

Metodología para proyección de la demanda eléctrica en zonas con un desarrollo cercano a la saturación demográfica.

Iván Pazmiño Ordóñez¹, Hugo Pico Mera², Alejandro Abril Chafla³

¹ivan.pazmino.ordonez@gmail.com, ²adriansmera@hotmail.com, ³eaabril@espe.edu.ec

Abstract- La planificación de los sistemas de distribución exige conocer la demanda de la carga por atender en sus dimensiones geográficas y temporales. La determinación de la demanda total de una zona no es suficiente para proyectar la expansión de una red de distribución, por esa razón, se requiere conocer la ubicación geográfica dentro del área, con las magnitudes correspondientes y a lo largo del tiempo para el que se desarrolla el estudio.

De ahí que la proyección de la demanda por pequeñas áreas, objetivo del presente trabajo, sea de capital importancia para el sistema de distribución. En este documento se presenta una propuesta metodológica innovadora para realizar la proyección de demanda geográficamente distribuida, con base en la aplicación específica a la zona con la mayor densidad de carga eléctrica de la ciudad de Quito, conocida también como el Centro Norte de la ciudad.

I. INTRODUCCIÓN

Para lograr que el diseño de una red de distribución tenga la suficiente trascendencia en el tiempo, es necesario proyectar la demanda distribuida del área, hasta su saturación. Por esta razón, este documento presenta una innovadora metodología para realizar la proyección de la demanda geográficamente distribuida, particularmente en zonas que se hallan cerca de la saturación prevista por la planificación urbana, es decir, cuando el análisis se centra en el segmento plano de curva logística de crecimiento de la demanda por micro-áreas.

Para este cometido se analiza cada micro-área en función de las ordenanzas municipales para el uso y ocupación del suelo (PUOS), que se las clasifica como residenciales o múltiples y define los límites de áreas y alturas de construcción para así determinar cuáles se encuentran saturadas analizando la relación W/m^2 en cada una de las categorías.

La relación W/m^2 se convierte en un factor por el cual debe multiplicarse el área de ocupación máxima

proyectada de cada micro-área, para obtener la proyección buscada.

Realizada la proyección de la demanda descrita, finalmente es posible determinar el alcance de los primarios para una nueva subestación.

El crecimiento y desarrollo de la ciudad de Quito, progresivamente ha incrementado la demanda que la Empresa Eléctrica Quito (EEQ) tiene que suplir. La Zona A (de alta prioridad para soterramiento dispuesta por la ordenanza municipal 022), amerita un análisis considerando los límites de saturación previstos en la planificación urbana, lo que implica que deben ser tratadas de una manera particular para que, dentro de la planificación de la empresa distribuidora del servicio eléctrico, se contemple ese escenario para la definición del diseño de las redes.

La Zona A, está limitada por las siguientes avenidas:

- - Norte Avenidas: El Inca y Río Coca,
- - Sur Avenidas: Patria y Pérez Guerrero
- - Occidente Avenidas: Brasil y América
- - Oriente Avenidas: 12 de octubre, González Suárez y Guanguiltagua.

Esta área está ubicada en la Zona Centro Noroccidental de la ciudad de Quito, con una longitud de vías de 205,203 km, abarcando alrededor de 430 calles en forma parcial, comprende un área de 12,5 km² y un número total de 64.136 clientes aproximadamente.

Dentro de este contexto se hace evidente que la proyección de la demanda geográficamente distribuida debe ser la base para el análisis topológico y técnico de las redes de distribución, para satisfacer adecuadamente los requerimientos de la carga prevista, con la mejor relación costo-beneficio.

Se debe mencionar que un importante número de alimentadores que abastecen a la “Zona A” se encuentran con elevados niveles de carga, como se muestra en la TABLA I.

A más de la eminente entrada masiva de cocinas eléctricas de inducción, hay que sumarle un aspecto de gran importancia, que ingresará un complejo de edificios,

denominado Plataforma Gubernamental de Empresas Públicas, localizada en una zona aledaña a la subestación Carolina.

TABLA I

Nivel de carga en porcentaje de primarios de la Zona A hasta agosto 2014.

