformadores se encuentren en el lugar correspondiente.

Si falta alguna de las consideraciones anteriores, los datos que se obtengan deben eliminarse y continuar el estudio solo con los datos que se consideren como válidos. Luego se debe completar la información de los transformadores con los siguientes aspectos:

- Número de clientes conectados a él: con el fin de coordinar cuantos clientes nuevos se han conectado al circuito y cuantos clientes antiguos se han retirado o se encuentran suspendidos.
- Ubicación de los clientes: con el fin de verificar nuevamente que el estudio se realice solo a clientes residenciales.
- Facturación de un mes: con el fin de obtener un promedio de energía consumida por los clientes y asegurar que estén bien estratificados.

De los grupos de clientes considerados, se deben realizar verificaciones de consumo y obtener un estimado de lo que ha pasado durante el tiempo de estudio con los consumidores y con los equipos de medida que se encuentran ligados a ellos. Algunas razones que se deben tener en cuenta son:

- Medidores dados de baja por haber cumplido con su tiempo de vida útil.
- Departamentos sin ocupación.
- Desconexión por mora.
- Medidores sin carga.
- Casas en construcción.
- Casas deshabitadas.

Como ya se tienen los transformadores seleccionados cumpliendo con las condiciones anteriores, se puede proceder a tomar los datos en los diferentes estratos. Se selecciona el día y la hora de la toma de datos y se obtienen cuatro datos de demanda máxima por hora.

Los medidores deben estar programados para realizar las mediciones, recolectando datos de: corriente, voltaje, demanda máxima y energía.

Para la toma de datos de usuarios individuales, entre 1 y 5 usuarios, las mediciones se deben realizar en la caja porta bornera ubicada en los lugares que se seleccionaron. En cada caja se pueden encontrar hasta ocho acometidas. Para que los datos sean confiables las conexiones deben obedecer el manual de conexión de cada equipo a utilizar.

3.6. POLINOMIOS DE INTERPOLACIÓN Y AJUSTE DE CURVAS

En ciencias e ingeniería es frecuente que un experimento produzca un conjunto de datos $(x_1, y_1), \dots, (x_N, y_N)$, siendo las abscisas $\{x_k\}$ distintas entre sí. Uno de los objetivos del cálculo numérico es la determinación de una fórmula $y = f(x)$ que relaciona las variables (ajustar una curva a datos experimentales). Normalmente se dispone de una serie de fórmulas previamente establecidas, y lo que hay que hallar son los valores más adecuados de unos coeficientes o unos parámetros para estas fórmulas.

El resultado depende del tipo de función que se elija, por ejemplo, la regresión $f(x)=ax+b$ es una recta, y para ajustar los parámetros libres se pueden minimizar uno de los siguientes tres valores [19]:

El error máximo:

$$E_{\infty}(f) = \max\{|f(x_k) - y_k| : 1 < k < n\} \quad (3.9)$$

El error medio:

$$E_1(f) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n |f(x_k) - y_k| \quad (3.10)$$

El error medio cuadrático:

$$E_2(f) = \left(\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (f(x_k) - y_k)^2 \right)^{1/2} \quad (3.11)$$

En el método de mínimos cuadrados el error que se minimiza es el error medio cuadrático. Por tanto, la recta de regresión ajusta los parámetros a y b para minimizar el valor:

$$E(a, b) = \sum_{k=1}^n (ax_k + b - y_k)^2 \quad (3.12)$$

Estos valores son la solución del sistema lineal conocido como ecuaciones normales de Gauss, donde:

$$\begin{aligned} \left(\sum_{k=1}^n x_k^2 \right) a + \left(\sum_{k=1}^n x_k \right) b &= \sum_{k=1}^n x_k y_k \\ \left(\sum_{k=1}^n x_k \right) a + nb &= \sum_{k=1}^n y_k \end{aligned} \quad (3.13)$$

Algunos ajustes empleados se presentan a continuación:

- **AJUSTE POTENCIAL**

Algunas situaciones se modelan mediante una función del tipo $f(x) = Ax^M$, donde M es una constante conocida. En estos casos solo hay que determinar un parámetro. Suponer por ejemplo que se tienen N puntos $\{(x_k, y_k)\}$ con $N_k=1$ cuyas abscisas son distintas.[18]

Entonces, el coeficiente A de la curva potencial óptima en mínimos cuadrados $y = Ax^M$ viene dado por:

$$A = \frac{\sum Y_i - b \sum X_i}{n} \quad (3.14)$$

- **AJUSTE EXPONENCIAL**

Este ajuste emplea una curva exponencial de la forma $y = Ae^{Bx}$ a un conjunto de puntos (x_k, y_k) con $N_k=1$ dado.

Con el fin de linealizar los datos se tiene que al tomar los logaritmos de la ecuación 3.15 se puede realizar un cambio de variables (y de constante) como se expresa en la ecuación 3.16.

$$\ln(y) = Ax + \ln(C) \quad (3.15)$$

$$Y = \ln(y) \quad (3.16)$$

En la expresión anterior $X = x$ y $B = \ln(C)$. Se observa que se obtiene una relación lineal entre las nuevas variables X y Y de la siguiente forma:

$$Y = AX + B \quad (3.17)$$

Se calcula la recta de regresión para la ecuación anterior, en los puntos $\{(X_k, Y_k)\}$, para lo que se plantean las correspondientes ecuaciones normales de Gauss que

constituyen un sistema de ecuaciones lineales para las incógnitas. Una vez calculados A y B, se halla el parámetro $a = e^A$ como se ilustra a continuación[20]:

$$\begin{aligned} A &= \frac{\sum Y_i - b \sum X_i}{n} \\ B &= \frac{n \sum X_i Y_i - \sum X_i \sum Y_i}{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2} \end{aligned} \quad (3.18)$$

Los datos también se pueden procesar empleando el método no lineal de los mínimos cuadrados [20]. Si se va a emplear este método se debe hallar el mínimo de la función como se ilustra a continuación:

$$E(A, C) = \sum_{k=1}^N (C e^{A x_k} - y_k)^2 \quad (3.19)$$

Utilizando derivadas parciales de la función anterior se tiene que:

$$\begin{aligned} \frac{\partial E}{\partial A} &= 2 \sum_{k=1}^N (C e^{A x_k} - y_k) C x_k e^{A x_k} \\ \frac{\partial E}{\partial C} &= 2 \sum_{k=1}^N (C e^{A x_k} - y_k) e^{A x_k} \end{aligned} \quad (3.20)$$

Igualando a cero se obtienen las ecuaciones normales las cuales son un sistema de ecuaciones no lineales para las incógnitas A y C planteadas en la ecuación 3.19.

$$\begin{aligned} C \sum_{k=1}^N x_k e^{2A x_k} - \sum_{k=1}^N x_k y_k e^{A x_k} &= 0 \\ C \sum_{k=1}^N e^{2A x_k} - \sum_{k=1}^N y_k e^{A x_k} &= 0 \end{aligned} \quad (3.21)$$

Este conjunto de ecuaciones se puede resolver con el método iterativo de Newton-Raphson. También se pueden utilizar métodos para minimizar funciones de varias variables, para hallar el mínimo de la función $E(A, C)$ directamente. [21]

CAPITULO 4. IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA

Con el fin de aplicar la metodología planteada, se emplea el sistema de la Empresa de Energía del Quindío S.A. E.S.P. (EDEQ).

4.1. CARACTERÍSTICAS DE LA EDEQ

La Empresa de Energía del Quindío S.A. E.S.P. (EDEQ), es una entidad prestadora de servicios públicos domiciliarios que cuenta con una experiencia de más de 19 años. Se enfoca en prestar el servicio de distribución y comercialización de energía eléctrica abasteciendo de energía al departamento del Quindío. Actualmente la empresa está constituida por las Empresas Publicas de Medellín (EPM) como socio mayoritario y el municipio de Armenia como socio minoritario.

4.1.1. ASPECTOS GENERALES DE LA ZONA

El Quindío es uno de los 32 departamentos de Colombia el cual cuenta con 12 municipios. Su capital es Armenia y se encuentra ubicado en la región centro-oeste del país. Es uno de los departamentos que forma parte del eje cafetero y de la región paisa, por tanto sus costumbres y cultura son de campesinos cafeteros.



