



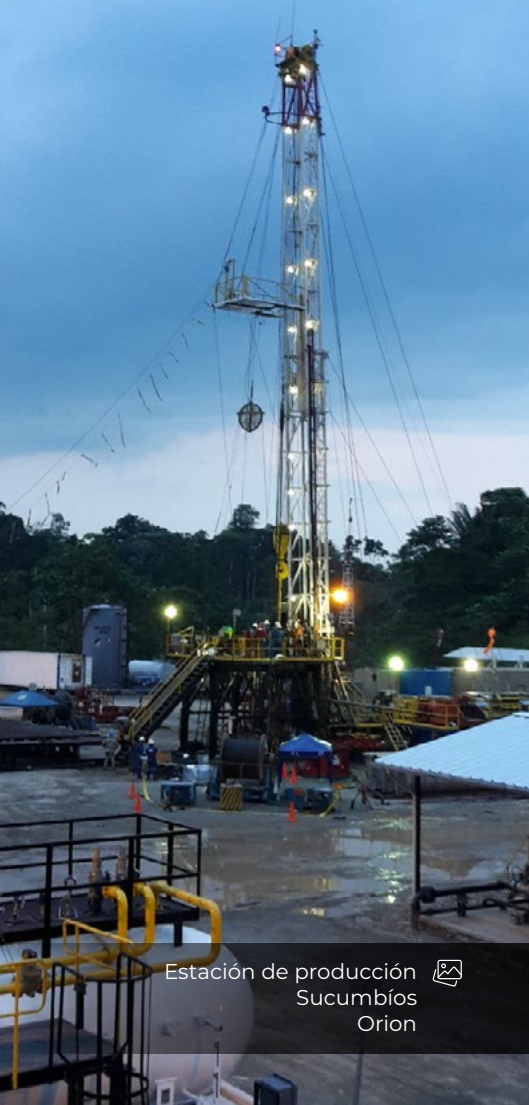
2023

Panorama Eléctrico

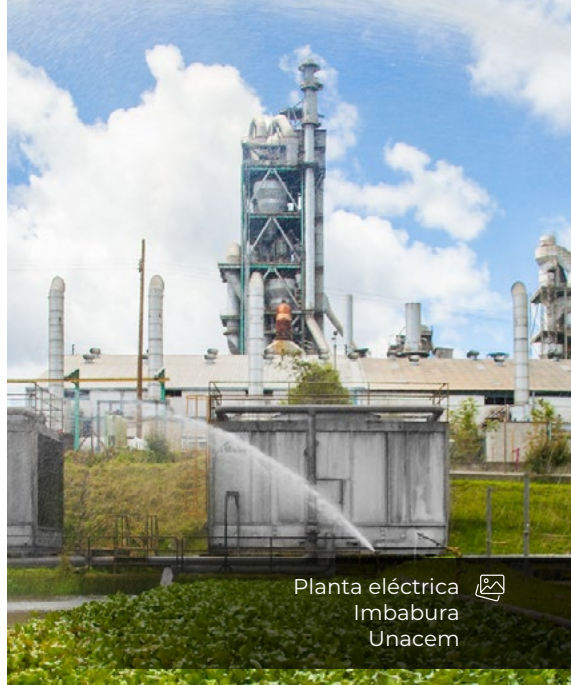
EDICIÓN 15

Agencia de Regulación y Control de Energía
y Recursos Naturales No Renovables

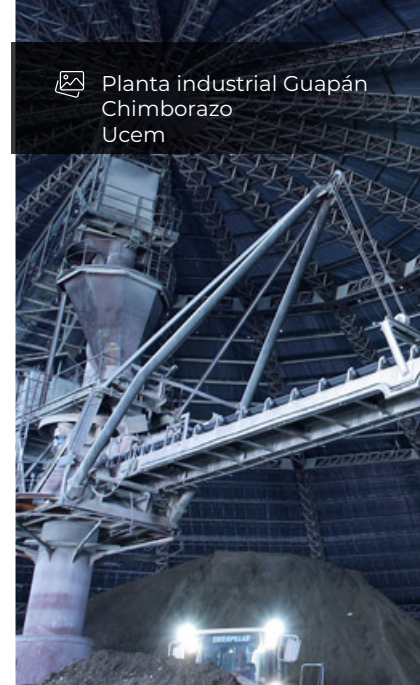

**Gobierno
del Ecuador**
GUILLERMO LASSO
PRESIDENTE



Estación de producción
Sucumbios
Orion



Planta eléctrica
Imbabura
Unacem



Planta industrial Guapán
Chimborazo
Ucem



Operaciones
Francisco de Orellana
Orncem



Sistema de bombeo mecánico
Sucumbios
Tecpetrol



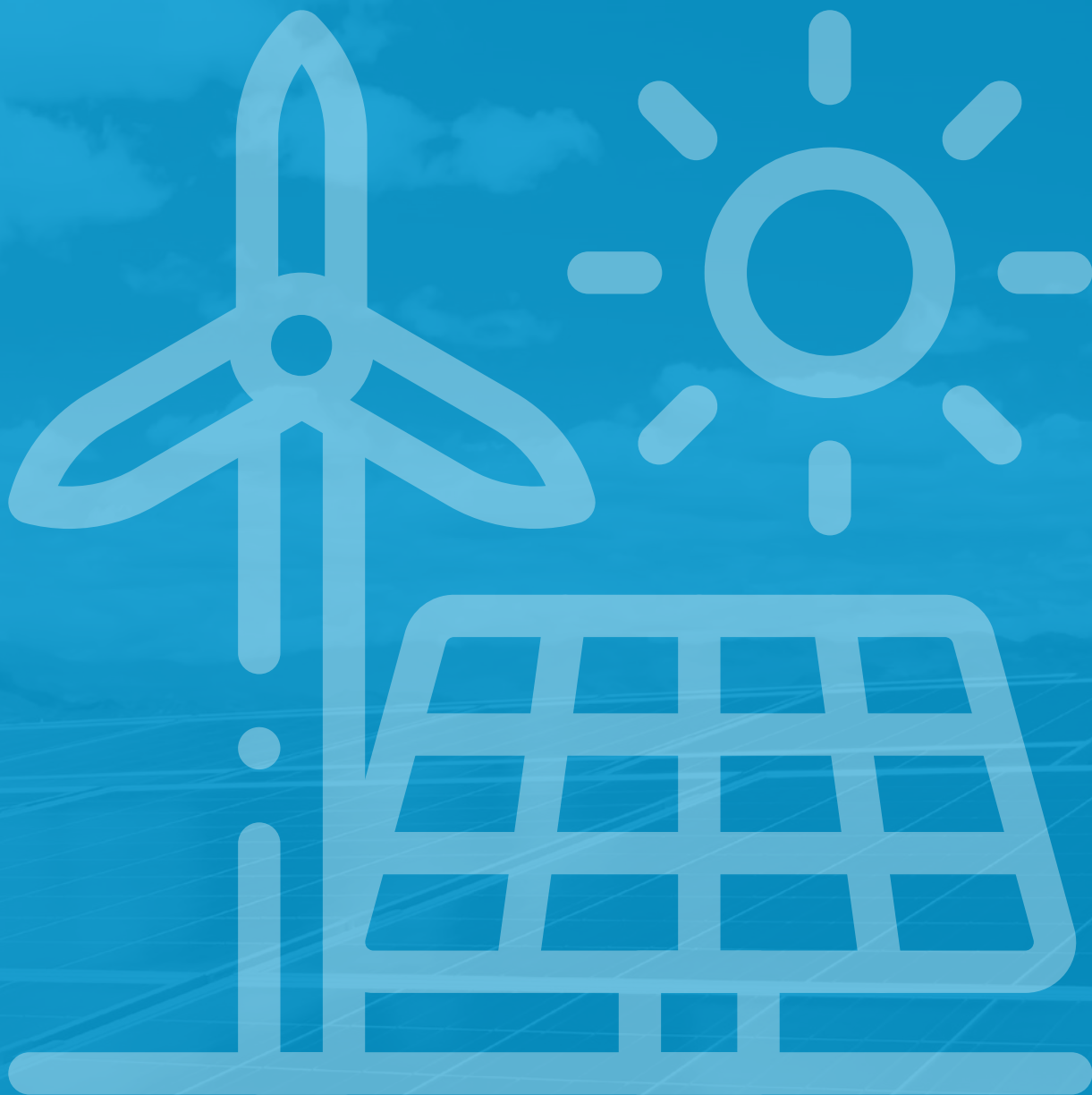
Línea de transmisión
Pichincha
CELEC Transelectric



Unidades de generación
Morona Santiago
Hidrosanbartolo



Central Fotovoltaica
Imbabura
Valsolar



PRESENTACIÓN

La **Revista Panorama Eléctrico**, es un espacio de comunicación que complementa las publicaciones anuales de la Estadística y Atlas del Sector Eléctrico Ecuatoriano. Presenta, de forma resumida y con una menor periodicidad, los principales indicadores del sector e integra información relacionada con la gestión de la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables y del Sector Eléctrico.

En esta edición se presentan, con corte a diciembre de 2022, datos comparativos de infraestructura, balance nacional de energía, demanda máxima de potencia del sector eléctrico. Además, se incluye información referente a la temática de Implementación de sistemas de medición con radiofrecuencia en la Empresa Eléctrica Riobamba S.A.; y, Ubicación óptima de parques solares mediante análisis espacial multicriterio realizado por la Empresa Eléctrica Ambato.

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO

1

INFRAESTRUCTURA DEL SECTOR ELÉCTRICO ECUATORIANO 7

1.1	Generación	8
1.2	Transmisión	12
1.3	Distribución	13

CAPÍTULO

2

BALANCE NACIONAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA 19

CAPÍTULO

3

DEMANDA DE POTENCIA NACIONAL 26

3.1	Demanda diaria, diciembre 2022	27
3.2	Demanda máxima año móvil (enero – diciembre 2022)	29
3.3	Evolución histórica de la demanda máxima, período 2013 – 2022	30

CAPÍTULO

4

PRODUCCIÓN DE ENERGÍA 32

CAPÍTULO

5

IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS DE MEDICIÓN CON RADIOFRECUENCIA EN LA EMPRESA ELÉCTRICA RIOBAMBA S.A. 36

5.1	¿Qué es radiofrecuencia?	37
5.2	Aplicación en las comunicaciones	37
5.3	Medidor de energía	38
5.4	Funciones principales	38
5.5	Implementación de medidores con radiofrecuencia	39
5.6	Resultados de la implementación masiva	40

CAPÍTULO

6

UBICACIÓN ÓPTIMA DE PARQUES SOLARES MEDIANTE ANÁLISIS ESPACIAL MULTICRITERIO 42

6.1	Introducción.....	43
6.2	Contextualización	43
6.2.1	Problemática	43
6.2.2	Justificación.....	43
6.2.3	Objetivos y alcance	44
6.3	Marco Teórico y estado del arte	44
6.3.1	Análisis espacial multicriterio (AEM)	44
6.3.2	Ubicación óptima de parques solares	44
6.3.3	ArcGIS y AEM	45
6.3.4	CYME y AEM	46
6.4	Metodología e implementación	46
6.4.1	Pronóstico espacial de demanda	46
6.4.2	Perfiles de voltaje	47
6.4.3	AEM	48
6.4.4	Modelación de nuevos parques solares	49
6.5	Regulaciones consideradas	50
6.6	Conclusiones.....	51
6.7	Trabajos a futuro	51

CONTENIDO DE TABLAS

TABLA Nro. 1:	Potencias nominal y efectiva (MW), diciembre 2022	8
TABLA Nro. 2:	Longitud de líneas de transmisión por nivel de voltaje, diciembre 2022	12
TABLA Nro. 3:	Principales indicadores de infraestructura para empresas de distribución eléctrica, diciembre 2022	13
TABLA Nro. 4:	Cantidad de consumidores, diciembre 2022	15
TABLA Nro. 5:	Balance nacional de energía eléctrica	20
TABLA Nro. 6:	Demanda máxima por tipo de generación (MW), año móvil.....	29
TABLA Nro. 7:	Demanda máxima de potencia (MW), plurianual	30
TABLA Nro. 8:	Energía Bruta (GWh)	33

CONTENIDO DE FIGURAS

FIGURA Nro. 1:	Comparativo de potencia nominal (MW), diciembre 2022.....	9
FIGURA Nro. 2:	Evolución histórica de potencia nominal por tipo de fuente (MW), 2012 – diciembre 2022.....	10
FIGURA Nro. 3:	Potencia nominal por provincia, diciembre 2022.....	11
FIGURA Nro. 4:	Crecimiento del sistema de transmisión (km), 2012 – diciembre 2022	12
FIGURA Nro. 5:	Número de consumidores de las empresas eléctricas de distribución entre 2012 y diciembre 2022	17
FIGURA Nro. 6:	Consumidores por provincia, diciembre 2022	18
FIGURA Nro. 7:	Potencia nominal (MW), diciembre 2022	20
FIGURA Nro. 8:	Potencia efectiva (MW), diciembre 2022	20
FIGURA Nro. 9:	Producción de energía e importaciones (GWh), 2022	21
FIGURA Nro. 10:	Producción de energía e importaciones SNI (GWh), 2022	22
FIGURA Nro. 11:	Energía entregada para servicio público (GWh), 2022	23
FIGURA Nro. 12:	Consumo de energía (GWh), 2022.....	25
FIGURA Nro. 13:	Demanda máxima diaria (MW), diciembre 2022.....	27

FIGURA Nro. 14:	Producción energética día máxima demanda, diciembre 2022 (MWh)	27
FIGURA Nro. 15:	Demanda máxima no coincidente (MW) por distribuidora, diciembre 2022	28
FIGURA Nro. 16:	Demanda máxima mensual (MW), 2022	29
FIGURA Nro. 17:	Evolución de la demanda máxima período 2013-2022	31
FIGURA Nro. 18:	Demanda máxima de potencia (MW), plurianual	31
FIGURA Nro. 19:	Energía renovable (GWh)	33
FIGURA Nro. 20:	Energía no renovable (GWh)	34
FIGURA Nro. 21:	Energía bruta por tipo de fuente (GWh)	34
FIGURA Nro. 22:	Energía bruta renovable y no renovable (GWh)	35
FIGURA Nro. 23:	Comparativo energía bruta (GWh)	35
FIGURA Nro. 24:	Espectro electromagnético	37
FIGURA Nro. 25:	Medidor RF y antena de comunicación	38
FIGURA Nro. 26:	Cantidad de lecturas por clase, enero 2022	39
FIGURA Nro. 27:	Guía GPS de sectores intervenidos y fotografía de una de la comunidades beneficiadas	40
FIGURA Nro. 28:	Toma de lecturas a distancia	40
FIGURA Nro. 29:	Cantidad de lecturas por clase, enero 2023	41
FIGURA Nro. 30:	Flujo de trabajo de la metodología	46
FIGURA Nro. 31:	Método de Template Matching modificado por [6]	47
FIGURA Nro. 32:	Flujo de carga del alimentador Cunchibamba de la S/E Samanga	47
FIGURA Nro. 33:	Distancias a las líneas eléctricas de transmisión y subtransmisión referente a la EEASA en ArcGIS	48
FIGURA Nro. 34:	Irradiación solar referente a la EEASA en ArcGIS	48
FIGURA Nro. 35:	Modelo de análisis espacial multicriterio implementado en Model Builder del ArcGIS	49
FIGURA Nro. 36:	Sitios altamente idóneos para implementar sistemas PV en el período 2030. Provincia de Tungurahua	50



CAPÍTULO

1

INFRAESTRUCTURA DEL SECTOR ELÉCTRICO ECUATORIANO

CAPÍTULO

1








INFRAESTRUCTURA DEL SECTOR ELÉCTRICO ECUATORIANO

En esta sección se presenta un resumen de la información de infraestructura del sector eléctrico ecuatoriano, a diciembre de 2022.

1.1 GENERACIÓN

En la tabla Nro. 1 se aprecian las potencias nominal y efectiva clasificadas por sistema, tipo de energía y empresa:

Tabla Nro. 1: Potencias nominal y efectiva (MW), diciembre 2022

		DICIEMBRE 2022	
		Potencia Nominal (MW)	Potencia Efectiva (MW)
Por sistema			
	Sistema Nacional Interconectado	7.496,69	7.176,00
	No Incorporado	1.367,68	1.043,56
Por tipo de energía			
	Renovable	5.449,72	5.393,82
	No Renovable	3.414,65	2.825,73
Por empresa			
	Generadora	6.711,83	6.471,26
	Autogeneradora	1.699,91	1.365,74
	Distribuidora	452,63	382,56

8.864,37
Potencia Nominal (MW)

8.219,55
Potencia Efectiva (MW)



En las figuras Nros. 1 y 2 se aprecian el comparativo y la evolución de la potencia nominal instalada a diciembre de 2022.