	Número de primarios	Primario	Corriente promedio [A]	% máximo nivel de carga
Nivel de Carga mayor al 80%	7	12A	418.71	103.39%
		13A	348.50	112.42%
		16F	431.64	106.58%
		24B	495.99	112.72%
		24E	387.54	88.08%
		28D	547.87	84.29%
		53C	318.86	115.95%
Nivel de Carga entre el 60% y 80%	5	12B	258.89	63.92%
		16B	322.23	73.23%
		24A	330.04	75.01%
		24D	422.83	79.03%
		53E	448.39	68.98%
Nivel de Carga menor al 60%	28			

Por estos motivos, el desarrollo de este análisis se centrará en la zona aledaña a la actual Subestación Carolina, sin perder nunca de vista el comportamiento de todo el sistema en su conjunto, es decir, de la “Zona A”, tomando en cuenta que se resuelve comenzar la migración del sistema primario de distribución en esta zona (desde 6.3 kV con que funciona actualmente el sistema) hacia un nivel de voltaje nominal de 22.8 kV, por lo que todo el análisis será a este nivel del voltaje

II. ANÁLISIS DE LA CARGA ACTUAL Y FUTURA

A. Definición de micro-áreas

En primera instancia, es necesario definir áreas que permanezcan invariables en el tiempo, donde se registrará la demanda geográficamente distribuida. Se denominan micro-áreas insertas en un sistema de coordenadas, que permita referenciarlas con facilidad con su origen en la ubicación presentada en la Fig. 1. El tamaño de las micro-áreas se define en concordancia con la densidad de carga de la zona del análisis. En este caso, la micro-área básica de 1 km por 1 km, se subdivide en 16 partes de 250 m por 250 m.

B. Cálculo de la demanda actual por micro-área de las demandas en los transformadores

Para evaluar las condiciones actuales de operación de la red se debe hacer una distribución de la demanda máxima registrada de la cabecera del alimentador (se establece que el pico más alto de **demanda para el sistema en análisis**

fue el 6 de mayo del 2013) para lo que se empleará la herramienta informática Cymdist, utilizando como variable de distribución, la energía facturada en los últimos tres meses (respecto a la fecha de análisis) de cada uno de los clientes asociados a cada transformador de distribución.

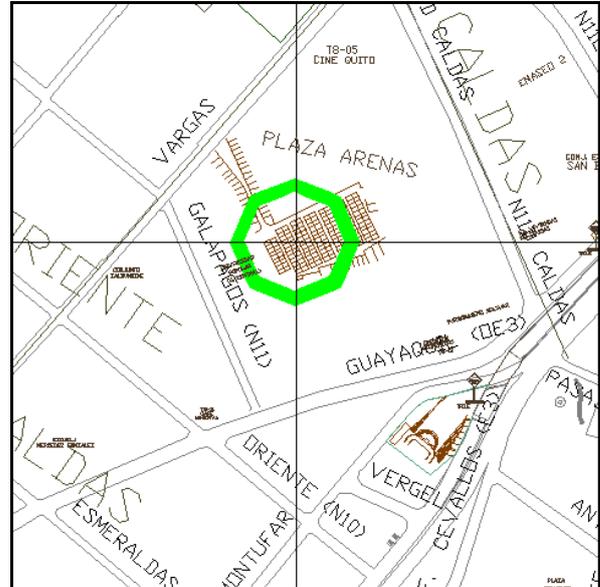


Fig. 1. Ubicación geográfica del centro de coordenadas para referenciación de las micro-áreas.

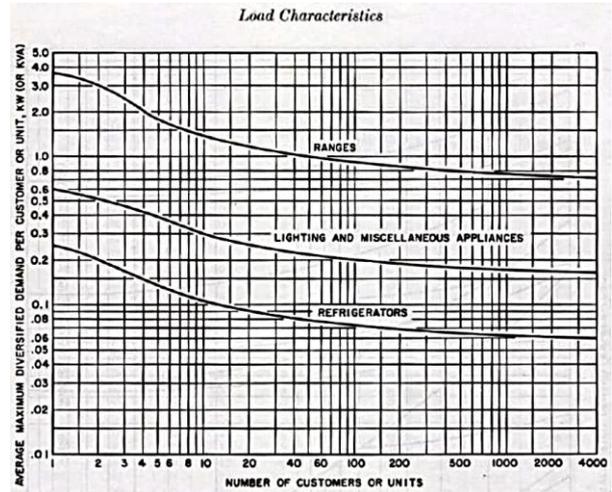


Fig. 2. Demanda diversificada de algunos equipamientos

C. Estimación de la demanda actual por micro-área con el ingreso de cocinas de inducción

Se partirá de dos premisas para el análisis:

- Se espera tener una penetración de la tecnología del orden del 90% del total de clientes residenciales en el área de servicio de la EEQ, y
- El dato de potencia de placa de las cocinas será de 4 kW.

En primera instancia es necesario determinar los factores de coincidencia a nivel de alimentador lo que se

realiza tomando como referencia las curvas de demanda diversificada respecto al número de unidades o consumidores [15].