Figura 4.1 Mapa político del Quindío

El Departamento del Quindío se ha caracterizado por una economía eminentemente cafetera, hecho reflejado en los hábitos de consumo ya que las mayores demandas en el departamento se producen entre los meses de marzo y abril y los meses de octubre y noviembre, las cuales son épocas de cosecha cafetera. Se estima que más del 80% de la

economía del departamento se mueve alrededor del cultivo del café y en el aspecto netamente agrícola.

La crisis cafetera ha deprimido fuertemente la economía del Departamento siendo necesario modificar la estructura económica y eliminar la alta dependencia del café. Un rubro interesante dentro de la economía de la región es el turismo de las antiguas fincas cafeteras, convertidas en hostales y/o pequeños hoteles y la oferta de parque temáticos, lo cual ha incrementado notablemente el consumo de energía eléctrica. [22]

4.1.2. CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA ELÉCTRICO

En la actualidad el departamento del Quindío posee dos líneas de alimentación a 115 KV, siendo ellas La Rosa-Armenia y La Hermosa-Regivit las que alimentan en operación normal al sistema. En la figura 4.2 se observa el diagrama unifilar, donde la línea verde corresponde a un nivel de tensión de 115 KV y la línea rosa corresponde a un nivel de tensión de 33 KV. Estos barrajes alimentan diversos barrios, veredas y los municipios del departamento, con un nivel de tensión de 13.2 KV. [23]

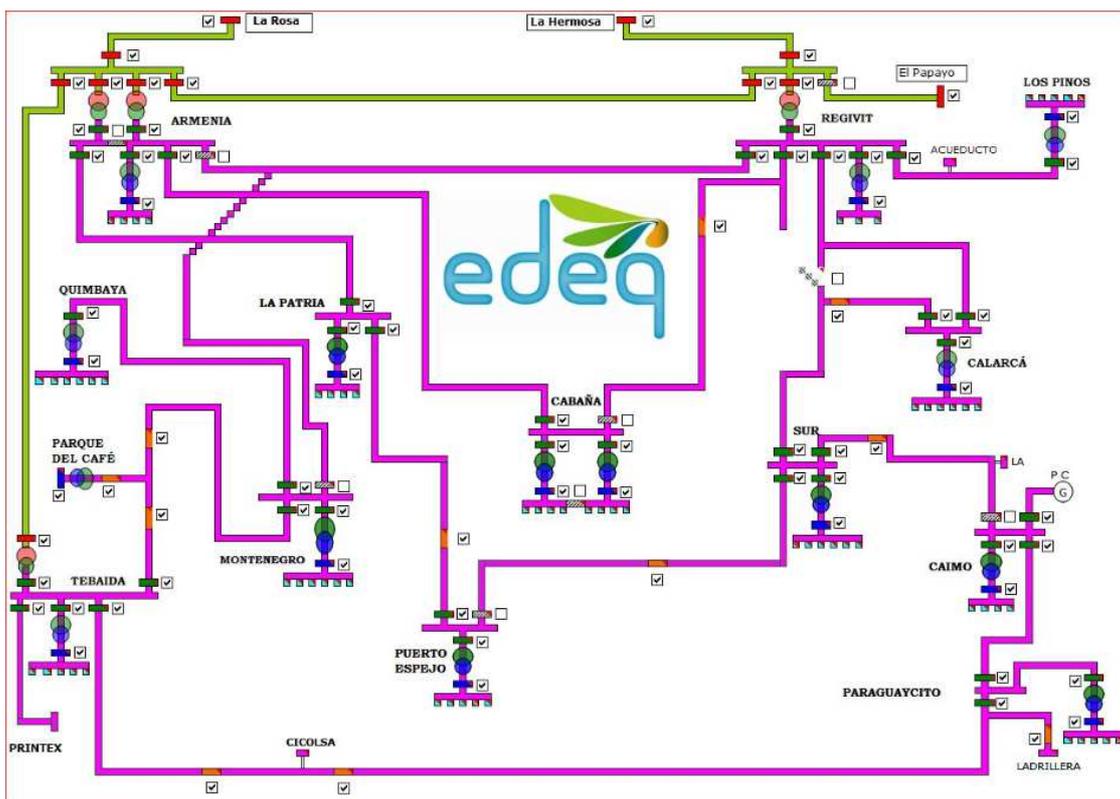


Figura 4.2. Diagrama unifilar del Sistema de distribución EDEQ

La infraestructura eléctrica está compuesta por trece subestaciones, las cuales son:

- Cabaña.
- Sur.

- Patria.
- Caimo.
- Pinos.
- Paraguaycito.
- Montenegro.
- Quimbaya.
- Calarcá.
- Puerto Espejo.
- Tebaida.
- Armenia.
- Regivit.

Las dos últimas subestaciones son operadas por la CHEC (Central Hidroeléctrica de Caldas). Regivit alimenta todos los Municipios, además del sector sur. La subestación Armenia por su parte está dedicada exclusivamente a la alimentación de la Cabaña y a los circuitos 13.2 KV que surten el área urbana y rural del noroccidente. Actualmente el 70% de la demanda se surte a través de esta subestación.

La longitud de las redes del sistema se muestra a continuación:

Tabla 4.1. Longitud de las redes del sistema

POTENCIA	LONGITUD
115 KV	17.18 Km.
13.2 KV	2224 Km.
33 KV	112.7 Km.
Baja Tensión	2438 Km.

El sistema EDEQ cuenta con 7621 transformadores de distribución, de los cuales 3303 son transformadores monofásicos y 4318 son transformadores trifásicos, repartidos entre propios y particulares. Entre los transformadores se manejan potencias de 10, 15, 20, 30, 37.5, 45, 50, 55, 75, 100, 112.5, 125, 150, 160, 200, 225, 250, 300, 400, 500, 600, 630, 750, 800, 1250, 1375, 2500 y 3000 KVA.

4.1.3. CARACTERÍSTICAS COMERCIALES DEL SISTEMA EDEQ

La composición del mercado hasta noviembre del 2009, se presentan a continuación:

Tabla 4.2. Características comerciales por sector de consumo

SECTOR DE CONSUMO	NUMERO DE CLIENTES	%	CONSUMO (Kw-h)	%
Residencial	135.474	89%	118.165,535	51%
No Residencial	12.824	11%	114.499,107	49%
TOTAL	152.302	100%	232.664,642	100%

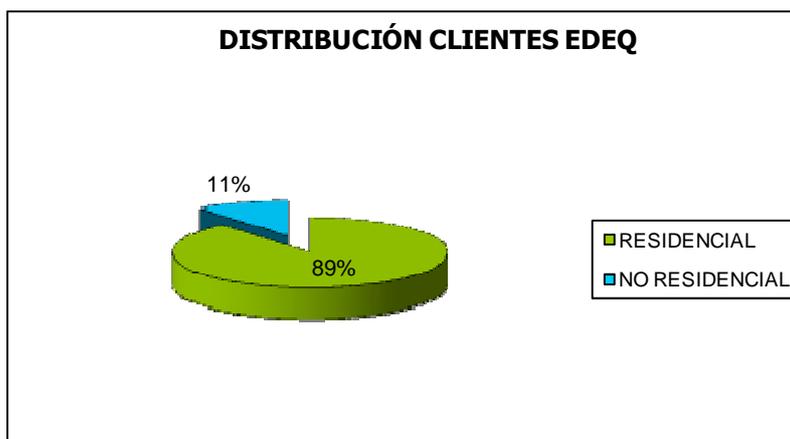


Figura 4.3. Distribución de clientes de la EDEQ

Tabla 4.3. Usuarios por sector de consumo

SECTOR DE CONSUMO	NUMERO DE CLIENTES	%
Residencial	135.474	88.95%
Comercial	12.824	8.4%
Industrial	1.410	0.9%
Otros	2.580	1.7%
TOTAL	152.302	100%

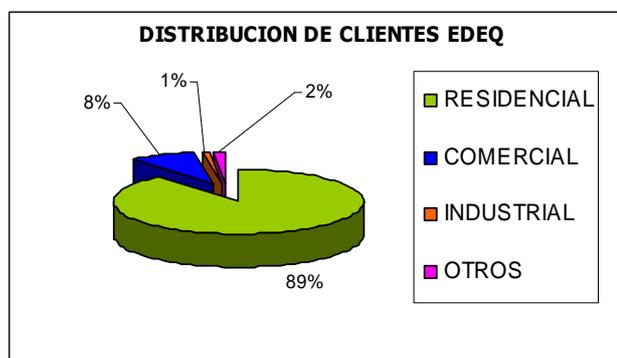


Figura 4.4. Distribución de clientes por sector de consumo

En el ítem “otros” se agrupan los sectores de consumo para cargas especiales, oficiales, provisionales y áreas comunes. La facturación de la Empresa de Energía del Quindío en los diferentes sectores de consumo, se distribuye entre sus clientes de la forma mostrada en la tabla 4.4.

