

Determinación de la Cantidad Adecuada de Usuarios por Transformador de Potencia en Zonas de Guayaquil a Nivel de Baja Tensión Considerando Eficiencia Energética

Carlos Javier Bernal Avila ⁽¹⁾, Walter Vicente Marmolejo Tierras ⁽²⁾, Msc. Douglas Mauricio Aguirre Hernández ⁽³⁾,
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) ⁽⁴⁾, Ingeniero en Electricidad especialización Potencia ⁽⁴⁾
Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación ⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)
Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral
Apartado 09-01-5863. Guayaquil-Ecuador
cjbernal071421@gmail.com ⁽¹⁾, walter_m234@hotmail.com ⁽²⁾, daguirr@espol.edu.ec ⁽³⁾

Resumen

En este documento podemos encontrar un método para determinar la cantidad adecuada de usuarios residenciales para diferentes capacidades de transformadores de distribución, con funcionalidad para los próximos 10 años para las ciudadelas Atarazana, Los Ceibos, Urdesa, Kennedy y Puerto Azul pertenecientes a la ciudad de Guayaquil – Ecuador. El objetivo principal de esta investigación es mejorar la eficiencia de los trafos de distribución mediante la aplicación de la ingeniería. El número de usuarios adecuados han sido seleccionados tomando en consideración la inclusión de las cocinas de inducción en nuestros hogares, debido al programa de “Cocción Eficiente” que impulsa el Gobierno Nacional. Al seleccionar de manera óptima la cantidad de usuarios que serán vinculadas a los transformadores de distribución, se reducirán las pérdidas de energía ya que dicho trafa no estará sobredimensionado ni subutilizado; ésta reducción de pérdida de energía significará un ahorro monetario para el país, ya que ésta energía que se ahorra no tendrá que producirse y por ende tampoco será transportada.

Palabras Claves: *Eficiencia, Cocción Eficiente, Sobredimensionado, Subutilizado, Ahorro de Pérdidas de Energía.*

Abstract

In this document we can find a method to determine the appropriate number of residential users for different capacities of distribution transformers, with functionality for the next 10 years for the citadels Atarazana, Los Ceibos, Urdesa, Kennedy y Puerto Azul belonging to the city of Guayaquil - Ecuador. The main objective of this research is to improve the efficiency of the distribution transformers by applying engineering. The appropriate number of users have been selected taking into consideration the inclusion of induction cookers in our homes, because of the program "Cocción Eficiente" promoted by the Government. When selecting optimally the number of users that will be linked to distribution transformers, energy losses are reduced since this transformer will be no oversized or underused; this reduction in energy loss means a monetary savings for the country, since this energy saved will not occur and therefore will not be transported.

Keywords: *Efficiency, Efficient Cooking, Oversized, Underused, Saving Energy Losses*

1. Introducción

El crecimiento mundial de la demanda energética en los últimos años ha obligado a que se empleen nuevos métodos para optimizar el consumo de la misma; a esta práctica se la conoce como eficiencia energética, la cual consiste en el ahorro y uso inteligente de la energía sin pérdidas ni desperdicios, utilizando la mínima energía y manteniendo la calidad

de bienes y servicios. El Ecuador no es la excepción entre los países del mundo que apunta al aprovechamiento óptimo y razonable de la energía eléctrica, es por esto que el actual Gobierno ha promovido a través de diferentes programas y proyectos (proyecto de Focos Ahorradores, Plan Renova y el proyecto piloto de cocinas de inducción) el uso eficiente de la energía [1].

De todos los proyectos sobre eficiencia energética que actualmente impulsa el Gobierno Nacional sin duda el de más importancia es el de la implementación de las cocinas de inducción en nuestros hogares, ya que esto conlleva a un reforzamiento o repotenciación de las redes eléctricas de distribución y centros de transformación; debido a esto es que nuestro proyecto se enfoca básicamente en determinar la cantidad óptima de usuarios por cada transformador de distribución monofásico. Este estudio ha sido realizado en varios sectores de la ciudad de Guayaquil, que es la ciudad más poblada de nuestro país.

El incremento en la eficiencia de los transformadores está orientado hacia opciones de diseño, prácticas de ingeniería y técnicas de fabricación relacionadas con la reducción de las pérdidas en el núcleo y en los bobinados. Para efectos de este trabajo, se ha hecho énfasis a la eficiencia energética en transformadores de distribución mediante la práctica de la ingeniería, de manera que puedan reducirse las pérdidas que estos producen.

