

ISSN impreso: 1390-9754

PANORAMA

Revista Multidisciplinaria de la Universidad Católica de Cuenca



AÑO I • NÚMERO 1 • MARZO 2016



UNIVERSIDAD
CATÓLICA DE CUENCA
COMUNIDAD EDUCATIVA AL SERVICIO DEL PUEBLO

Fecha de recepción: 29 de octubre de 2015

Fecha de aceptación: 4 de enero de 2016

ESTUDIO DE CARGABILIDAD DE ESTACIONES DE TRANSFORMACIÓN

STUDY CHARGEABILITY OF SUBSTATIONS

1. Santiago Arturo Moscoso Bernal
Universidad Católica de Cuenca. Ecuador.

Correspondencia:

smoscoso@ucacue.edu.ec / smoscosob@gmail.com

1. Tecnólogo Electrónico, Ingeniero Eléctrico y Especialista en Docencia Universitaria por la Universidad Católica de Cuenca; Diplomado en Metodologías de la Investigación por la Universidad Nacional Autónoma de México UNAM; tesista de la Maestría en Aprendizaje de la Física de la Universidad Nacional de Chimborazo UNACH; trámite de titulación de la Maestría en Energías Renovables de la Universidad Europea Miguel de Cervantes – Universidad Europea del Atlántico (doble titulación). Aprobado en la universidad de Alicante (España) los cursos de: Desarrollos de Clientes, La Propuesta de Valor y Tipos de Mercados. Autor del libro: Alta Tensión Edición, 2015, ISBN 978-9942-8553-5-0; Profesor de la Universidad Católica de Cuenca de Alta Tensión, Distribución, Física y Dinámica, Director de Carrera de Ingeniería Eléctrica 2011-2013, Director del Departamento de Gestión de Calidad (actualmente), Vicerrector de la Unidad Educativa Misioneros Oblatos UEMO.

RESUMEN

En el presente artículo se describen las experiencias y resultados de un estudio de cargabilidad, realizado a un grupo de estaciones de transformación de propiedad de la EERCS C.A. El estudio comprende tres etapas, partiendo por un muestreo aleatorio de estaciones para su posterior análisis, pasando por una etapa de medición mediante equipo registradores de calidad, para finalmente culminar con el análisis de los resultados obtenidos.

ABSTRACT

In this article the experiences and results of a study conducted chargeability a group of substations owned EERCS CA described, the study comprises three stages, starting with a random sampling of stations for further analysis, to a step of measuring recorders mediante quality equipment to finally finish the analysis of the results obtained.

Palabras Clave: Transformador, carga, potencia, curva de cargabilidad.

Keywords: Transformer, load, power, curve chargeability.

I. INTRODUCCIÓN

El transformador de distribución es uno de los elementos más importantes y costosos del sistema de repartición. Esto hace que la mayor atención esté sobre este equipo, el estipular parámetros que permitan determinar el estado de cargabilidad y por consiguiente criterios para seleccionar el transformador más apropiado para la carga que se desea alimentar, tiene gran importancia desde el punto de vista de diseño, ya que, al sobrecargar un transformador se disminuirá la vida útil de éste, pero, en contraste un transformador sobredimensionado tiene

mayores pérdidas en el núcleo, por mantenerlo magnetizado sin obtener ninguna ventaja a cambio.

Dichas pérdidas demanda un incremento en el sistema de generación, con el costo que ello conlleva. Este hecho es de real importancia pues, el factor predominante para determinar la cargabilidad de un transformador es el punto más caliente de sus enlramientos. Como el cambio de temperatura no ocurre súbitamente, es posible tener el transformador sobrecargado por cortos periodos de tiempo, sin provocar una disminución de su vida útil.

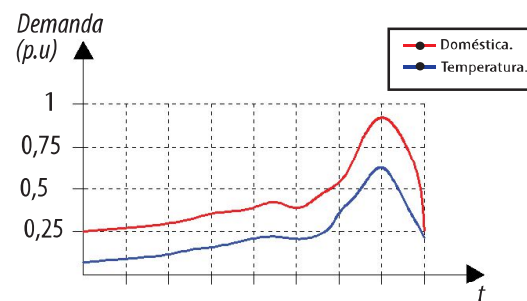


Fig1. Curva de demanda vs temperatura de un transformador. (elaborado por el investigador)

Al analizar la figura 1, se puede entender la importancia de estudiar los diferentes ciclos de carga a los cuales es sometido un transformador, pues por lo general, obedecen a un patrón que se repite cada 24 horas y en cortos periodos de duración.

Los transformadores son diseñados para soportar sobrecargas de hasta un 50% por encima de su capacidad nominal, por lo cual permanecen operando muy por debajo de su capacidad la mayor parte del día, con lo cual además de incrementar las pérdidas, se incurre en un desperdicio de capacidad instalada.

II. OBJETIVO DEL PROYECTO.

Realizar un análisis de cargabilidad en una muestra de transformadores de distribución monofásicos y trifásicos.

Objetivos Específicos.