Figura Nro. 1: Comparativo de potencia nominal (MW), diciembre 2022

8.864,37 MW

Diciembre 2022

POTENCIA NOMINAL (MW)

Sistema

1.367,68	No Incorporado
7.496,69	Sistema Nacional Interconectado



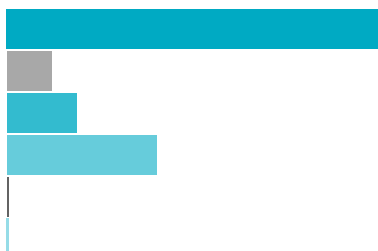
Tipo Empresa

6.711,83	Generadora
1.699,91	Autogeneradora
452,63	Distribuidora



Tipo de Central

5.191,30	Hidráulica
605,93	Turbovapor
943,85	Turbogas
2.041,50	MCI
53,15	Eólica
28,65	Solar



Tipo de Energía

3.414,65	No Renovable
5.449,72	Renovable



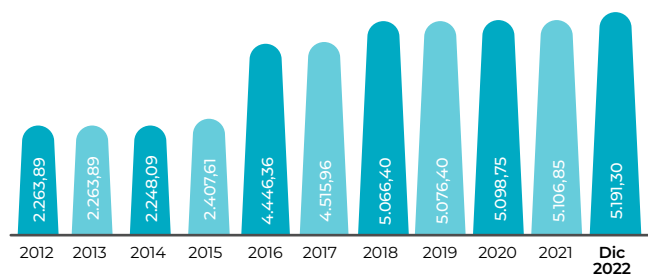
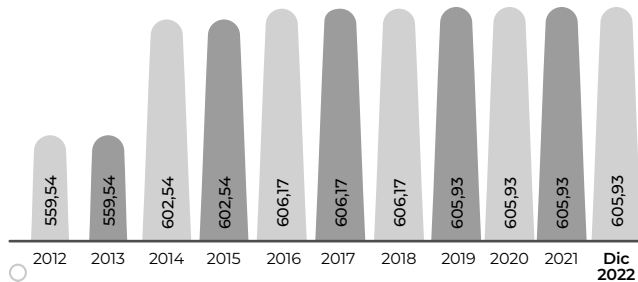
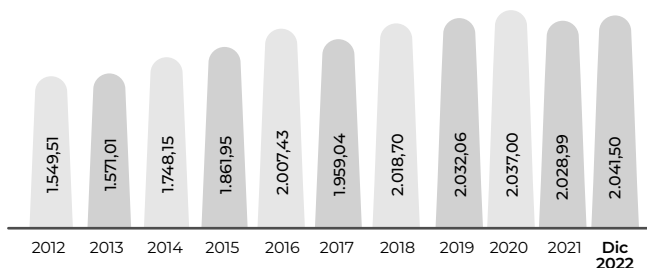
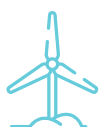
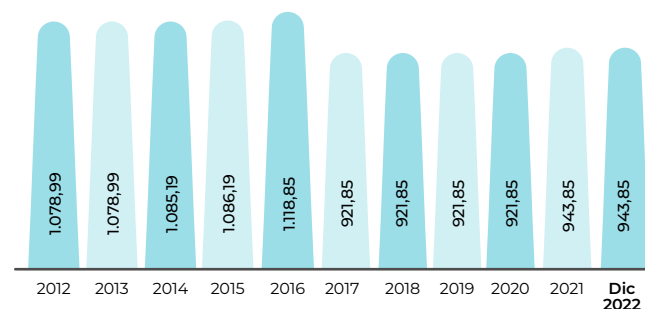
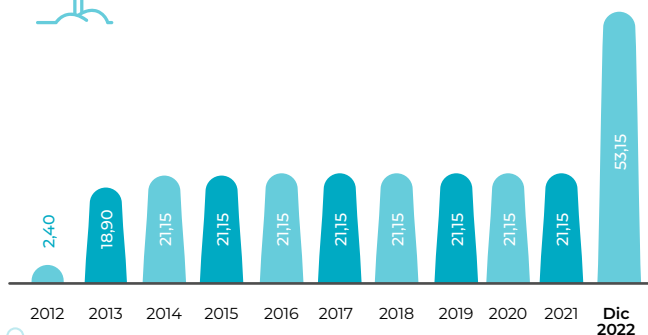
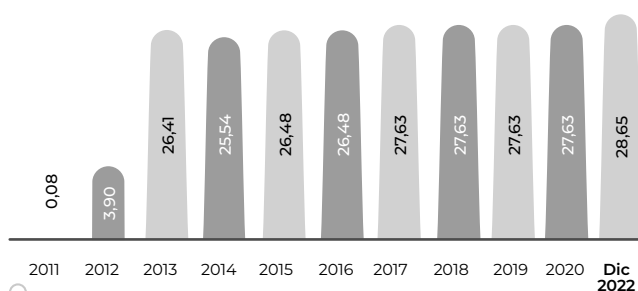
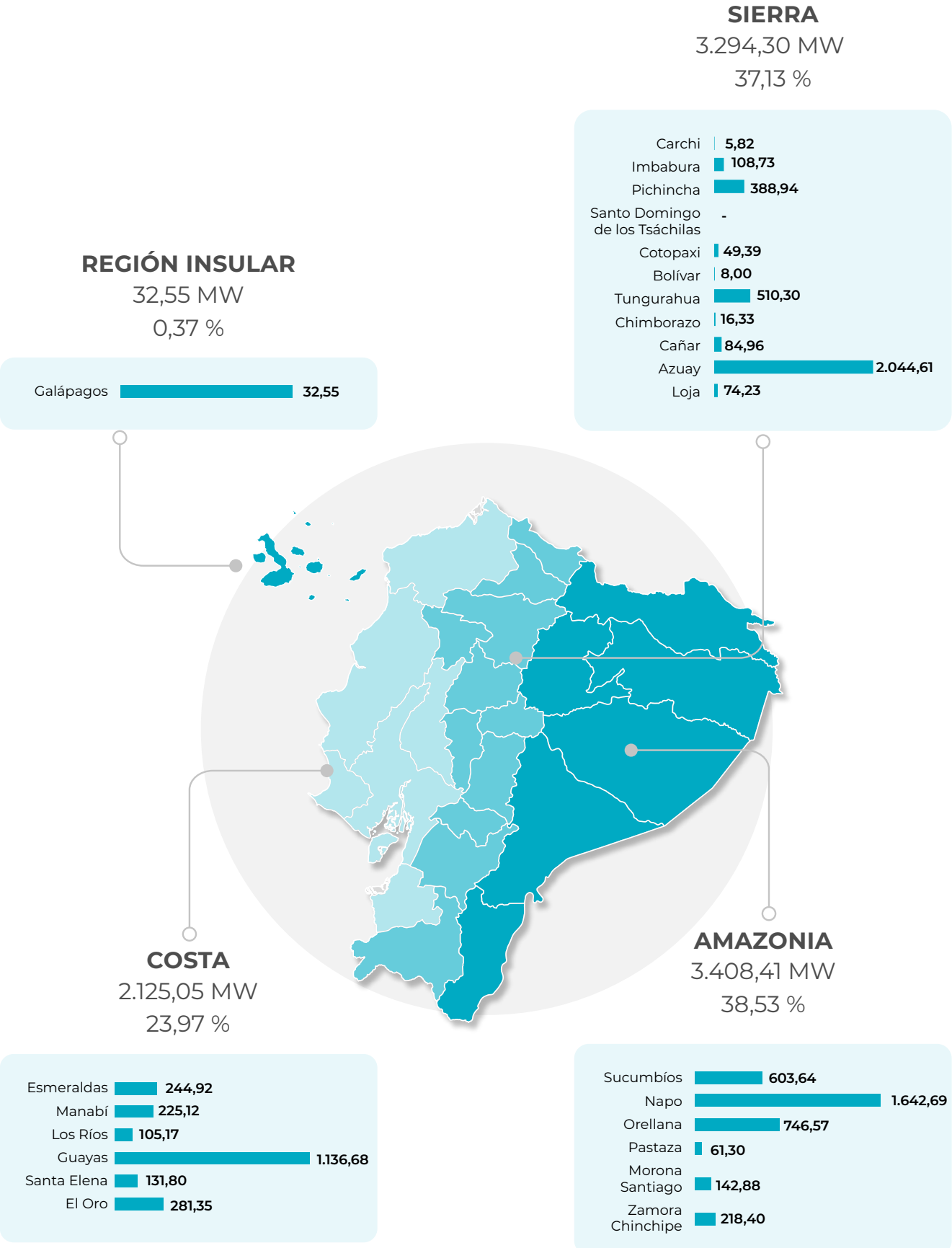
Figura Nro. 2: Evolución histórica de potencia nominal por tipo de fuente (MW), 2012 – diciembre 2022**HIDRÁULICA****TURBOVAPOR****MCI****TURBOGAS****EÓLICA****SOLAR**




Figura Nro. 3: Potencia nominal por provincia, diciembre 2022



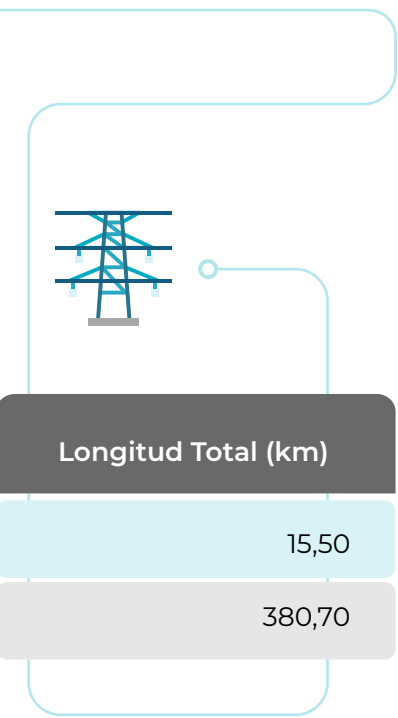
1.2 TRANSMISIÓN

En la tabla Nro. 2 se resumen las longitudes de líneas de transmisión, clasificándolas por nivel de voltaje y datos de líneas de interconexión.

Tabla Nro. 2: Longitud de líneas de transmisión por nivel de voltaje, diciembre 2022

Sistema Nacional Interconectado		Diciembre
		Longitud km
	500 kV	610,00
	230 kV	3.300,44
	138 kV	2.538,07

Líneas de Interconexión	Longitud hasta la frontera (km)	Longitud Total (km)
138 kV (Simple Circuito)	7,50	15,50
230kV (Dobles Circuito)	169,94	380,70



En la figura Nro. 4 se observa el crecimiento del sistema de transmisión por nivel de voltaje, de acuerdo con la longitud en kilómetros.

Figura Nro. 4: Crecimiento del sistema de transmisión (km), 2012 – diciembre 2022 (1/2)

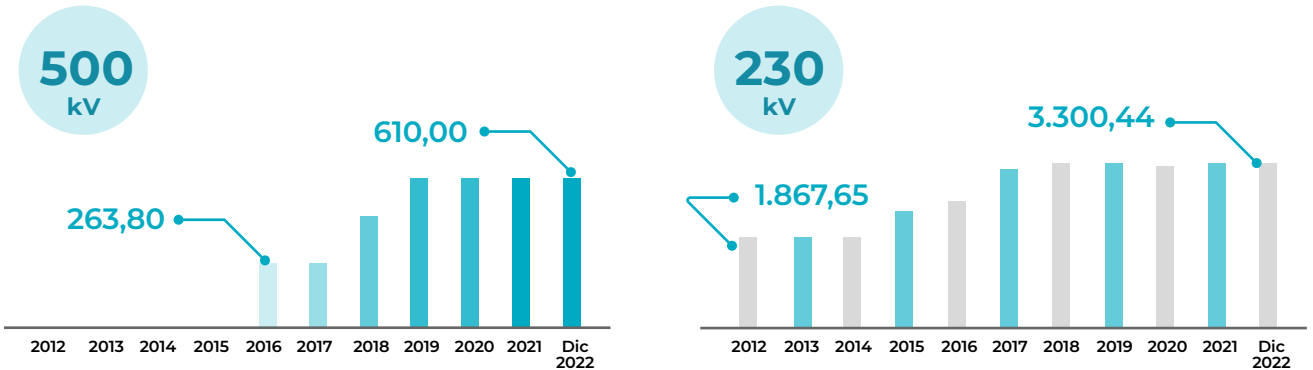
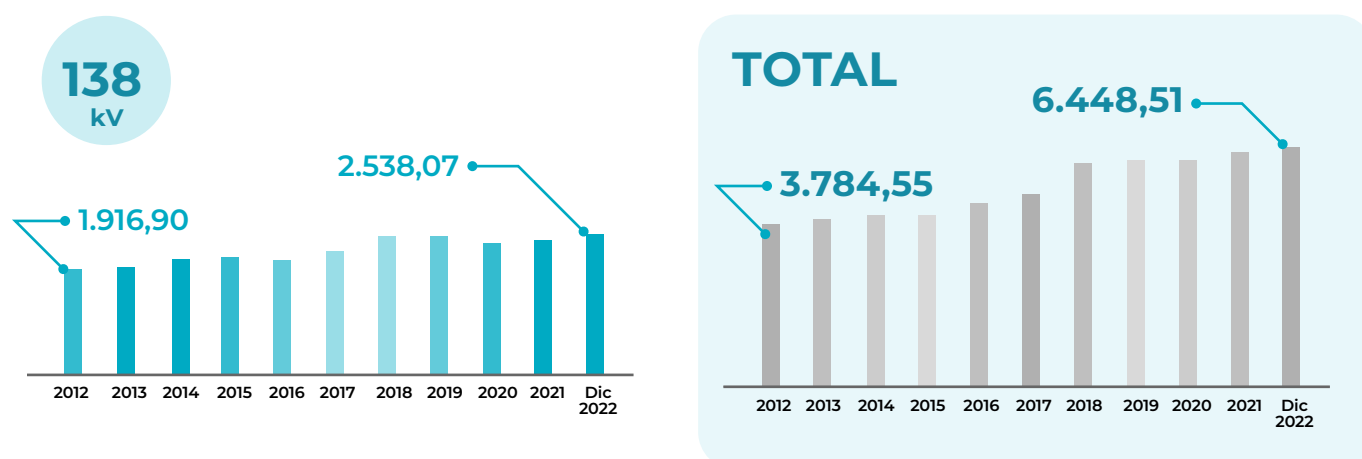


Figura Nro. 4: Crecimiento del sistema de transmisión (km), 2012 – diciembre 2022 (2/2)

1.3 DISTRIBUCIÓN

En la tabla Nro. 3 se presenta información de infraestructura de los principales componentes de los sistemas de distribución, tales como: redes de medio y bajo voltaje, transformadores, luminarias, entre otros; para cada una de las empresas de distribución del país.

Tabla No. 3 Principales indicadores de infraestructura para empresas de distribución eléctrica, diciembre 2022 (1/2)

111.276 km	360.223 Cantidad	1.857.971 Cantidad	
Media tensión	Transformadores MT	Luminarias	
105.469 km	14.101 MVA	305.888 kW	5.556.086 Cantidad
Baja tensión	Transformadores MT	Luminarias	Medidores

Empresa	Media tensión	Transformadores		Baja tensión	Luminarias		Medidores
	km	#	MVA	km	#	kW	#
CNEL-Bolívar	3.270,34	6.289	95,36	3.378,06	24.156	3.831,68	69.562
CNEL-EI Oro	5.674,64	15.490	683,68	3.664,61	97.176	17.873,45	273.909
CNEL-Esmeraldas	4.890,30	10.455	338,43	3.020,21	55.066	9.791,97	133.331
CNEL-Guayaquil	2.889,61	36.898	2.518,11	5.360,69	180.187	29.712,72	712.019
CNEL-Guayas Los Ríos	8.685,82	34.787	1.404,34	5.751,84	106.270	19.678,06	357.682
CNEL-Los Ríos	3.737,19	11.273	366,74	2.290,42	36.070	6.534,96	143.390

Tabla No. 3 Principales indicadores de infraestructura para empresas de distribución eléctrica, diciembre 2022 (2/2)

Empresa	Media tensión	Transformadores		Baja tensión	Luminarias		Medidores
	km	#	MVA	km	#	kW	#
CNEL-Manabí	8.479,27	29.619	910,38	7.157,67	137.515	25.055,52	337.483
CNEL-Milagro	4.526,98	13.523	440,78	2.272,91	55.676	10.595,62	158.012
CNEL-Sta. Elena	2.376,37	9.900	441,72	1.878,04	47.821	8.429,26	135.600
CNEL-Sto. Domingo	10.146,13	24.875	513,23	6.584,83	89.353	15.803,16	263.524
CNEL-Sucumbíos	5.396,79	10.646	290,43	4.758,30	52.578	7.041,40	106.947
E.E. Ambato	6.152,68	17.084	471,68	8.596,02	147.904	21.239,92	297.433
E.E. Azogues	847,73	2.262	63,78	1.534,81	19.178	3.253,62	40.516
E.E. Centro Sur	10.645,91	27.914	910,25	13.280,33	172.683	31.470,45	428.895
E.E. Cotopaxi	4.410,14	10.468	307,76	5.973,40	58.666	8.950,28	153.675
E.E. Galápagos	361,96	1.258	42,76	278,90	6.448	758,12	14.008
E.E. Norte	6.426,46	18.876	539,84	7.340,61	123.100	17.442,60	268.792
E.E. Quito	9.266,68	43.779	3.060,05	11.043,07	298.718	49.235,81	1.248.226
E.E. Riobamba	4.380,09	14.823	306,44	5.574,32	75.036	9.914,80	188.200
E.E. Sur	8.710,92	20.004	394,99	5.729,57	74.370	9.274,48	224.882



Cambio medidores/Azuay/E.E. Centro Sur

La tabla Nro. 4 y figura Nro. 6 permiten apreciar la cantidad de usuarios por empresa distribuidora y por provincia a diciembre 2022.