2. Metodología para la selección de la muestra

Para determinar la muestra de usuarios residenciales de nuestro informe, hay que considerar que el universo de datos a tomar en cuenta, debe estar conformado sólo por los clientes que tengan instalados medidores AMI (Infraestructura Avanzada de Medición) . Para nuestro estudio, se han seleccionado a las ciudadelas: Urdesa, Kennedy, Atarazana, Los Ceibos y Puerto Azul, ya que la mayoría de los usuarios de estos sectores ya cuenta con medidores inteligentes [3].

Tabla 1. Usuarios residenciales con medición AMI y no AMI por sector

Sector	Usuarios AMI	Usuarios no AMI	Usuarios Totales	Cobertura con AMI
Atarazana	2.289	29	2.318	98,75%
Kennedy	3.746	61	3.807	98,40%
Urdesa	7.189	89	7.278	98,78%
Los Ceibos	3.047	21	3.068	99,32%
Puerto Azul	1.978	8	1.986	99,60%
Total	18.249	208	18.457	98,87%

En la Tabla 1 se muestran el total de usuarios residenciales por sector estudiado, el total de usuarios con medidores AMI y no AMI y el porcentaje de usuarios por sector que ya poseen los medidores inteligentes con respecto al total de usuarios en cada zona.

Para la selección de la muestra de nuestra investigación, se ha empleado el método del Muestreo Aleatorio [2], el cual nos ha permitido elegir una

muestra al azar a partir del total de abonados residenciales existentes con medidores AMI en los sectores escogidos; es decir la muestra será aplicada a un total de usuarios residenciales de 18.249 abonados.

Como el tipo de universo para este trabajo es el de una población finita, se ha utilizado la siguiente ecuación:

$$n = \frac{p.q.Z^2.N}{e^2.N+p.q.Z^2} \quad (1)$$

Donde:

n: Tamaño de la muestra

p: Probabilidad de estar en la muestra = 0,5

q: Probabilidad de no estar en la muestra 0,5

Z: Nivel de confianza = 1,88

N: Total de la población = 18.249

e: Error estándar de la estimación = 0,06

Los valores de los parámetros para la selección de la muestra han sido basados en un nivel de confianza del 94%. Al reemplazar los datos anteriores en la Ecuación (1) obtendremos una muestra de 242 usuarios residenciales, los cuales deberán estar vinculados a diferentes transformadores de distribución monofásicos que se encuentran en los sectores analizados.

2.1. Transformadores de Distribución Asociados a los Usuarios Residenciales de la Muestra

Un transformador de distribución se dimensiona de manera que satisfaga la demanda en kW de todos los usuarios asociados al mismo, incluyendo la tasa de crecimiento, ya sean comerciales, industriales o residenciales. En la realidad ningún cliente consume la misma cantidad de energía, e inclusive su característica de consumo no es la misma por sectores; por esta razón no se tiene un número establecido de usuarios por transformador.

Para el desarrollo de este trabajo se ha considerado transformadores monofásicos de la misma cantidad de usuarios por categoría residencial en todas las zonas de estudio, solamente para definir un número de transformadores de distribución que contenga a la muestra de clientes obtenidos, indiferente de la capacidad en KVA o cualquier otro parámetro eléctrico o constructivo.

A continuación se ha detallado la cantidad de transformadores de distribución (con y sin medición AMI) que dan servicio a los usuarios residenciales de cada uno de los sectores analizados.

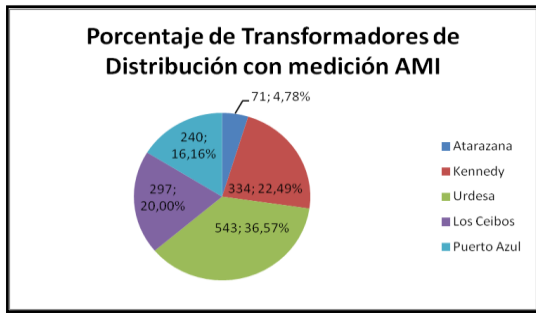


Figura 1. Porcentaje de transformadores de distribución con medición AMI por sector

Asumiendo un promedio de 15 clientes residenciales por transformador de distribución, obtenemos un total de 16 transformadores (242/15), los cuales representan el total de toda la muestra.

Al elegir de manera aleatoria esta cantidad de transformadores, implícitamente ocurre lo mismo con los abonados, de esta manera se garantiza que cada transformador contenga a todos sus usuarios asociados y que no quede ningún cliente aislado dentro de la muestra.

El total de transformadores a analizar estarán repartidos de acuerdo al valor porcentual representativo de clientes con medición AMI con respecto al total de clientes con dicha medición en cada una de los sectores en estudio. En la Tabla 2 finalmente se puede observar cómo quedan distribuidos los transformadores de la muestra para cada sector.