Tabla 4.4. Consumo sectorial EDEQ

SECTOR DE CONSUMO	CONSUMO (Kwh.)	%
Residencial	16.502,381	58.62%
Comercial	6.368,974	22.6%
Industrial	1.683,721	6.0%
Otros	2.184,067	7.7%
TOTAL	28.150,199	94.92%

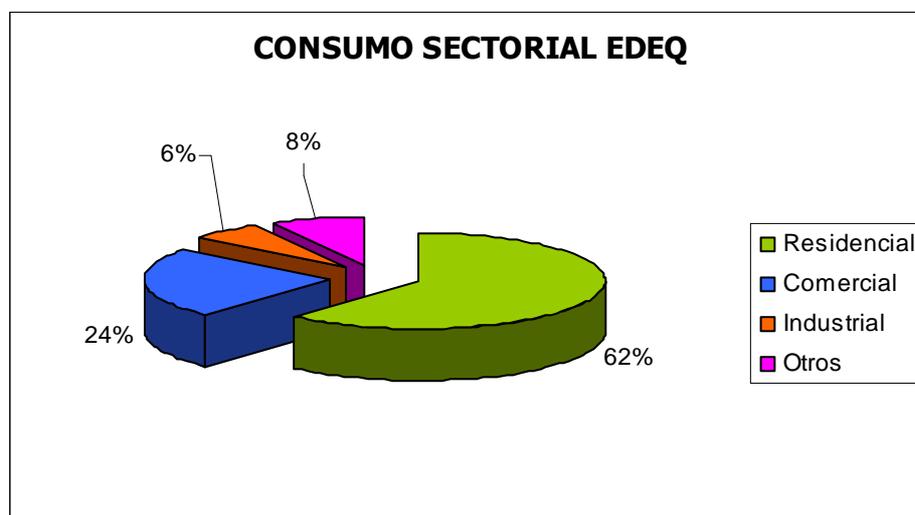


Figura 4.5. Consumo sectorial EDEQ

El resto del porcentaje de consumo se encuentra agrupado en alumbrado público y luminarias comerciales e industriales. [24]

4.2. TABLAS ACTUALES DE DEMANDA DIVERSIFICADA

Actualmente la EDEQ emplea las tablas de demanda máxima diversificada ilustradas en la tabla 4.5.

Estas tablas son del año 1993 y desde ese año no se ha realizado ninguna actualización al respecto, por lo que emplear estos valores ha causado un sobredimensionamiento en las capacidades instaladas de los transformadores, lo que ha encaminado a la empresa de energía al incremento de pérdidas técnicas en el sistema y un sobredimensionamiento en

los conductores empleados lo que se refleja en un aumento considerable en los valores empleados en el diseño de los sistemas.

Tabla 4.5. Tablas de demanda diversificada actuales de la EDEQ

TIPO RESIDENCIAL DE ARMENIA			
N° Usuarios	ALTA	MEDIA	BAJA
1	8.13	6.50	2.79
2	13.47	10.80	4.64
3	17.07	10.80	5.92
4	21.36	17.07	9.31
5	23.92	19.16	8.13
6	27.05	21.59	9.29
7	29.60	23.68	10.10
8	32.51	26.01	11.15
9	34.83	27.75	11.96
10	37.73	30.19	13.00
11	41.56	33.32	14.28
12	44.70	35.76	15.32
13	47.02	37.62	16.02
14	49.92	39.94	17.07
15	52.94	42.39	18.11
16	55.84	44.70	19.16
17	58.75	47.02	20.08
18	60.95	48.76	20.90
19	64.09	51.20	22.06
20	37.10	53.75	22.99
21	70.24	56.19	24.03
22	72.91	58.40	24.96
23	75.70	60.49	25.89
24	78.37	62.69	26.82
25	81.27	65.01	27.86
26	84.17	67.34	28.91
27	87.07	69.66	29.84
28	89.98	71.98	30.88
29	92.88	74.30	31.81
30	95.55	76.39	32.74
31	98.33	78.71	33.67
32	101.24	80.92	34.83
33	104.02	83.24	35.64
34	106.58	85.33	36.57
35	109.36	87.42	37.50
36	112.61	89.98	38.54
37	115.63	92.53	39.47
38	118.42	94.62	40.63
39	120.97	96.82	41.45
40	123.64	98.91	42.38
41	126.55	101.35	43.42
42	129.33	103.33	44.35
43	131.89	105.53	45.28
44	134.44	107.51	46.09

45	136.99	109.60	47.02
46	139.32	111.45	47.83
47	141.99	113.54	48.76
48	145.12	116.10	49.92
49	148.02	118.42	50.73
50	150.46	120.39	51.66

La EDEQ actualmente se encuentra con un nivel de pérdidas técnicas del 8.148 %.

Tabla 4.6. Porcentaje de pérdidas técnicas por nivel de tensión

NIVEL DE TENSION	% PERDIDAS
NT4	1.06
NT3	1.25
Transformadores NT3/NT2	0.3612
Redes de distribución NT2	0.7991
Transformadores NT2/NT1	2.034
Redes de distribución NT1	2.644
TOTAL	8.148

4.3. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA

4.3.1. SELECCIÓN DE TRANSFORMADORES

En la metodología planteada se usó el método de muestreo aleatorio simple con asignación proporcional. Al emplear la asignación proporcional se aseguró que la elección de dichos transformadores fuera de forma estratificada, es decir, que según la capacidad del transformador se escogieran cantidades iguales.

Los transformadores se seleccionaron del Sistema de Información Comercial SIC, y se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos:

- Que los transformadores fueran trifásicos, pues son los únicos que poseen instalados los macromedidores.
- Que dichos macro medidores hubieran sido instalados a partir del año 2006, pues así se aseguraba que fueran los equipos ALPHA A1200, los cuales pueden registrar datos de demanda máxima, además de energía y otros valores de potencia.

Los transformadores que cumplían estas características se agruparon por su capacidad, recolectando transformadores desde 10 KVA hasta 800 KVA, lo cual dio un total de

4318 transformadores en las zonas rurales y urbanas en todo el departamento del Quindío.

En el municipio de Armenia se encontraron 2039 transformadores que cumplían con las condiciones expresadas anteriormente. Los transformadores discriminados por su capacidad nominal se presentan a continuación:

Tabla 4.7. Cantidad de transformadores por capacidad de consumo

CAPACIDAD KVA	CANTIDAD TRANSFORMADORES
10	1
15	61
20	24
30	295
37.5	2
45	272
50	25
75	484
100	30
112.5	443
125	1
150	267
160	1
200	4
225	73
250	11
300	43
400	2

De los datos obtenidos se realizó el cálculo de la muestra característica para todos los transformadores del departamento, obteniendo un total de 389 transformadores, para los cuales 199 corresponden al municipio de Armenia (160 urbanos y 39 rurales), y los otros 190 transformadores para el resto de los municipios.

Tabla 4.8. Cantidad de transformadores seleccionados para Armenia

CAPACIDAD (KVA)	CANTIDAD TRANSFORMADORES
10	0
15	5
20	2
30	29
37.5	0
45	27
50	4
75	47
100	4
112.5	42
125	0
150	24
160	0
200	0
225	7
250	1
300	4
400	3

4.3.2. MEDICIÓN EN LOS TRANSFORMADORES

Las mediciones se tomaron en los 389 transformadores seleccionados en la muestra, con el medidor ALPHA A1200, el cual registraba el valor de demanda máxima de todos los usuarios conectados al transformador, durante un período de tiempo de un mes.