- Levantar las redes existentes de las estaciones de transformación seleccionadas.
- Instalar analizadores de calidad para tener mediciones reales del consumo de energía en las estaciones de transformación.
- Realizar modelos de curvas de demanda eléctrica que describan el comportamiento de la carga de cada una de las estaciones de transformación.
- Comparar la curva de demanda obtenida con la capacidad del transformador objeto de análisis.

III. DESARROLLO TEÓRICO

A. Curva de carga.

Una curva de carga representa la forma en la que varía en el tiempo, la demanda de potencia eléctrica en un sistema.

Estas curvas están directamente relacionadas con el tipo de consumidor, en general éstos pueden dividirse según su patrón de consumo, así éstos pueden ser residenciales, comerciales, industriales o alumbrado público.

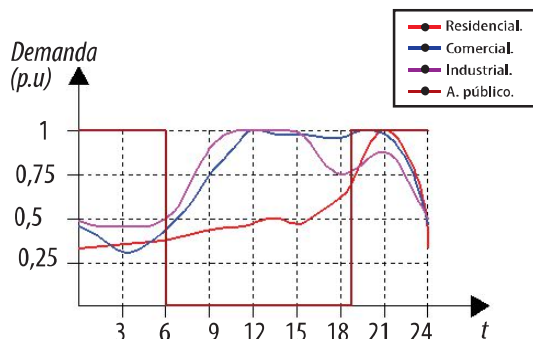


Fig2. Curvas características de carga.

(elaborado por el investigador)

B. Medición y modelado de curvas de carga.

Para obtener una apropiada curva de carga, es importante elegir adecuadamente la forma en la que se tomarán los datos y los intervalos de tiempo en los que éstos serán muestreados.

En cuanto a la forma de tomar los datos, existen básicamente dos: muestreo discreto instantáneo y muestreo por integración, en el presente estudio se utilizará este último, pues es el que mayor confianza brinda.

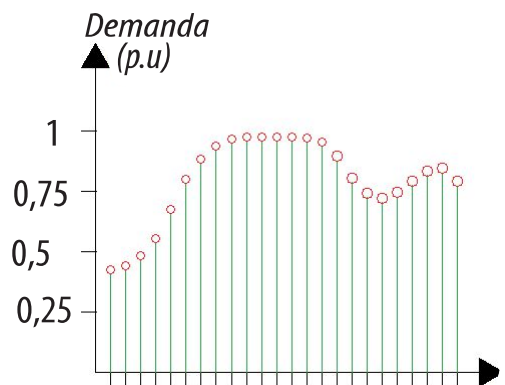


Fig3. Muestreo discreto instantáneo.

(elaborado por el investigador)

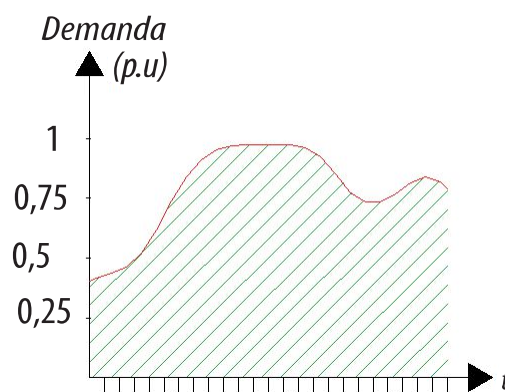


Fig4. Muestreo por integración.

(elaborado por el investigador)

En cuanto a la frecuencia de muestreo $\delta(t)$, debe ser capaz de satisfacer las necesidades del tipo de estudio que se desea realizar.

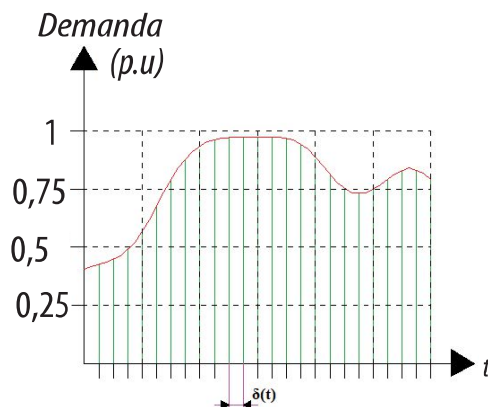


Fig5. Frecuencia de muestreo.

(elaborado por el investigador)

C. Factor de carga (F.C).

El factor de carga se puede definir como la relación existente entre la demanda promedio y la demanda máxima. Entonces el F.C se calcula dividiendo la potencia promedio para la potencia máxima.

$$F.C = \frac{1}{P_{m\acute{a}x}} \int_0^{\Delta t} \frac{p(t)dt}{\Delta t} \quad (1)$$

En donde:

$\frac{p(t)}{\Delta t}$ Indica el valor promedio de la función $p(t)$.

$\frac{1}{P_{m\acute{a}x}}$ Indica el recíproco del valor máximo de la potencia máxima ($P_{m\acute{a}x}$).