Tabla No. 4 Cantidad de consumidores, diciembre 2022 (1/2)

Empresa	Clientes Regulados				Total Regulados	No Regulados	General
	Residencial	Comercial	Industrial	Otros			
CNEL-Guayaquil	628.705	76.015	2.183	5.132	712.035	46	712.081
CNEL-Guayas Los Ríos	332.690	19.657	805	6.040	359.192	15	359.207
CNEL-Manabí	313.290	18.448	511	5.248	337.497	10	337.507
CNEL-El Oro	247.538	21.021	1.607	3.856	274.022	2	274.024
CNEL-Sto. Domingo	233.426	26.482	289	3.332	263.529	4	263.533
CNEL-Milagro	144.249	11.971	173	1.638	158.031	3	158.034
CNEL-Esmeraldas	122.459	8.360	336	2.463	133.618	3	133.621
CNEL-Los Ríos	133.520	7.735	341	1.803	143.399	2	143.401
CNEL-Sta. Elena	123.969	9.556	206	2.228	135.959	4	135.963
CNEL-Sucumbíos	92.176	12.146	469	2.482	107.273	1	107.274
CNEL-Bolívar	64.344	3.638	119	1.460	69.561	-	69.561
CNEL EP	2.436.366	215.029	7.039	35.682	2.694.116	90	2.694.206
E.E. Quito	1.076.269	142.786	12.340	17.624	1.249.019	95	1.249.114
E.E. Centro Sur	383.802	36.882	4.970	6.878	432.532	9	432.541
E.E. Ambato	258.834	28.766	5.955	3.972	297.527	6	297.533
E.E. Norte	235.039	27.719	2.696	3.798	269.252	6	269.258

Tabla No. 4 Cantidad de consumidores, noviembre 2022 (2/2)

Empresa	Clientes Regulados				Total Regulados	No Regulados	General
	Residencial	Comercial	Industrial	Otros			
E.E. Sur	198.140	18.775	1.326	6.845	225.086	2	225.088
E.E. Riobamba	164.878	19.441	701	3.314	188.334	2	188.336
E.E. Cotopaxi	135.864	11.986	3.567	2.387	153.804	4	153.808
E.E. Azogues	36.790	2.738	442	607	40.577	1	40.578
E.E. Galápagos	10.968	2.327	183	544	14.022	-	14.022
Empresas Eléctricas	2.500.584	291.420	32.180	45.969	2.870.153	125	2.870.278
Total	4.936.950	506.449	39.219	81.651	5.564.269	215	5.564.484

En la tabla Nro. 4 no se contabiliza como consumidores regulados a los suministros asociados con la prestación del Servicio de Alumbrado Público General (SAPG) que fueron reportados por las distribuidoras; esto considerando lo estipulado en la Regulación denominada "Prestación del Servicio de Alumbrado Público General" que establece que los usuarios del servicio de alumbrado público general son todas las personas que utilizan el SAPG.



Celda robotizada/Tungurahua/CELEC Hidroagoyán

En la figura Nro. 5, se aprecia el incremento de usuarios durante el periodo 2012 a diciembre 2022, por empresa eléctrica y Unidad de Negocio CNEL EP.

Figura Nro. 5: Número de consumidores de las empresas eléctricas de distribución entre 2012 y diciembre 2022

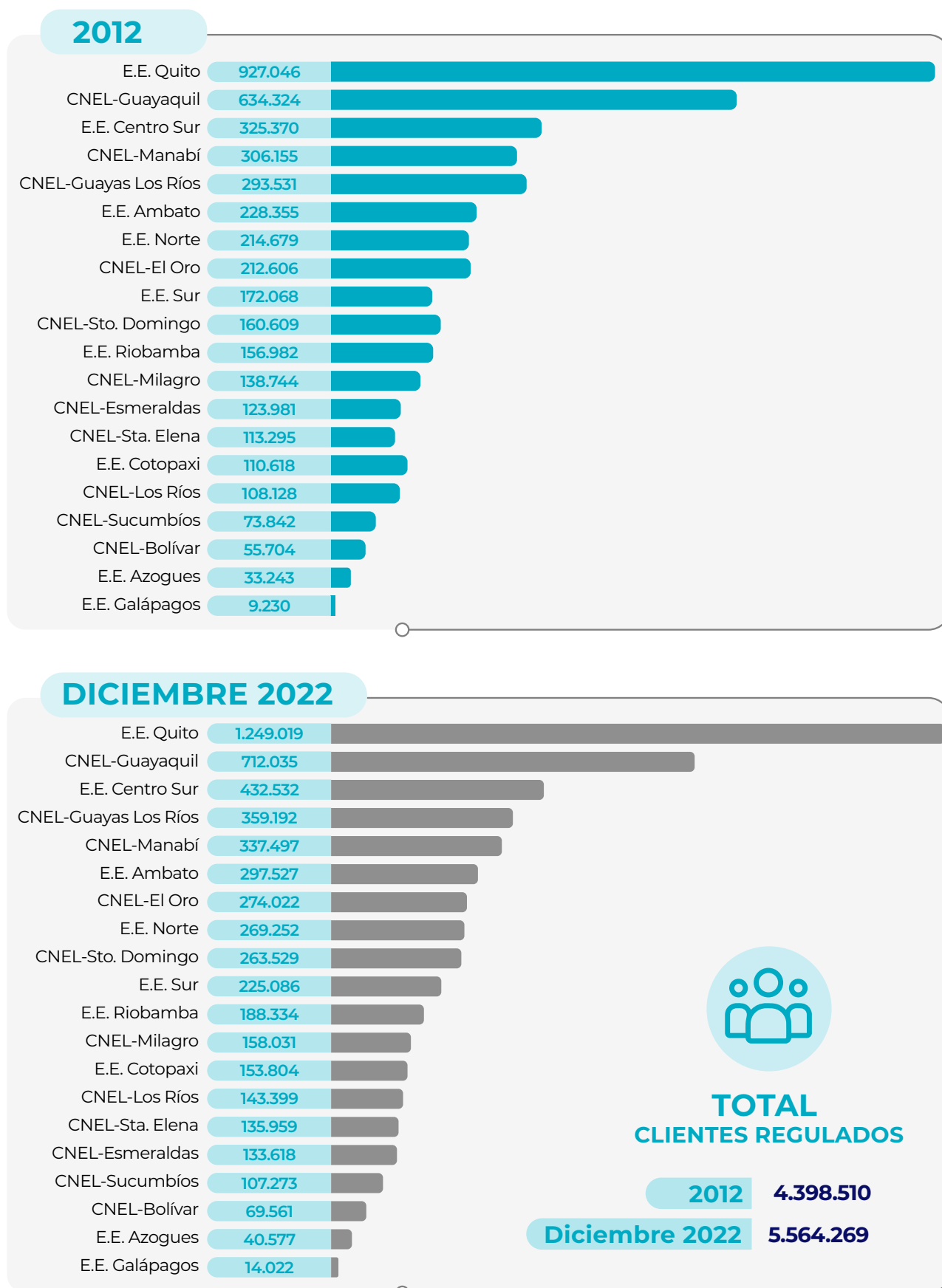
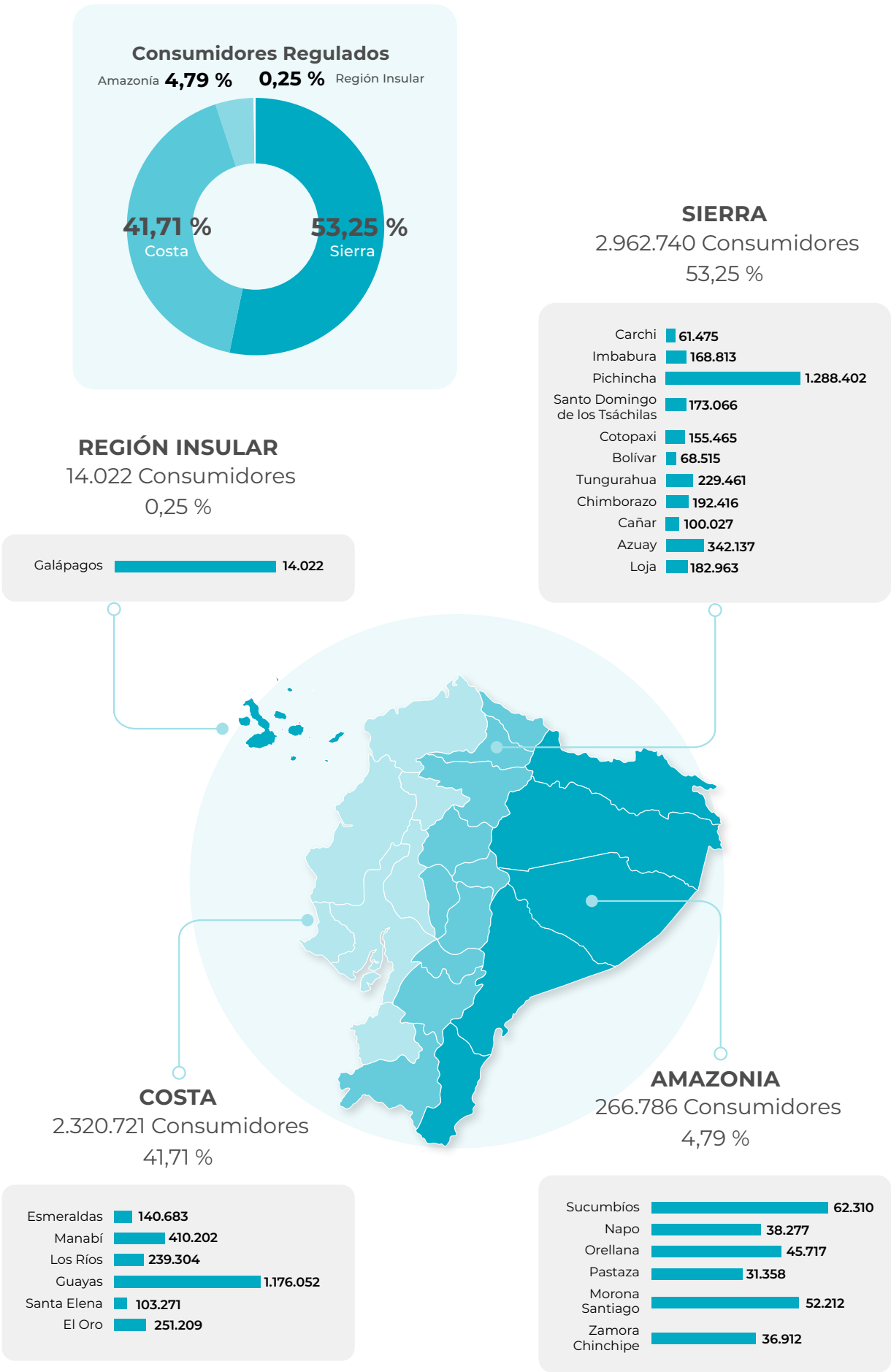


Figura Nro. 6: Consumidores por provincia, diciembre 2022





CAPÍTULO 2

BALANCE NACIONAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA

CAPÍTULO

2

BALANCE NACIONAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA

En esta sección se presenta información relevante del sector eléctrico ecuatoriano en los ámbitos de generación, transmisión, transacciones internacionales de electricidad, distribución y comercialización.

Tabla Nro. 5: Balance nacional de energía eléctrica (1/6)

Potencia en Generación de Energía Eléctrica	Dic 2022 (MW)	Dic 2021 (MW)	Variación 2022-2021
Nominal	8.864,37	8.734,41	1,49
Renovable	5.425,72	5.308,27	2,21
Hidráulica	5.191,30	5.106,85	1,65
Eólica	53,15	21,15	151,30
Fotovoltaica	28,65	27,65	3,62
Biomasa	144,30	144,30	-
Biogás	8,32	8,32	-
No Renovable	3.438,65	3.426,14	0,37
MCI	2.033,18	2.020,67	0,62
Turbogás	943,85	943,85	-
Turbovapor	461,63	461,63	-
Interconexión	650,00	650,00	-
Colombia	540,00	540,00	-
Perú	110,00	110,00	-

Potencia en Generación de Energía Eléctrica	Dic 2022 (MW)	Dic 2021 (MW)	Variación 2022-2021
Efectiva	8.219,55	8.100,68	1,47
Renovable	5.372,40	5.263,78	2,06
Hidráulica	5.151,31	5.072,26	1,56
Eólica	49,72	21,15	135,07
Fotovoltaica	27,76	26,76	3,74
Biomasa	136,40	136,40	-
Biogás	7,20	7,20	-
No Renovable	2.847,16	2.836,90	0,36
MCI	1.625,11	1.614,85	0,64
Turbogás	790,55	790,55	-
Turbovapor	431,50	431,50	-
Interconexión	635,00	635,00	-
Colombia	525,00	525,00	-
Perú	110,00	110,00	-

Figura Nro. 7: Potencia nominal (MW), diciembre 2022

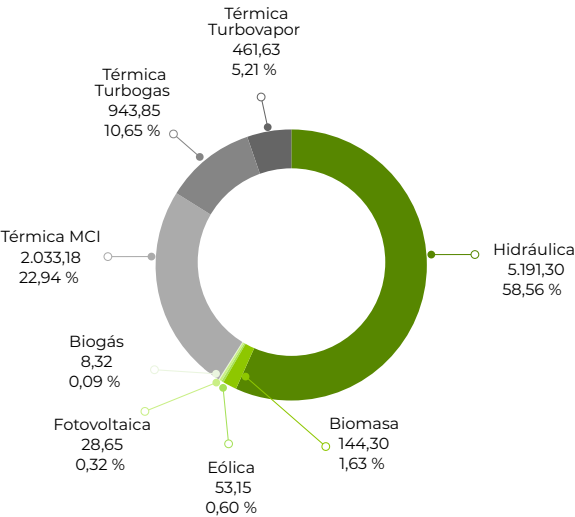


Figura Nro. 8: Potencia efectiva (MW), diciembre 2022

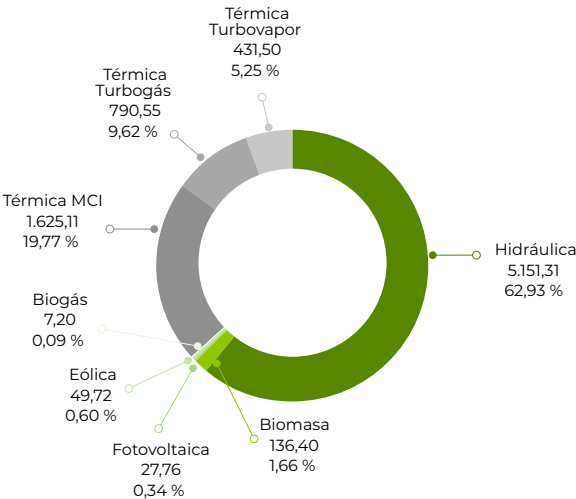


Tabla Nro. 5: Balance nacional de energía eléctrica (2/6)











Producción de Energía e Importaciones	2022 GWh	2021 GWh	Variación 2022-2021 %
Total	33.474,13	32.578,04	2,75
Nacional	33.008,30	32.214,24	2,46
Renovable	25.123,93	26.088,42	(3,70)
 Hidráulica	24.635,16	25.574,61	(3,67)
 Eólica	60,60	62,01	(2,28)
 Fotovoltaica	38,50	36,87	4,43
 Biomasa	348,08	372,80	(6,63)
 Biogás	41,59	42,13	(1,29)
No Renovable	7.884,37	6.125,82	28,71
 MCI	5.366,38	4.342,93	23,57
 Turbogás	1.021,54	911,82	12,03
 Turbovapor	1.496,46	871,07	71,80
Importación	465,83	363,80	28,04
 Colombia	465,30	363,80	27,90
 Perú	0,53	-	-

Figura Nro. 9: Producción de energía e importaciones (GWh), 2022

Hidráulica



Tabla Nro. 5: Balance nacional de energía eléctrica (3/6)











Producción de Energía e Importaciones		2022 GWh	2021 GWh	Variación 2022-2021 %
SNI		29.328,83	28.537,30	2,77
Nacional		28.863,00	28.173,50	2,45
Renovable		25.105,23	26.063,96	(3,68)
	Hidráulica	24.624,39	25.555,53	(3,64)
	Eólica	57,89	60,06	(3,62)
	Fotovoltaica	33,28	33,44	(0,50)
	Biomasa	348,08	372,80	(6,63)
	Biogás	41,59	42,13	(1,29)
No Renovable		3.757,77	2.109,54	78,13
	MCI	1.557,76	671,95	131,83
	Turbogás	703,56	594,53	18,34
	Turbovapor	1.496,45	843,06	77,50
Importación		465,83	363,80	28,08
	Colombia	465,30	363,80	27,90
	Perú	0,53	-	-