Los datos que se obtuvieron de los transformadores en los municipios del Quindío tanto en zona rural como urbana se recolectaban en una planilla como la ilustrada en la figura 4.6.

EMPRESA DE ENERGÍA DEL QUINDÍO S.A. E.S.P																			
MEDICIONES PARA CONSTRUCCIÓN DE CURVAS DE DEMANDA DIVERSIFICADA SECTOR RESIDENCIAL																			
No DE TRANSFO	NODO	DIRECCIÓN	N° USUARIO	MACROMEDIDOR			PARAMETRIZADO		FECHA DE INTERVENCIÓN	LECTURAS			SELLOS RETRADOS			SELLOS INSTALADOS			OBSER VACIONES
				Marca	Tipo	Serie	SI	NO		KW	KWh	KVArh	CAJA	B1	B2	CAJA	B1	B2	

Figura 4.6. Planilla empleada para la recolección de datos

Para realizar las lecturas de 1, 2, 3, 4 y hasta 5 usuarios se utilizaron los analizadores de red HIOKI, los cuales tomaron valores de demanda máxima desde la caja porta bornera, de los usuarios seleccionados de acuerdo al estrato socioeconómico.

Es importante tener en cuenta las diferentes conexiones para poder obtener los valores reales de demanda máxima en usuarios individuales. En la Figura 4.7 se observan las conexiones utilizadas.

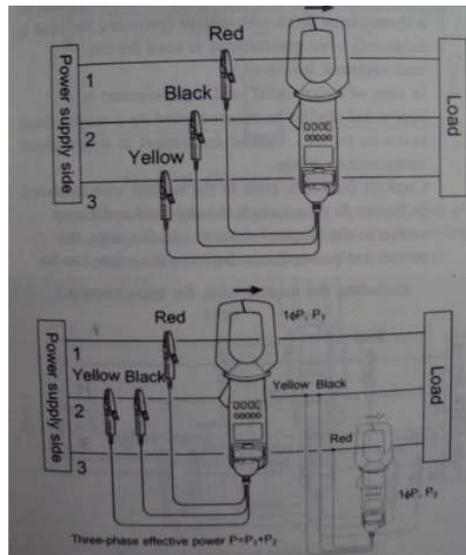


Figura 4.7. Conexiones empleadas para los equipos

Para estos usuarios se tomaron tres acometidas por transformador. Como las mediciones se realizaron en intervalos de cinco minutos, en total para cada usuario se recolectaron cuatro datos de demanda máxima, a partir de los cuales se construyó la parte inicial de la curva. Los datos se recolectaron en los siete días de la semana y para cada día se realizaron mediciones de 11-12 am y de 5-7 pm, pues en estas horas se presentan los picos de la demanda según datos estadísticos de la empresa, como se observa en la siguiente figura.

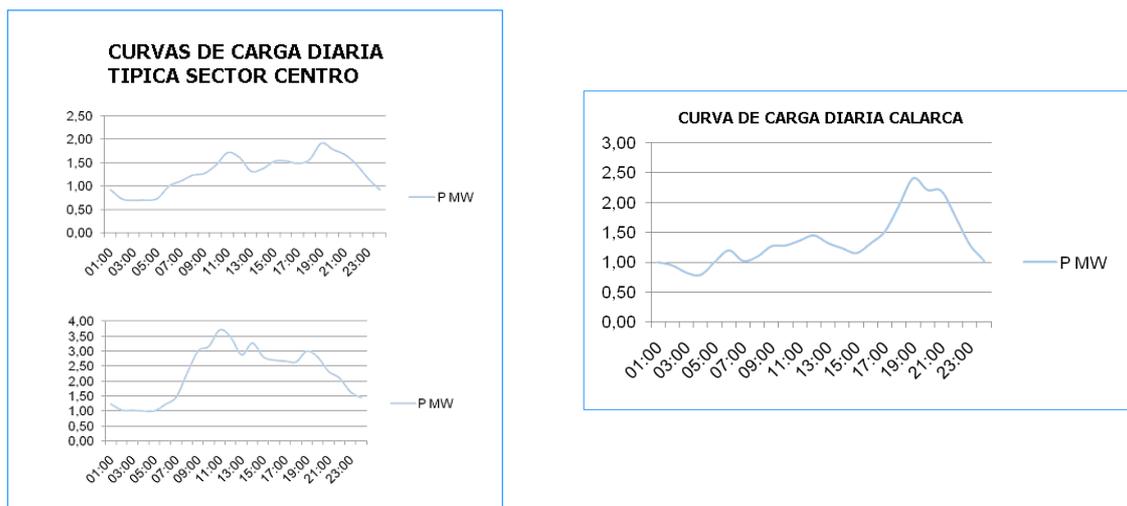


Figura 4.8. Curvas de carga típicas de la EDEQ

4.3.3. ANÁLISIS DE LAS MEDICIONES

Una vez se realizaron las mediciones en los 389 transformadores trifásicos ubicados en los diferentes sectores de consumo, la información recolectada se dividió por municipio y estrato socioeconómico.

Como la toma de los datos se realizó de forma directa, se debía multiplicar cada valor medido por el factor de multiplicación de los CT's de los medidores ALPHA A1200, los cuales tienen un factor de variación igual a 1, 60 y 100.

Luego de obtener el valor real de la demanda máxima para cada transformador, se seleccionaron cuantos usuarios alimentaba cada uno de los transformadores para poder obtener un valor de demanda máxima diversificada por usuario. Como algunos transformadores tenían usuarios conectados de diferentes estratos, se procedió a buscar en el SIC (Sistema de Información Comercial) cada uno de los clientes que se encontraban por transformador y verificar que todos se encontraran en el mismo estrato socioeconómico, de lo contrario se ubicaban en el estrato correspondiente, para no tener problemas con los datos obtenidos al realizar los ajustes de curvas.

Una vez se obtuvieron los valores de potencia, voltaje y corriente de los usuarios, se procedió a corregir los KVA, empleando la ecuación 3.1.

Después de obtener la demanda corregida, se calculó la demanda promedio por usuario, empleando la ecuación 3.2.

Posteriormente se procedió a graficar cada uno de los conjuntos de datos correspondientes a cada estrato socioeconómico, tal como se presenta en las figuras 4.9 a 4.14.