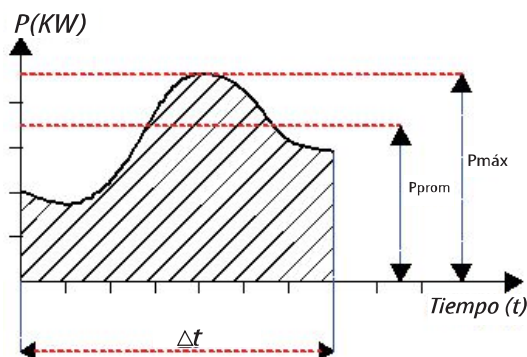


Fig6. Potencia promedio y potencia máxima.

(elaborado por el investigador)

D. Factores de diversidad y coincidencia.

Al considerar un grupo de cargas homogéneas, como es el caso de un conjunto de abonados, existe una diversidad en el uso de los equipos eléctricos propios por la pluralidad de costumbres y necesidades. El factor de diversidad (F_{div}) puede ser definido como la relación que hay entre la suma de las demandas máximas individuales del sistema y la demanda máxima del sistema.

$$F_{div} = \frac{\sum_{i=1}^n D_{m\acute{a}x i}}{D_{m\acute{a}x s}} \quad (2)$$

En donde:

$D_{m\acute{a}x i}$ = Demanda máxima de la i -ésima carga.

$D_{m\acute{a}x s}$ = Demanda máxima del sistema.

El factor de coincidencia (F_{coi}) es el recíproco del factor de diversidad y puede ser expresado como:

$$F_{coi} = \frac{1}{F_{div}} \quad (3)$$

E. Pérdidas en los transformadores.

Las pérdidas en los transformadores de distribución están directamente relacionadas con las pérdidas con carga y a las pérdidas sin carga.

$$P_{Total} = P_{sin\ carga} + P_{Con\ carga} \quad (4)$$

Las pérdidas con carga son pérdidas causadas por la corriente de la carga que fluye a través de los devanados del transformador, y son directamente proporcionales a la resistencia del enrollamiento del transformador y al cuadrado de la corriente de la carga.

Pérdidas sin carga, se puede describir como la energía necesaria para mantener el núcleo del transformador magnetizado.

IV. CARGABILIDAD DE TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN IEEE std C.57.911.1995

A continuación se indican los principales aspectos a analizar sobre cargabilidad de estaciones de transformación, según la norma IEEE std. C.57.911-1995, ya que es la normativa base para el desarrollo del presente proyecto.

A. Vida útil del aislamiento del transformador.

El deterioro del aislamiento de un transformador depende de la temperatura, el contenido de humedad y el contenido de oxígeno. Dada las características constructivas de los transformadores en la actualidad, se puede reducir a un mínimo estas últimas, por lo cual el factor determinante es la temperatura.

La relación entre el deterioro del aislamiento y la temperatura está dada por:

$$Vida_{pu} = 9.8 * 10^{-18} e^{\left(\frac{15000}{T+273}\right)} \quad (5)$$

Donde T es la temperatura en el punto más caliente.

En la gráfica 7 se puede observar que a medida que la temperatura de funcionamiento incrementa, el tiempo de vida útil del transformador disminuye.

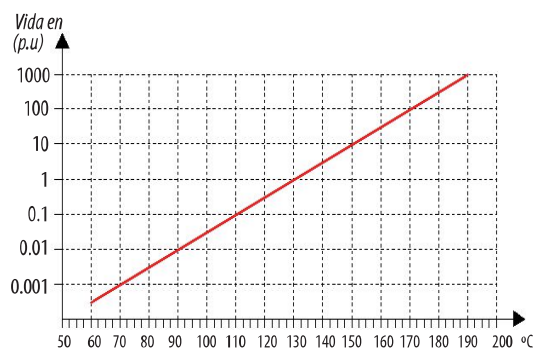


Fig7. Envejecimiento del transformador.

(elaborado por el investigador)

B. Ciclo de carga.

Los transformadores operan con ciclos de carga que se repiten cada 24 horas, en los cuales la carga varía durante el día. Por lo que se puede decir que un transformador que alimenta una carga variante, también tiene pérdidas variantes, sin embargo estas pérdidas son equivalentes a las que se produjeran con una carga constante. Esta carga equivalente puede calcularse de la siguiente forma:

$$L_{eq} = \sqrt{\frac{L_1^2 t_1 + L_2^2 t_2 + L_3^2 t_3 + \dots + L_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + t_n}} \quad (5)$$

Dónde:

L_{eq} es la carga equivalente.

L_1, \dots, L_n son los escalones de carga (en %, p.u o KVA).

t_1, \dots, t_n son los periodos de tiempo (en horas).

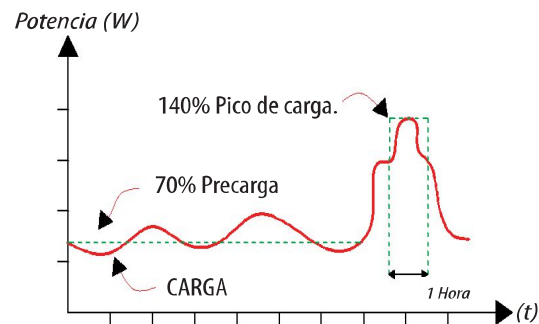


Fig8. Ciclo de carga real y equivalente.