Figura Nro. 10: Producción de energía e importaciones SNI (GWh), 2022

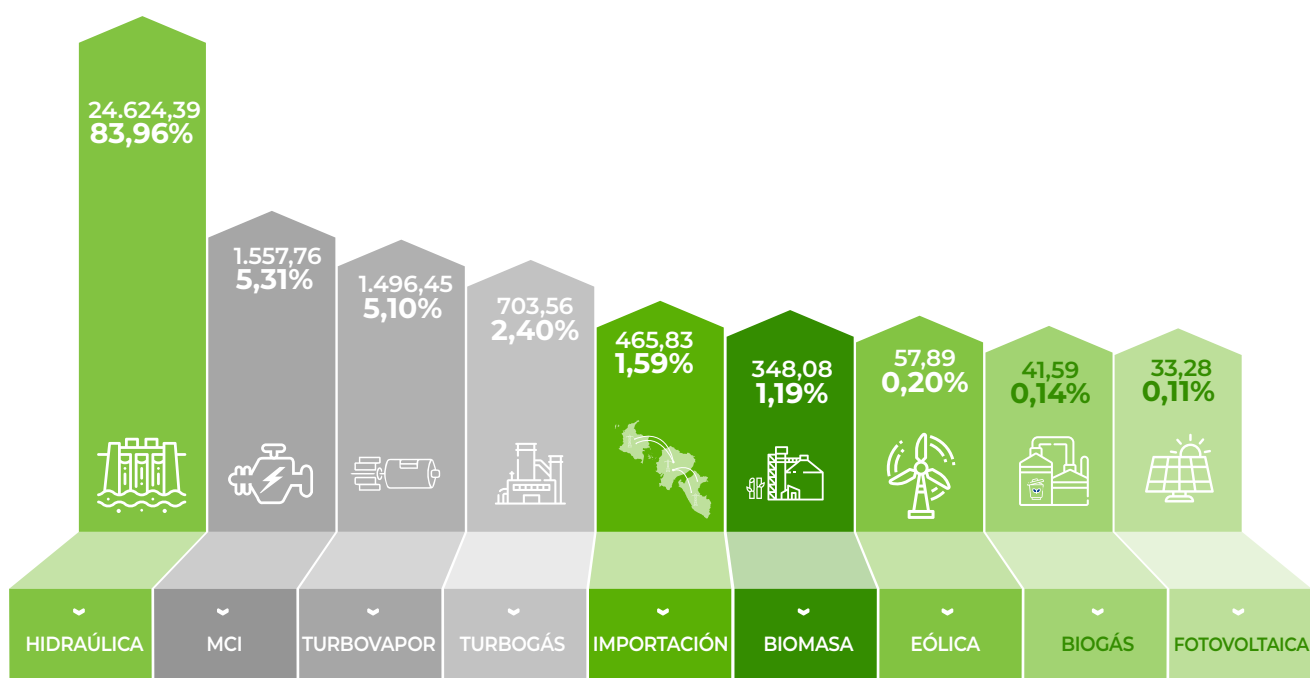


Tabla Nro. 5: Balance nacional de energía eléctrica (4/6)











Energía Entregada		2022 GWh	2021 GWh	Variación 2022-2021 %
Servicio Público		27.366,29	26.526,95	3,16
Nacional		26.900,46	26.163,15	2,82
Renovable		23.342,83	24.333,42	(4,07)
	Hidráulica	23.058,85	24.047,79	(4,11)
	Eólica	59,55	60,83	(2,10)
	Fotovoltaica	37,41	36,02	3,85
	Biomasa	145,54	146,84	(0,89)
	Biogás	41,48	41,94	(1,08)
No Renovable		3.557,62	1.829,73	94,43
	MCI	1.489,79	480,23	210,22
	Turbogás	685,29	575,94	18,99
	Turbovapor	1.382,55	773,56	78,73
Importación		465,83	363,80	28,04
	Colombia	465,30	363,80	27,90
	Perú	0,53	-	-

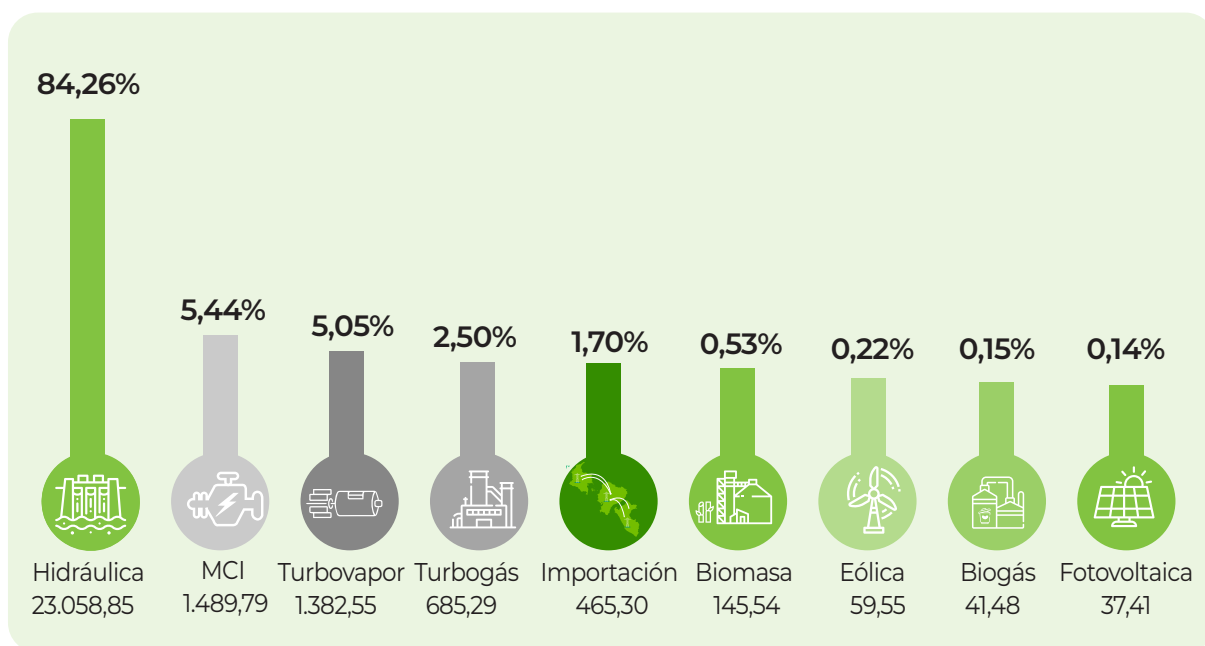






Figura Nro. 11: Energía entregada para servicio público (GWh), 2022

Tabla Nro. 5: Balance nacional de energía eléctrica (5/6)






Energía Entregada	2022 GWh	2021 GWh	Variación 2022-2021 %
Total	29.123,37	28.166,64	3,40
Servicio Público	27.365,76	26.526,95	3,16
Demanda No Regulada	1.757,61	1.639,69	7,19
Pérdidas de Energía en Transmisión	1.292,73	1.191,73	8,48
Energía Disponible	27.830,63	26.974,91	3,17
Exportación	192,14	524,13	(63,34)
 Colombia	159,62	479,81	(66,73)
 Perú	32,52	44,32	(26,62)
Sistemas de Distribución	27.638,49	26.450,78	4,49
Consumo Total Energía Eléctrica ⁽¹⁾	23.975,90	22.997,92	4,25
Pérdidas de Energía en Distribución ⁽²⁾	3.662,60	3.452,87	6,07
 Técnicas	1.720,55	1.726,35	(0,34)
 No Técnicas	1.942,05	1.726,52	12,48
	%	%	Puntos porcentuales
Pérdidas Porcentuales en Distribución	13,25	13,05	0,20
 Técnicas	6,23	6,53	(0,30)
 No Técnicas	7,03	6,53	0,50

(1) Valor obtenido de los balances de energía reportados por las empresas distribuidoras.

(2) El valor de pérdidas de energía del 2021 se actualizó con motivo de los recientes ajustes efectuados por las empresas distribuidoras.

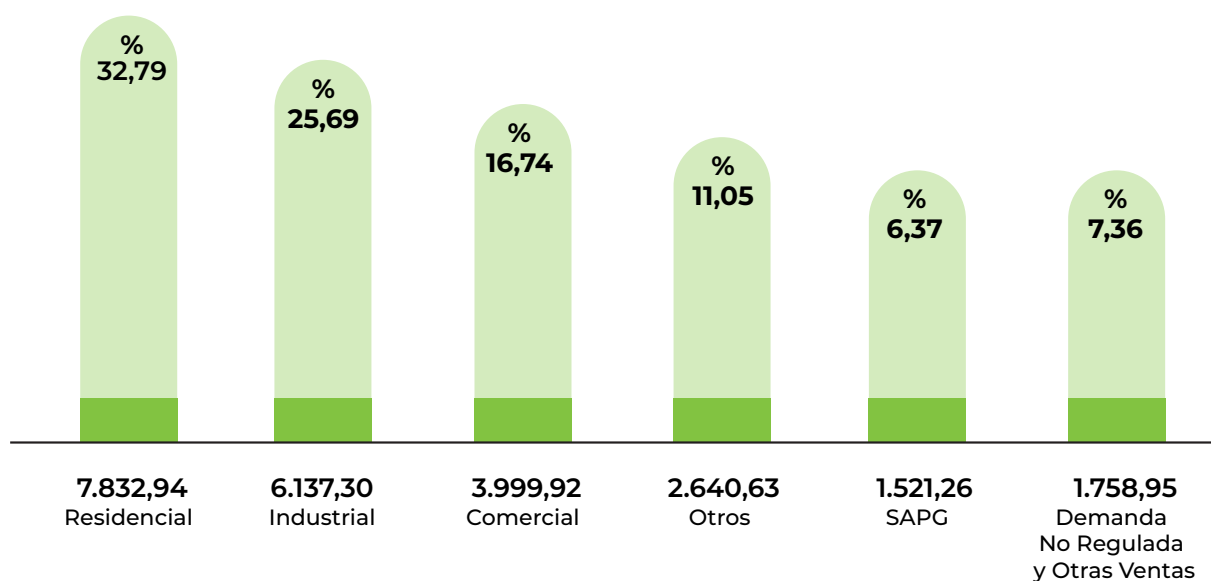


Tabla Nro. 5: Balance nacional de energía eléctrica (6/6)

Energía Facturada por Servicio Eléctrico	2022 GWh	2021 GWh	Variación 2022-2021 %
Total	23.891,14	22.889,38	4,38
Demanda Regulada	22.132,19	21.248,40	4,16
 Residencial	7.832,94	7.959,12	(1,59)
 Industrial	6.137,30	5.660,46	8,42
 Comercial	3.999,92	3.740,77	6,93
 Otros	2.640,63	2.431,45	8,60
 SAPG	1.521,40	1.456,60	4,45
Demanda No Regulada y Otras Ventas ⁽¹⁾	1.758,95	1.640,98	7,19
Valores Facturados y Recaudados	MUSD	MUSD	%
Facturación Servicio Eléctrico	2.047,08	1.973,20	3,74
Recaudación Servicio Eléctrico ⁽²⁾	2.023,90	1.963,62	3,07
Indicadores de Calidad del Servicio Técnico	Valor	Valor	%
Frecuencia Media de Interrupción (FMIK)	5,37	4,85	10,81
Tiempo Total de Interrupción (TTIK)	6,04	5,90	2,38

(1) La demanda no regulada corresponde a los consumos de energía de los grandes consumidores y de los consumos propios de autogeneradores. En Otras Ventas se incluye la energía entregada a usuarios ubicados en las fronteras de países vecinos, servidos mediante redes de distribución.

(2) Valores monetarios recaudados más subsidios.

Figura Nro. 12: Consumo de energía (GWh), 2022



CAPÍTULO 3

DEMANDA DE POTENCIA NACIONAL

CAPÍTULO

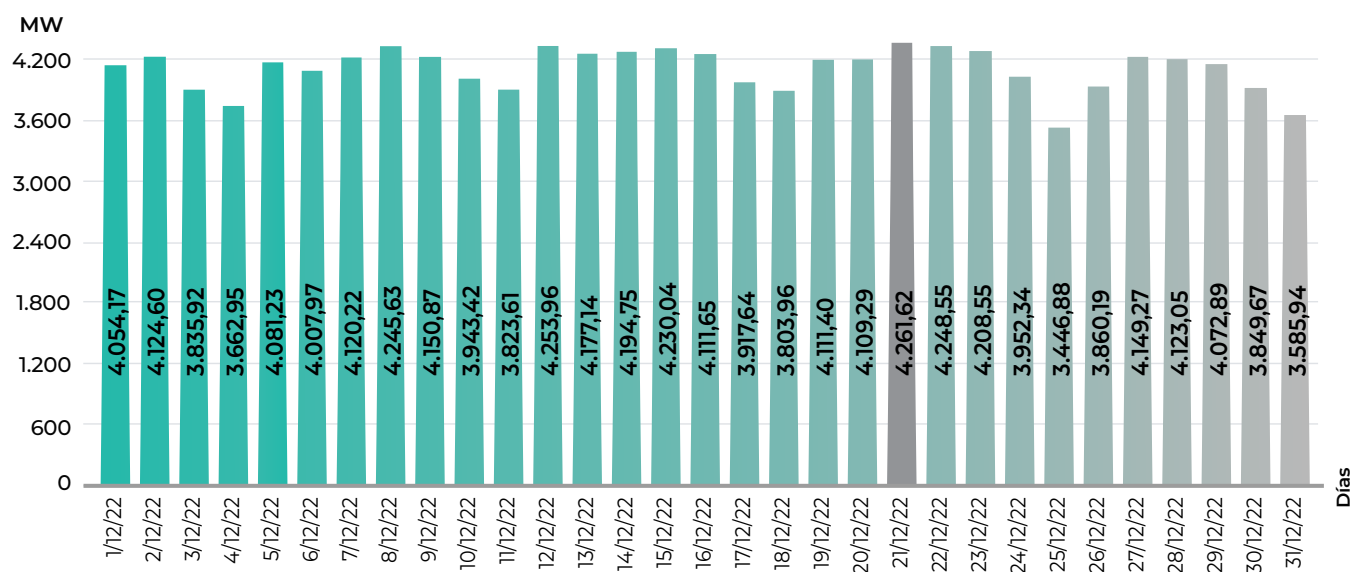
3

DEMANDA DE POTENCIA NACIONAL

3.1 DEMANDA DIARIA, DICIEMBRE 2022

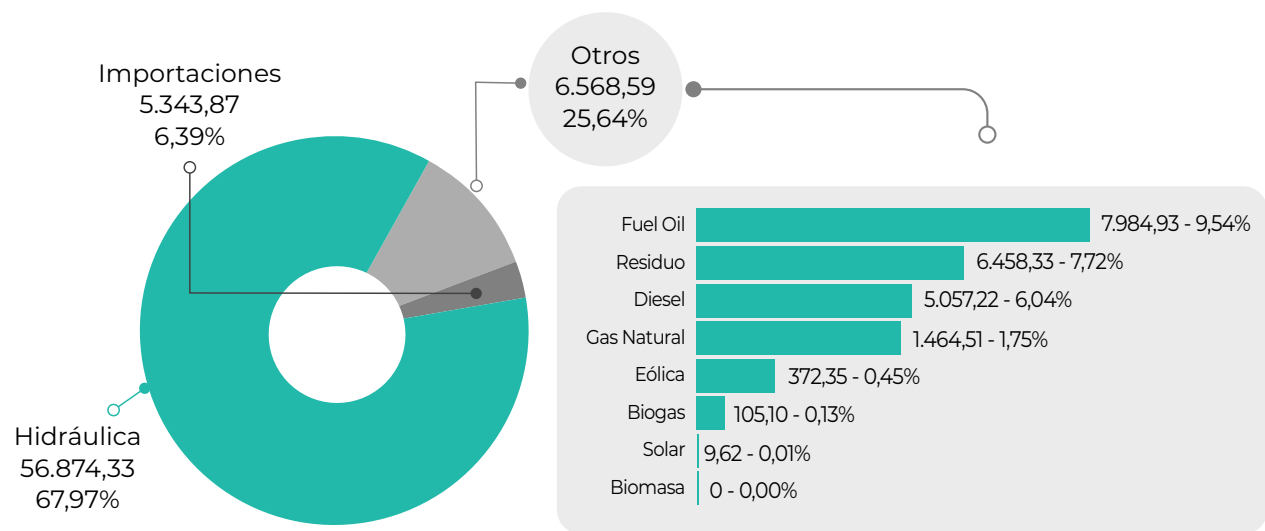
En la figura Nro. 13 se presenta la demanda diaria máxima obtenida en diciembre de 2022. El valor máximo mensual se registró el 21 de diciembre, con una demanda de 4.261,62 MW.

Figura Nro. 13: Demanda máxima diaria (MW), diciembre 2022



La figura Nro. 14 detalla la producción energética para el día de máxima demanda del mes de diciembre, en donde el 67,97 % (56.874,33 MWh) de la demanda fue abastecida con generación hidráulica, 25,05 % (21.452,05 MWh) con generación térmica, el 0,59 % (487,07 MWh) con ERNC y el restante 6,39 % (5.343,87 MWh) con importación.