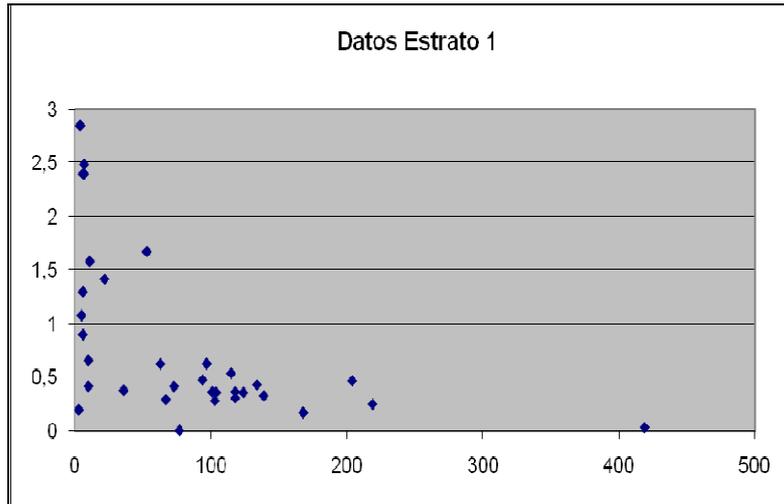


Figura 4.9. Datos de demanda máxima para el estrato 1

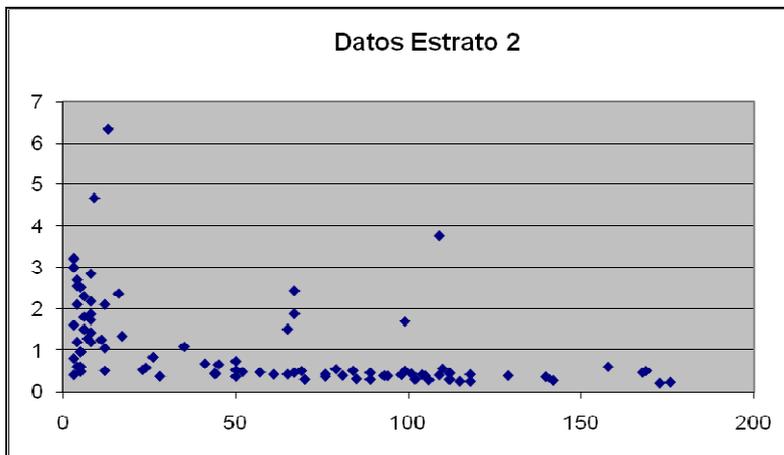


Figura 4.10. Datos de demanda máxima para el estrato 2

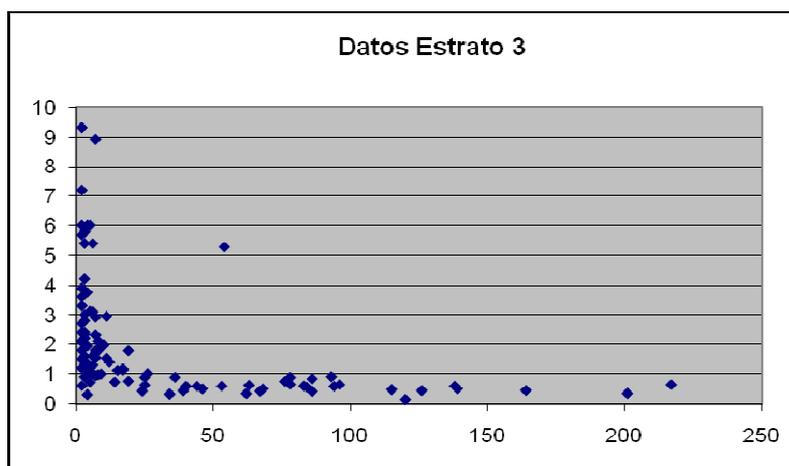


Figura 4.11. Datos de demanda máxima para el estrato 3

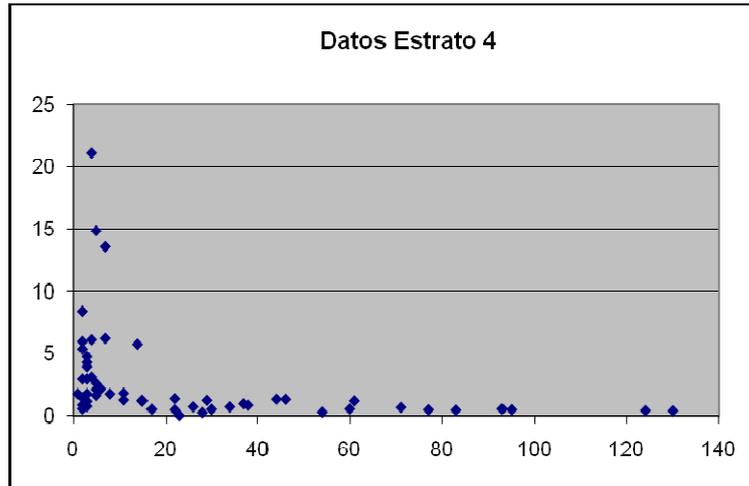


Figura 4.12. Datos de demanda máxima para el estrato 4

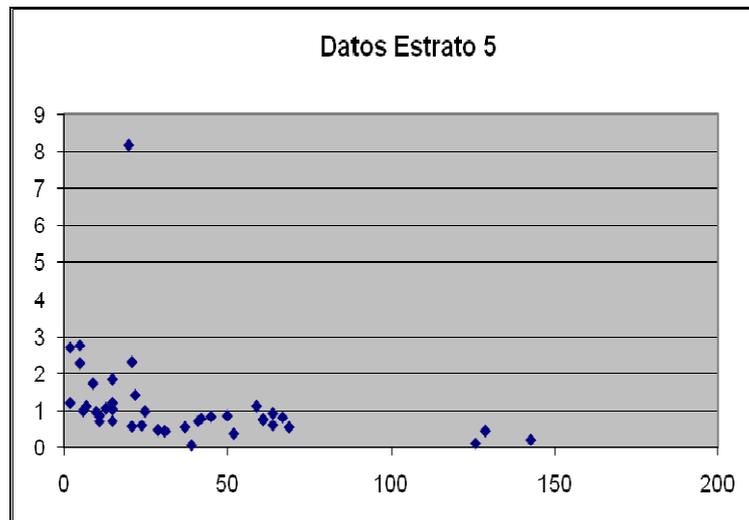


Figura 4.13. Datos de demanda máxima para el estrato 5

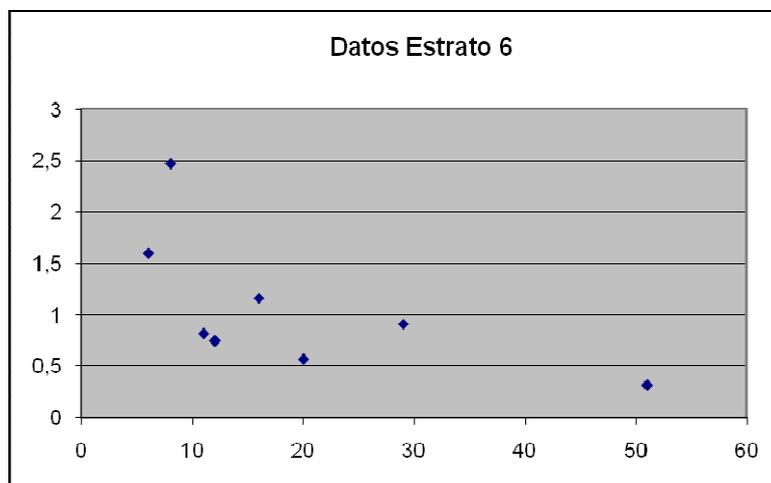


Figura 4.14. Datos de demanda máxima para el estrato 6

4.3.4. OBTENCIÓN DE LAS CURVAS DE DEMANDA

A partir de las gráficas obtenidas en el apartado anterior se procedió a realizar el ajuste para cada curva correspondiente a cada estrato socioeconómico.

Con el fin de verificar cual ajuste de curvas se comportaba de forma más adecuada con respecto a los datos, se consideró la correlación y regresión lineal.

La correlación indica la fuerza y la dirección de una relación lineal entre dos variables. Se dice que dos variables X e Y, están correlacionadas cuando hay una relación cuantitativa entre ellas, es decir, los valores de una de ellas varía sistemáticamente con respecto a los valores homónimos de la otra.

Existe un coeficiente de correlación R el cual permite valorar si la relación es débil o fuerte, positiva o negativa, donde R puede variar entre -1 y 1. [25]

La variación de los valores de correlación se ilustra a continuación:

Tabla 4.9. Factores de correlación

CORRELACIÓN	FACTOR
R = 1	PERFECTO
$0.9 < R < 1$	EXCELENTE
$0.8 < R < 0.9$	BUENO
$0.5 < R < 0.8$	REGULAR
$R < 0.5$	MALO

La regresión lineal, también conocida como correlación de Pearson o método de mínimos cuadrados, es el procedimiento de encontrar la ecuación de la recta que mejor se ajusta a un conjunto de puntos. En la siguiente figura se muestra en un ejemplo lo descrito anteriormente. [26]

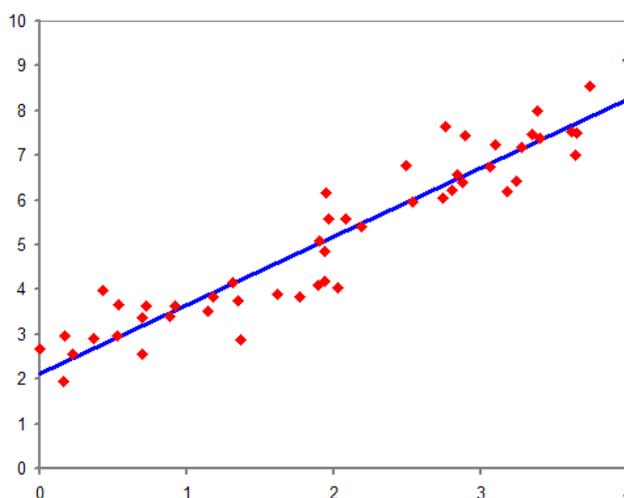


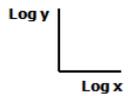
Figura 4.16. Ajuste para un conjunto de puntos

Al tener el coeficiente de correlación se puede demostrar la relación entre R y el análisis de la varianza de regresión, de tal modo que su cuadrado (R^2) es el coeficiente de determinación.