(elaborado por el investigador)

V. DESARROLLO DEL PROYECTO

Con la finalidad de perpetrar un análisis de un grupo de estaciones de transformación, propiedad de la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur (EERCS), se procedió a seleccionar de manera aleatoria tres estaciones monofásicas y tres estaciones trifásicas (VER TABLA I).

**TABLA I.
DETALLE DE TRANSFORMADORES
A ANALIZAR.**

N. Fases	Número	Capacidad (KVA)	Localización
3F	4244	50 KVA	Av. 10 de Agosto.
3F	5837	45 KVA	UDA.
3F	6444	50 KVA	Virgen de Bronce.
1F	1034	37.5 KVA	B. de ETAPA.
1F	3958	10 KVA	Huazha (Tambo).
1F	3973	10 KVA	S. Teresita (Valle)

(elaborado por el investigador)

Con la finalidad de analizar estos transformadores, se levantó en campo la red existente de cada una de estas estaciones, esto nos permitió estipular la cantidad de abonados a la que éstas sirven. En una segunda etapa se procedió a monitorear dichas estaciones, mediante el empleo de equipos registradores de calidad.

La información obtenida por los equipos de calidad, fue sometida a un proceso de tamización, a fin de determinar las curvas de carga diaria para cada una de las estaciones, el proceso de medición de estos parámetros se realizó con un periodo de medición de siete días, con una frecuencia de muestreo de diez minutos.

La figura 9 muestra de manera simplificada, el proceso de análisis del presente estudio.

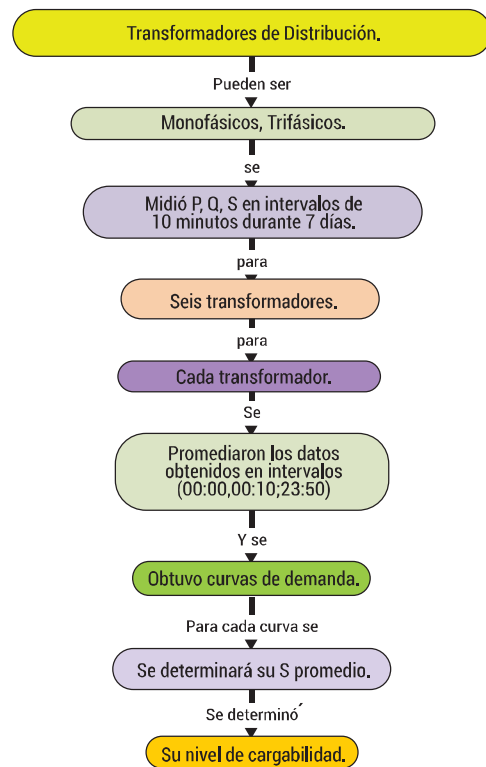


Fig9. Proceso de análisis de los transformadores muestreados. (elaborado por el investigador)

A. Analizadores empleados.

Los analizadores empleados para el estudio fueron facilitados por la Universidad Católica de Cuenca. Los equipos son del tipo Fluke 434.

Estos analizadores ofrecen una serie de potentes funciones para la comprobación de sistemas de distribución eléctrica, que nos permitirá tener una mejor visión del funcionamiento del sistema eléctrico, además de otras para examinar detalles específicos.



Fig10. Analizador Fluke 434. (www.fluke.com)

B Análisis del transformador 4244.

La estación de transformación 4244 se encuentra ubicada en la Av. 10 de Agosto entre Miguel Moreno y Francisco Estrella Carrión, abastece a 27 abonados cuya clasificación varía entre C y D.

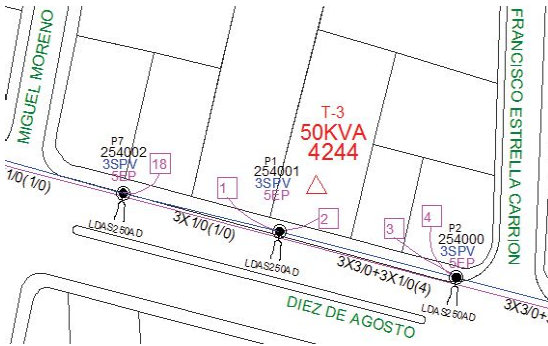


Fig11. Ubicación del transformador 4244.

(elaborado por el investigador)

A continuación se presenta una tabla con algunos datos técnicos de la estación de transformación.

**TABLA II.
DATOS DEL
TRANSFORMADOR 4244.**

TRANSFORMADOR 4244			
TRANSFORMADOR	4244	P. NOMINAL	50 KVA
TIPO:	3F	ALIMENT.	0323
PROVINCIA:	Azuay		
CANTÓN:	Cuenca		
PARROQUIA:	Huayna Cápac		
S. PROMEDIO (KVA)	16,7	REGIST.	Fluke 434

(elaborado por el investigador)

Del periodo de muestreo, se obtuvo 1.008 muestras correspondientes a siete diferentes días, en intervalos de 10 minutos, estas muestras fueron promediadas en horarios congruentes de tal manera que nos permita obtener una curva de carga diaria. (Ver fig12).