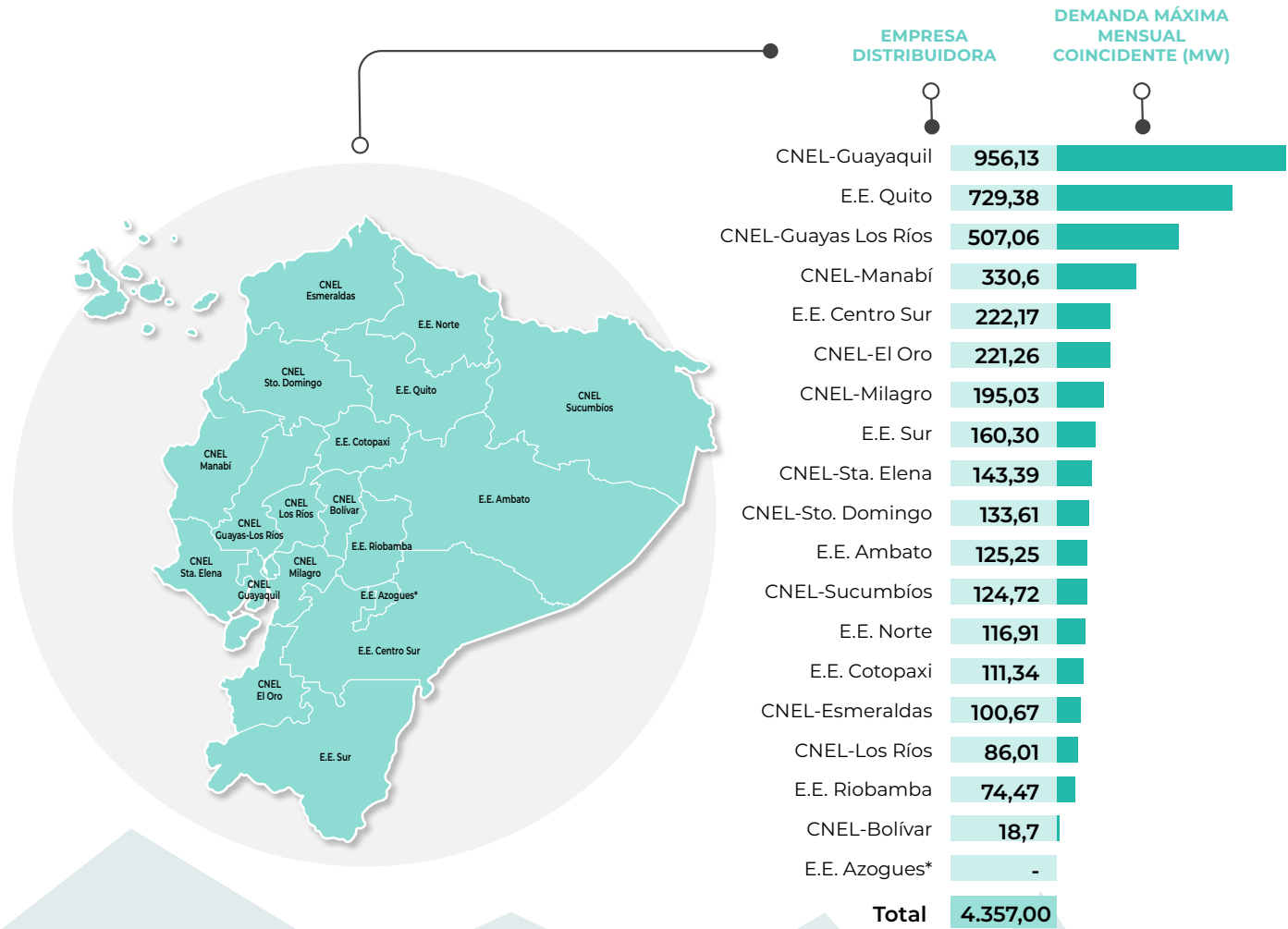
Figura Nro. 14: Producción energética día máxima demanda, diciembre 2022 (MWh)



En la figura Nro. 15 se presentan las demandas máximas no coincidentes del mes de diciembre de 2022, segmentadas por empresas distribuidoras. El valor máximo mensual de esta demanda se presentó el 12 de diciembre, llegando a un valor de 4.357,00 MW. Las distribuidoras con mayor consumo del día de máxima demanda del mes fueron:

- 1. CNEL EP Guayaquil con 956,13 MW
- 2. Empresa Eléctrica Quito con 729,38 MW
- 3. CNEL EP Guayas – Los Ríos con 507,06 MW

Figura Nro. 15: Demanda máxima no coincidente (MW) por distribuidora, diciembre 2022






* La demanda de la E.E. Azogues se encuentra inmersa en la E.E. Centro Sur.

3.2 DEMANDA MÁXIMA AÑO MÓVIL (ENERO – DICIEMBRE 2022)

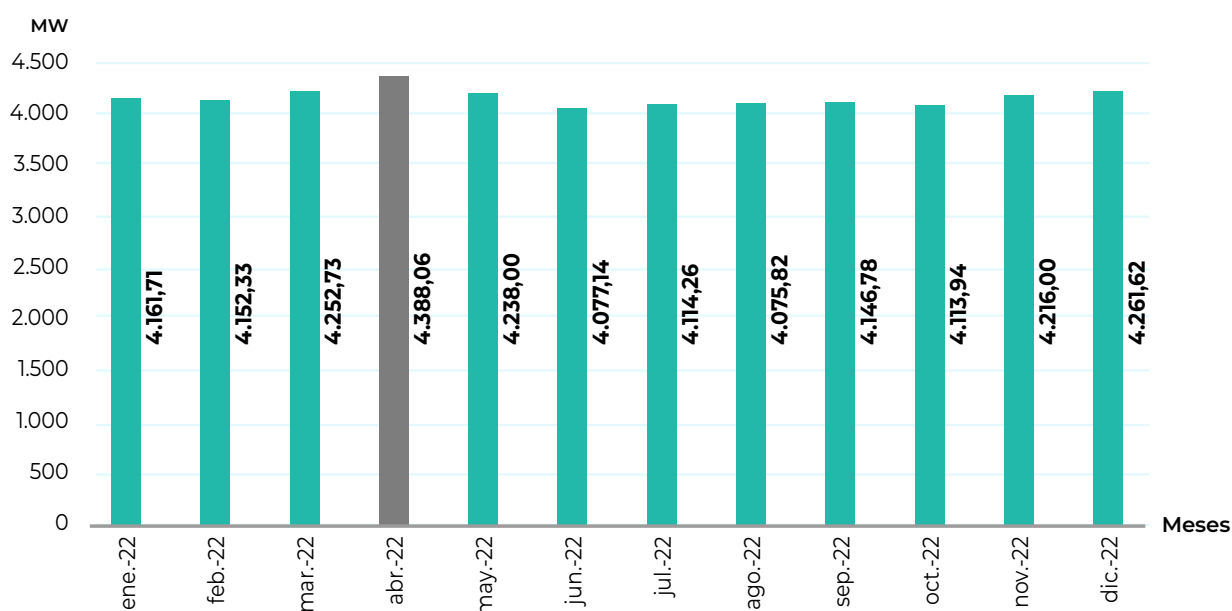
La tabla Nro. 6 muestra el valor máximo de la demanda de potencia en el año móvil (enero – diciembre 2022), segmentada por el tipo de generación utilizada para su suministro. Cabe mencionar que el abastecimiento de la demanda a través de energía renovable no convencional contempla el uso de centrales eólicas, fotovoltaicas y de biomasa.

Tabla Nro. 6 Demanda máxima por tipo de generación (MW), año móvil

Año	Mes	Demanda Máxima Mensual (MW)	Demanda Máxima por tecnología de generación (MW)		
			Hidráulica 	Renovable no Convencional 	Térmica 
2022	Enero	4.161,71	3.690,55	31,48	929,68
	Febrero	4.152,33	3.575,98	23,14	1.065,60
	Marzo	4.252,73	4.039,06	20,40	541,58
	Abril	4.388,06	4.098,39	22,73	765,88
	Mayo	4.238,00	3.988,84	24,54	436,04
	Junio	4.077,14	3.845,58	53,41	418,96
	Julio	4.114,26	3.930,98	80,35	713,87
	Agosto	4.075,82	3.942,47	84,15	615,66
	Septiembre	4.146,78	3.842,93	80,87	788,41
	Octubre	4.113,94	3.834,03	80,34	889,75
	Noviembre	4.216,00	3.780,87	82,63	857,84
	Diciembre	4.261,62	3.196,90	72,94	966,27

En la figura Nro. 16 se presentan las demandas de potencia máximas del 2022. Dentro de este período de análisis en abril de 2022 se registró el valor más alto de la demanda máxima, el cual alcanzó 4.388,67 MW.

Figura Nro. 16: Demanda máxima mensual (MW), 2022



3.3 EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA DEMANDA MÁXIMA, PERÍODO 2013 – 2022

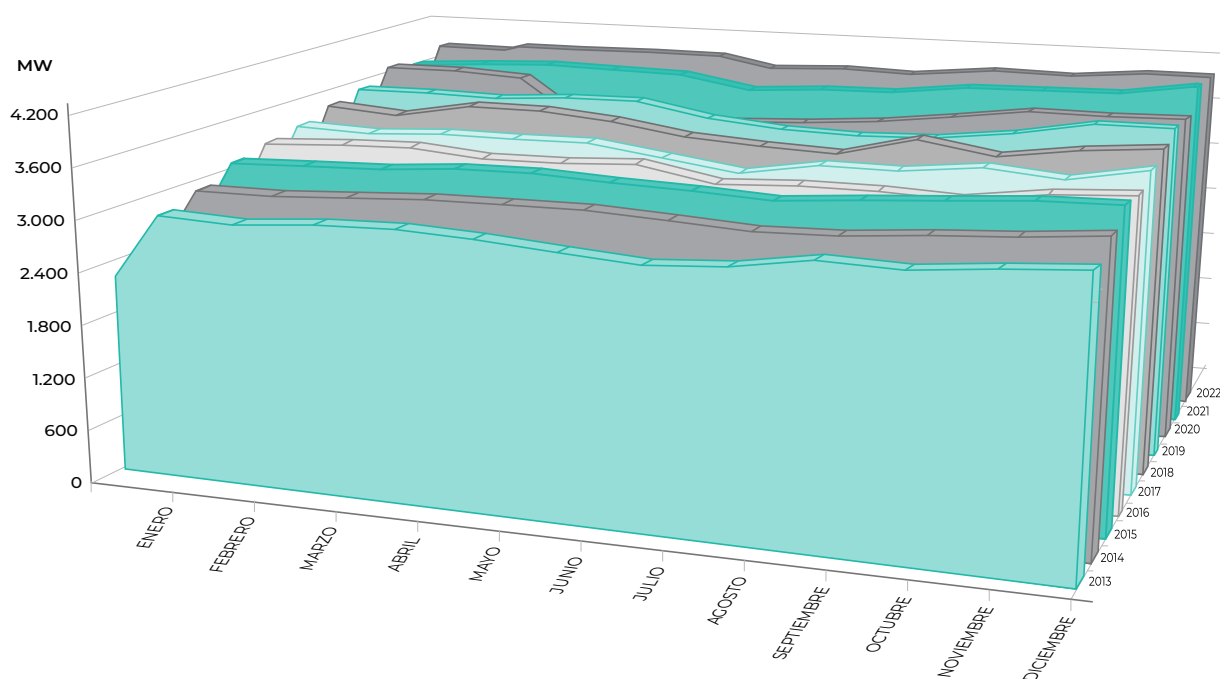
En un período de 10 años (enero 2013 – diciembre 2022), la demanda de potencia máxima pasó de 3.332,49 MW en el 2013 a 4.388,06 MW en el 2022, registrando un incremento del 31,68%. La tabla Nro. 7 resume el detalle de las demandas máximas del período de análisis y la figura Nro.17 muestra el despliegue de la demanda plurianual.

Tabla Nro. 7 Demanda máxima de potencia (MW), plurianual

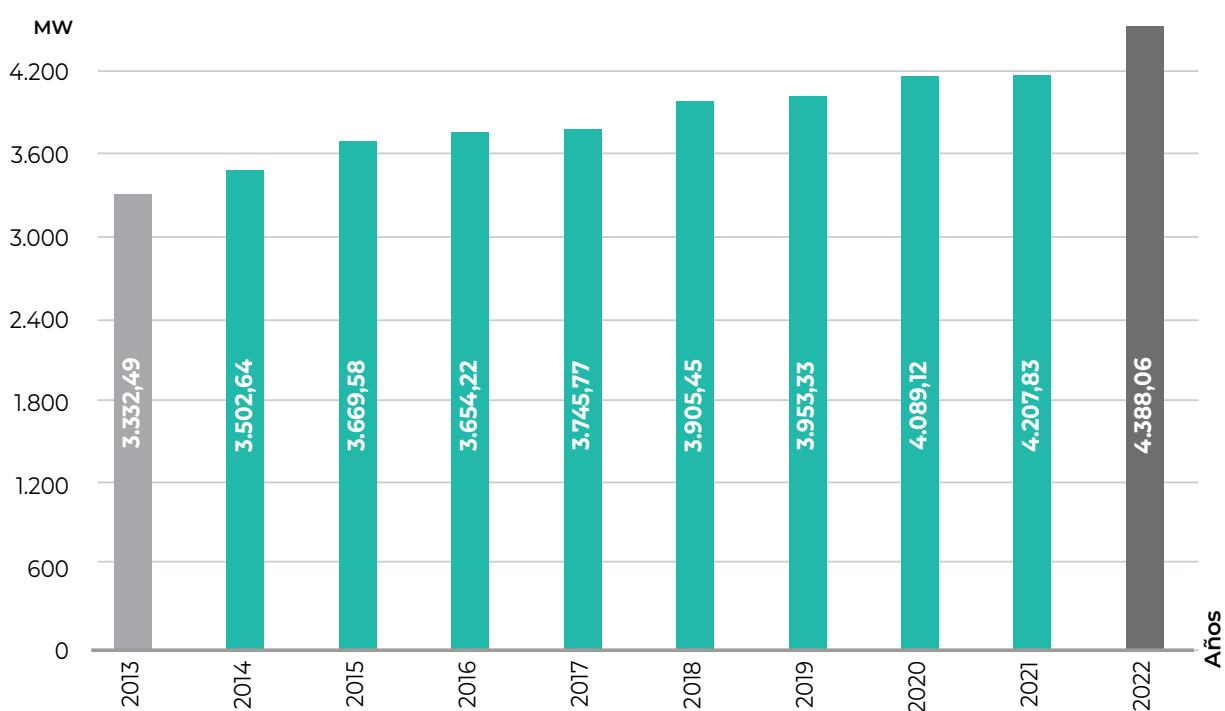
Año Mes	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Enero	3.190,31	3.324,28	3.504,00	3.593,10	3.689,18	3.815,28	3.903,44	4.083,08	4.018,40	4.161,71
Febrero	3.151,74	3.324,14	3.523,27	3.638,11	3.645,86	3.748,54	3.906,90	4.089,12	4.061,84	4.152,33
Marzo	3.214,05	3.369,52	3.540,40	3.654,22	3.692,24	3.905,45	3.886,47	4.032,18	4.101,68	4.252,73
Abril	3.234,29	3.402,35	3.606,74	3.583,04	3.683,19	3.902,63	3.941,81	3.458,73	4.076,13	4.388,06
Mayo	3.185,68	3.396,90	3.601,99	3.586,75	3.687,69	3.816,81	3.949,94	3.626,89	4.051,04	4.238,00
Junio	3.107,99	3.399,01	3.559,68	3.624,79	3.561,15	3.673,05	3.778,59	3.633,50	3.892,24	4.077,14
Julio	3.039,13	3.352,43	3.525,24	3.450,27	3.435,24	3.617,14	3.701,49	3.650,21	3.949,03	4.114,26
Agosto	3.080,53	3.292,97	3.471,17	3.490,36	3.577,25	3.585,30	3.668,14	3.712,96	3.960,89	4.075,82
Septiembre	3.218,77	3.307,95	3.544,75	3.490,36	3.577,25	3.799,52	3.697,72	3.820,26	4.062,62	4.146,78
Octubre	3.187,60	3.373,11	3.591,02	3.457,48	3.674,02	3.657,19	3.790,12	3.935,11	4.065,48	4.113,94
Noviembre	3.277,04	3.423,45	3.653,34	3.572,86	3.586,63	3.773,64	3.953,33	3.921,50	4.079,58	4.216,00
Diciembre	3.332,49	3.502,64	3.669,58	3.624,67	3.745,77	3.856,97	3.951,68	3.942,30	4.207,83	4.261,62
Potencia Máxima	3.332,49	3.502,64	3.669,58	3.654,22	3.745,77	3.905,45	3.953,33	4.089,12	4.207,83	4.388,06



Paneles fotovoltaicos-Pichincha-Electrisol

Figura Nro. 17: Evolución de la demanda máxima período 2013-2022

La figura Nro. 18 presenta los valores máximos anuales (móviles) de la demanda de potencia en el período 2013 - 2022. La demanda tiene un comportamiento incremental, cuyo límite inferior es de 3.332,49 MW en el 2013 y uno superior de 4.388,06 MW en el 2022.

Figura Nro. 18: Demanda máxima de potencia (MW), plurianual











CAPÍTULO 4

PRODUCCIÓN DE ENERGÍA

CAPÍTULO 4 PRODUCCIÓN DE ENERGÍA

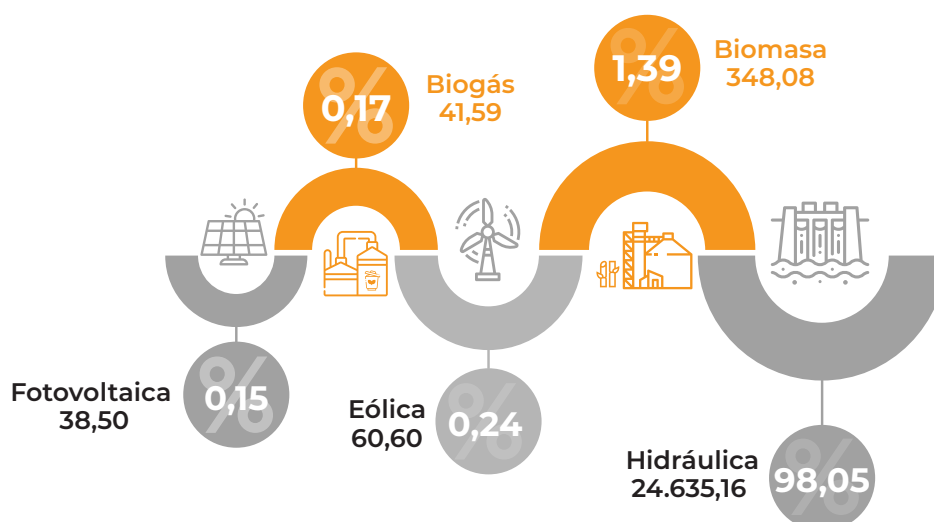
En la tabla Nro. 8, se presenta la producción de energía eléctrica en el Ecuador, considerando la información con corte a diciembre de 2022; la producción de energía alcanzó 33.008,30 GWh.