Antes de proceder a realizar la regresión lineal, es necesario transformar la ecuación no lineal en lineal.

Las ecuaciones quedan del tipo, $Y = A + BX$, donde X, Y, A Y B son las variables que se deben encontrar.

Tabla 4.9. Modelos no lineales [27]

Modelo	Potencial	Exponencial	Logarítmico
Ecuación	$y = ax^b$	$y = ae^{bx}$	$y = a + b \log x$
Ecuación Linealizada	$\log y = \log a + b \log x$	$\ln y = \ln a + bx$	-----
Gráfica			
Y	Log y	Ln y	y
X	Log x	x	Log x
A	Log a	Ln a	a
B	b	b	b
a	10^A	e^A	A
b	B	B	B

4.3.5. RESULTADOS OBTENIDOS

Para lograr construir la ecuación que rige la tendencia de los datos, es necesario observar el comportamiento de las curvas para los estratos socioeconómicos. Si se toma como referencia la figura 4.17, en la cual está plasmado el comportamiento de los usuarios que corresponden al estrato 3, se observa que los datos tienen un comportamiento exponencial negativo.

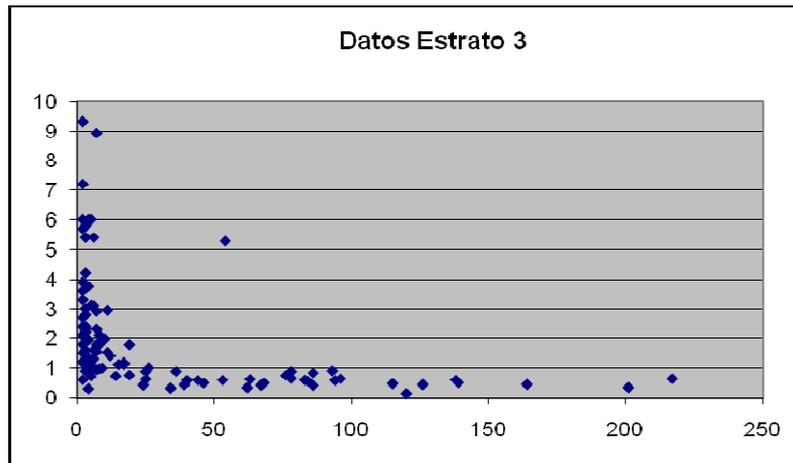


Figura 4.17. Demandas para el estrato 3

Se busca entonces obtener los parámetros a , b y c de la ecuación exponencial de acuerdo a la siguiente expresión:

$$y = ae^{bx} + c \quad (5.1)$$

La tendencia de la curva debe ser la envolvente máxima de puntos, es decir, la curva ajustada debe cubrir los datos medidos.

El parámetro a es el valor que toma la variable dependiente “ y ” cuando la variable independiente “ x ” vale 0.

El parámetro b , determina la pendiente de la curva, es decir, su grado de inclinación.

La constante c de la ecuación exponencial representa la abscisa horizontal en la cual se estabiliza la curva y se vuelve un valor constante. Se encuentra un valor diferente para cada estrato, pues todas las curvas varían según el consumo de los clientes.

Para empezar el ajuste de puntos es necesario, según el criterio del investigador, eliminar los datos atípicos que se encuentren dentro de la gráfica, es decir datos que pueden dañar el comportamiento exponencial. Cuando se habla de ajuste de curvas o bondad de ajuste es necesario encontrar un coeficiente de correlación lineal el cual permite determinar si, efectivamente, existe relación entre las dos variables. Una vez que se concluye que sí existe relación, la regresión permite definir la recta que mejor se ajusta a los conjuntos de puntos.

Para obtener el ajuste de la curva se empleó el software Matlab [27]. Este programa permite realizar el ajuste de las curvas de diferentes formas.

Una vez exploradas las alternativas se llegó a la conclusión que los ajustes que más se adaptaban a los conjuntos de puntos eran los ajustes potencial y exponencial.

A continuación se ilustran ambos ajustes de curvas para cada estrato. En las figuras se observa que el ajuste potencial es la curva de color rojo y el ajuste exponencial es la curva de color verde.