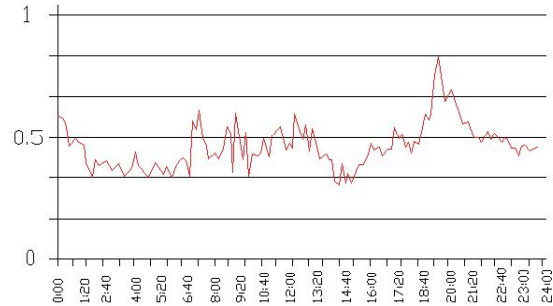


Fig12. Curva de carga del transformador 4244.

(elaborado por el investigador)

De los resultados obtenidos, se puede determinar que la estación se encuentra sobredimensionada, pues el pico de consumo es de 17.61 KVA, con una media de 16,7 KVA lo cual nos deja ver claramente que apenas se utiliza un 25% de la capacidad total de la estación.

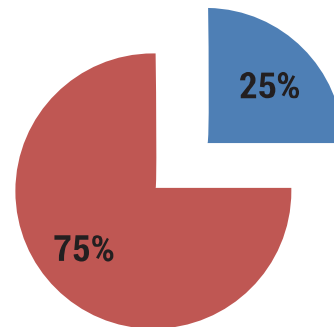


Fig12. Estado de cargabilidad del transformador 4244.

(elaborado por el investigador)

C. Análisis del transformador 5837.

La estación de transformación 5837 se encuentra ubicada en las calles Rodrigo Palacios Palacios y Jacinto Flores, abastece a 30 abonados de clasificación D.

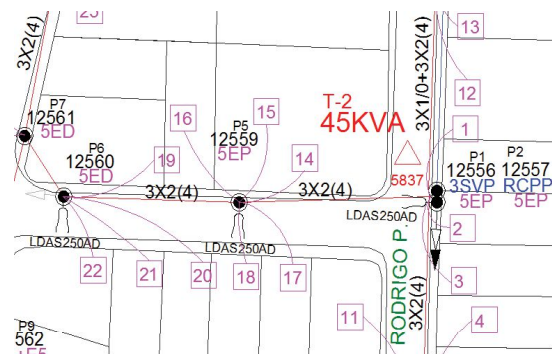


Fig13. Ubicación del transformador 5837.

(elaborado por el investigador)

En la subsiguiente tabla se presentan algunos datos técnicos de la estación de transformación 5837.

**TABLA III.
DATOS DEL
TRANSFORMADOR 5837.**

TRANSFORMADOR 5837			
TRANSFORMADOR	5837	P. NOMINAL	45 KVA
TIPO:	3F	ALIMENT.	323
PROVINCIA:	Azuay		
CANTÓN:	Cuenca		
SECTOR:	UDA		
S. PROMEDIO (KVA)	10,32	REGIST.	Fluke 434

(elaborado por el investigador)

Del periodo de muestreo, se obtuvo 1.008 muestras correspondientes a siete diferentes días, en intervalos de 10 minutos, estas muestras fueron promediadas en horarios congruentes, de tal manera que nos permita obtener una curva de carga diaria. (Ver fig14).

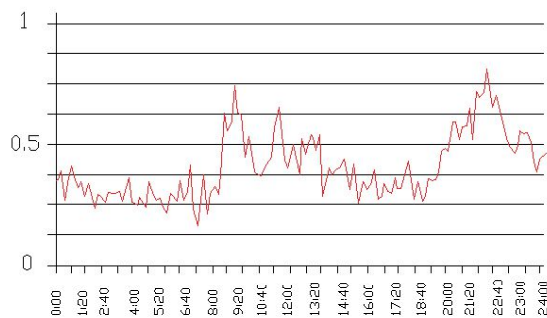


Fig14. Curva de carga del transformador 5837.

(elaborado por el investigador)

De los resultados obtenidos, se puede determinar que la estación se encuentra sobredimensionada, pues el pico de consumo es de 11.55 KVA, con una media de 10.32 KVA lo cual nos deja ver claramente que apenas se utiliza un 19% de la capacidad total de la estación.

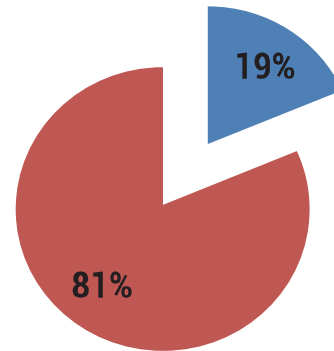


Fig15. Estado de cargabilidad del transformador 5837.

(elaborado por el investigador)

D. Análisis del transformador 6444.

La estación de transformación 6444 se encuentra ubicada en la Av. Fray Vicente Solano y Belisario Andrade, abastece a 15 abonados de clasificación D.

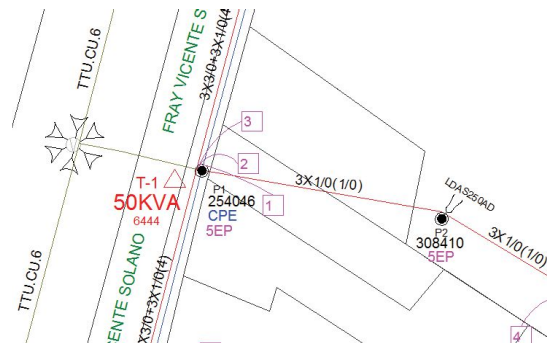


Fig16. Ubicación del transformador 6444.

