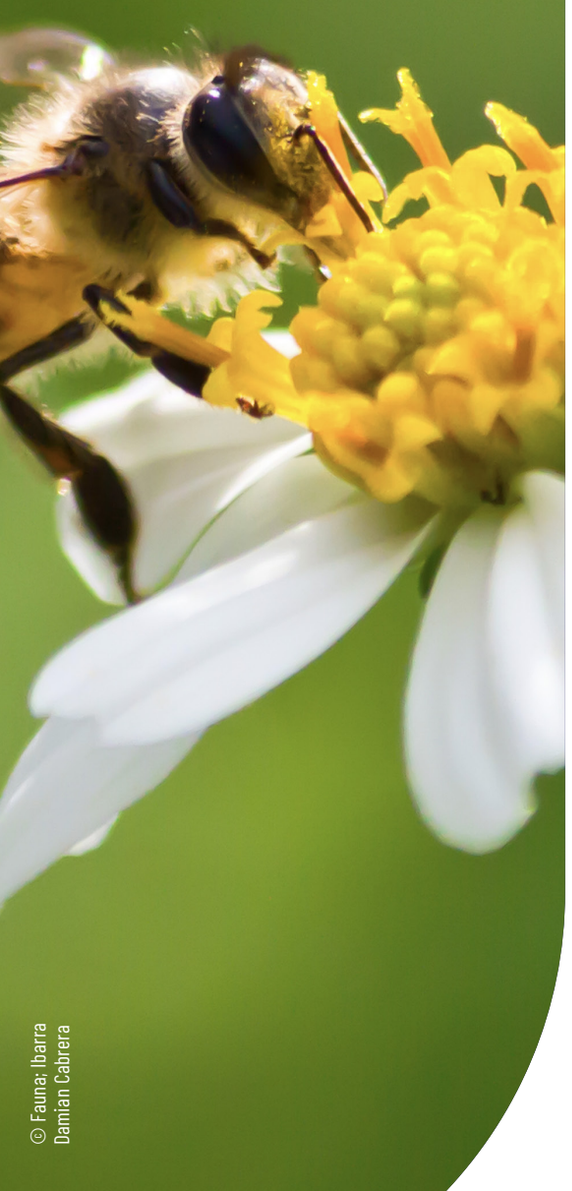
PANORAMA ELÉCTRICO

EDICIÓN 29 - JULIO 2025

EL NUEVO ECUADOR

Agencia de Regulación y Control de Electricidad



© Fauna: Ibarra Damian Cabrera

PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA
Daniel Noboa Azín

MINISTRA DE ENERGÍA Y MINAS
Inés María Manzano

VICEMINISTRO DE ELECTRICIDAD Y ENERGÍA RENOVABLE
Fernando Pullupaxi Masabanda

DIRECTOR EJECUTIVO DE LA AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL DE ELECTRICIDAD
Fabricio Porras Ortiz

DIRECCIÓN TÉCNICA DE ESTUDIOS, INFORMACIÓN E INNOVACIÓN – ARCONEL
Andrés Chiles

CONSEJO EDITORIAL
Andrés Chiles
Iván Sánchez Loor
Andrea Torres
Oscar Salazar
Christian Junia

DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN
Sofia Andrade Torres

FOTOGRAFÍAS
Ministerio de Energía y Minas – MEM
Participantes del sector eléctrico
Damián Cabrera

CITAS ESTE DOCUMENTO COMO
©Panorama Eléctrico, Edición 29, Quito – Ecuador, julio 2025

Todos los derechos reservados

AUSPICIO
Banco Interamericano de Desarrollo – BID

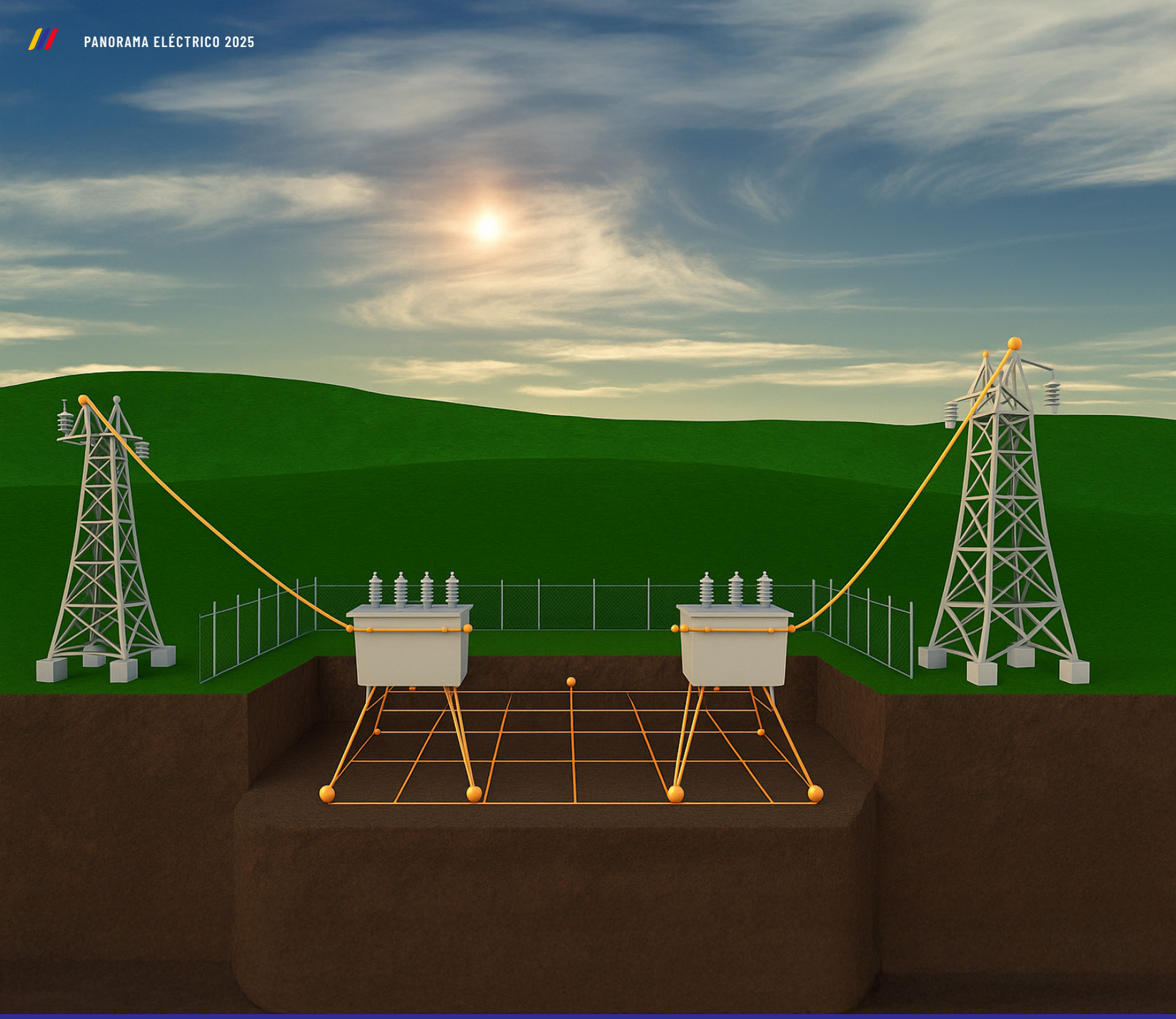
©Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL)

Av. Naciones Unidas E7-71 y Av. Los Shyris, Edificio Cordiez 170506 / Quito-Ecuador
Teléfono: (593) – 2 226 8744
www.controlelectrico.gob.ec

La reproducción parcial o total de esta publicación, en cualquier forma y por cualquier medio mecánico o electrónico, está permitida siempre y cuando sea autorizada por los editores y se cite correctamente la fuente.

EL NUEVO ECUADOR

Agencia de Regulación y Control de Electricidad



Diseño óptimo de Sistemas de puestas a tierra de Subestaciones en AC aplicando optimización Multi-objetivo.