Tabla Nro. 8: Energía Bruta (GWh)

Tipo de Central	Diciembre 2022	Enero - Diciembre 2022	Composición (%)
Energía Renovable			
 Hidráulica	1.691,56	24.635,16	74,63
 Biomasa	20,08	348,08	1,05
 Eólica	7,45	60,60	0,18
 Biogás	3,59	41,59	0,13
 Fotovoltaica	3,38	38,50	0,12
Total renovable	1.726,06	25.123,93	76,11
Energía No Renovable			
 Térmica MCI	654,63	5.366,38	16,26
 Turbovapor	166,88	1.496,46	4,53
 Turbogás	163,73	1.021,54	3,09
Total no renovable	985,25	7.884,37	23,89
Total general	2.711,30	33.008,30	100,00

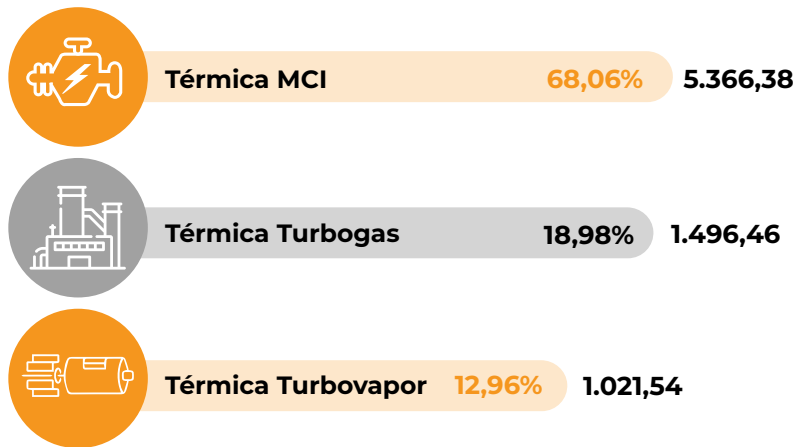
En la figura Nro. 19, se presenta la composición de energía renovable a diciembre de 2022; siendo la energía proveniente de centrales hidroeléctricas la más predominante con 24.635,16 GWh lo que representó el 98,05 % de la producción de energía renovable.

Figura Nro. 19: Energía renovable (GWh)



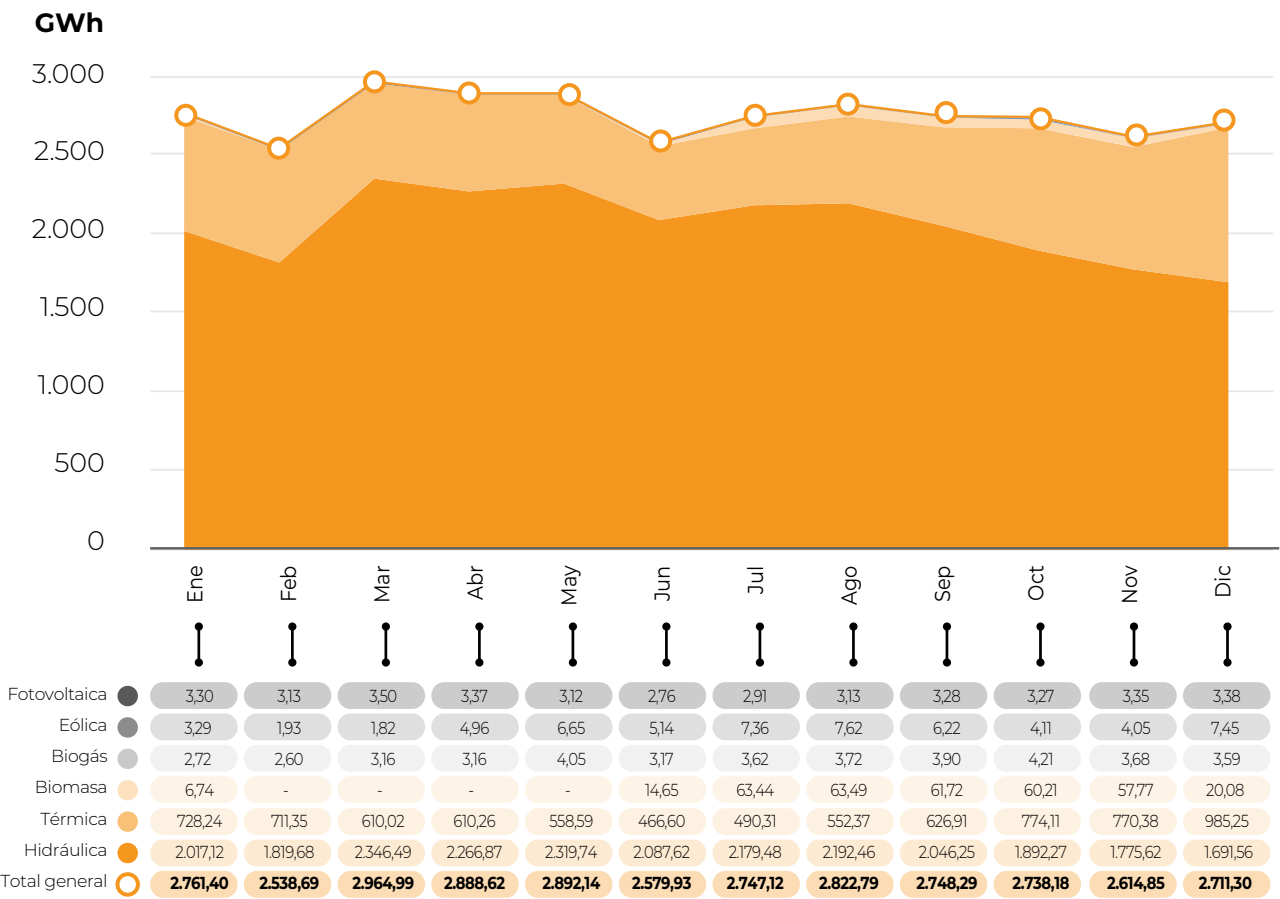
En la figura Nro. 20, se presenta la composición de energía no renovable con corte a diciembre de 2022; siendo la energía proveniente de centrales a MCI la más predominante con 5.366,38 GWh lo que representó el 68,06 % de la producción de energía no renovable.

Figura Nro. 20: Energía no renovable (GWh)



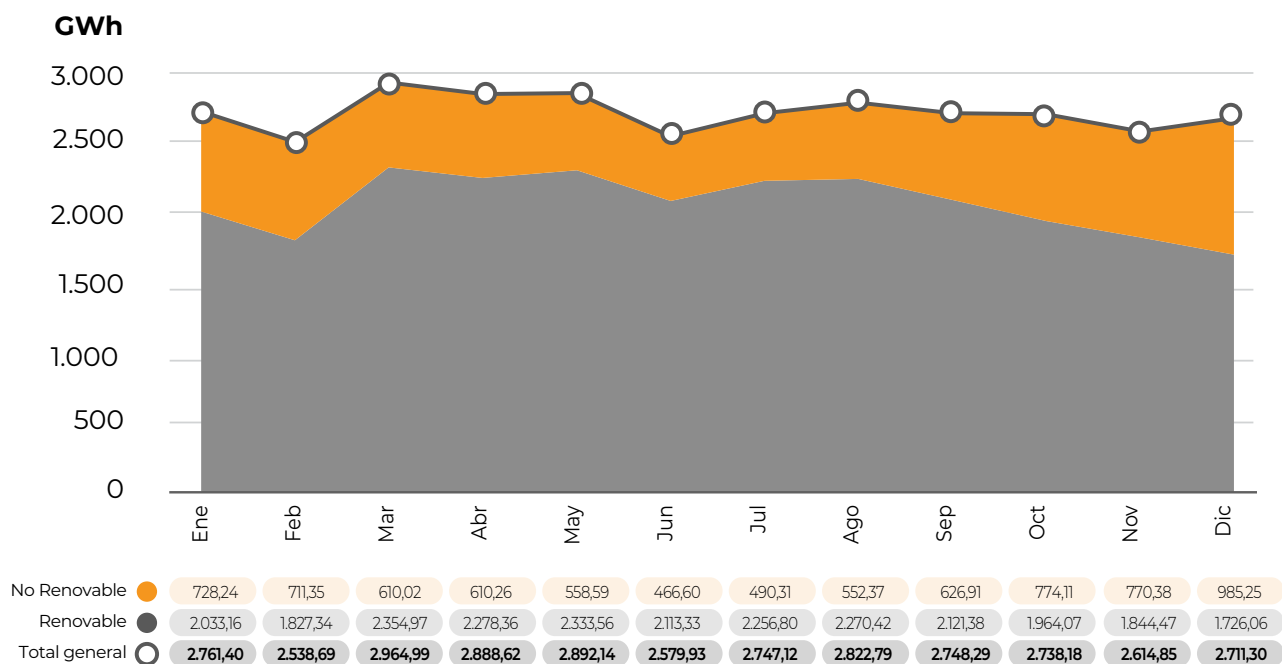
En la figura Nro. 21, se presenta la producción mensual de electricidad por tipo de fuente a diciembre de 2022, registrándose en marzo de 2022 la mayor producción con 2.964,99 GWh.

Figura Nro. 21: Energía bruta por tipo de fuente (GWh)



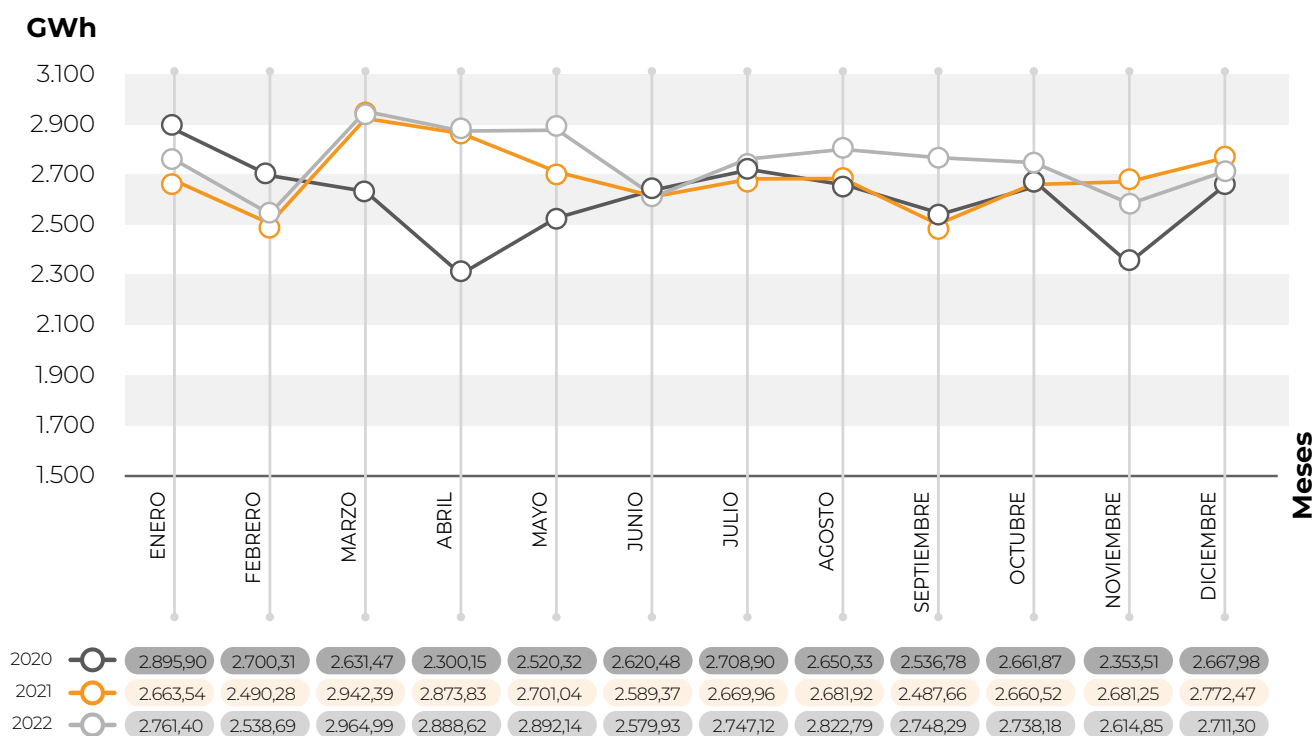
En la figura Nro. 22, se presenta la producción mensual de electricidad por tipo de energía, a diciembre de 2022, registrándose a nivel de todo el sistema que 76,11 % corresponde a energía renovable y el 23,89 % a energía no renovable.

Figura Nro. 22: Energía bruta renovable y no renovable (GWh)



En la figura Nro. 23, se presenta un comparativo de la producción mensual de energía eléctrica entre el 2020, 2021 y 2022; se observa una marcada disminución de la producción de energía durante el primer semestre del 2020 que coincide con la etapa de confinamiento dispuesta por los temas derivados de la pandemia por Covid-19.

Figura Nro. 23: Comparativo energía bruta (GWh)





CAPÍTULO

5

IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS DE MEDICIÓN CON RADIOFRECUENCIA EN LA EMPRESA ELÉCTRICA RIOBAMBA S.A.

CAPÍTULO

5

IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS DE MEDICIÓN CON RADIO FRECUENCIA EN LA EMPRESA ELÉCTRICA RIOBAMBA S.A.

Lcdo. Josué Silva Verdezoto.
Electricista de Control de Pérdidas
Empresa Eléctrica Riobamba S.A.

Electricista Juan Carlos Arias Baldeón.
Supervisor de Consumo Eléctrico
Empresa Eléctrica Riobamba S.A.

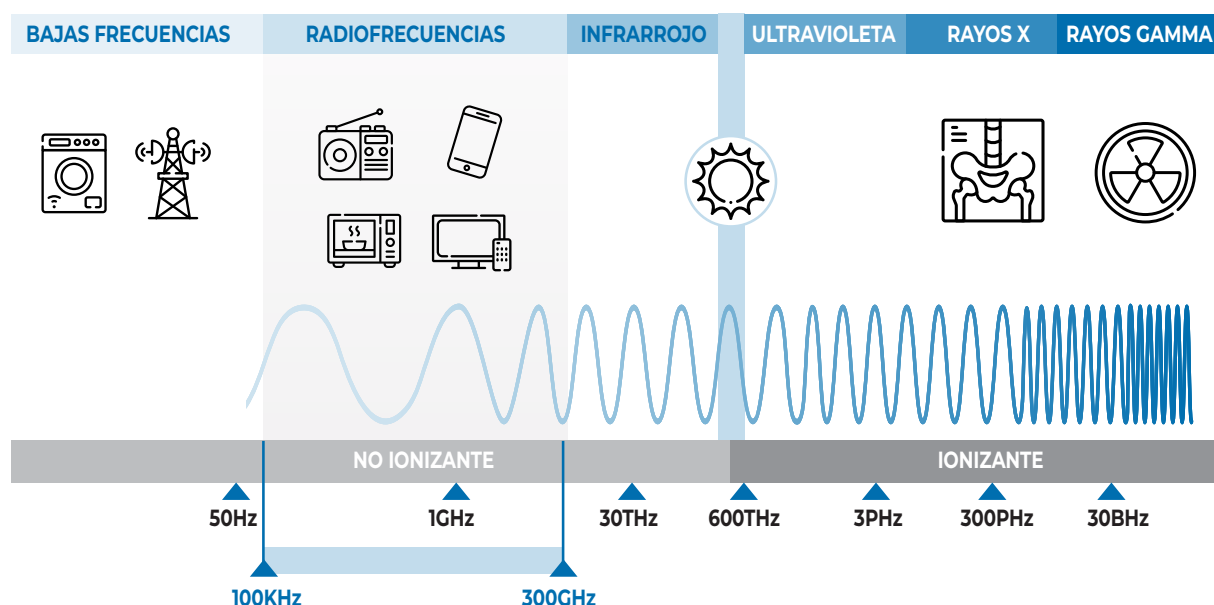
5.1 ¿QUÉ ES RADIOFRECUENCIA?

El término se aplica para definir una parte del espectro electromagnético, concretamente, la parte con menos energía de este. La transmisión de las ondas se produce al generar una corriente a través de un conductor, y se recibe mediante una antena; el ejemplo más claro es el de una estación de radio y un aparato receptor, como el del coche.

5.2 APLICACIÓN EN LAS COMUNICACIONES

Normalmente se refiere a las ondas de radio como el medio con el que la radiofrecuencia llega a equipos de comunicación como walkie talkies y radios comerciales. Sin embargo, estas ondas abarcan todos los dispositivos de comunicación que se dispone, como la televisión, el sistema GPS o las redes móviles. También están presentes en el mundo de los radioaficionados y cualquier otro tipo de elemento que cuente con un emisor y un receptor inalámbricos. (Equipo de Expertos en Ciencia y Tecnología, 2018).

Figura Nro. 24: Espectro electromagnético



Un sistema de radiofrecuencia básico está compuesto por dos elementos esenciales: el radiotransmisor o transceptor y la línea de transmisión, la cual se compone por conectores, cable y antena. Los transmisores existen de varios tipos y aplicaciones, los hay de transmisión de datos, voz, radio, televisión, etc.