Tabla 2. Muestra de transformadores con medición AMI por sector

Sector	Usuarios con medición AMI	Porcentaje de la Muestra	Usuarios de la Muestra	Trafos de la Muestra
Atarazana	2.289	12,54%	30	2
Kennedy	3.746	20,53%	50	3
Urdesa	7.189	39,39%	95	6
Los Ceibos	3.047	16,70%	41	3
Puerto Azul	1.978	10,84%	26	2
Total	18.249	100,00%	242	16

3. Potencia de los transformadores de la muestra seleccionada

La Empresa Eléctrica de Guayaquil (CNEL-Guayaquil) nos proporcionó los datos de energía activa y reactiva cada 15 minutos y de un año (2014), de los transformadores de distribución de la muestra de las distintas ciudadelas en estudio (hay cerca de 34.500 datos aproximadamente). Gran parte de estos datos de energía pertenecen a la suma del consumo en kWh de

cada usuario que se encuentra vinculado a cada uno de los transformadores seleccionados; otra pequeña parte de energía pertenece al consumo de las luminarias conectadas a dichos transformadores[3].

Con los datos recibidos de la empresa eléctrica, se procedió a construir las curvas o perfiles de cargas diarias, semanales, mensuales y anuales de cada uno de los transformadores de distribución pertenecientes a la muestra en cada sector. Estos perfiles se construyeron a partir de los datos de energía de cada trafo; los perfiles construidos son los correspondientes a la potencia activa, reactiva y aparente o compleja de cada trafo (los datos con valores de cero no se tomaron en cuenta para la construcción de los perfiles, ya que al obtener los promedios, dichos valores de cero nos harían tener resultados erróneos).

3.1. Perfiles diarios de potencia

Para los perfiles de carga de la muestra de transformadores por sector, se llevaron los datos de energía en kWh a su equivalente en potencia en kW cada 15 minutos, esto se lo hizo dividiendo la energía para $0,25h = 15min$.

Debido a que tenemos aproximadamente 34.500 datos por cada transformador y para cada sector (excepto para la Atarazana Kennedy y Urdesa que poseen aproximadamente 29.000 datos ya que no se poseen lecturas de los meses de enero y febrero) se ha procedido a sacar un promedio de consumo con datos que van desde las 00:00h hasta las 23:45h (cada 15 min) de cada día que tuvo el año 2014 (ver Figura 2).

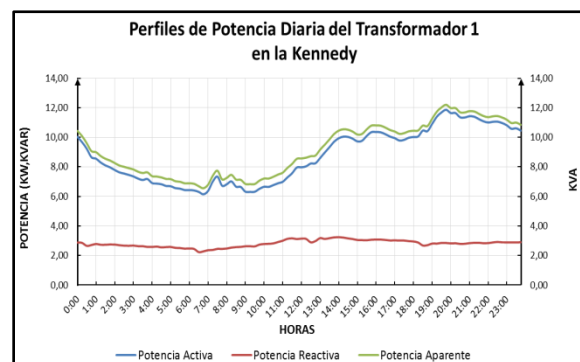


Figura 2. Curva de carga diaria para un transformador de la ciudadela Kennedy

3.2. Diagramas semanales de potencia

Para la construcción del gráfico de barras de potencia promedio semanal de nuestra muestra de trafos; en primer lugar se han sumado los datos de potencia desde las 00:00h hasta las 23:45h para cada día, esto quiere decir que tendremos 365 datos (excepto para la Atarazana Kennedy y Urdesa que poseen 306 datos) equivalentes a los días del año; luego sacaremos un promedio por cada día que tiene una semana (lunes, martes, miércoles y así

sucesivamente hasta el domingo), para así finalmente obtener sólo 7 datos de potencia (KW, KVAR y KVA) por cada transformador de la muestra y para cada sector (ver Figura 3).