Capítulo
01

Capítulo 01

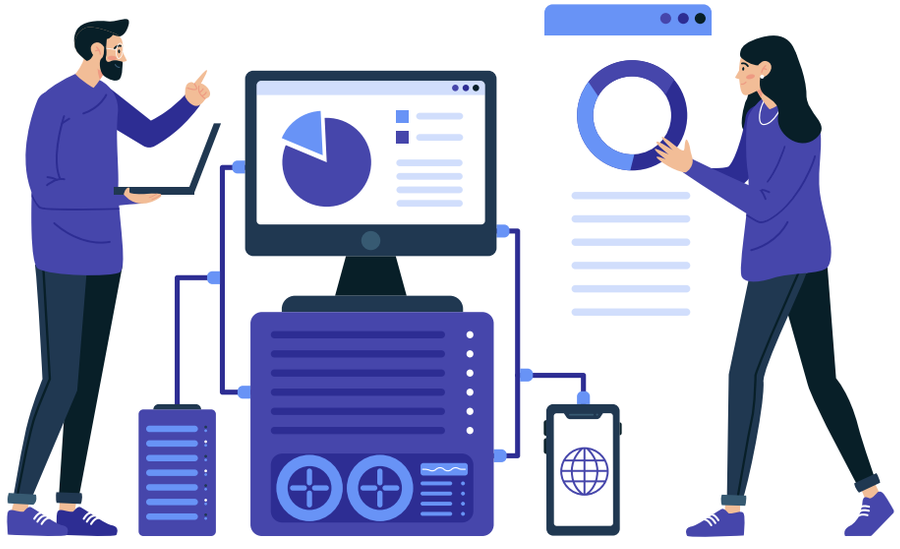
Diseño óptimo de Sistemas de puestas a tierra de Subestaciones en AC aplicando optimización Multi-objetivo.

DIEGO ANIBAL ARIAS CAZCO
Especialista en Regulación Técnica del Sector Eléctrico en ARCONEL

1.1 Introducción

El presente estudio desarrolla un modelo de optimización multiobjetivo para el diseño de sistemas de puesta a tierra en subestaciones de corriente alterna (AC), considerando los límites de seguridad para el personal y criterios de diseño establecidos en la norma IEEE Std. 80 - Guía IEEE para la seguridad en la puesta a tierra de subestaciones de AC (IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding). El modelo considera como funciones objetivo la minimización de la longitud de conductor y el número de varillas, asegurando que los potenciales de malla (Em) y de paso (Es) permanezcan dentro de los límites tolerables para el cuerpo humano (Etouch y Estep). Los resultados, validados mediante el ejemplo B.2 de la norma y simulaciones en ETAP, demuestran que el método propuesto genera una frontera de Pareto más completa y flexible que los enfoques tradicionales, permitiendo una selección informada del diseño óptimo según las necesidades del proyecto. [1].

Diversos autores han abordado la optimización de sistemas de puesta a tierra para subestaciones en CA, utilizando métodos analíticos y simulaciones numéricas. La Tabla 1 resume los enfoques, algoritmos y variables considerados en los estudios más relevantes de los últimos años.



D. Arias-Cazco and L. Cruz-Panchi, "Multi-Objective Optimization for Safety in the Grounding of AC Substations," in IEEE Latin America Transactions, vol. 23, no. 7, pp. 592-599, July 2025, doi: https://doi.org/10.1109/TLA.2025.11045670.

Keywords: Grounding;IEEE Standards;Optimization;Safety;Conductors;Voltage;Mathematical models;Substations;Finite element analysis;Soil;Grounding;Multi-objective Optimization;Substation grounding system.;IEEE80; Pareto Front;Sensitivity Analysis.

Tabla Nro. 1.1: Revisión del Estado del arte sobre optimización de Diseños de Sistemas de puesta a tierra

Reviewed Aspects		Reviewed Works																
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17,18	P*
Variables considered in the optimization	Resistance (Rg)										☑				☑	☑	☑	☑	☑
	Touch and step potentials (Em and Es)				☑	☑						☑			☑	☑	☑	☑	☑
	Ground Potential Rise (GPR)											☑			☑	☑	☑		☑
	Cost minimization						☑	☑		☑		☑		☑	☑			☑	
	Mesh depth						☑	☑								☑	☑		
	Geometric spaces	☑		☑			☑	☑					☑		☑			☑	☑
	Vertical rods				☑		☑	☑					☑		☑	☑	☑	☑	☑
	Horizontal electrodes				☑		☑	☑					☑		☑	☑	☑	☑	☑
	Optimizes the overall design	☑	☑	☑	☑		☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑		☑	☑	☑	☑	☑
Algorithms	Particle swarm optimization (PSO)						☑	☑								☑			
	Genetic Algorith					☑		☑	☑					☑		☑			☑
	Hybrid particle swarm genetic algorithm optimization							☑											
	Recognition and re-modeling patterns				☑														
	Pattern Search (PS)													☑					
	Evolutionary optimization																☑		
	Co-simulation																☑		
	Multi-objective optimization														☑	☑	☑	☑	☑
Relevant applied methologies	Sverak's method	☑									☑	☑	☑			☑			☑
	Schwarz's equations															☑			
	IEEE Std. 80	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑		☑	☑			☑
	Finite elements (FEM)										☑	☑				☑			
	Maxwell imaging																	☑	
	Charge Simulation Method (CSM)											☑							
Relevant applied methologies	ETAP										☑	☑				☑			☑
	CYMGrd						☑	☑											
	MATLAB								☑	☑			☑	☑	☑			☑	☑
	WinIGS													☑					
	Python																☑		
	Others	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑							☑	☑	☑	

P*: Proposed methodology

En la última columna de la tabla, se incluye los factores considerandos en la metodología propuesta, para la optimización de sistemas de puesta a tierra.

1.2. Diseño de sistemas de puesta a tierra

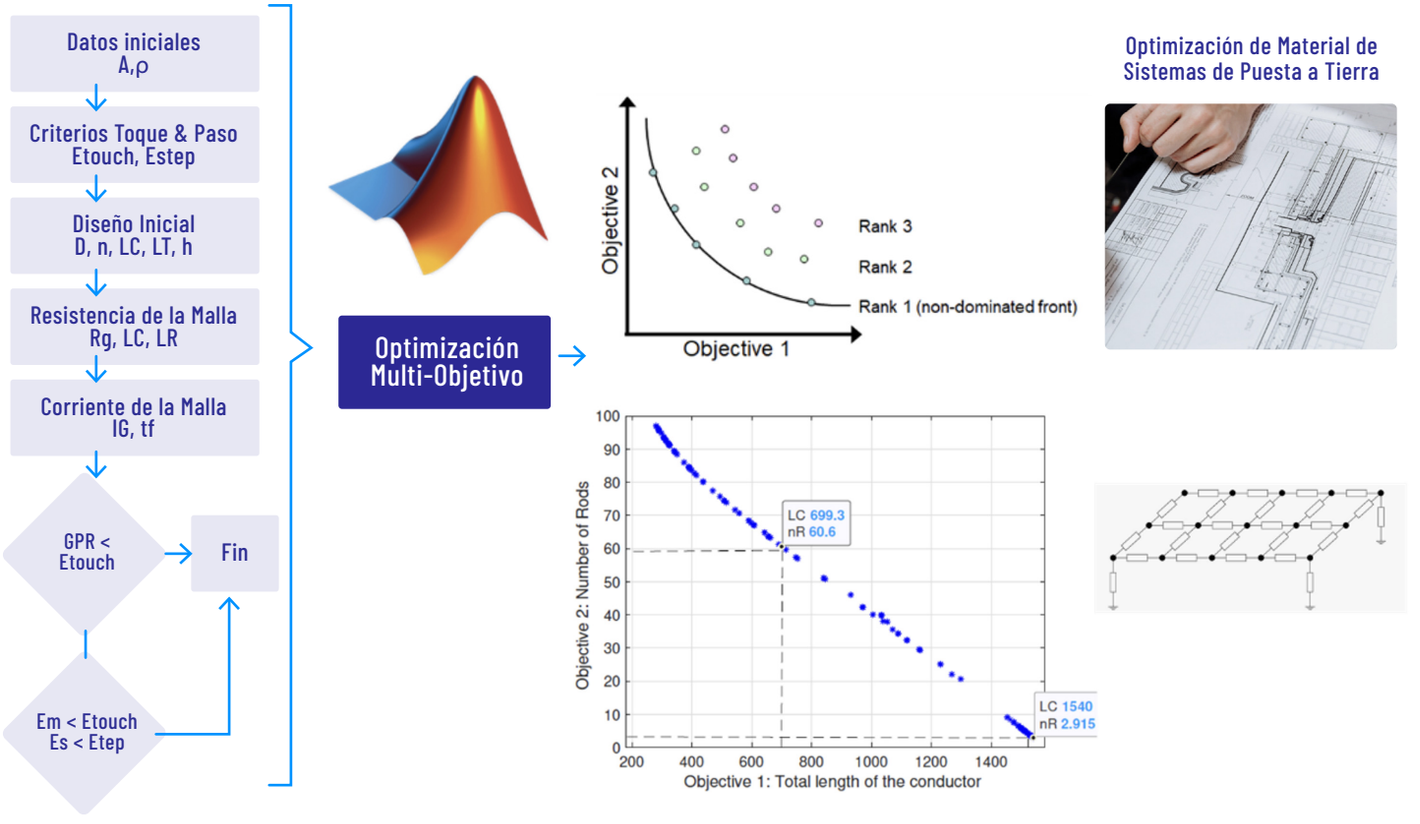
El diseño de sistemas de puesta a tierra es fundamental para garantizar la seguridad elétrica y la protección de equipos en subestaciones. Las metodologías más empleadas en la práctica profesional incluyen:

a) Cálculo de parámetros de puesta a tierra mediante ecuaciones analíticas (IEEE Std. 80),
b) Método de Elementos Finitos (MEF) para estructuras de suelo complejas.