(elaborado por el investigador)

En la Tabla IV se detallan algunos de los datos técnicos de la estación de transformación 6444, así como de su ubicación y equipo analizador.

**TABLA IV.
DATOS DEL
TRANSFORMADOR 6444.**

TRANSFORMADOR 6444			
TRANSFORMADOR	6444	P. NOMINAL	50 KVA
TIPO:	3F	ALIMENT.	323
PROVINCIA:	Azuay		
CANTÓN:	Cuenca		
SECTOR:	Virgen de Bronce		
S. PROMEDIO (KVA)	18,44	REGIST.	Fluke 434

(elaborado por el investigador)



Del periodo de muestreo se obtuvo 1008 muestras, correspondientes a siete diferentes días en intervalos de 10 minutos, estas muestras fueron promediadas en horarios congruentes, de tal manera que nos permita obtener una curva de carga diaria. (Ver fig17).

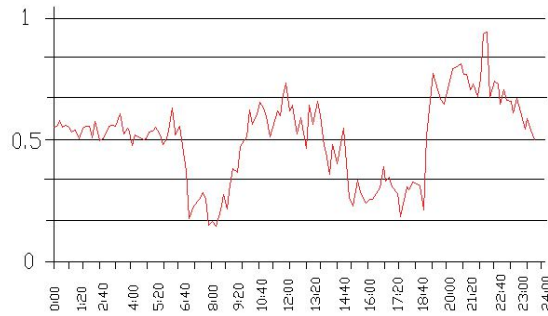


Fig17. Curva de carga del transformador 6444.

(elaborado por el investigador)

De los resultados obtenidos, se puede determinar que la estación se encuentra sobredimensionada, pues el pico de consumo es de 12.45 KVA, con una media de 18.44 KVA, lo cual nos deja ver claramente que apenas se utiliza un 27% de la capacidad total de la estación.

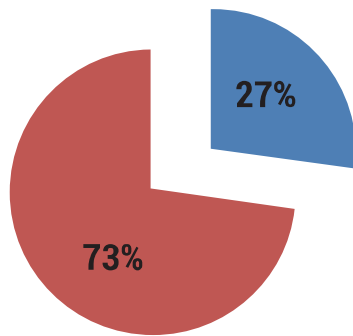


Fig18. Estado de cargabilidad del transformador 6444.

(elaborado por el investigador)

E. Análisis del transformador 3973.

La estación de transformación 3973 se encuentra ubicada en el barrio Santa Teresita en la periferia de la ciudad de Cuenca, se encuentra abasteciendo a 14 abonados de clasificación E.

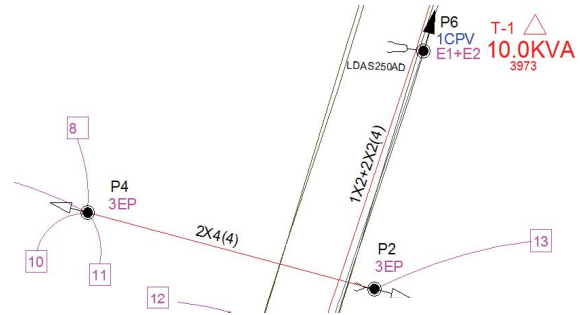


Fig19. Ubicación del transformador 3973.

(elaborado por el investigador)

TABLA V.
DATOS DEL
TRANSFORMADOR 3973.

TRANSFORMADOR 3973			
TRANSFORMADOR	3973	P. NOMINAL	10 KVA
TIPO:	1F	ALIMENT.	0323
PROVINCIA:	Azúay		
CANTÓN:	Cuenca		
SECTOR:	Santa Teresita		
S. PROMEDIO (KVA)	1,75	REGIST.	Fluke 434

(elaborado por el investigador)

Del periodo de muestreo se obtuvo 1.008 muestras correspondientes a siete diferentes días en intervalos de 10 minutos, estas muestras fueron promediadas en horarios congruentes de tal manera que nos permita obtener una curva de carga diaria. (Ver fig20).

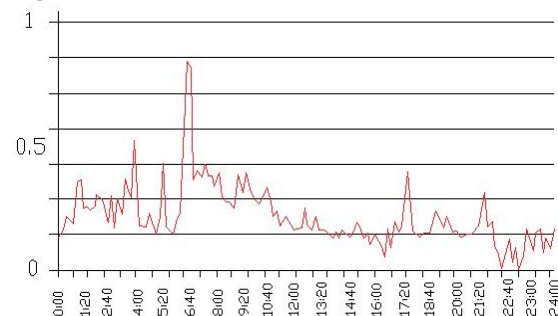


Fig20. Curva de carga del transformador 3973.

(elaborado por el investigador)

De los resultados obtenidos se puede estipular que la estación se encuentra sobredimensionada, pues el pico de consumo es de 5.95 KVA, con una media de 1.75 KVA, lo cual nos deja ver claramente que apenas se utiliza

un 17% de la capacidad total de la estación.