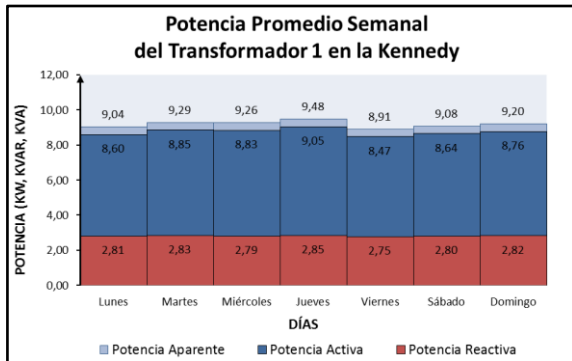


Figura 3. Diagrama de barras de potencia semanal para un transformador de la ciudadela Kennedy

3.3. Diagramas mensuales de potencia

Para la construcción del gráfico de barras de potencia promedio mensual para la muestra de transformadores por cada sector, partiremos tomando de la sección anterior los 365 datos de potencia de cada transformador (excepto para la Atarazana Kennedy y Urdesa que poseen 306 días) equivalentes a los días del año 2014; luego sacaremos un promedio por cada día que tiene un mes (1,2,3,...,30 y 31)), para así finalmente obtener sólo 31 datos de potencia (KW, KVAR y KVA) por cada transformador de la muestra y para cada sector (ver figura 4).

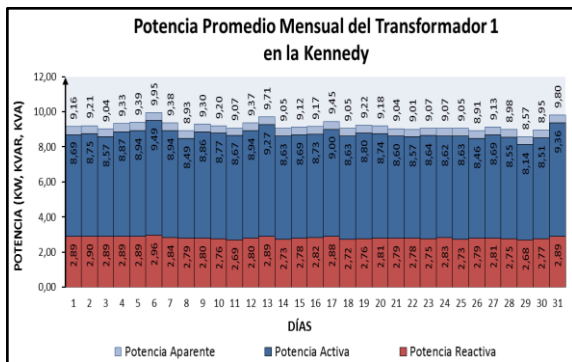


Figura 4. Diagrama de barras de potencia mensual para un transformador de la ciudadela Kennedy

3.4. Diagramas anuales de potencia

Para la construcción del gráfico de barras de potencia promedio anual para la muestra de transformadores por cada sector, partiremos otra vez tomando los 365 datos de potencia de cada transformador (excepto para la Atarazana, Kennedy y Urdesa que poseen 306 datos) equivalentes a los días del año 2014; luego en cambio sumaremos los datos de potencia de cada día que tiene cada mes; es decir, que al final tendremos 12

datos de potencia (KW, KVAR y KVA) por cada transformador de la muestra y para cada sector, que equivalen a los meses que tiene un año (para Atarazana, Kennedy y Urdesa habrán 10 datos). Ver Figura 5.

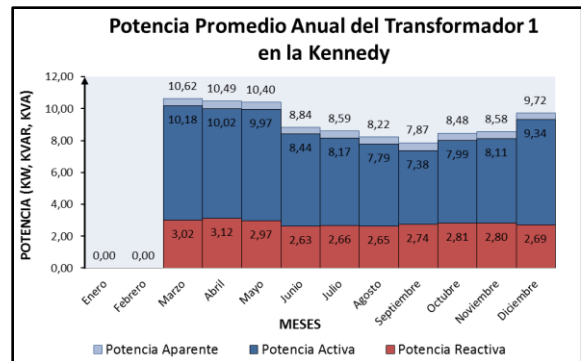


Figura 5. Diagrama de barras de potencia anual para un transformador de la ciudadela Kennedy

4. Usuarios Residenciales Adecuados por Transformador de Distribución

De acuerdo a las características de consumo de los abonados residenciales, a criterios, métodos y experiencias profesionales relacionadas al tema, se puede obtener un estimado de usuarios por transformador de distribución.

Con la información procesada de la muestra de usuarios, se obtuvo el consumo promedio de energía activa y reactiva para un usuario «tipo» de cada sector. Los valores se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 3. Consumo de energía activa y reactiva de un abonado residencial para cada sector

Sector	KWH Mensual	KVARH Mensual	KW Mensual	KVAR Mensual	FP
Urdesa	777,38	370,10	1,07	0,51	0,90
Kennedy	315,53	113,69	0,43	0,16	0,94
Atarazana	283,63	166,83	0,39	0,23	0,86
Los Ceibos	937,62	312,81	1,29	0,43	0,95
Puerto Azul	856,22	187,65	1,17	0,26	0,98

4.1. Perfil de Potencia por Abonado Residencial en cada Sector

Se han obtenido modelos de curvas: diaria, semanal, mensual y anual, que representan el consumo promedio de potencia de un usuario residencial propio de cada sector.

A manera de ejemplo se muestra la curva promedio diaria para un abonado de la ciudadela Kennedy. Para cada perfil se muestran dos casos:

primero con el modelo de carga en estado actual y segundo incluyendo el uso de la cocina de inducción. En este trabajo se consideró un consumo de 3 kW a factor de potencia 0.7

Entre la figura 6 y la figura 7 se evidencia un incremento considerable de la carga en los intervalos del día donde se cree las personas utilizarán más la cocina.