En este artículo se adopta la metodología basada en las ecuaciones analíticas propuestas por la norma IEEE Std. 80. Esta elección responde a su robustez y aceptación internacional para el diseño de sistemas de puesta a tierra en subestaciones de corriente alterna.

El procedimiento adoptado para el diseño óptimo de sistemas de puesta a tierra se estructura en una serie de etapas secuenciales, que integran los criterios normativos, el cálculo de parámetros fundamentales y la aplicación de técnicas de optimización multiobjetivo. La Figura 0 muestra de manera esquemática la metodología seguida en este estudio, desde la recopilación de datos iniciales hasta la validación de los resultados, permitiendo visualizar la interacción entre cada fase del proceso y los criterios de seguridad considerados..

Figura Nro. 1.1: Metodología para el diseño óptimo de sistemas de puesta a tierra



1.2.1 Formulación del Diseño de Sistemas de Puesta a Tierra

El proceso inicia con la recopilación de los datos de entrada que se definen en el Paso 1 de la Figura 0. Utilizando las dimensiones de la malla longitud (Lx) y ancho (Ly), se calcula el área terrestre protegida como se muestra en la Ec. (1) [24]. Los criterios de voltaje de contacto y de paso, correspondientes al Paso 2, se calculan utilizando las Ecs. (2), (3) y (4). En estas ecuaciones, ρ representa la resistividad del suelo, ρs la resistividad de la capa superficial, hs el espesor de la capa superficial, Cs el factor de reducción de la capa superficial y ts la duración de la corriente de choque.

Los límites de tensión de contacto y de paso se calculan utilizando las ecuaciones recomendadas por la norma IEEE Std. 80, considerando el peso corporal de las personas expuestas (k = 0,116 para una persona de 50 kg y k = 0,157 para 70 kg).

(1) $$A = L_x \bullet L_y$$

(2) $$C_s = 1 - \frac{0.09\left(1 - \frac{\rho}{\rho_s}\right)}{2 \bullet h_s + 0.09}$$

(3) $$E_{step} = (1000 + 6 \bullet C_s \bullet \rho_s)\frac{k}{\sqrt{t_s}}$$

(4) $$E_{touch} = (1000 + 1.5 \bullet C_s \bullet \rho_s)\frac{k}{\sqrt{t_s}}$$

El gradiente de potencial de tierra (GPR) se determina mediante la ecuación (5), que depende de IG (la corriente máxima que fluye desde la malla de tierra al suelo circundante) y la resistencia de la malla de puesta a tierra Rg.

(5) $$GPR = I_G \bullet R_g$$

La ecuación (7) determina la longitud efectiva enterrada, considerando que la malla incorpora varillas distribuidas en el área, el perímetro y las esquinas, junto con la longitud total de la varilla y la longitud del conductor LC [24]. La longitud total de las varillas de tierra se calcula mediante la ecuación (6), con base en el número de varillas nR y la longitud de cada varilla Lr.

(6) $$L_t = L_r \bullet n_R$$

(7) $$L_M = L_C + \left[1.55 + 1.22\left(\frac{L_r}{\sqrt{L_x^2 + L_y^2}}\right)\right] L_R$$

Para rejillas sin varillas de tierra, o con solo unas pocas varillas distribuidas aleatoriamente y ninguna ubicada en las esquinas o a lo largo del perímetro, la longitud enterrada efectiva LM viene dada por la ecuación (8).

$$L_M = L_C + L_R \tag{8}$$

La determinación de los voltajes máximos de paso y de malla se presenta en las ecuaciones (9) y (10).

$$E_m = \frac{\rho \cdot I_G \cdot K_m \cdot K_i}{L_M}$$

$$E_s = \frac{\rho \cdot I_G \cdot K_S \cdot K_i}{0.75 \cdot L_M + 0.85 \cdot L_R}$$

El cálculo de las constantes Km, KS, Ki y otros detalles específicos del diseño de la malla están definidos en la norma IEEE Std. 80. IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding.

1.2.2 Problema de optimización propuesto

Multi-Objective Function

$$\begin{cases} F\bullet0\bullet1 : \min L_C \\ F\bullet0\bullet2 : \min n_C \end{cases} \tag{11}$$

Subject to: Conductor length and Rods restrictions:

$$L_C = \left(\frac{L_x}{D_x} + 1\right) \cdot L_y + \left(\frac{L_y}{D_y} + 1\right) \cdot L_x \tag{12}$$

$$L^{min}_C \leq L_C \leq L^{max}_C \tag{13}$$

$$L^{min}_C = 2 \cdot (L_x + L_y) \tag{14}$$

$$D_x - D_y = 0 \tag{15}$$

$$0 \leq D_x \leq L_x \tag{16}$$

$$0 \leq D_y \leq L_y \tag{17}$$

$$0 \leq n_R \leq n^{max}_R \tag{18}$$

Subject to: Restrictions for resistance calculation

$$(19) \quad R_g = \rho \left[\frac{1}{L_T} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left(1 + \frac{1}{1 + h\sqrt{20 / A}} \right) \right]$$

Inequality Constraints for GPR:

$$(21) \quad GPR < E_{touch}$$

$$(22) \quad 0 \leq GPR$$

Inequality Constraints for maximum step and mesh voltages:

$$(23) \quad E_m \leq E_{touch}$$

$$(24) \quad E_s \leq E_{step}$$

La longitud total del conductor necesaria para la malla de puesta a tierra se calcula utilizando la ecuación (12), la cual integra los resultados de las ecuaciones (13) a (17). En particular, la longitud mínima del conductor, Lmin, C, se determina por el perímetro de la malla de puesta a tierra, en la ecuación (14). La separación entre conductores en los ejes "x" e "y" de la malla se define mediante las ecuaciones (16) y (17), considerando las separaciones máximas como las longitudes Lx y Ly de la malla. En la ecuación (15), se supone que las separaciones entre conductores Dx y Dy son iguales, cuando el diseño requiere dicha simetría. De lo contrario, esta restricción puede eliminarse.

La resistencia total del sistema de puesta a tierra se determina mediante la ecuación (19), considerando la restricción definida en la ecuación (20), donde LT es la longitud efectiva total de los conductores del sistema de puesta a tierra, incluyendo tanto la malla como las varillas de puesta a tierra; A es el área de la malla; y h es la profundidad de enterramiento de los conductores de la rejilla.

En cuanto a la verificación de las condiciones de seguridad, la ecuación (21) establece que la primera condición a evaluar es si el GPR es inferior a Etouch. Si esta condición se cumple, el diseño se considera seguro. En caso contrario, deben analizarse las restricciones adicionales definidas en las ecuaciones (23) y (24), donde Es es el voltaje de escalón, Em es el voltaje de malla, y Etouch y Estep representan los voltajes de escalón y de contacto máximos tolerables para los humanos, respectivamente. Estas ecuaciones definen las restricciones de seguridad para la exposición humana a los potenciales de escalón y de contacto.

1.3. Simulación del diseño de sistema de puesta a tierra

1.3.1 Caso de Estudio

El modelo propuesto se valida con el caso de estudio basado en el ejemplo B.2 de la norma IEEE Std. 80, con los datos de entrada que se presentan en la Tabla Nro. 1.2:

Tabla Nro. 1.2: Datos del Caso de Estudio, con base al Ejemplo B2. IEEE Std. 80.