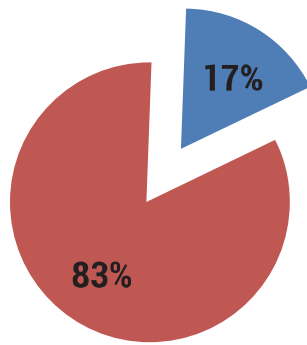


Fig21. Estado de cargabilidad del transformador 3973.

(elaborado por el investigador)

F. Análisis del transformador 3958.

La estación de transformación 3958 se encuentra ubicada en la periferia del cantón el Tambo, se encuentra abasteciendo a 7 abonados de clasificación F.

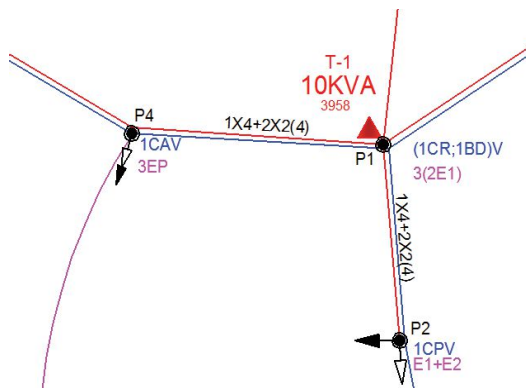


Fig22. Ubicación del transformador 3958.

(elaborado por el investigador)

**TABLA VI.
DATOS DEL
TRANSFORMADOR 3958.**

TRANSFORMADOR 3958			
TRANSFORMADOR	3958	P. NOMINAL	10 KVA
TIPO:	1F	ALIMENT.	1822
PROVINCIA:	Cañar		
CANTÓN:	Tambo		
SECTOR:	Huazha		
S. PROMEDIO (KVA)	0,29	REGIST.	Fluke 434

(elaborado por el investigador)

Del periodo de muestreo se obtuvo 1.008 muestras correspondientes a siete diferentes días en intervalos de 10 minutos, estas muestras fueron promediadas en horarios congruentes de tal manera que nos permita obtener una curva de carga diaria. (Ver fig23).

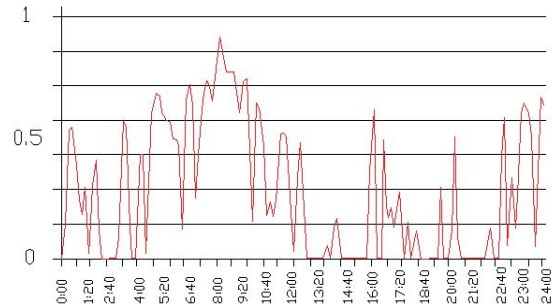


Fig23. Curva de carga del transformador 3958.

(elaborado por el investigador)

De los resultados obtenidos se puede determinar que la estación se encuentra sobredimensionada, pues el pico de consumo es de 1.3 KVA, con una media de 0.29 KVA lo cual nos deja ver claramente que apenas se utiliza un 10% de la capacidad total de la estación.

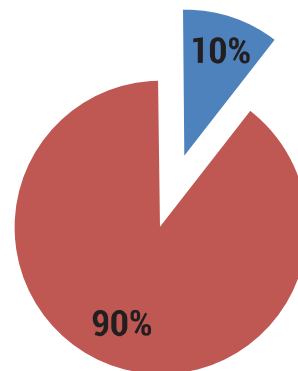


Fig24. Estado de cargabilidad del transformador 3958.

(elaborado por el investigador)

G. Análisis del transformador 1034.

La estación de transformación 1034 se encuentra ubicada en las calles Miguel Moreno y Manuel Malo, abastece a 41 abonados de clasificación D.

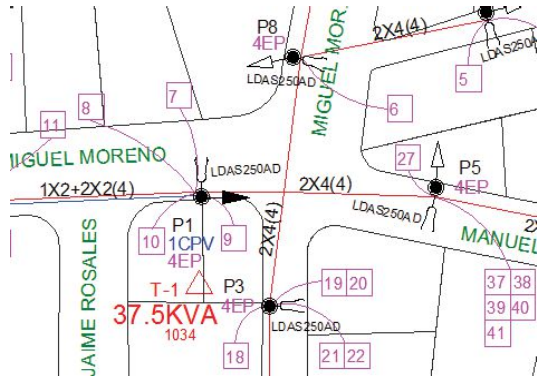


Fig25. Ubicación del transformador 1034.

(elaborado por el investigador)

**TABLA VII.
DATOS DEL
TRANSFORMADOR 1034.**

TRANSFORMADOR 1034			
TRANSFORMADOR	1034	P. NOMINAL	37,5KVA
TIPO:	1F	ALIMENT.	0323
PROVINCIA:	Azuay		
CANTÓN:	Cuenca		
SECTOR:	Huayna Capac		
S. PROMEDIO (KVA)	9,22	REGIST.	Fluke 434

(elaborado por el investigador)

Del periodo de muestreo se obtuvo 1.008, correspondientes a siete diferentes días, estos valores fueron promediados en horarios congruentes, de tal manera que nos permita obtener una curva de carga diaria. (Ver fig. 26).