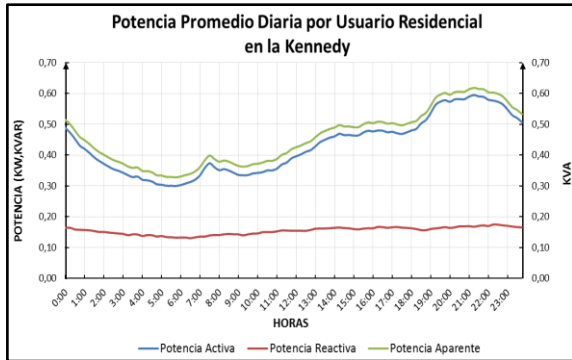


Figura 6. Curva de carga diaria para un abonado residencial de la ciudadela Kennedy (sin cocina)

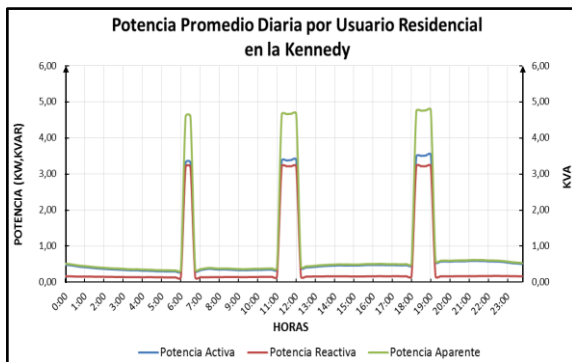


Figura 7. Curva de carga diaria para un abonado residencial de la ciudadela Kennedy (con cocina)

4.2. Usuarios Adecuados a partir del Método de EBASCO

El método empieza asignando una potencia activa pico (KW) por usuario, equivalente a los KWH/mes consumidos. La Ecuación 4.1 muestra esta relación.

$$KW_{PICO} = \frac{KWH/mes}{49,7 * (KWH/mes)^{0,154}} \quad (4.1)$$

Luego se determina la potencia activa pico (KW_n) del conjunto de usuarios, usando la Ecuación 4.2.

$$KW_n = KW_{PICO} * N * C_N \quad (4.2)$$

$$C_N = 0,38 + \frac{0,62}{N} \quad (4.3)$$

Donde:

KW_n = Potencia activa pico del conjunto de usuarios

N = Número de usuarios residenciales

C_N = Factor de coincidencia

La potencia aparente en KVA demandada por los N usuarios se obtiene de la siguiente expresión:

$$Demanda \text{ KVA} = \frac{KW_n}{fp} \quad (4.4)$$

Donde:

Demanda kVA = potencia aparente en KVA actual, para los N usuarios.

fp = Factor de potencia del transformador, cuyo valor se recomienda estar entre 0,85 y 0,9.

Si bien la demanda en KVA determinada en la Ecuación 4.4 es un valor estimado del consumo actual de los N usuarios, la capacidad del transformador se selecciona considerando el crecimiento de la demanda y el año horizonte al que se espera, la demanda alcance la capacidad nominal del transformador.

Dicho esto, la potencia nominal del transformador en KVA está sujeta a la Ecuación 3.5 y las capacidades comerciales disponibles en el mercado.

$$KVA_{TRAFO} = Demanda \text{ KVA} * (1 + TC)^n \quad (4.5)$$

Dónde:

KVA_{TRAFO} = es la capacidad nominal del transformador en KVA

TC = tasa de crecimiento de la potencia para el sector de estudio

n = tiempo horizonte en años, al que se espera la demanda sea próxima a la nominal del transformador

Si bien el procedimiento antes descrito sirve para obtener la capacidad del transformador, es posible seguir un proceso similar reordenando las mismas ecuaciones para encontrar el número de usuarios residenciales adecuados según la capacidad del transformador que se vaya a instalar.

Se consideró la proyección de la carga del transformador para 10 años, a una tasa de crecimiento del 4,71%; obtenida del crecimiento de la demanda residencial en Guayaquil desde el año 2000. Los transformadores a utilizar serán monofásicos con capacidades nominales de 25, 37,5, 50, 75 y 100 KVA para todos los sectores.

Con las consideraciones antes mencionadas empezamos por obtener los KW_{PICO} con la Ecuación 4.1, utilizando los consumos promedios de energía mensual mostrados en la Tabla 3 **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** según el sector que se vaya a analizar.