Empleando la curva “RANGES” de la Fig. 2 se aprecia que la demanda máxima diversificada promedio para 1 cocina es 3.7 kW y para 4000 usuarios está en el orden de 0.7

Para estimar el factor de coincidencia es preciso relacionar los valores de la demanda para un cierto número de clientes con el correspondiente a un cliente para obtener los factores de coincidencia, así pues, el factor de coincidencia a nivel primario se calcula a partir de los valores de demanda que se obtienen de la curva de la Fig. 2, como se muestra en la ecuación (1)

$$F_{\text{coincubestación (4000 cocinas)}} = \frac{0.7}{3.7} \approx 0.18 \quad (1)$$

Para un número semejante o mayor a los 4000 usuarios la curva se vuelve prácticamente asintótica, y debido que para la subestación 24 existe un total de 6975 usuarios residenciales y para la subestación 28 este valor es de 3742 estas estimaciones son perfectamente válidas.

Referenciándose en la Tabla 220.55 del National Electrical Code [9], se establece que 1 cocina eléctrica que se encuentre entre 3½ kW y 8¼ kW debe tener un factor de demanda de 80%, así se establece que la demanda individual para una cocina de 4 kW es de 3.2 kW.

De las consideraciones anteriores se obtiene una demanda diversificada a nivel de alimentador primario como se muestra en la ecuación (2)

$$Dem_{\text{max diversificada a nivel primaria}} = 3.2kW * 0.18 = 576 W \quad (2)$$

Este valor de 576 W se convierte en un requerimiento adicional de demanda, aproximadamente a las 12h00, para cada uno de los usuarios residenciales que conforman el área servida, por lo que se debe modificar la información de los clientes residenciales introduciendo este nuevo parcial en la base de datos del software Cymdist que se describió anteriormente. La demanda máxima de la Zona en estudio se produce al mediodía, por esta razón se incluye la demanda total de la cocción en las estimaciones realizadas.

D. Estimación de la demanda futura por micro-área

Para este apartado se deben tomar en cuenta consideraciones particulares, propias del comportamiento de una curva logística, como se muestra en la Fig. 3

En la fig. 3 se distinguen tres zonas:

- Zona 1: inicio de la ocupación y crecimiento de la micro-área.
- Zona 2: desarrollo con mayor dinámica del crecimiento.

- Zona 3: saturación.

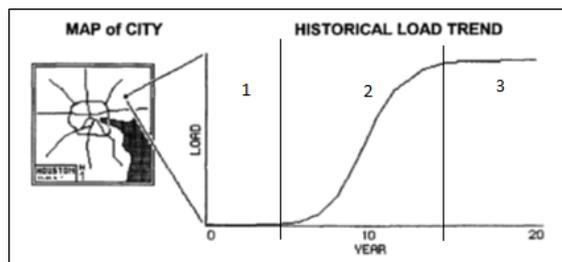


Fig. 3. Crecimiento de la demanda por micro-área (Adaptación de la referencia [14])

El estudio se centra en la “zona 3” de la fig. 3, donde se ha alcanzado el nivel de saturación y la curva se vuelve prácticamente plana, lo que significa que se han estabilizado en un valor máximo relativamente constante el número de individuos que habitan un determinado territorio, y en consecuencia la demanda de la micro-área, en la que se localizan, también se ha estabilizado.

Entendido esto, el procedimiento para realizar la proyección de la demanda del sistema en condiciones de saturación se resume básicamente en los siguientes pasos:

- Determinar la distribución de micro-áreas y su respectiva identificación sobre el área de cobertura en análisis, como se muestra en la Fig. 4.
- En función de la disposición municipal que establece los lineamientos para el uso y ocupación de suelo (PUOS), los límites de área permisible para ser construida y número de pisos de las edificaciones (mostrado en la figura 5), se establece una clasificación en base del carácter predominante de la ocupación en cada una de las micro-áreas, es decir como residenciales o múltiples, como se indica en la figura 6 o especiales si es que presentan cargas representativas no comunes como centros comerciales o afines.
- A partir de las demandas en cada transformador de distribución, a demanda máxima coincidente del primario, se establece mediante la agrupación de los mismos la demanda actual en cada una de las respectivas micro-áreas.
- Se procede a introducir en cada uno de estos parciales la influencia que tendría el ingreso de las cocinas eléctricas de inducción, como se indica en la TABLA II.
- Acto seguido, luego de tabular los resultados de todas las micro-áreas analizadas, se determinan aquéllas que se encuentran en condiciones de saturación, para cada una de las clasificaciones (residencial o múltiple). Para ello se consideran

principalmente dos aspectos: el primero de carácter estadístico, mediante el cual se evalúan aquellas micro-áreas con la mayor relación W/m² (Fig. 7 y Fig. 8), y por otra parte mediante la verificación en sitio de las mismas para constatar que efectivamente éstas han alcanzado (o tienden alcanzar) la saturación.