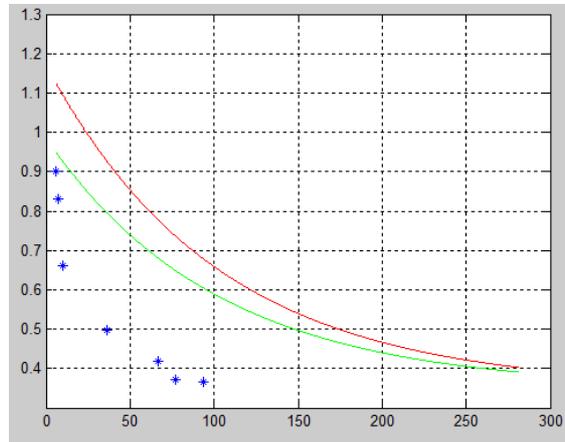


Figura 4.18. Ajustes para el estrato 1

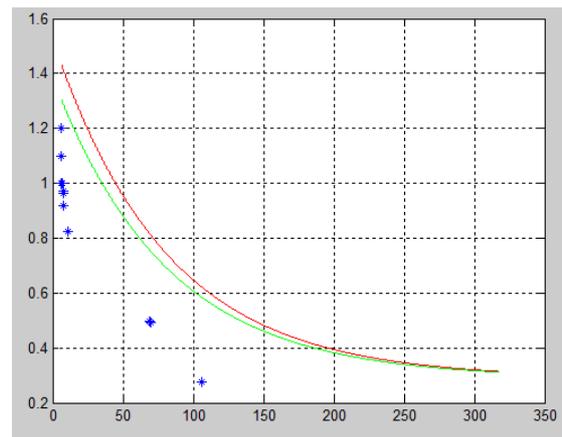


Figura 4.19. Ajustes para el estrato 2

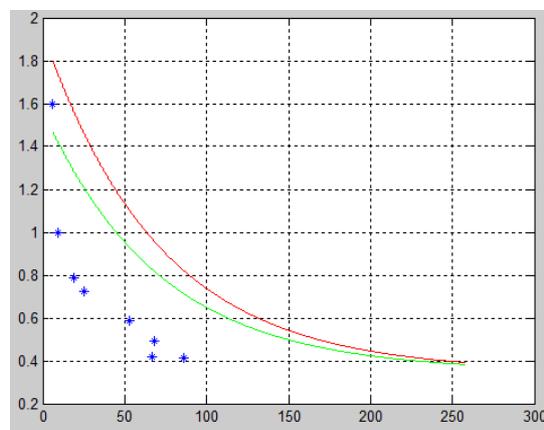


Figura 4.20. Ajustes para el estrato 3

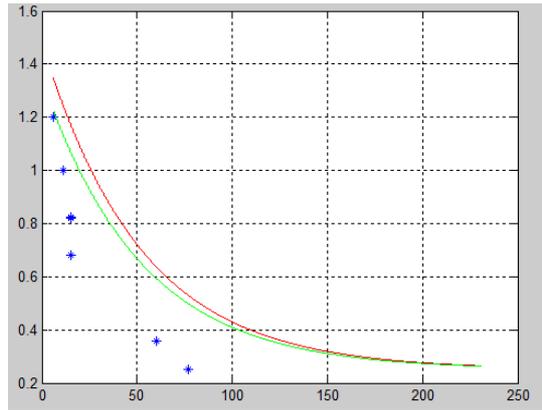


Figura 4.21. Ajustes para el estrato 4

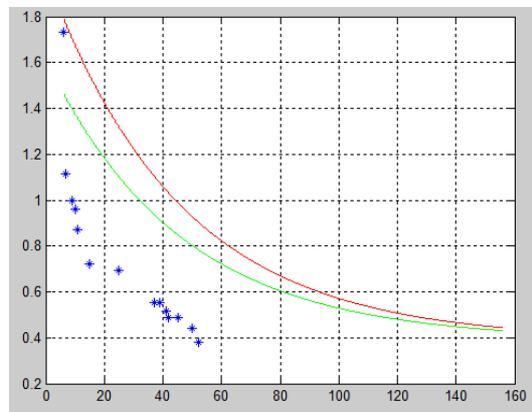


Figura 4.22. Ajustes para el estrato 5

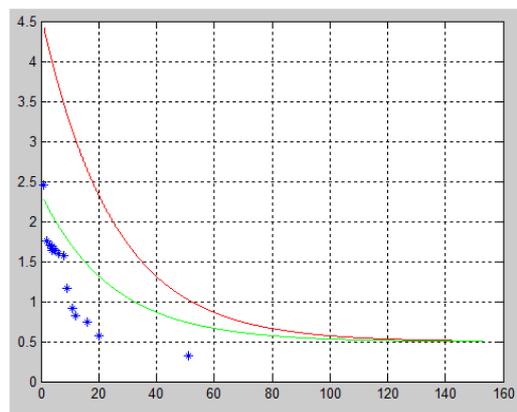


Figura 4.23. Ajustes para el estrato 6

Se puede observar que el ajuste exponencial (color verde) es el ajuste que mejor modela el conjunto de puntos. Este método abarca desde el valor máximo de los puntos y se acerca a cada uno de ellos envolviéndolos con una función exponencial negativa, hasta donde se estabiliza la curva y se vuelve un valor constante.

Para cada estrato se obtiene:

- Un valor diferente de la abscisa horizontal (lugar donde se estabiliza la curva).
- Un valor del coeficiente de correlación (indica que tan aproximada está la curva del conjunto de datos).
- Cada uno de los parámetros de la ecuación 5.1.

En la siguiente tabla se muestra la relación de cada uno de estos parámetros por estrato socio económico.

Tabla 4.10. Modelos no lineales

ESTRATO	COEFICIENTE DE CORRELACION R	PARAMETRO a	PARAMETRO b	PARAMETRO c
1	-0.9078	0.6355	-0.097	0.35
2	-0.9635	1.0953	-0.0123	0.29
3	-0.8483	1.2133	-0.0134	0.35
4	-0.9326	1.0953	-0.0192	0.25
5	-0.8555	1.2264	-0.0217	0.39
6	-0.8452	1.8436	-0.0403	0.5

Una vez definidas las curvas por estrato se procedió a unirlos debido a que el comportamiento entre ellos es similar. Por lo tanto:

- Estrato Bajo: promedio entre los estratos 1 y 2.
- Estrato Medio: promedio entre los estratos 3 y 4.
- Estrato Alto: promedio entre los estratos 5 y 6.

Las curvas definitivas para cada estrato se ilustran a continuación:

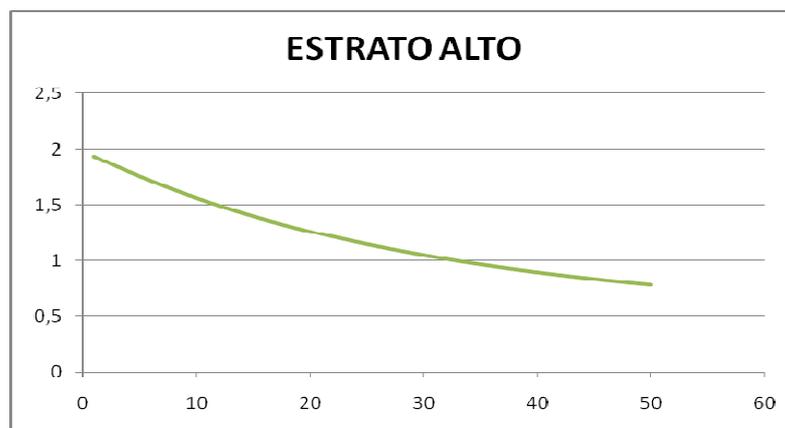


Figura 4.24. Demanda máxima diversificada para el estrato alto

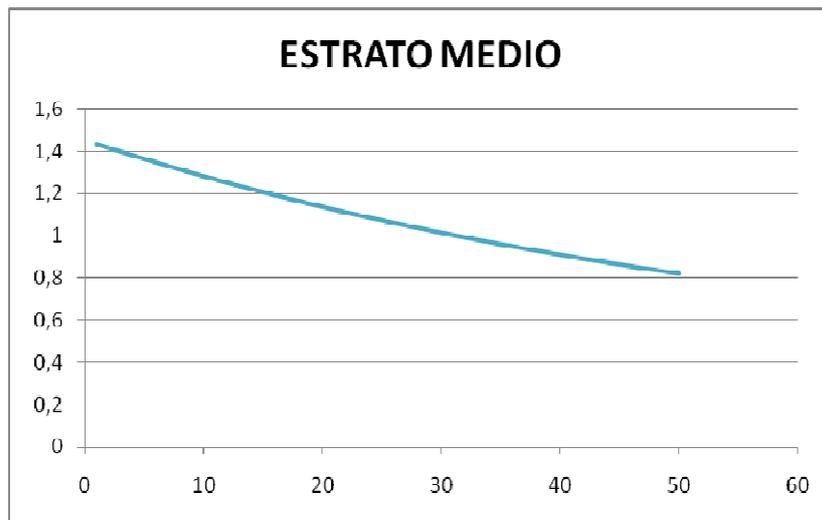


Figura 4.25. Demanda máxima diversificada para el estrato medio

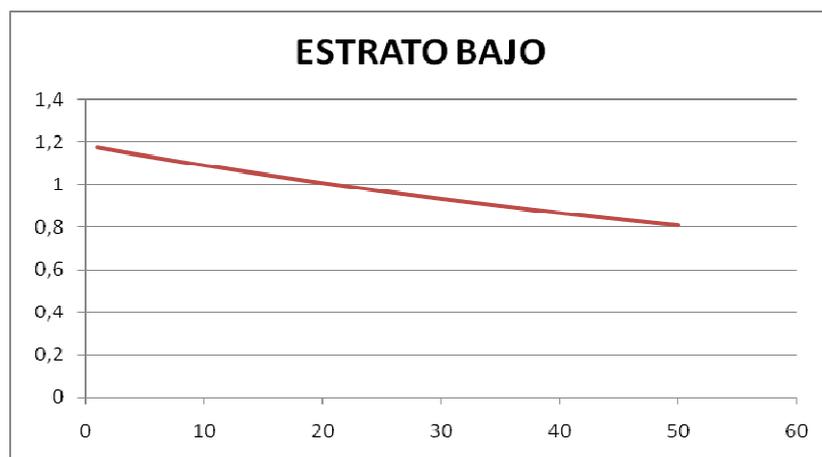


Figura 4.26. Demanda máxima diversificada para el estrato bajo

Las tablas definitivas para cada estrato se ilustran en la siguiente tabla.