Description	Unids	Value
L_x	(m)	70
L_y	(m)	70
L_r	(m)	7.5
ρ	(Ω • m)	400
ρ_s	(Ω • m)	2500
h	(m)	0.5
h_s	(m)	0.102
h_0	(m)	1
t_f	(s)	0.5
d	(mm)	0.0105
I_G	(A)	1908
n_b, n_c, n_d	-	1
K_{ii}	-	1

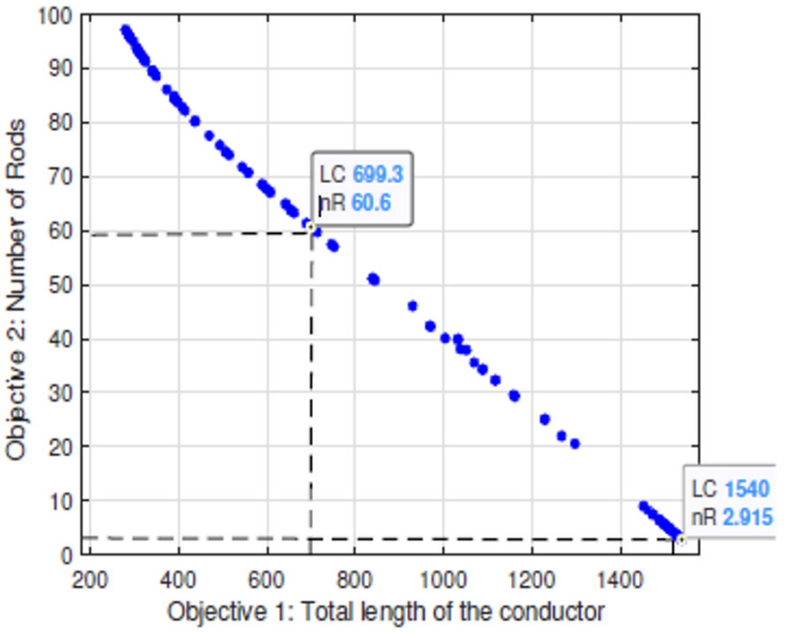
Nota: Kii: Se aplica a mallas que incluyen varillas de tierra ubicadas a lo largo del perímetro o en las esquinas de la rejilla.

1.3.2 Resultados y Análisis

1.3.2.1 Optimización Multi-objetivo: Longitud de Conductor y Número de varillas

La Figura 1 muestra la frontera de Pareto obtenida para el diseño óptimo de la malla de puesta a tierra, mostrando las combinaciones de longitud de conductor y número varillas que cumplan con las restricciones de seguridad establecidas en la norma.

Figura Nro. 1.2: Frontera de Pareto: Sensibilidad de cantidad de conductores y número de varillas.



Cada punto en la gráfica representa una solución óptima, donde el eje X corresponde a la longitud total de conductor y el eje Y al número de varillas utilizadas.

Cabe destacar que los valores reportados en el ejemplo B.2 de la norma IEEE Std. 80 (1540 m de conductor y 20 varillas) no forman parte de la frontera de Pareto, lo que indica que no corresponden a un diseño óptimo bajo los criterios multiobjetivo considerados.

Adicionalmente, se realizó una simulación utilizando el optimizador de software ETAP [28], cuyos resultados se muestran en la Tabla 3, muestran que las soluciones propuestas por ETAP también pertenecen a la frontera de Pareto mostrada en la Fig. 1, lo que valida su optimalidad bajos las restricciones impuestas. Sin embargo, ETAP únicamente ofrece dos soluciones factibles, determinadas por los costos relativos del conductor y varillas. En contraste, la metodología propuesta genera una frontera de Pareto completa, abarcando todas las soluciones viables sin limitarse a consideraciones de costo, y garantizando el cumplimiento de los criterios de seguridad para el personal de la subestación. Esto otorga a los diseñadores mayor flexibilidad para seleccionar la alternativa que mejor se adapte a los requerimientos específicos del proyecto.

Tabla Nro. 1.3: Resultados de la Optimización con el Software ETAP.

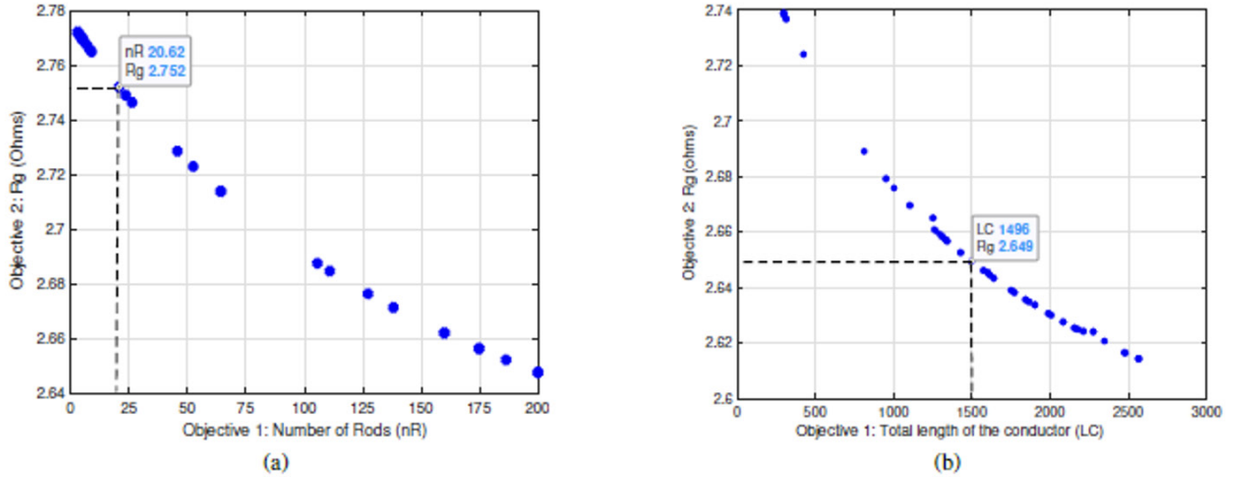
Scenario	Material cost conditions for L_C and n_R	Resullts of the ETAP n_R(#)	L_C(m)
1	Cheap rods and expensive conductor	59	700
2	Expensive rods and cheap conductor	2	1540

1.3.2.2 Relación Multiobjetivo: Número de varillas, conductores y resistencia

En este análisis, se consideran como funciones objetivo la resistencia de puesta a tierra (Rg) y el número de varillas, además de la cantidad de conductor instalado en la malla. Las Figuras 2a y 2b presentan la frontera de Pareto, evidenciando la sensibilidad de Rg frente a variaciones en el número de varillas y la longitud del conductor.

Los resultados muestran que la resistencia del sistema es poco sensible al incremento de varillas o conductores; incluso añadiendo múltiples elementos, la resistencia de la malla varía solo entre 2,6 Ω y 2,78 Ω. Esto sugiere que aumentar la cantidad de material no es una estrategia efectiva para reducir Rg. Por lo tanto, se recomienda explorar alternativas de diseño que permitan alcanzar valores de diseño más bajos, siempre respetando las restricciones de seguridad establecidas.

Figura Nro. 1.3: 2 Frontera de Pareto: (a) Número de varillas vs. Resistencia Rg (b) Longitud del conductor vs. Resistencia Rg.



1.3.2.3 Optimización de la malla con múltiples funciones objetivo

Para profundizar en el análisis de sensibilidad y la interacción entre variables, se desarrollaron dos simulaciones considerando tres y cuatro funciones objetivo, respectivamente.

1) Simulación 1.- Funciones objetivo: LC, nR y Rg:

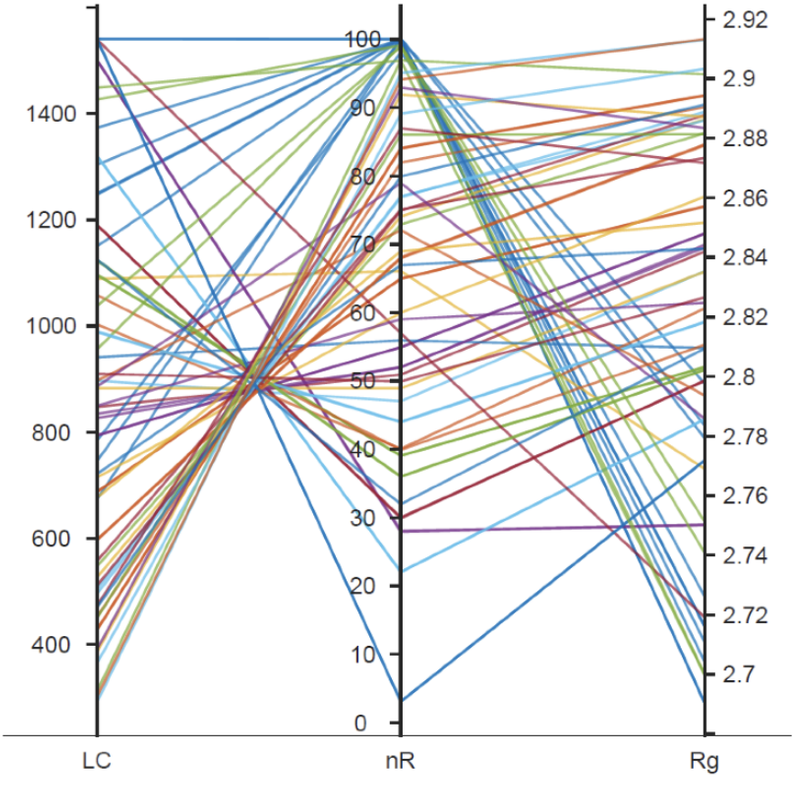
En esta simulación, se consideran como funciones objetivo la longitud del conductor (LC), el número de varillas (nR) y la resistencia de puesta a tierra (Rg), conforme a las ecuaciones 11, 19 y25.