5.3 MEDIDOR DE ENERGÍA

El medidor de energía de dos fases tres hilos RF DTSD341 es un producto fabricado con tecnología microelectrónica avanzada y proceso de producción SMT, y su índice de rendimiento se encuentra acorde a IEC62052-11: 2003 e IEC 62053-11, IEC62053-21: 2003; es un medidor de energía activa, energía reactiva y demanda de bajo costo, ideal para instalaciones AC con voltajes de 2x120/240V, 2x127/220V y frecuencia de operación 50Hz/60Hz. Es un medidor de energía ideal para reformar el sistema eléctrico tradicional y mejorar el nivel de gestión del consumo de electricidad. (Wasion, 2022).

Figura Nro. 25: Medidor RF y antena de comunicación



5.4 FUNCIONES PRINCIPALES:

Las siguientes son las principales funciones del medidor de radiofrecuencia:

- Medición de energía activa acumulada, la unidad de medida es 0,01kWh.
- Despliegue de valores de corriente y voltaje instantáneos.
- Funcionalidad TOU (Time of Use), cuatro tarifas, energía acumulada en diferentes bandas horarias.
- Registro de eventos: sobre voltaje, bajo voltaje, falla de energía, corriente inversa, pérdida de voltaje en fase, apertura de cubierta, apertura de cubierta de terminales, calibración de tiempo, error de memoria, reinicio de demanda, contraseña incorrecta.
- Comunicación inalámbrica para lectura y configuración de parámetros.
- Soporta la función de demanda, intervalo de integración por defecto: 15 minutos.
- Soporta auto-lecturas, máximo 12 meses; incluye datos de energía (activa, reactiva) y demanda.
- Soporta perfil de carga, registro de kWh cada 15 minutos, con capacidad para 60 días.

La aplicación de la radiofrecuencia tiene muchas finalidades, y en la industria eléctrica internacional este tipo de medidor se ha diseñado para satisfacer las necesidades de los clientes y mejorar la gestión de las distribuidoras.

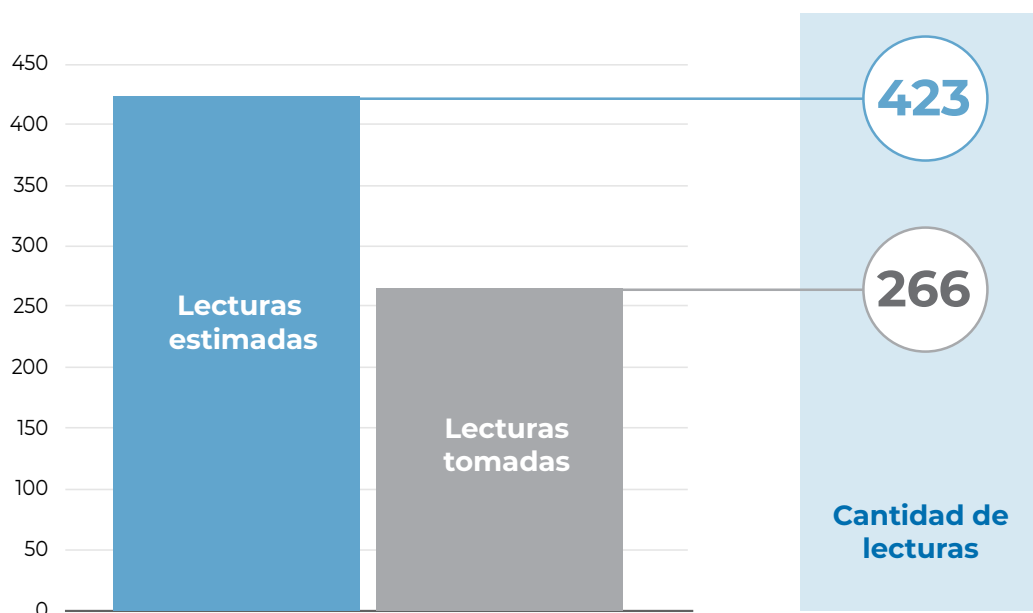
Los medidores poseen una memoria interna que almacena información como se describió anteriormente, los medidores se comunican con un módem (antena) por medio de un software formando una red tipo estrella punto a punto, esta trabaja a una frecuencia de 915 MHz y permite la toma de lecturas de una manera remota a una distancia de hasta mil metros, siempre y cuando se tenga línea de vista, la información de la lectura es confiable, ya que estos equipos cumplen con estándares internacionales de calidad. La toma de una lectura demora alrededor de 4 segundos, y se gestiona y almacena por medio del software.

5.5 IMPLEMENTACIÓN DE MEDIDORES CON RADIOFRECUENCIA

La Empresa Eléctrica Riobamba S.A., optó por implementar esta tecnología como una solución a los problemas de lecturas no tomadas en el cantón Chunchi, en 14 comunidades rurales, ya que la compañía responsable de la toma de lecturas no ejecutó correctamente este trabajo indicando las siguientes dificultades para una zona netamente agrícola-ganadero: 1) caminar largas distancias, 2) las viviendas de los usuarios se encuentran dispersas, 3) los caminos se encuentran en malas condiciones, 4) presencia de lluvia y neblina permanente, 5) derrumbes y bloqueos viales, 6) zona montañosa sin acceso vial a todos los usuarios.

En las 14 comunidades del cantón Chunchi a enero del 2022 existían 689 usuarios, de estos el 61,40% no se tomaba lectura, solo se tomaba lectura real a los más cercanos a las vías que representa el 38,60%

Figura Nro. 26: Cantidad de lecturas por clase, enero 2022



En el año 2022 se sustituyeron 694 medidores con puerto de comunicación RF, en el cantón Chunchi, en las comunidades de Chimba Launag, Launag Grande, Ingaloma, Patocochoa, Chaguarpata, Chaullabamba, Tapay Cochapamba, Tagshana, Alfapamba, Launag Chico, Saguan, Zetelec, Santa Ana de Chocón, y Callanga.

Figura Nro. 27: Guía GPS de sectores intervenidos y fotografía de una de la comunidades beneficiadas



El cambio de medidores permite gestionar actualmente la toma de lecturas de una manera rápida y confiable, desde una computadora con el respectivo software y la antena de comunicación, constatando que se puede obtener información de lecturas de medidores ubicados hasta 1 km.

Figura Nro. 28: Toma de lecturas a distancia



Sistema de lectura de Contadores de múltiples proveedores V2.0.3

Tipo de lectura: ☒ Real Time ☐ AUTO ☐ Bando ☐ Load Profile

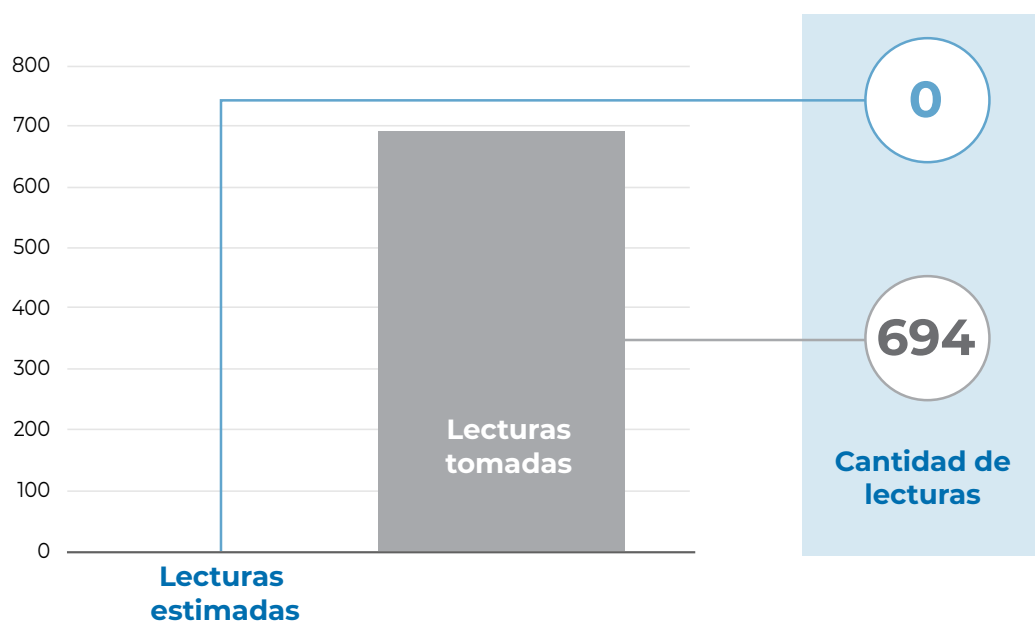
Leer Leer básicos Puntos serie Exportar datos básicos Exportar a un archivo

Medidor		básicos		Datos en tiempo real		Auto Lectura		Registro de eventos		Perfil de carga			
Número	ID de medidor	Energía activa (kWh)	Energía reactiva	Demanda	DT de demanda	Nota 1	Nota 2	Estado	Fecha y hora				
1	2021301153	34.2	38.36	0.17	07/05/22 22:15			1	17/05 12:44				
2	2021306833	30.01	26.1	0.33	01/05/22 20:15			1	17/05 13:05				
3	2021306834	58.85	6.73	3.58	08/05/22 20:15			1	17/05 12:45				
4	2021306835	0.48	2.62	0	07/05/22 07:30			1	17/05 12:45				
5	2021306836	71.35	59	2.47	15/05/22 12:45			1	17/05 12:45				
6	2021306837	20.97	18.74	2.43	08/05/22 17:15			1	17/05 14:43				
7	2021306838	1.6	1.77	0	11/05/22 08:15			1	17/05 13:13				
8	2021306839	35.15	34.29	0.24	04/05/22 17:45			1	17/05 12:45				
9	2021306840	78.80	13.91	3.16	01/05/22 06:45			1	17/05 14:35				
10	2021306841	44.50	28.24	1.71	08/05/22 09:00			1	17/05 13:44				
11	2021306848	61.11	45.25	0.33	10/05/22 09:45			1	17/05 14:49				
12	2021306848	19.67	2.17	2.55	01/05/22 13:30			1	17/05 14:35				
13	2021306849	29.61	13.55	0.26	01/05/22 05:45			1	17/05 13:44				
14	2021306850	45.26	4.05	0.82	04/05/22 08:45			1	17/05 13:44				
15	2021306851	0.21	0.1	0	06/05/22 18:30			1	17/05 14:35				
16	2021306852	0	0	0	16/05/22 11:30			1	17/05 12:46				
17	2021306853	0	0	0	01/01/01 00:00			1	17/05 14:35				
18	2021306854	96.69	94.19	0.29	08/05/22 17:45			1	17/05 13:36				
19	2021306855	0	0	0	01/01/01 00:00			1	17/05 12:47				
20	2021306856	16.84	7.45	0.15	16/05/22 13:00			1	17/05 13:44				
21	2021306857	102.67	18.58	4.34	07/05/22 15:15			1	17/05 12:47				

No. medidor:

5.6 RESULTADOS DE LA IMPLEMENTACIÓN MASIVA

Se pudo evidenciar que el uso de los medidores RF permite la toma de lecturas a distancia de todos los medidores instalados, con lo cual se reduce el tiempo de toma de lectura, ya que el lector no debe ir de casa en casa revisando la misma, la información que llega al computador es confiable y es real, comprobado mediante validación punto a punto, en la etapa de cambio masivo de medidores.

Figura Nro. 29: Cantidad de lecturas por clase, enero 2023

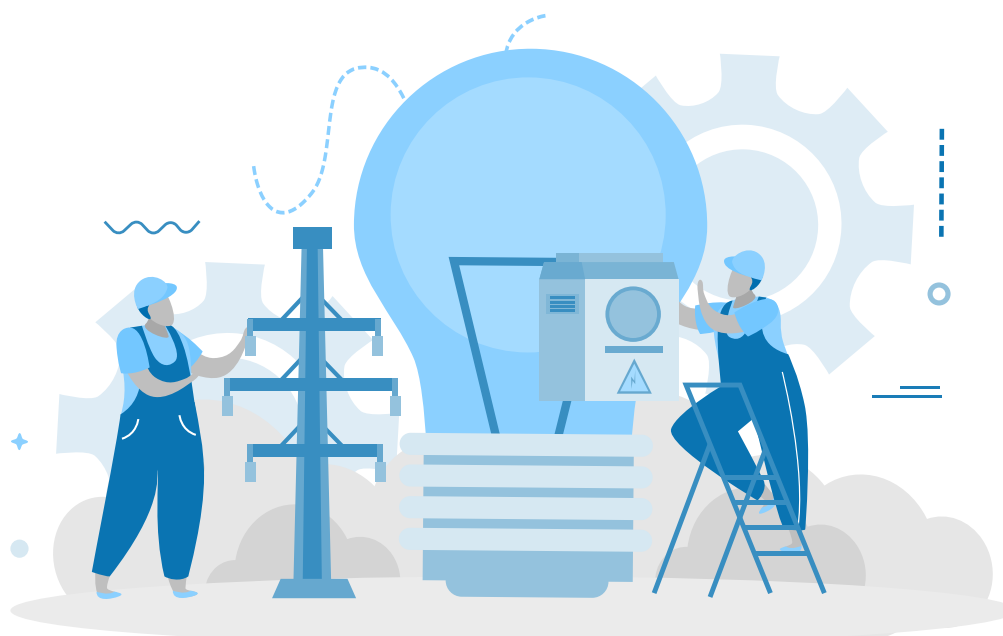
El objetivo principal de implementar esta tecnología se cumplió al reducir a cero el número de lecturas estimadas en esos sectores, permitiendo que los usuarios paguen su consumo real mensual, reduciendo a cero los errores humanos por digitación de la lectura, incluso en dispositivos electrónicos.

Es importante mencionar que en las 14 comunidades del cantón Chunchi, existía un número considerable de medidores electromecánicos e híbridos que ya cumplieron su vida útil, al reemplazarlos por medidores con radio frecuencia se mejoró la calidad de la medición y se redujo las quejas y molestias de los usuarios por lecturas mal tomadas.

Referencias

Equipo de Expertos en Ciencia y Tecnología. (21 de marzo de 2018). Obtenido de Universidad Internacional de Valencia: <https://www.universidadviu.com/int/actualidad/nuestros-expertos/radiofrecuencia-que-es-y-cuales-son-sus-aplicaciones>

Wasion. (2022). Manual de usuario. China: wasion.





CAPÍTULO

6

UBICACIÓN ÓPTIMA DE PARQUES SOLARES MEDIANTE ANÁLISIS ESPACIAL MULTICRITERIO

CAPÍTULO

6

UBICACIÓN ÓPTIMA DE PARQUES SOLARES MEDIANTE ANÁLISIS ESPACIAL MULTICRITERIO

Ing. Bryan Mayorga
Departamento de Subtransmisión -
EEASA

Ing. Fernando Tonato
Universidad Técnica Estatal
de Quevedo

Ing. Jimmy Chamba
Universidad Técnica Estatal
de Quevedo

Msc. Ing. Yadyra Ortiz
Docente de la Universidad Técnica Estatal
de Quevedo

El análisis espacial multicriterio (AEM) es una metodología que permite evaluar alternativas para la ubicación de un proyecto mediante la integración de varias fuentes de datos. En este caso, se propone utilizar AEM para la implementación de parques solares en la Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A. (EEASA) mediante el software ArcGIS y CYME.

6.1 INTRODUCCIÓN

El proyecto desarrolla un modelo de AEM para la implementación de parques solares en la EEASA con el fin de obtener una planificación adecuada a largo plazo en el sistema de distribución. El estudio se divide en cuatro etapas principales. En la primera, se realiza un análisis de idoneidad utilizando métodos multicriterio de toma de decisiones basados en enfoques ambientales, geográficos, orográficos, geológicos y climáticos. Se utiliza un proceso analítico jerárquico (AHP) para evaluar los criterios y obtener un mapa de idoneidad. En la segunda etapa, se emplea un mapa de pronóstico espacial de demanda eléctrica basado en el consumo histórico mensual de energía de sus cerca de 300.000 clientes y datos a nivel SCADA (Supervisión, Control y Adquisición de Datos). En la tercera etapa, se correlacionan los mapas obtenidos en ArcGIS y se determinan las ubicaciones óptimas de los parques solares considerando todas las variables y condiciones. Por último, se realiza un estudio de caídas de voltaje en la red de distribución eléctrica mediante el software CYME, con el fin de determinar si la integración de generación de energía renovable supera los límites permitidos por la regulación. El resultado muestra que el modelo de AEM es una herramienta efectiva para determinar las ubicaciones óptimas de los parques solares.

6.2 CONTEXTUALIZACIÓN

6.2.1 Problemática

La EEASA necesita determinar las zonas óptimas para la ubicación de parques solares fotovoltaicos en su red eléctrica, considerando criterios técnicos, sociales y ambientales. Sin embargo, actualmente no cuenta con una metodología para la ubicación de estos parques, lo que dificulta la toma de decisiones.

6.2.2 Justificación

La implementación de paneles fotovoltaicos en la EEASA puede contribuir a solventar la demanda energética y promover el uso de energías renovables. Para ello, es necesario realizar un AEM que permita determinar las zonas óptimas para su ubicación a partir de una diversidad de enfoques. De esta forma, se lograría una mejor planificación de la red eléctrica y se contribuiría a la sostenibilidad energética y ambiental de la región.