- A partir de esta información (W/m² respectivos para las micro-áreas saturadas, tanto residenciales como múltiples o especiales) es posible determinar el factor a introducir en aquéllas que alcanzarán su nivel de saturación, con lo que finalmente se obtiene la proyección de demanda del sistema en condiciones de saturación de los niveles previstos en la ordenanza municipal.

Profundizando en el último punto, para el particular de este estudio, se obtienen parciales, con los que se realiza la proyección de la demanda como se detalla a continuación:

Para micro-áreas residenciales (R) no saturadas se tomará el dato de metros cuadrados de construcción efectiva de la respectiva cuadrícula y se multiplicará este valor por el coeficiente Demanda/Metros cuadrados efectivos igual a 3,75 W/m².

Para micro-áreas múltiples (M) no saturadas se tomará el dato de metros cuadrados de construcción efectiva de la respectiva cuadrícula y se multiplicará este valor por el coeficiente de la relación Demanda-Metros cuadrados efectivos igual a 5,57 W/m².

Para micro-áreas especiales (E) se mantendrá el mismo valor.

Para micro-áreas con presencia total de parque (P) su valor será de 0 MW.

Con estos resultados se procede a la constatación visual, verificándose que efectivamente las micro-áreas que presenta las relaciones Demanda-Metros cuadrados efectivos (W/m²) más altas son aquellas en que la infraestructura localizada en la micro-área es relativamente nueva y de fuerte crecimiento vertical.

Finalmente, para toda la “Zona A” se obtienen parciales para toda el área de cobertura como se muestra en la Fig. 9

E. Definición de polígonos de cobertura para la nueva subestación 24 GIS

A partir de la proyección de la demanda por micro-áreas es posible determinar los polígonos de cobertura de la nueva subestación, para los cuales se tendrá en cuenta lo siguiente:

- La potencia media de cada alimentador será de 6 MVA
- La potencia del transformador a nivel de subestación será de 25 MVA.

Tomando en cuenta aquello, se obtiene una cobertura de alimentadores para la nueva S/E 24 GIS, como se muestra en la Fig. 10

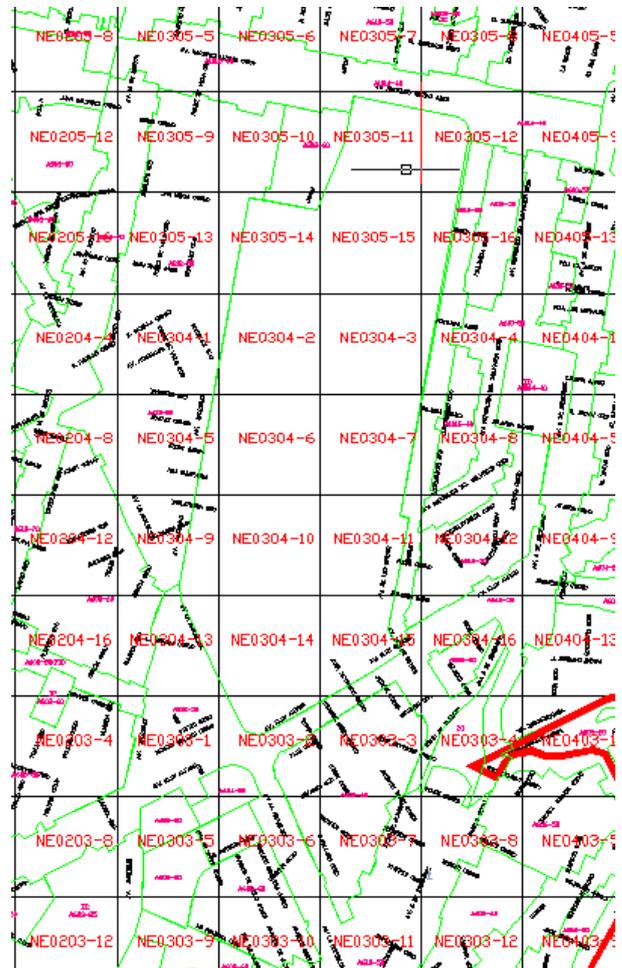


Fig. 4. Zonas de cobertura de los respectivos usos del suelo dispuestos por la ORDENANZA METROPOLITANA 0171 sobre la planimetría catastral del área de estudio y el reticulado que forman las micro-áreas asignadas.