Multi - Objective Function

$$\begin{cases} F\bullet0\bullet1 : \min L_C \\ F\bullet0\bullet2 : \min n_R \\ F\bullet0\bullet3 : \min R_g \end{cases} \quad (25)$$

La Figura 3 presenta un gráfico de coordenadas paralelas, donde cada línea de color representa una solución factible dentro del conjunto óptimo de Pareto. Este tipo de visualización permite identificar rápidamente la sensibilidad de Rg frente a cambios en LC y nR, complementando la información mostrada en las Figuras 2a y 2b.

Figura Nro. 1.4: Gráfico de coordenadas paralelas: LC, varillas nR vs. resistencia Rg.



2) Simulación 2.- Funciones objetivo: LC, nR, Em y Es:

En la segunda simulación, se incorporan funciones objetivo adicionales que incorporan las variables Em y Es, definidas en las Ecs. 9 y 10, respectivamente y sujetas a las restricciones de seguridad de las ecuaciones 23 y 24. Así, el análisis considerada simultáneamente LC, nR, Em y Es.

1.4. Conclusiones

El presente trabajo aborda el diseño óptimo de sistemas de puesta a tierra en subestaciones mediante una formulación de optimización multiobjetivo, integrando criterios de seguridad y restricciones normativas establecidas en la IEEE Std. 80. La metodología desarrollada transforma los límites de diseño, como la longitud máxima del conductor, el número de varillas y los valores tolerables de tensión de contacto y de paso, en restricciones explícitas dentro del modelo de optimización.

La validación de los resultados, realizada con base en el ejemplo B2 de la norma IEEE Std. 80, demuestra que la propuesta permite alcanzar configuraciones óptimas que garantizan la seguridad del personal y la eficiencia en el uso de materiales. De este modo, se evita el sobredimensionamiento y se contribuye a la reducción de costos, proporcionando a los diseñadores una herramienta robusta y flexible para la toma de decisiones en proyectos de subestaciones eléctricas.

En síntesis, la metodología presentada facilita la obtención de soluciones óptimas y seguras, adaptadas a las necesidades específicas de cada proyecto, y representa un avance significativo respecto a los enfoques tradicionales empleados en la industria.

Mayores detalles de la metodología y del caso de estudio se encuentran en el siguiente enlace:
D. Arias-Cazco and L. Cruz-Panchi, "Multi-Objective Optimization for Safety in the Grounding of AC Substations," in IEEE Latin America Transactions, vol. 23, no. 7, pp. 592-599, July 2025, doi: https://doi.org/10.1109/TLA.2025.11045670.

1.5. Bibliografía

[1] D. Arias-Cazco y L. Cruz-Panchi, «Multi-Objective Optimization for Safety in the Grounding of AC Substations,» IEEE Latin America Transactions, vol. 23, nº 7, pp. 592-599, 2025.

Mayor Bibliografía se encuentra en:

D. Arias-Cazco and L. Cruz-Panchi, "Multi-Objective Optimization for Safety in the Grounding of AC Substations," in IEEE Latin America Transactions, vol. 23, no. 7, pp. 592-599, July 2025, doi: https://doi.org/10.1109/TLA.2025.11045670.

Autor

Diego Arias

Magister en Ciencias de la Ingeniería, Mención Eléctrica

Escanea el código para ver el perfil de LinkedIn

Cifras del sector eléctrico

Capítulo
02

Capítulo 02

Cifras del sector eléctrico

ANDREA TORRES
Magíster en Energías Renovables

CHRISTIAN JUNIA
Ingeniero Eléctrico

ÓSCAR SALAZAR
Ingeniero Eléctrico

Al cierre de mayo de 2025, el sistema eléctrico ecuatoriano presenta una infraestructura y un desempeño operativo que se sintetizan en tres bloques:

2.1 Generación y transmisión

La generación eléctrica bruta alcanzó **34.817 GWh, respaldada por una capacidad instalada nacional de 9.355 MW** y una potencia efectiva de **8.801 MW**. El Sistema Nacional de Transmisión se extiende a lo largo de **6.611 km de líneas y 60 subestaciones, que en conjunto suman 16.053 MVA** de capacidad de transformación. Durante el periodo se registraron importaciones netas de **1.291 GWh y exportaciones de 145 GWh.**

2.2 Distribución y comercialización

La red de distribución opera con **383.740 transformadores** de media tensión y **118.042 km** de redes secundarias, alimentando **2.051.500 luminarias** y **5.733.995 medidores** en servicio. La demanda regulada se situó en **23.404 GWh, mientras que el mercado no regulado sumó 1.752 GWh. Las pérdidas totales de energía eléctrica en distribución ascendieron a 5.816 GWh (15,80 %),** desagregadas en pérdidas técnicas **(1.795 GWh, 5,96 %) y no técnicas (2.965 GWh, 9,84 %).**