Encontramos la demanda en KVA de la Ecuación 4.5 utilizando la respectiva tasa de crecimiento, los años de proyección y la capacidad del transformador a utilizar.

$$Demanda \text{ KVA} = \frac{KVA_{TRAFO}}{(1+0,0471)^{10}} \quad (4.6)$$

De la Ecuación 4.4 se obtienen los KW_n , con el valor encontrado en la Ecuación 4.6 y el fp de la Tabla 3 en el mismo sector.

La Ecuación 3.2 relaciona los KW_{PICO} y KW_n con el número de usuarios, que es lo que deseamos encontrar. En esta misma ecuación también se puede reemplazar la Ecuación 3.3 y finalmente obtener una sola expresión que relacione a todas las variables antes mencionadas.

La fórmula para encontrar el número de usuarios está dada por la Ecuación 4.7.

$$N = \frac{\frac{KW_n}{KW_{PICO}} - 0,62}{0,38} \quad (4.7)$$

De esta manera se obtuvo la cantidad adecuada de usuarios residenciales para cada sector y para diferentes capacidades de transformadores. En la Tabla 4 **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y Tabla 5 se muestran los resultados obtenidos empleando este método.

Tabla 4. Usuarios Adecuados por Transformador (Demanda sin cocinas)

SECTOR	25 KVA	37,5 KVA	50 KVA	75 KVA	100 KVA
ATARAZANA	13	21	28	43	58
KENNEDY	13	21	28	43	58
URDESA	5	8	12	18	25
LOS CEIBOS	4	7	10	16	22
PUERTO AZUL	5	8	12	18	25

Tabla 5. Usuarios Adecuados por Transformador (Demanda con cocinas)

SECTOR	25 KVA	37,5 KVA	50 KVA	75 KVA	100 KVA
ATARAZANA	7	11	15	23	32
KENNEDY	7	11	15	23	32
URDESA	4	6	9	14	19
LOS CEIBOS	3	6	8	13	18
PUERTO AZUL	4	6	9	14	19

4.3. Pérdidas de Energía Propuesta de los transformadores de la Muestra

En esta sección se han determinado las pérdidas de energía para los transformadores de distribución con la selección adecuada de usuarios que se encontró en el punto anterior. Cabe recalcar que para la determinación de pérdidas de energía se ha considerado lo siguiente: se ha calculado las pérdidas

de energía con y sin la inclusión de las cocinas de inducción.

La Tabla 6 muestra el resultado de las pérdidas de energía (con y sin cocinas de inducción) para las diferentes capacidades de transformadores de distribución.

SECTOR	CAPACIDAD DEL TRANSFORMADOR (KVA)	USUARIOS ADECUADOS POR TRANSFORMADOR		PERDIDAS MÁXIMAS DE POTENCIA POR TRAFÓ (KW)		PERDIDA DE ENERGÍA PROPUESTA (KWH/AÑO)	
		S/C	C/C	Po	Pcu	S/C	C/C
ATARAZANA	25	13	7	0,098	0,289	1019	1126
	37,5	21	11	0,130	0,403	1399	1549
	50	28	15	0,160	0,512	1732	1946
	75	43	23	0,214	0,713	2357	2667
	100	58	32	0,263	0,897	2925	3390
KENNEDY	25	13	7	0,098	0,289	1055	1146
	37,5	21	11	0,130	0,403	1457	1579
	50	28	15	0,160	0,512	1806	1986
	75	43	24	0,214	0,713	2465	2801
	100	58	32	0,263	0,897	3064	3470
URDESA	25	5	4	0,098	0,289	1046	1063
	37,5	8	6	0,130	0,403	1436	1424
	50	12	9	0,160	0,512	1880	1860
	75	18	14	0,214	0,713	2541	2562
	100	25	19	0,263	0,897	3214	3199
LOS CEIBOS	25	4	3	0,098	0,289	1010	1027
	37,5	7	6	0,130	0,403	1427	1556
	50	10	8	0,160	0,512	1822	1932
	75	16	13	0,214	0,713	2540	2741
	100	22	18	0,263	0,897	3195	3479
PUERTO AZUL	25	5	4	0,098	0,289	1062	1129
	37,5	8	6	0,130	0,403	1462	1517
	50	12	9	0,160	0,512	1921	2009
	75	18	14	0,214	0,713	2598	2784
	100	25	19	0,263	0,897	3291	3489

5. Evaluación Económica del Proyecto

Con la cantidad adecuada de usuarios según la capacidad del transformador, el ahorro de energía es de 1.536 GWh-año para el conjunto de transformadores de la muestra.