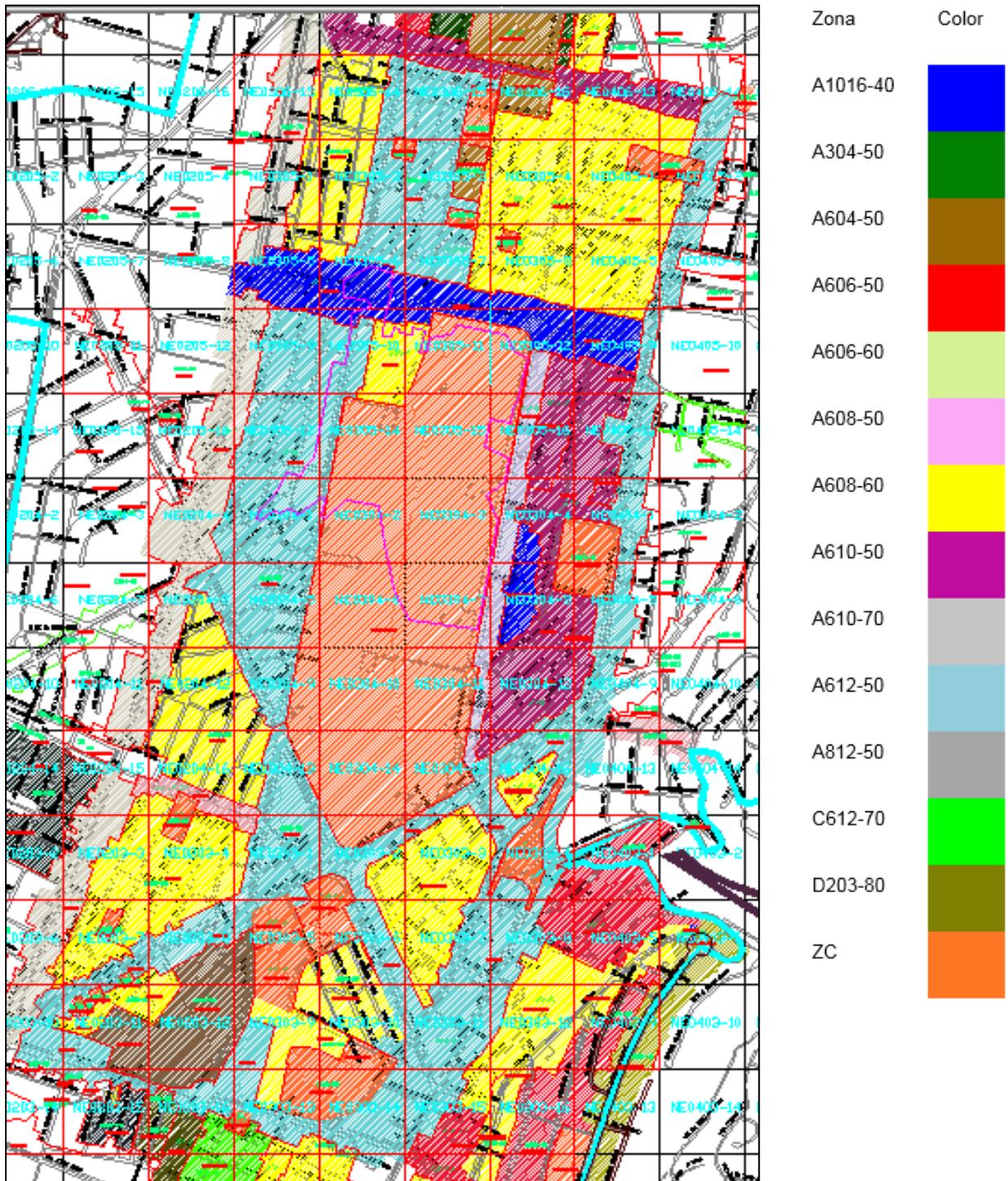


Fig. 5 Identificación de las zonas de la Ordenanza Metropolitana 0171

TABLA II

Modelo de tabla con todos los campos a llenar en cada micro-área de la zona de estudio

Micro área	Tipo de Uso	Tipología de Zonificación	área total (m2)	Área calles (m2)	Área neta (m2)	COS (%)	Área habitada por piso (m2)	Altura Máxima (pisos)	Área permitida	Área Total habitada por micro área	Demanda		Uso Predominante
											SIN COCINAS (MW)	CON COCINAS (MW)	
NE0303-03	R	A608-60	53879,67	7141,08	46738,58	60	28043,15	08	224345,22	261951,9	0,34	0,56	R
	M	A612-50	8356,26	2088,47	6267,77	50	3133,88	12	37606,67				