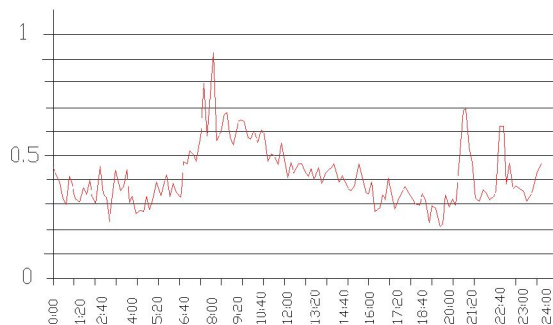


Fig26. Curva de carga del transformador 1034.

(elaborado por el investigador)

De los resultados obtenidos se puede determinar que la estación se encuentra sobredimensionada, pues el pico de consumo es de 8.2 KVA, con una media de 9.22 KVA, lo cual nos deja ver claramente que apenas se utiliza un 11% de la capacidad total de la estación.

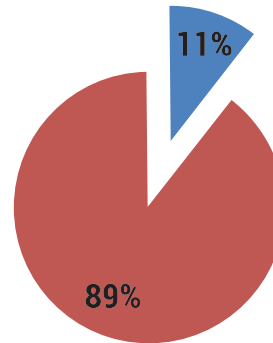


Fig27. Estado de cargabilidad del transformador 1034.

(elaborado por el investigador)

H. Análisis de resultados.

Después de haber realizado el levantamiento de las redes existentes, el monitoreo de la demanda de energía eléctrica y análisis final, se puede determinar que existe un sobredimensionamiento en todas las estaciones de transformación objeto de este estudio.

De hecho, todos los transformadores se encuentran dimensionados muy por encima de los valores pico de demanda; es así que las pérdidas por magnetización son las más significativas para estas estaciones, no obstante en algunos casos se puede justificar el sobredimensionamiento, pues los valores comerciales de estos divergen en gran magnitud de la demanda del sistema.

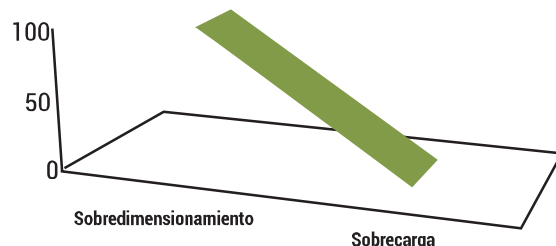


Fig28. Resultado del análisis.

(elaborado por el investigador)

Por otra parte, es importante analizar las diferentes curvas de demanda, que si bien siguen un patrón en cuanto a horario, no así en cuanto a incremento de demanda, pues éste es un parámetro parcializado, en el cual se involucran factores tanto socioeconómicos como de hábitos.

VII. CONCLUSIONES

Al término de la investigación, los resultados obtenidos dejan una gran hipótesis sobre los valores de demandas máximas unitarias (DMUP), al parecer estos valores no son los adecuados o carecen de validez en estos tiempos, ya sea por los cambios en los hábitos de consumo de las personas, mejora en el rendimiento de los equipos eléctricos, la incursión de la tecnología LED en el mercado y otros que han marcado claramente una nueva era, quizá un indicio de esto es el claro sobredimensionamiento que existe en las estaciones analizadas.

En contraste, se puede decir que al igual que existen estaciones sobredimensionadas, existen estaciones con sobrecarga, las cuales no han podido ser puestas en evidencia, ya que se trata de una selección aleatoria de transformadores.

Por consiguiente, la presente investigación sirve de línea base para un estudio más profundo, incitando a temas de tesis y estudios de investigación científica a profundidad, pues es de gran importancia si tenemos en cuenta el cambio de la matriz energética que se está llevando a cabo en el país.

VIII. RECONOCIMIENTOS

Un agradecimiento sincero a la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Católica de Cuenca, en la persona del Ing. Diego Cordero Guzmán, por brindarnos su apoyo al facilitarnos los equipos para el levantamiento de información de las estaciones de transformación.

IX. COLABORADORES

Estudiantes de la Carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Católica de Cuenca:

Fausto Matailo, Diego Cárdenas, Diego Barahona y Rafael Chica.

Conflicto de intereses: El autor declara no tener conflicto de intereses de ningún tipo.

CONFLICTO DE INTERESES

El autor declara no tener conflicto de intereses de ningún tipo.

X. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Chapman, S. J. (2005). Máquinas Eléctricas. Mexico: Mcgraw-Hill Interamericana.
- [2] Fluke. (2008). Three Phase Power Quality Analyzer. Paises Bajos: Fluke.
- [3] León, A. (2010). Instalaciones de Distribución. Barcelona: Lexus.
- [4] Mora, J. F. (2003). Máquinas Eléctricas. Madrid: McGraw-Hill Interamericana de España.
- [5] Pérez, P. A. (2008). Transformadores de Distribución. D.F: Reverté.
- [6] Sanz Serrano, J. L. (2010). Instalaciones de Distribución. Madrid: Paraninfo.
- [7] Yebra, J. A. (2009). Sistemas Eléctricos de Distribución. Barcelona: Reverté.