Para encontrar el beneficio económico en dólares americanos (USD) producto de no generar ni transmitir esta energía, se considerará el porcentaje de aportación de energía de las diferentes fuentes de generación del país. Teniendo en cuenta que se prevé

la inauguración de nuevas centrales de generación y proyectos emblemáticos que cambiarán el mapa energético en el país, nos limitamos a realizar el análisis económico tomando como año horizonte el 2019, ya que luego de este año se esperan cambios significativos en la energía disponible de cada fuente de generación.

La producción de energía en el país y el porcentaje de acuerdo al tipo de central según el informe del CONELEC 2013, se muestran en el siguiente diagrama circular.

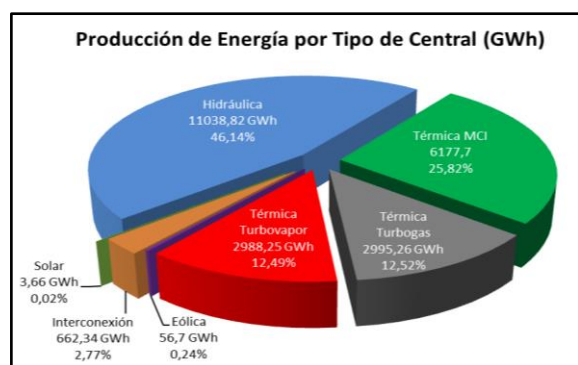


Figura 8. Energía Bruta Disponible en el País según su Fuente de Generación [4]

El ahorro de energía obtenido representado según los porcentajes de participación de cada fuente de generación, se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 6. Contribuciones en KWh por central para el total de energía ahorrada en cada año

TIPO DE CENTRAL	2015	2016	2017	2018	2019
Hidráulica	708,77	708,77	708,77	708,77	708,77
Térmica MCI	396,65	396,65	396,65	396,65	396,65
Térmica Turbogas	192,32	192,32	192,32	192,32	192,32
Térmica Turbopapor	191,87	191,87	191,87	191,87	191,87
Eólica	3,64	3,64	3,64	3,64	3,64
Interconexión	42,53	42,53	42,53	42,53	42,53
Solar	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23
TOTAL	1536	1536	1536	1536	1536

Con los costos de generación de las diferentes centrales se determinó el equivalente en dólares americanos de la energía producida. Estos valores fueron obtenidos de la Resolución 004-11 del CONELEC donde se fijan dichos precios de energía producidos con recursos renovables no convencionales (hidroeléctrica, eólica, fotovoltaica, biomasa) y cuyos valores se mantendrán fijos hasta el 2027.

Tabla 7. Precios de generación y transmisión de la energía en KWh de acuerdo al tipo de central [4]

TIPO DE CENTRAL	COSTO GENERACIÓN \$ USD/KWh	COSTO TRANSMISIÓN \$ USD/KWh	TOTAL \$ USD/KWh
Hidráulica	0,0621	0,003735	0,065835
Térmica MCI*	0,087	0,003735	0,090735
Térmica Turbogas*	0,1653	0,003735	0,169035
Térmica Turbopapor*	0,1653	0,003735	0,169035
Eólica	0,0913	0,003735	0,095035
Interconexión*	0,1179	0,003735	0,121635
Solar	0,4003	0,003735	0,404035

Se sabe que el valor del dinero cambia con el tiempo, por ende, los ahorros obtenidos en cada año a partir del 2016 hasta el 2019 son relativos y deben ser actualizados respecto al año actual usando la fórmula del valor actual neto (VAN) mostrada a continuación:

$$VAN = -C_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+i)^t} \quad (5.1)$$

Dónde:

VAN = Valor Actual Neto

CO = Inversión inicial

Ft = Flujo neto en el año "t"

i = Tasa de interés o de descuento en p.u.

Teniendo en cuenta que las de las empresas generadoras, transmisoras y distribuidoras de energía son administradas por el gobierno central, se considerará para el caso de Guayaquil que la empresa distribuidora cuenta con transformadores disponibles para ser reemplazados y de esta manera tener que la inversión inicial será nula.

En la Tabla 8 se muestra el equivalente en dólares de la energía ahorrada en los diferentes años y el valor actual neto (VAN) de dichos ahorros considerando una tasa de interés del 15% para cada una de las fuentes de generación.

Tabla 8. Equivalente monetario en USD de la energía ahorrada para cada año.