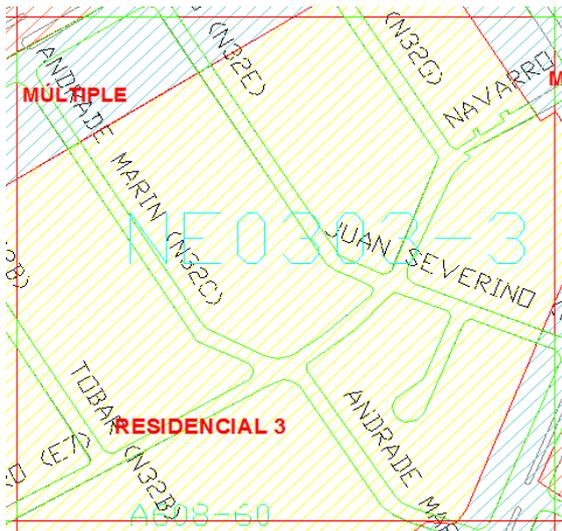


Fig. 6 Micro-área tipo que incluye las zonas dispuestas por la ORDENANZA METROPOLITANA 0171

COS y Altura Máxima se obtienen a partir del dato de la Tipología de Zonificación

$$\text{Área neta} = \text{Área total} - \text{Área calles}$$

$$\text{Área habitada por piso} = \text{Área neta} * \text{COS (en porcentaje)}$$

$$\text{Área permitida calculada} = \text{Área habitada por piso} * \text{Altura Máxima (pisos)}$$

$$\text{Área Total habitada por micro-área} = \sum (\text{Área permitidas calculadas})$$

Uso Predominante = Se determina en función del tipo de uso predominante tomando en cuenta la proporción que representa el Área permitida calculada sobre el total, es decir, sobre el Área Total habitada por micro-área.

Finalmente, para toda la “Zona A” se obtienen parciales para toda el área de cobertura como se muestra en la Fig. 9

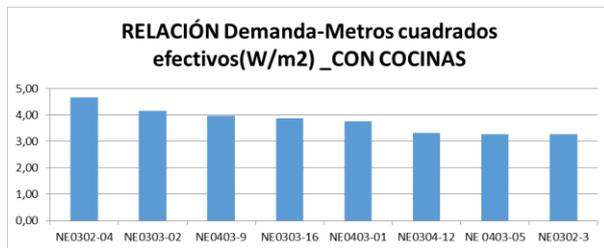


Fig. 7. Valores de la relación W/m2 de las micro-áreas residenciales saturadas con cocinas de inducción

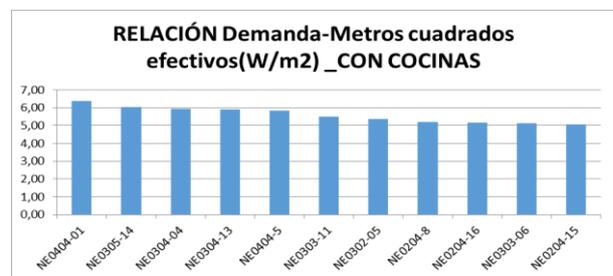


Fig.8. Valores de la relación W/m2 de las micro-áreas múltiples saturadas con cocinas de inducción

	OESTE		ESTE						DEMANDAS MÁXIMAS (Mw)								
	O01	E01	E02	E03	E04	E05	E06										
N07			SE-15 EL BOSQUE														
				0,06	0,13	0,13	0,23	0,13	0,26								
N06				0,31	0,22	0,14	0,12	0,18	0,14	0,12	0,37	0,09	0,09	0,26	0,11	0,09	
				0,11	0,11	0,3	0,47	0,1	0,33	0,22	0,33	0,61	0,29	0,2	0,15		
		0,4		0,26	0,33	0,43	0,76	0,45	0,78	0,79	0,44	0,32	0,41	0,25			
		0,05	0,23	0,38	0,33	0,27	1,26	1,3	1,39	0,92	0,17	1,19	0,41	0,62	0,22	0,15	
N05		0,24	0,22	0,09	0,14	0,21	0,42	1,29	4,7	1,23	1,31	1,26	1,05	0,27	0,15		
		0,11	2,31	0,14	0,2	0,57	0,18	1,27	2,38	2,01	1,36	2	0,57	0,1	0,24	0,03	
				0,08	0,08	0,26	1,64	3,76	0,33	1,03	1,47	0,65	0,21	0,13			
				0,24	0,08	1,35	1,71	0,44	0	1,65	1,4	0,41	0,2	0,04		SE-01 DUMFRIE	
N04				0,19	0,19	0,28	1,54	0	0,002	1,3	1,3	0,6	0,08	0			
				0,28	0,23	1,65	1,41	0	0,06	1,04	1,26	0,26	0,09	0,01			
				0,14	0,99	1,42	0,87	0	0,3	0,87	1,23	0,35	0,27	0,09	0,09		
				0,3	0,24	0,82	1,17	1,17	0	0,74	1,5	0,37	0,43	0,31	0,1	0,2	SE-28 GIS
N03			SE-11 SELVARIO QUEVEDO	0,28	0,16	1,52	1,39	2,01	0,62	0,98	0,88	0,6	0,1	0	0,19	0,19	SE-28
				0,16	0,3	0,84	1,4	1,17	6,45	1,13	1,52	1,23	0,65	0,77	0,02		SE-24
				0,18	0,13	1,34	1,09	0,5	1,58	1,48	1,5	0,91	0,88	0,03			SE-53
		0,15	0,26	0,34	0,37	0,7	1,08	1,77	1,64	0,81	0,65	0,63	0,28				SE-10
N02		0,49	0,35	0,44	0,59	0,21	1,2	1,12	1,56	0,65	0,6	0,32					SE-32
		0,25	0,52	0,46	0,69	0,43	0,58	1,25	1,65	1,23	0,73						SE-12
		0,58	0,7	0,94	0,84	0,6	0,31	0,34	0,94	0,22	0,15						SE-01
		0,09	1,07	1,02	0,5	0,31	0,44	0,3	0,09	0,18							SE-16
N01				0,03	0,33	0,72	0,96	0,39	0,24	0,32	0,11						SE-13
				0,35	0,25	0,32	0,2	0,1	0,17	0,08							SE-11
				0,35	0,21	0,09	0,04	0,05	0,04								SE-15
						SE-10 DIEZVEGA											SE-41
	O01	E01	E02	E03	E04	E05	E06										