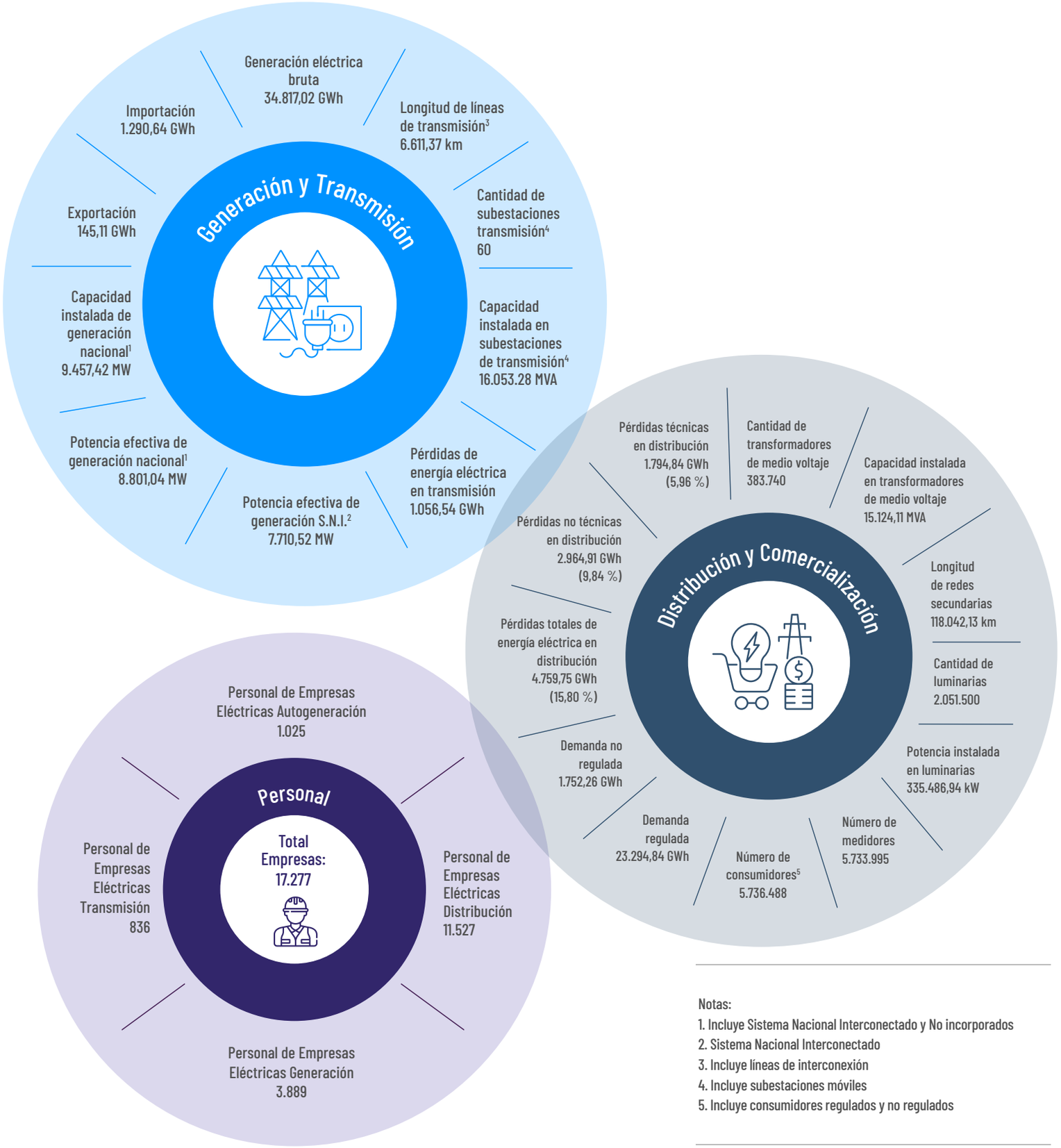
2.3 Talento humano del sector

El sector eléctrico emplea a **17.277 personas, distribuidas principalmente en las empresas de distribución (11.527), generación (3.889), transmisión (836) y autogeneración (1.025).** Este capital humano resulta fundamental para garantizar la continuidad, la seguridad y la calidad del servicio a escala nacional.

La Figura Nro. 2.1 resume visualmente estos indicadores, proporcionando una vista comparativa e integrada de la realidad operativa del sector eléctrico ecuatoriano.

2.4 Cifras principales del sector eléctrico - Mayo 2025

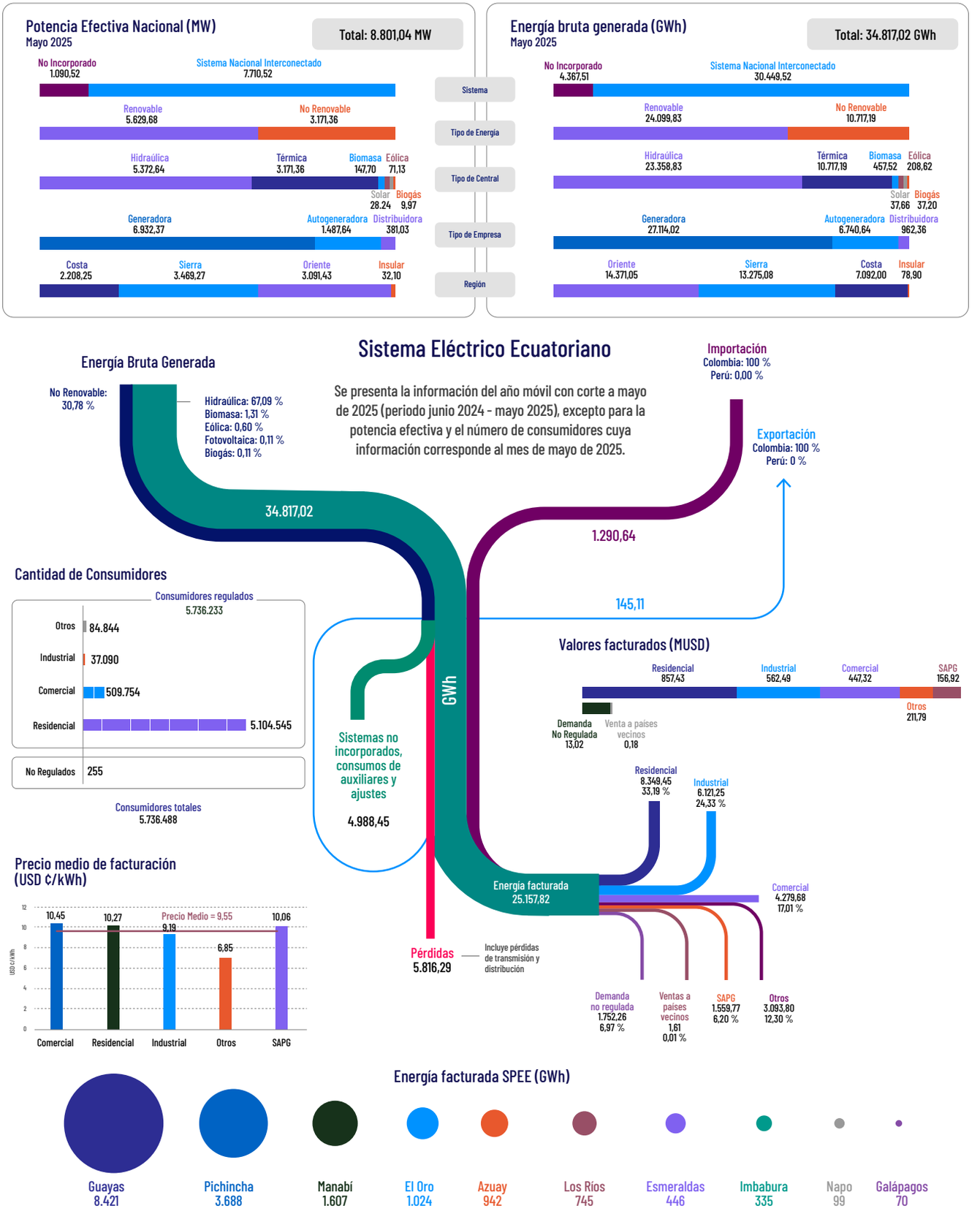
Figura Nro. 2.1: Cifras principales del sector eléctrico



Notas:
1. Incluye Sistema Nacional Interconectado y No incorporados
2. Sistema Nacional Interconectado
3. Incluye líneas de interconexión
4. Incluye subestaciones móviles
5. Incluye consumidores regulados y no regulados

2.5 Potencia, Producción de energía , consumos, facturación

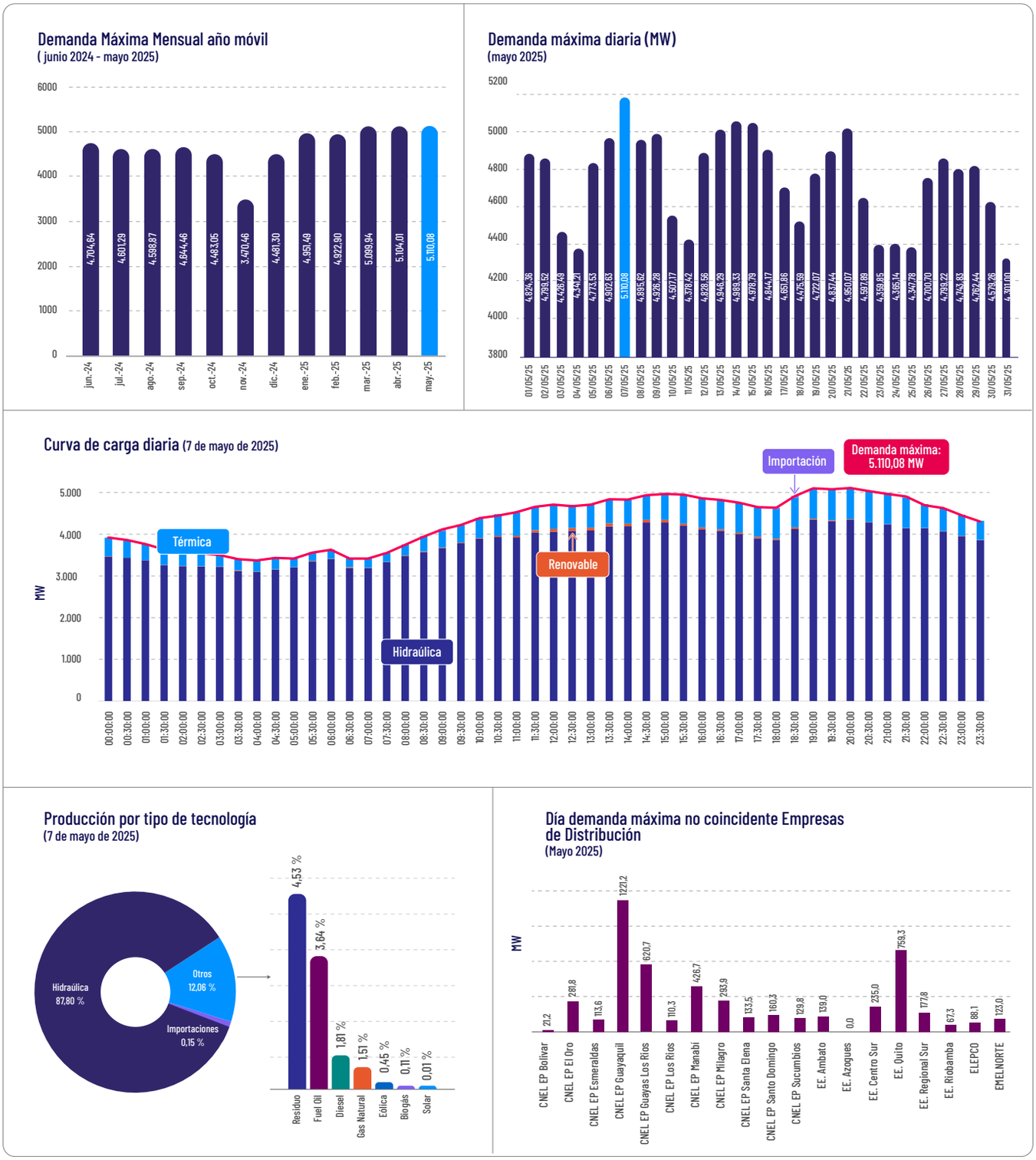
Figura Nro. 2.2: Potencia, producción de energía, consumos, facturación