Tabla 4.11. Tablas de demanda máxima diversificada en KVA

USUARIOS	ESTRATO BAJO	ESTRATO MEDIO	ESTRATO ALTO
1	1,1758	1,4358	1,93545
2	1,1661	1,4176	1,8876
3	1,1565	1,3997	1,8414
4	1,14705	1,3821	1,7968
5	1,1377	1,3648	1,75375
6	1,1284	1,3478	1,7122
7	1,1193	1,33105	1,67205
8	1,11025	1,3146	1,6333
9	1,10135	1,2984	1,5958
10	1,0925	1,2825	1,55965
11	1,08375	1,26685	1,52475
12	1,07515	1,2514	1,491
13	1,0666	1,23625	1,4584
14	1,05815	1,22135	1,4269
15	1,0498	1,2067	1,39645
16	1,0416	1,1923	1,3671
17	1,0334	1,1781	1,3387
18	1,02535	1,16415	1,3112
19	1,0174	1,1504	1,28465
20	1,00955	1,13695	1,25905
21	1,00175	1,12365	1,2342
22	0,99405	1,1106	1,21025
23	0,98645	1,09775	1,1871
24	0,9789	1,0851	1,1647
25	0,9715	1,0727	1,143
26	0,96415	1,0605	1,12205
27	0,95685	1,04845	1,1018
28	0,94965	1,0366	1,08215
29	0,94255	1,02495	1,06325
30	0,93555	1,01355	1,0449
31	0,9286	1,0023	1,02715
32	0,92175	0,9912	1,01
33	0,91495	0,9803	0,9934
34	0,9083	0,9696	0,97735
35	0,9016	0,95905	0,9618
36	0,8951	0,9487	0,9467
37	0,8886	0,9385	0,93215
38	0,8822	0,92845	0,91805
39	0,8759	0,9186	0,9044

40	0,8696	0,90885	0,8912
41	0,86345	0,8993	0,8784
42	0,8573	0,8899	0,86605
43	0,85125	0,88065	0,854
44	0,8453	0,87155	0,8424
45	0,8394	0,8626	0,83115
46	0,83355	0,8538	0,82025
47	0,8278	0,8451	0,8097
48	0,82205	0,8366	0,79945
49	0,8164	0,8282	0,78955
50	0,81085	0,81995	0,77995

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Con la implementación del método de muestreo aleatorio simple con asignación proporcional, con el que se escogió la cantidad de transformadores de distribución a estudiar, se aseguró la veracidad de la muestra característica que representó a cada sector de consumo teniendo en cuenta a todos los usuarios en el sondeo. La muestra permitió el análisis de la información de forma clara y eficaz.
- Empleando la planificación territorial y basándose en las estadísticas de la población y la zonificación que efectúa el DANE, para la elaboración de los estratos socioeconómicos de las poblaciones colombianas se estructuraron los estratos de la región estudiada según el consumo de cada usuario estudiado.
- Del conjunto de puntos que se obtuvieron de los datos medidos en los transformadores seleccionados de KWH, mes a mes de cada cliente, se graficó la tendencia que tenían las mediciones para determinar el modelo de la función que los caracterizaba, para este caso una función exponencial negativa.
- De la comparación entre las dos metodologías para el ajuste de curvas por mínimos cuadrados de ajuste exponencial y ajuste potencial se determinó el método de ajuste exponencial para el conjunto de datos por ser el que más se acercaba a la realidad de consumo de los usuarios, dando una solución óptima de demanda diversificada por usuario de consumo.
- Para la estimación de la demanda existen dos factores importantes los cuales son el consumo en KVA de los usuarios y la cantidad de clientes que se encuentran por cada transformador.

5.2. RECOMENDACIONES

- Para la asignación de consumos por cliente, en los futuros proyectos donde se estimará la demanda, es necesario verificar los consumos por estrato socioeconómico creando una división por zonas de cada región para facilitar el estudio de demanda.
- Como bases para la estimación de la demanda se recomienda:
 1. Emplear la planificación territorial de cada municipio.
 2. Dividir los transformadores por capacidad nominal, colocando la cantidad que corresponde a cada uno para asegurar que todos entren en el sondeo (Transformadores de distribución con cargas residenciales para este tipo de estudio).
 3. Que las empresas del sector eléctrico tengan implementado un sistema de administración de consumo de los clientes que tengan

ligados, para tener un dato estadístico de demandas máxima diarias, mensuales y anuales y poder seleccionar el día de la semana que más se consume así mismo el pico horario de demanda.

4. Que las empresas tengan conocimiento de la cantidad de transformadores, equipos de medida, longitud de redes que poseen.
 5. Actualización de la asignación por estratos de consumo debido a que pueden producirse variaciones en los estratos asignados para cada empresa.
- Es necesario realizar los registros los 7 días de la semana a las horas pico establecidas por cada empresa y considerar los registros en los intervalos establecidos.
 - Para generar la base estadística se dispone de la información actualizada de la energía consumida mes a mes de todos los clientes de cada empresa. El proceso de actualización de la base de datos; así como los planos de sectorización de consumos urbano y rural, es recomendable hacerlo anualmente, debido a que se pueden presentar variaciones.
 - Al realizar las conexiones para la toma de datos para usuarios individuales se recomienda verificar el tipo de conexión y utilizar el manual de cada equipo.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Comisión de regulación de energía y gas
Online: www.creg.gov.co/creg.nsf/normas
- [2] Proyecciones de demanda de energía eléctrica y potencia máxima
Demanda, proyección de demanda 2003-2011
Online: www.siel.gov.co
- [3] Asociación Colombiana de generadores de energía ACOLGEN
- [4] Eficiencia energética en transformadores eléctricos, proyecto de la unidad de planeación minero energética de Colombia y el instituto Colombiano para el desarrollo de la ciencia y la tecnología (Colciencias)
- [5] Electrical Transmission and distribution Westinghouse
Capitulo 2 Método de Arvidson.
Redes de distribución de energía pagina 37, publicación titulada “Diversified demand method of estimating residential distribution transformer loads”
- [6] Código eléctrico Colombiano NTC 2050
- [7]
- [8] Estadística para investigadores segunda edición, George E. Box, J Stuart Hunter, William G. Hunter.
- [9] Meyer, Paul L. Probabilidad y aplicaciones estadísticas Addison Wesley Iberoamericana, México 1986.
- [10] ECONOMIA Y DESARROLLO, volumen 3 #1 Marzo de 2004. Estratificación socioeconómica como instrumento de focalización. Lucia M. Rosero, Universidad Autónoma de Colombia.
- [11] DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACION
Online: www.dnp.gov.co
- [12] Manual topas 1000
Online: www.suparule.com/docs/Topas_1000_usur_manual.pdf
- [13] Manual Memobox
Online: www.fluke.com/twen/products/memobox.html
- [14] Manual Alpha A1200
Online: www.elster.com/en/electricity.html
- [15] Manual Hioki 3286

- Online: www.hioki.com/product/power.html
- [16] Manual Hioki 3197
Online: www.hioki.com/product/power.html
- [17] Demanda e intervalos de demanda
- [18] Wackerly, Dennis D; Mendenhall, William; Scheaffer, Richard (2002). ESTIMACION ESTADISTICA MATEMATICA CON APLICACIONES.
- [19] Harrey, AC (1981) Juzgar la bondad o adecuación de un modelo. Bondad de ajuste.
- [20] Ajuste Exponencial
Online: www.ehu.es/~mepvaarf/quimicos/ajuste.pdf
- [21] Método de mínimos cuadrados
Online: www.ehu.es/~mepvaarf/quimicos/ajuste.pdf
- [22] Gobernación del Quindío, Ficha técnica bienes y servicios, características políticas, económicas y técnicas.
Online: www.quindio.gov.co
- [23] Empresa de energía del Quindío EDEQ S.A ESP. Aspectos Generales del sistema eléctrico.
- [24] Empresa de energía del Quindío EDEQ S.A ESP. Sistema de información Comercial (SIC).
- [25] Correlación entre variables. Gustavo Ramón S. Docente – Investigador del Instituto Universitario de Educación Física, Universidad de Antioquia (Colombia). Correlacion entre variables semirario investigativo.
Online:
www.viref.udea.edu.co/contenido/menu_alterno/apuntes/gusramon/seminario_invest_vi/05-correlacion-variables.pdf
- [26] Correlación y Regresión lineal
Online: http://nutriserver.com/Cursos/Bioestadistica/Correlacion_Regresion.html
- [27] Rosario Ruiz Baños, Departamento de Biblioteconomía y Documentación. Universidad de granada (España). MODELOS NO LINEALES.
- [28] Software MATLAB. The mathworks. Ajuste de curvas.
Online: www.mathworks.com/products/matlab.