Fig. 9. Valores de demanda en condiciones de saturación para las micro-áreas de toda la “Zona A”

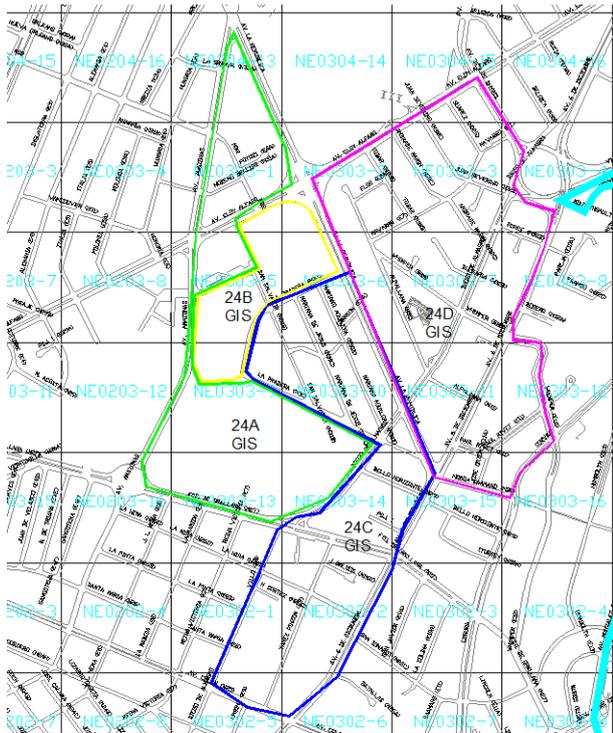


Fig. 10. Polígonos de cobertura de cada primario GIS dispuestos en concordancia con calles y avenidas

III. CONCLUSIONES

Para realizar el diseño de redes de distribución de energía de una nueva subestación eléctrica, se debe estimar en primer lugar la demanda proyectada a nivel geográficamente distribuida, con su localización y su temporalidad, ya que estas magnitudes permiten conocer las variaciones de la demanda eléctrica que inciden sobre las redes de distribución.

Para realizar estudios de distribución se debe analizar por zonas geográficas que permanezcan fijas a lo largo del tiempo. Estas zonas llamadas micro-áreas facilitan considerablemente el análisis debido a que permiten particularizar el desarrollo de las mismas, y en consecuencia dimensionar de una manera más cercana a la realidad el sistema de distribución, bajo condiciones tanto actuales como futuras de demanda para la zona en cuestión.