2.6 Demanda de Potencia en el Sistema Nacional Interconectado

Se presenta información de demanda de potencia anual, mensual y diaria. Además, la demanda no coincidente de las distribuidoras con mayor participación en el mes de mayo 2025.

Figura Nro. 2.3: Demanda de Potencia en el Sistema Nacional Interconectado



2.7 Cifras de generación

Empresas de Generación, Autogeneración, Distribución y SGDAs
Potencia Efectiva (MW)
Mayo 2025

Figura Nro. 2.4: Generadoras

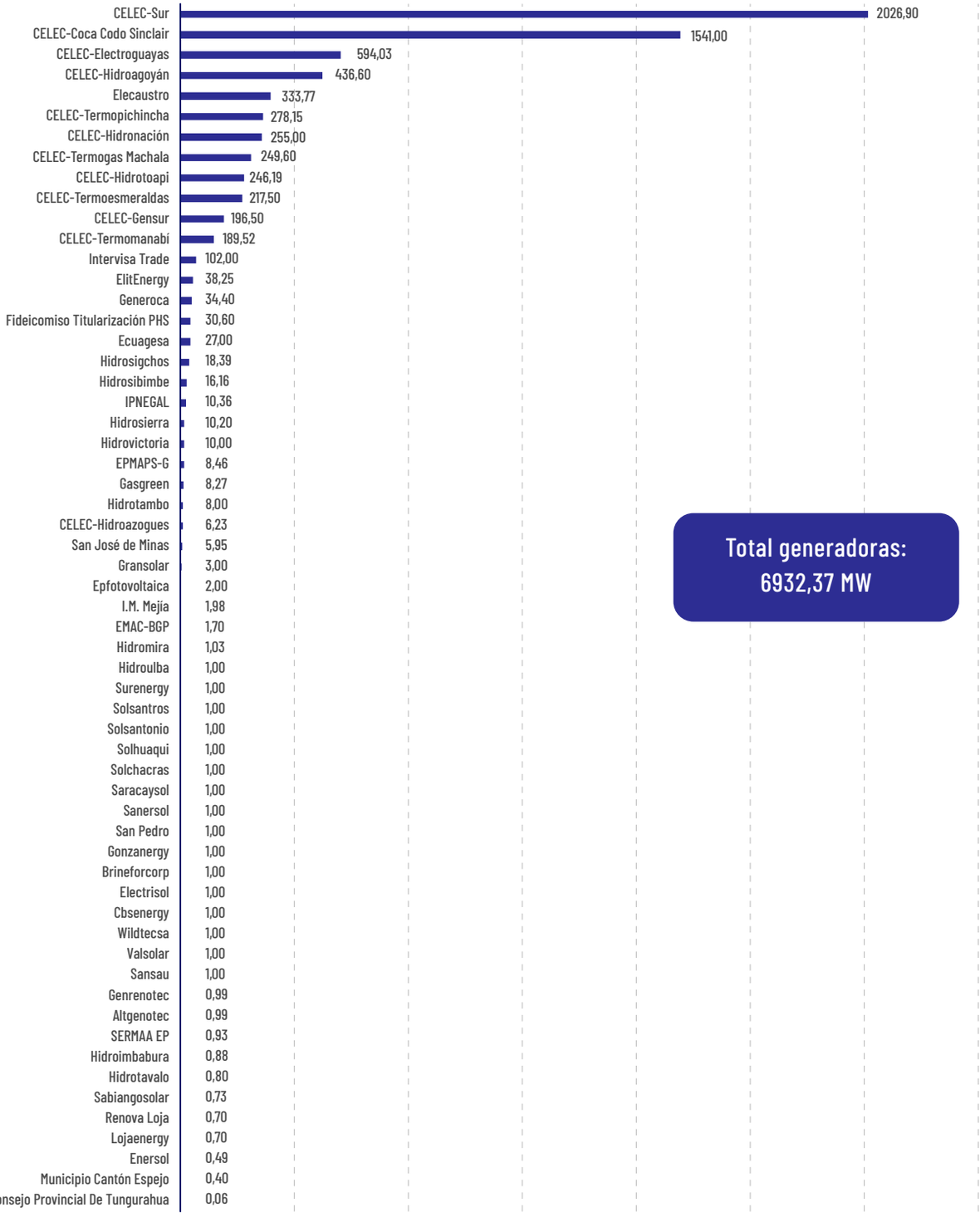


Figura Nro. 2.5: Autogeneradoras

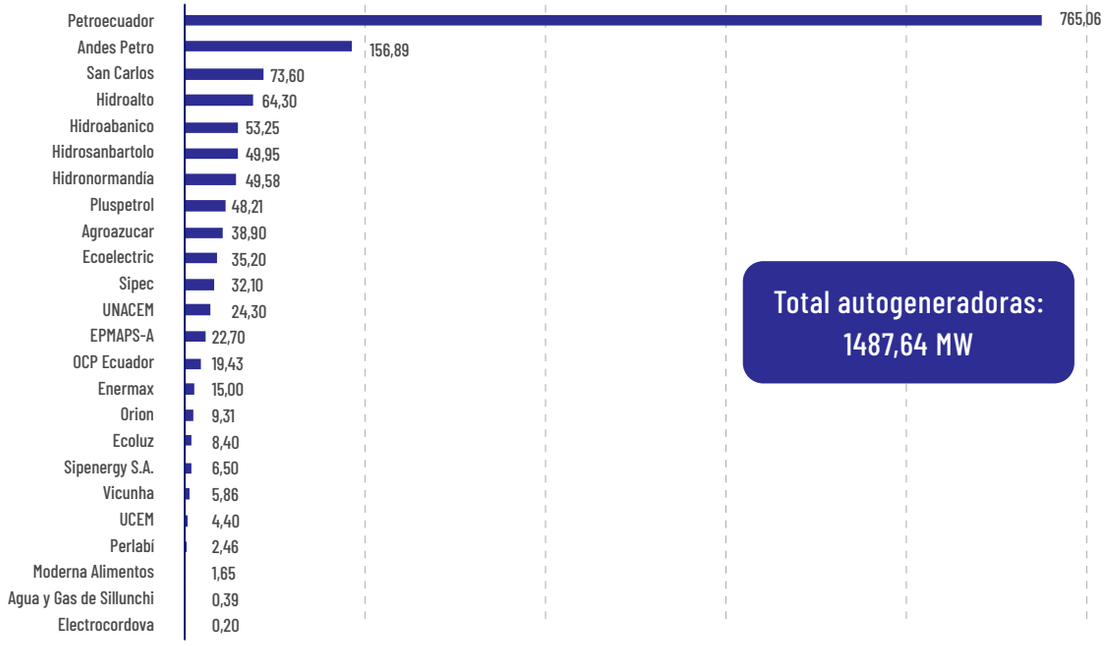


Figura Nro. 2.6: Distribuidoras

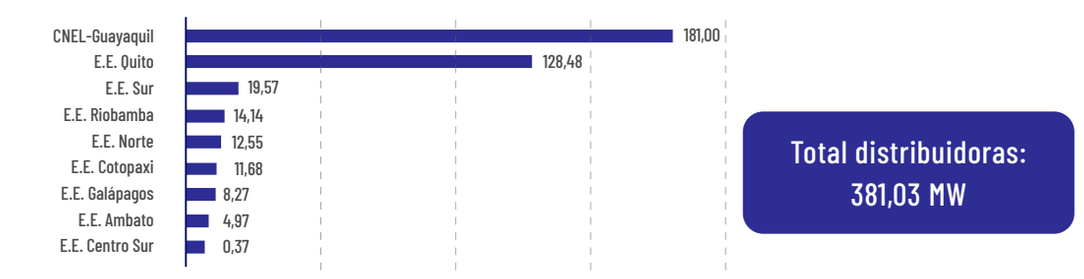
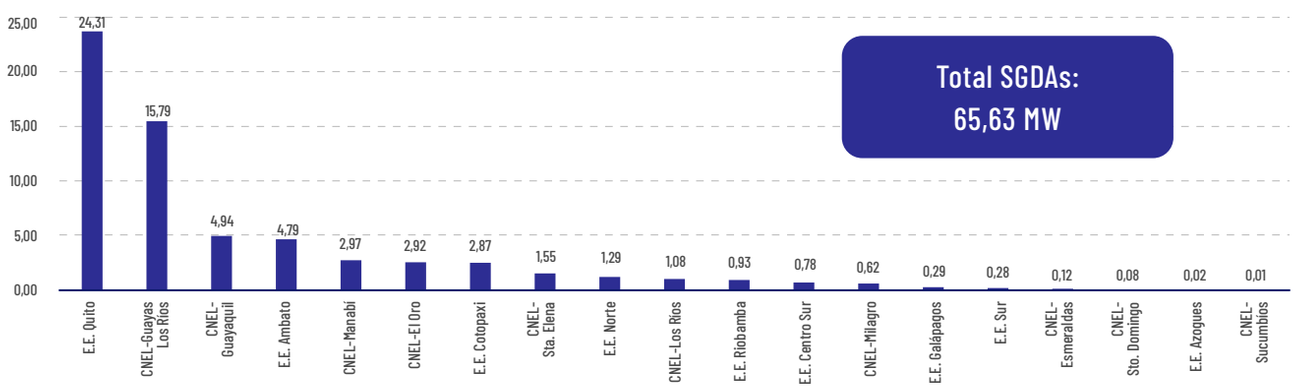


Figura Nro. 2.7: Sistemas de generación para autoabastecimiento - SGDAs instalados en área de concesión de las Empresas Eléctricas de Distribución



2.8 Cifras de transmisión

CELEC EP TRANSELECTRIC
Mayo 2025

Tabla Nro. 2.1: Líneas de Transmisión Sistema Nacional Interconectado (S.N.I.)

Tipo	Nivel de voltaje (kV)	Número de líneas #	Longitud (km)
Simple Circuito	138	39	1.868,19
	230	22	1.592,08
	500	6	610,00
Total Simple Circuito		67	4.070,27
Doble Circuito	138	15	530,38
	230	26	2.010,72
Total Doble Circuito		41	2.541,10
Total General		108	6.611,37

* Incluyen líneas de interconexión con Colombia y Perú

Tabla Nro. 2.2: Líneas de Transmisión de Interconexión

Tipo	Nivel de voltaje (kV)	Nombre Línea	Longitud hasta la frontera (km)	Longitud Total (km)
Simple Circuito	138	Tulcán - Panamericana	7,50	15,50
Total Simple Circuito			7,50	15,50
Doble Circuito	239	Machala - Zorritos	52,72	110,00
		Pimampiro - Jamondino 1	63,02	138,70
		Pimampiro - Jamondino 2	54,20	132,00
Total Doble Circuito			169,94	380,70

Tabla Nro. 2.3: Subestaciones y transformadores del Sistema Nacional Interconectado (S.N.I.)

Tipo de Subestación	Número de Subestaciones	Número de Transformadores	Capacidad Máxima (MVA)
Reducción	56	91	15.858,28
Móviles - reducción	4	4	195,00
Total	60	95	16.053,28

2.9 Cifras de distribución y comercialización

Empresas de distribución y comercialización
Mayo 2025

Tabla Nro. 2.4: Infraestructura de Distribución

Empresa	Media tensión	Transformadores		Baja tensión	Luminarias		Medidores
	km	#	MVA	km	#	kW	#
CNEL-Bolívar	3.469,28	6.899	104,30	3.831,74	29.365	4.830,65	73.215
CNEL-El Oro	5.971,65	16.894	773,65	4.028,54	106.528	19.795,12	280.729
CNEL-Esmeraldas	5.176,64	11.309	364,26	3.260,19	61.622	11.137,68	131.266
CNEL-Guayaquil	3.973,95	41.380	2.752,47	6.075,51	203.852	33.345,78	716.732
CNEL-Guayas Los Ríos	9.197,83	36.680	1.494,20	6.144,21	115.832	21.037,58	374.237