TIPO DE CENTRAL	2015	2016	2017	2018	2019	VAN
Hidráulica	46,66	46,66	46,66	46,66	46,66	156,42
Térmica MCI	35,99	35,99	35,99	35,99	35,99	120,64
Térmica Turbogas	32,51	32,51	32,51	32,51	32,51	108,97
Térmica Turbopapor	32,43	32,43	32,43	32,43	32,43	108,72
Eólica	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	1,16
Interconexión	5,17	5,17	5,17	5,17	5,17	17,34
Solar	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,32
TOTAL						513,57

El beneficio económico que se obtendría para el país al no generar ni transmitir 1.536 KWh cada año hasta el 2019 producto de realizar el cambio en los

transformadores propuesto en la sección 4.3 del capítulo anterior, es de \$ 513,57 USD

Esta cantidad resulta algo mínimo ya que solo considera los quince transformadores incluidos en la muestra. De realizarse un reemplazo de transformadores a mayor escala en las 5 zonas de estudio o inclusive más sectores dentro de Guayaquil, se obtendría un ahorro mucho mayor de energía y una mayor cantidad de ahorro en dinero.

6. Conclusiones

- El consumo de energía más alto se presentó en Los Ceibos, con un promedio de 937,62 kWh/mes por abonado residencial; mientras que el consumo de energía más baja se presentó en la Atarazana, con un promedio de 283,63 kWh/mes por abonado residencial.
- Al encontrar la cantidad adecuada de usuarios por transformador y compararlos con los abonados actuales de cada transformador de la muestra, se pudo ver que en algunos casos esta cantidad era muy cercana, lo que nos lleva a concluir que el método utilizado es válido para cada una de las capacidades de los transformadores que se propusieron.
- Las selección adecuada de usuarios para los transformadores de distribución incluyendo las cocinas de inducción son menores en relación al número de abonados adecuados sin la inclusión de las mismas; esto se debe lógicamente al aumento de la demanda de energía que producen estas cocinas; incluso hay sectores como la Atarazana y Kennedy en donde el número de usuarios por trafo con cocinas disminuye a casi a la mitad con respecto a los usuarios sin cocinas.
- Las pérdidas en estado actual ascendieron a 26.144 kWh/año aproximadamente, mientras que la energía perdida propuesta es de 24.608 kWh/año (pérdida de energía por transformador) propuesta parcial); esto nos da un ahorro en pérdidas de 1.536 kWh/año, las cuales representan el 5,88% de las pérdidas generadas actualmente.
- Los ahorros de energía y el equivalente monetario obtenidos con la propuesta de cambio de transformadores, resultó ser una pequeña cantidad en kWh y en dólares, debido a que solo se está proponiendo reemplazar un pequeño número de los muchos transformadores de distribución que hay en los cinco sectores de estudio; y porque se está considerando los ahorros solo hasta el 2019.

- El incremento en la eficiencia de los transformadores está orientado hacia opciones de diseño, prácticas de ingeniería y técnicas de fabricación; en este caso se ha aumentado la eficiencia de varios transformadores mediante la aplicación de la ingeniería, es decir, mediante métodos numéricos se ha calculado el número adecuados de usuarios con los que el trafo trabajaría de una manera más óptima y sin producir demasiadas pérdidas.

7. Agradecimientos

A Dios, por habernos encaminarnos de la mejor manera para la culminación de este trabajo. A nuestros padres, por el apoyo durante todos nuestros años de estudio.

A nuestros profesores de la carrera de Potencia, en especial a nuestro profesor de la materia de graduación MSc. Douglas Aguirre que supo transmitirnos sus conocimientos y experiencias en el ámbito profesional.

A los Ingenieros de la Empresa Eléctrica de Guayaquil: Daniel Pesantes y John Jijón por facilitarnos la información requerida para la realización de este trabajo.

8. Referencias

- [1] Ministerio de Electricidad y Energías Renovables, Dirección Nacional de Eficiencia Energética, <http://www.energia.gob.ec/direccion-nacional-de-eficiencia-energetica>
- [2] Monografías, Como Determinar el Tamaño de una Muestra Aplicada a la Investigación Archivística, <http://www.monografias.com/trabajos60/tamano-muestra-archivistica/tamano-muestra-archivistica2.shtml>
- [3] Empresa Eléctrica de Guayaquil (CNEL-Guayaquil), Departamento de Telemetría, Datos de usuarios residenciales de Guayaquil, 2014.
- [4] CONELEC, Boletín Estadístico del Sector Eléctrico Ecuatoriano, 2013.
- [5] CONELEC, Sitio Web del CONELEC, <http://www.conelec.gob.ec>.
- [6] Regulación CONELEC No. 004/11, Tratamiento para la energía producida con Recursos Energéticos Renovables No Convencionales, 2010.
- [7] Ebasco Services Inc., Electric Distribution Systems Engineering Handbook, Electrical World McGraw Hill, 1982.