Para el caso en que amerita realizar la proyección de la demanda en zonas que tienden alcanzar un nivel de saturación, no es posible emplear métodos convencionales, debido a que el análisis se centra en el segmento plano de la curva logística del crecimiento de la demanda, razón por la cual la innovadora metodología presentada en este documento se perfila como de gran utilidad y amplia aplicación en el campo de la distribución de energía eléctrica

REFERENCIAS

- [1] CYME International Inc, “Guía de Usuario y manual de referencia CYMDIST”, 2014.
- [2] Chávez Mendoza, D. C. y Shinguango, W. B., Reconfiguración de Primarios del Sistema de 6,3 kV de la E.E.Q. S.A. de las Subestaciones 1, 13, 24, y 28, Ubicados en el Centro Norte de la Ciudad de Quito, Proyecto previo a la obtención del Título de Ingeniero Eléctrico, Escuela Politécnica Nacional, Quito Ecuador, 2012.
- [3] Carrera Burbano, D. P. y Tipán Pinto, I. N., Ubicación de una Nueva Subestación de 23 kV en el Sector Norte de Quito, Proyecto previo a la obtención del Título de Ingeniero Eléctrico, Escuela Politécnica Nacional, Quito Ecuador, 2011.
- [4] Dután, Walter, Planeamiento a corto plazo del sistema de distribución de la Empresa Eléctrica Azogues C. A. Proyecto previo a la obtención del Título de Ingeniero Eléctrico, Escuela Politécnica Nacional, Quito Ecuador, 2012.
- [5] ECUATRAN S.A. “Catálogo técnico de transformadores de distribución”, 2007
- [6] Empresa Eléctrica Quito, Normas para sistemas de Distribución, Rev. 5,2014.
- [7] Cañizares, Toaza, F. P.y Moreno Benavides, J. L., Reconfiguración del Sistema Primario de 6.3 kV de las Subestaciones 2, 3, 4, 6, 7, y 8 de la E.E.Q. S.A, Proyecto previo a la obtención del Título de Ingeniero Eléctrico, Escuela Politécnica Nacional, Quito Ecuador, 2012.
- [8] Iglesias, Estradé; Adolf, María. Instalaciones de distribución. España: Cano Pina, 2012. ProQuest ebrary. Web. 27 March 2015.
- [9] National Fire Protection Association, “National Electrical Code”, Massachusetts, 2011
- [10] Coyago Cruz, N. A., Reconfiguración del Sistema de Distribución de la E.E.Q por crecimiento de la demanda en el sector Belisario Quevedo de Quito, Proyecto previo a la obtención del Título de Ingeniero Eléctrico, Escuela Politécnica Nacional, Quito Ecuador, 2006.
- [11] Lasluisa, Cofre, O. R., Reconfiguración del Sistema Primario del Área de 6.3kV en la Zona Centro Norte Subestaciones 9, 10V, 11, 12, 32 y 53 de la E.E.Q. S.A., Proyecto previo a la obtención del Título de Ingeniero Eléctrico, Escuela Politécnica Nacional, Quito Ecuador, 2013
- [12] Taimal Places, Yesenia, Incorporación de la eficiencia y sistemas de ahorro de energía en el edificio Mariana de Jesús y 10 de Agosto, Proyecto previo a la obtención del Título de Ingeniero Eléctrico, Escuela Politécnica Nacional, Quito Ecuador, 2012.
- [13] Schneider Electric, Cálculo de corrientes de cortocircuito, Cuaderno Técnico No 158, España, 2000
- [14] Willis, Lee, "Power Distribution Planning Reference Book", Kindle Edition, Marcel Dekker, 2009.
- [15] Westinghouse Electric Corporation, “Electric Utility Engineering Reference Book: Distribution Systems”, Pennsylvania, 1959.



Iván Patricio Pazmiño Ordóñez, Ingeniero Eléctrico, Escuela Politécnica Nacional, 2015. Actualmente cursa sus estudios de postgrado en la Universidad Politécnica de Madrid. Financiado por el Gobierno del Ecuador a través de una beca de la SENESCYT.

Se ha desempeñado principalmente en el campo de la distribución de energía y en el diseño e implementación de proyectos eléctricos públicos y privados. Sus áreas de interés versan en Planificación de Sistemas de Distribución de Energía, Energías Renovables y su impacto en la red, siendo en este último campo donde actualmente se centra su investigación.



Hugo Adrián Pico Mera,
Ingeniero Eléctrico, Universidad
Técnica de Manabí, 2013.

Se desempeña como Profesional de Planificación en la Corporación Nacional de Electricidad Empresa Pública (CNEL EP) Unidad de Negocios Manabí, en la actualidad está realizando sus estudios de postgrado en la Universidad Politécnica de Madrid, financiado por el Gobierno del Ecuador a través de una beca de la SENESCYT.



**Ernesto Alejandro Abril
Chafra,** Ingeniero en Electrónica e
Instrumentación, Universidad de
las Fuerzas Armadas, 2017.

Ha realizado estancia de investigación, sobre análisis de bases de datos para establecer modelos de predicción de la demanda de clientes individuales, en la Universidad Carlos III de Madrid.

En la actualidad está realizando sus estudios de postgrado en la Universidad Politécnica de Madrid, financiado por el Gobierno del Ecuador a través de una beca de la SENESCYT.