CNEL-Los Ríos	3.860,38	11.614	381,66	2.378,61	37.591	6.762,46	151.014
CNEL-Manabí	8.935,69	32.394	1.031,83	7.971,93	150.302	26.498,39	358.844
CNEL-Milagro	4.680,67	14.314	477,66	2.397,00	58.629	11.114,69	165.188
CNEL-Sta. Elena	1.661,89	8.735	405,84	1.667,55	46.412	8.692,15	108.011
CNEL-Sto. Domingo	10.473,88	25.891	549,15	7.008,37	94.221	16.640,01	276.703
CNEL-Sucumbíos	5.640,93	11.655	315,48	5.078,34	56.558	7.674,89	114.380
E.E. Ambato	6.471,45	18.246	507,13	10.006,11	164.312	23.619,26	312.454
E.E. Azogues	892,58	2.410	73,42	1.686,37	20.266	3.503,50	41.861
E.E. Centro Sur	11.142,81	29.958	977,15	14.940,52	189.137	34.565,64	451.520
E.E. Cotopaxi	4.724,27	11.506	350,38	6.865,52	73.747	10.789,09	159.840
E.E. Galápagos	375,15	1.365	47,68	294,83	6.910	819,24	15.003
E.E. Norte	6.751,20	20.269	582,23	8.146,51	138.146	20.310,52	285.026
E.E. Quito	9.485,84	45.130	3.187,04	14.136,48	328.044	52.330,41	1.288.135
E.E. Riobamba	4.698,09	15.851	326,19	5.957,93	88.385	11.855,11	193.090
E.E. Sur	9.004,33	21.240	422,41	6.165,87	81.641	10.164,76	236.747
Total	116.588,51	383.740	15.124,11	118.042,13	2.051.500	335.486,94	5.733.995

Tabla Nro. 2.5: Tipo de Consumidores por Empresa Eléctrica de Distribución

Empresa	Consumidores regulados				Total regulados	Total no regulados	Total
	Residencial	Comercial	Industrial	Otros			
CNEL-Bolívar	67.928	3.720	109	1.468	73.225	-	73.225
CNEL-El Oro	257.366	18.478	1.474	3.793	281.111	1	281.112
CNEL-Esmeraldas	121.052	7.378	299	2.445	131.174	2	131.176
CNEL-Guayaquil	636.819	72.365	2.036	5.525	716.745	46	716.791
CNEL-Guayas Los Ríos	346.834	20.627	785	6.030	374.276	15	374.291
CNEL-Los Ríos	141.081	7.709	317	1.912	151.019	1	151.020
CNEL-Manabí	334.236	18.801	469	5.344	358.850	8	358.858
CNEL-Milagro	150.649	11.659	183	1.707	164.198	1	164.199
CNEL-Sta. Elena	98.116	6.445	156	1.736	106.453	2	106.455
CNEL-Sto. Domingo	245.940	27.071	285	3.420	276.716	4	276.720
CNEL-Sucumbíos	98.980	12.509	434	2.516	114.439	-	114.439
E.E. Ambato	270.601	30.629	5.899	5.428	312.557	6	312.563
E.E. Azogues	38.100	2.828	430	617	41.975	1	41.976
E.E. Centro Sur	404.216	39.010	4.712	7.096	455.034	1	455.035
E.E. Cotopaxi	142.001	12.552	3.132	2.228	159.913	3	159.916
E.E. Galápagos	11.868	2.372	182	590	15.012	-	15.012
E.E. Norte	248.648	29.635	2.598	3.600	284.481	6	284.487
E.E. Quito	1.111.987	146.266	11.769	19.020	1.289.042	157	1.289.199
E.E. Riobamba	169.347	19.725	643	3.358	193.073	1	193.074
E.E. Sur	208.776	19.975	1.178	7.011	236.940	-	236.940
Total	5.104.545	509.754	37.090	84.844	5.736.233	255	5.736.488

EL NUEVO ECUADOR

Agencia de Regulación y Control de Electricidad

@Arconel @Controlelectrico_Ec @Arconel_EC

www.arconel.gob.ec