6.2.3 Objetivos y alcance

El objetivo de este proyecto es crear un modelo de AEM para la implementación de parques solares fotovoltaicos en la red eléctrica de la EEASA, utilizando como herramienta el software ArcGIS. Por tanto, se recopilará y analizará información vial, eléctrica, topológica, ambiental, económica, social, legal, política y tecnológica disponible en la EEASA y en fuentes abiertas nacionales. Además, se procesará, transformará, cargará y normalizará la información geográfica en el mismo sistema de proyección cartográfica. Finalmente, se creará un modelo de análisis espacial que permita procesar los multicriterios y muestre las zonas óptimas para la ubicación de parques solares en la EEASA; y se identificarán las redes que presenten caídas de voltaje fuera de los límites permitidos mediante el software CYMDIST.

6.3 MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

6.3.1 Análisis espacial multicriterio (AEM)

Un AEM en el contexto de los SIG (Sistemas de Información Geográfica) es un proceso analítico que utiliza variables cartográficas como datos para identificar diversas soluciones a un problema. Los análisis pueden realizarse tanto en variables discretas como continuas, aunque los últimos permiten obtener resultados cuantitativos más ricos. Los AEM se pueden aplicar en diversos contextos, como la identificación de lugares apropiados para construir parques eólicos, la reintroducción de especies, la localización de vertederos, la delimitación de zonas protegidas, la sectorización de zonas de mayor erosionabilidad o la elaboración de mapas de riesgo de incendios. La elaboración de un AEM implica disponer de las variables de análisis y adaptarlas según los principios de los criterios, para que todas ellas puedan ser procesadas mediante herramientas de álgebra de mapas, análisis estadísticos o componentes principales.

6.3.2 Ubicación óptima de parques solares

La ubicación óptima de parques solares es un tópico importante en la planificación de sistemas de energía renovable. Los estudios sobre esta temática buscan identificar las mejores localidades para su instalación, considerando factores como la intensidad de la radiación solar, la topografía del terreno, la distancia a la red eléctrica, la accesibilidad y otros factores relevantes. Algunos estudios recientes han propuesto diferentes enfoques incluyendo el uso de modelos de optimización matemática, análisis de datos geoespaciales y técnicas de aprendizaje automático.

En [1] se propone un enfoque basado en algoritmos de evolución diferencial para optimizar la ubicación y el tamaño de un sistema fotovoltaico en un sistema eléctrico. La idea es determinar la ubicación óptima para instalar paneles solares y la cantidad de energía que se puede generar de manera rentable, considerando la cantidad de energía demandada, la capacidad del sistema y las restricciones del presupuesto. Los autores presentan un estudio de caso utilizando datos de la ciudad de Karachi, Pakistán, y demuestran que su método puede proporcionar una solución rentable para el problema.

En [2] se presenta un enfoque de planificación de estaciones de energía solar que utiliza datos espaciales y técnicas de toma de decisiones. El artículo describe un algoritmo para encontrar la ubicación óptima de estaciones de energía solar y la cantidad de energía que se puede generar en cada ubicación. Los autores utilizan información sobre la topografía, la radiación solar, la carga eléctrica y otros factores para identificar las áreas adecuadas para la construcción de estaciones de energía solar. Los resultados de las pruebas muestran que el algoritmo propuesto puede generar soluciones efectivas para la ubicación óptima de estaciones de energía solar.

En [3] los autores proponen un algoritmo híbrido novedoso para la colocación óptima de paneles solares en un entorno de red eléctrica inteligente (smart grid). El objetivo es maximizar la generación de energía solar y minimizar los costos de instalación, considerando los requisitos de la red eléctrica y los patrones de consumo de energía. El algoritmo propuesto utiliza una combinación de un algoritmo genético y un algoritmo de enjambre de partículas para encontrar la solución óptima. Los resultados experimentales demuestran que el algoritmo propuesto es efectivo en la colocación óptima de paneles solares en un entorno de smart grid, en términos de eficiencia energética y costo.

En [4] los autores proponen un método para la selección óptima de sitios para plantas de energía solar utilizando un sistema de información geográfica (GIS) y un proceso jerárquico analítico (AHP). El objetivo es identificar los sitios más adecuados para la instalación de plantas de energía solar, considerando factores como la radiación solar, la topografía del terreno, la accesibilidad y la proximidad a la red eléctrica. El método propuesto utiliza el análisis de capas de GIS para evaluar la idoneidad de los sitios en función de los factores mencionados. Luego, se utiliza el método AHP para determinar la importancia relativa de cada factor y asignar pesos a cada capa en el análisis de GIS. La combinación de estas dos técnicas permite una selección más precisa y eficiente de los sitios para plantas de energía solar.

En todos los casos, se utiliza el AEM para evaluar diferentes factores, tales como la disponibilidad de recursos solares, la topografía del terreno, la distancia a la red eléctrica, entre otros, con el fin de tomar decisiones informadas sobre la ubicación y el tamaño de los sistemas solares.

6.3.3 ArcGIS y AEM

ArcGIS es un software de Sistemas de Información Geográfica (SIG) que se utiliza para crear, gestionar, analizar y visualizar datos geoespaciales. El AEM se puede llevar a cabo utilizando la herramienta “Modelo de ponderación multicriterio” o “Weighted Overlay Model”. Primero se deben definir los criterios o factores que se desean analizar y asignarles un valor de peso o importancia relativa. Luego, se deben ajustar las capas de datos que contienen la información de cada factor para que tengan la misma resolución espacial y la misma extensión. Una vez ajustadas las capas de datos, se pueden combinar utilizando la herramienta de Modelo de ponderación multicriterio, para obtener una capa de salida que represente el resultado final del análisis.

La herramienta de Modelo de ponderación multicriterio permite utilizar diferentes métodos de combinación de los factores, como suma ponderada, producto ponderado, mínimo ponderado o máximo ponderado. Cada uno de estos métodos utiliza una fórmula matemática específica para combinar los factores y producir una capa de salida que refleje el resultado final del análisis.

El resultado final de un AEM es una capa de salida que muestra una clasificación de la zona analizada basada en los criterios y pesos asignados. Esta capa puede ser utilizada para tomar decisiones sobre la gestión territorial, planificación urbana, evaluación ambiental y otros campos que requieran una evaluación comparativa de múltiples criterios geográficos.

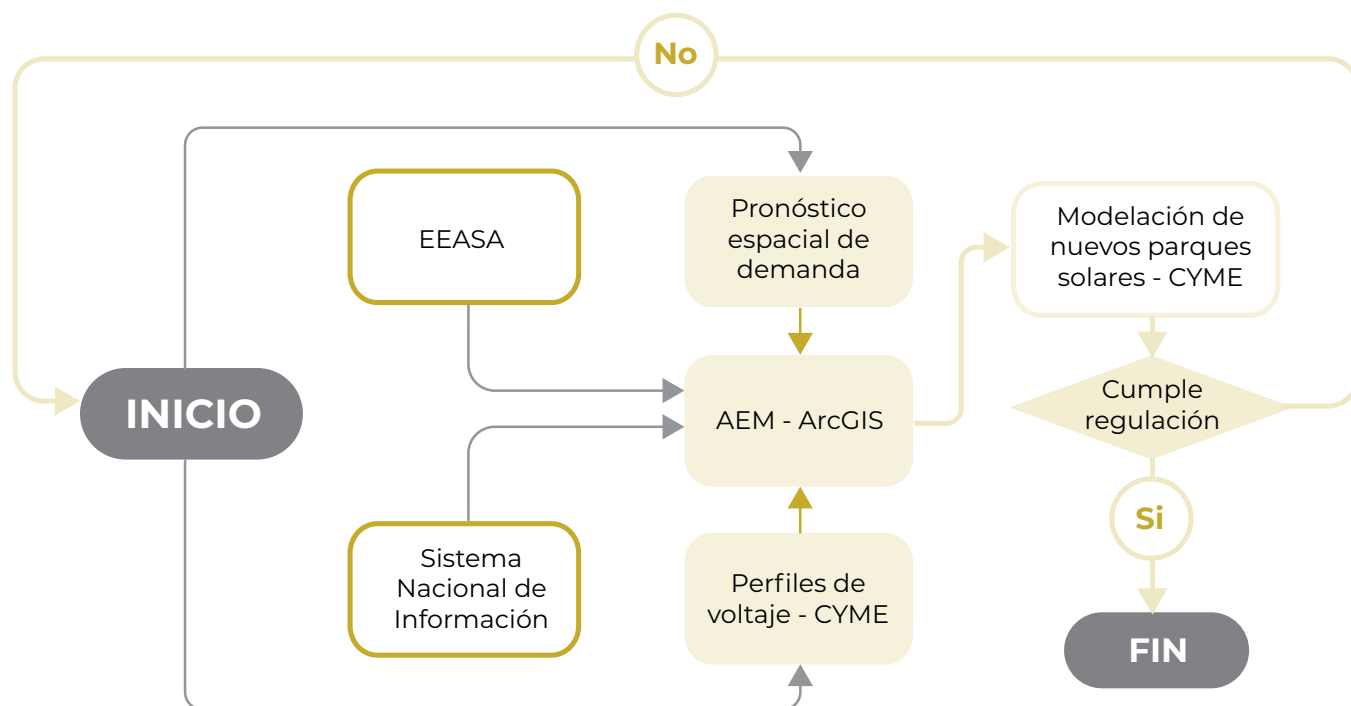
6.3.4 CYME y AEM

CYME es un software de análisis de sistemas eléctricos que permite modelar la red eléctrica de la zona de estudio, lo que incluye la representación de los componentes eléctricos (transformadores, líneas, subestaciones, etc.) y las cargas. Con esta información, se puede simular el comportamiento de la red eléctrica bajo diferentes condiciones y escenarios, como la demanda máxima o la desconexión de una línea. Además, se pueden realizar análisis de calidad del suministro eléctrico, como el cálculo de caídas de voltaje, que permite identificar las áreas donde la tensión eléctrica es más baja de lo normal. CYME es útil para llevar a cabo estudios de AEM y evaluar diferentes soluciones para resolver los problemas identificados.

6.4 METODOLOGÍA E IMPLEMENTACIÓN

En la figura Nro. 30: Flujo de trabajo de la metodología se ilustra de manera general el proceso para ubicar los paneles solares dentro del área de cobertura de la EEASA.

Figura Nro. 30: Flujo de trabajo de la metodología

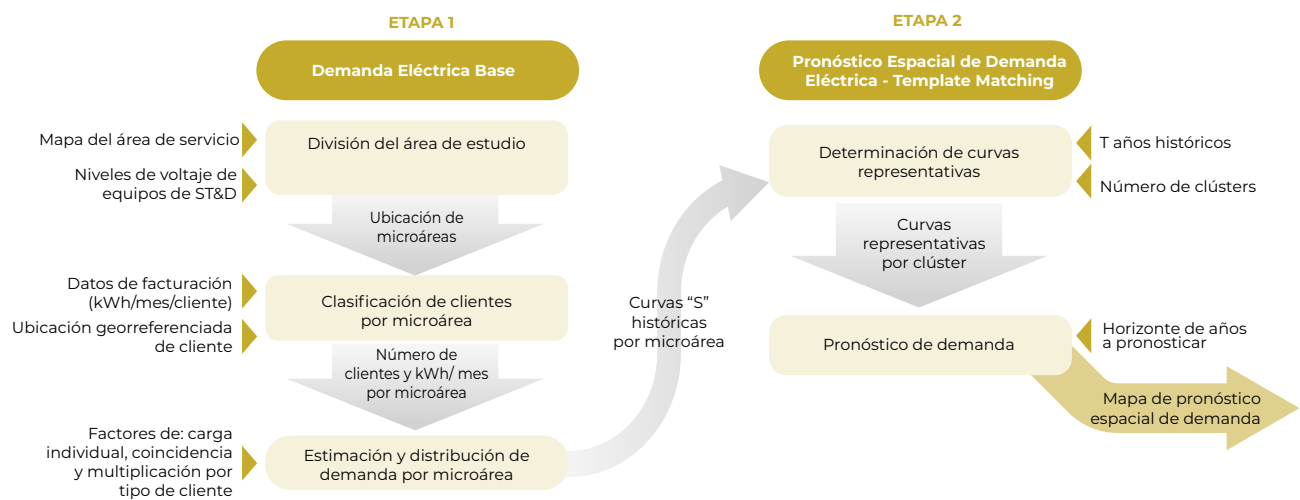


6.4.1 Pronóstico espacial de demanda

El pronóstico espacial de demanda eléctrica, ver figura Nro. 35, fue realizado por el método de Template Matching [5] con las variaciones propuestas por [6] donde involucra dos etapas.

1. **Demanda eléctrica base:** Esta etapa está compuesta por tres módulos. El primer módulo de división del área de estudio determina el tamaño de las microáreas y suministra su ubicación. El segundo módulo de clasificación de clientes por microárea, establece las clases de usuarios, su cantidad, y cuanta energía absorben en el mes donde sucede la máxima demanda anual del régimen. Y el último modelo estimación y distribución de demanda por microárea, instituye la máxima demanda anual histórica que ostentaba cada microárea.
2. **Pronóstico espacial de demanda eléctrica – Template Matching:** Esta etapa está integrada por dos módulos. El primer módulo determinación de curvas representativas emplea la labor de agrupamiento, mediante la técnica k-means, cuya finalidad es obtener grupos (clusters) de microáreas con curvas “S” históricas equivalentes y finalmente el último modelo pronóstico de demanda, maneja las curvas características, para poder planear la demanda eléctrica en cada microárea, que da como resultado el mapa de demanda espacial del 2020 y 2030.

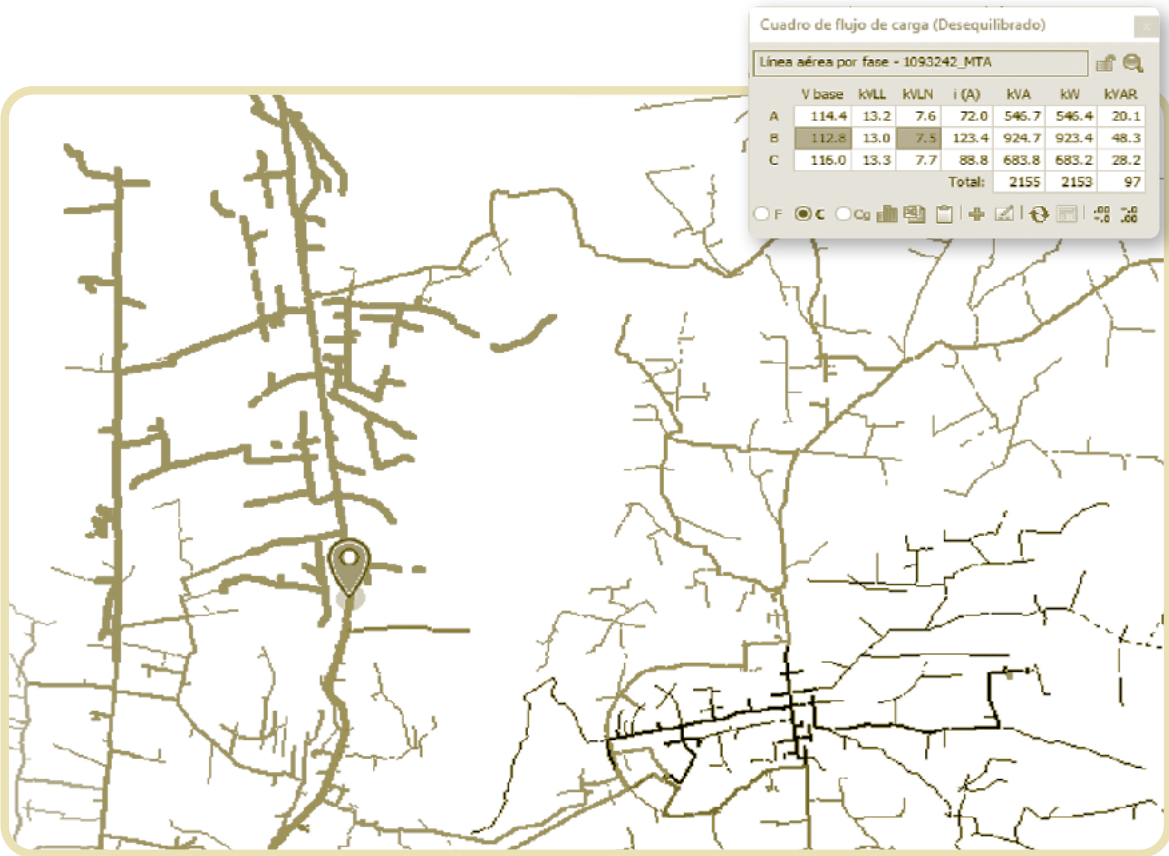
Figura Nro. 31: Método de Template Matching modificado por [6]



6.4.2 Perfiles de voltaje

El sistema de distribución de la EEASA cuenta con 104 alimentadores, 20 subestaciones eléctricas y 24 líneas de subtransmisión tras haber cargado las curvas de carga de cada alimentador para demanda máxima se realiza un análisis de flujo de carga (método desequilibrado) en el software CYME y se obtienen las caídas de voltaje como se muestra en la figura Nro. 32.

Figura Nro. 32: Flujo de carga del alimentador Cunchibamba de la S/E Samanga



6.4.3 AEM

El AEM es un proceso que convierte y combina mapas geográficos para tomar decisiones apoyadas en preferencias de un mapa de decisión. Los conceptos tomados en cuenta son:

1. Ponderación de los criterios: El método AHP ("Analytic Hierarchy Process"), se emplea para definir un peso a cada criterio de las bases de datos internas de la EEASA y externas pertenecientes al Sistema Nacional de Información (uso y cobertura del suelo; susceptibilidad de inundaciones; distancias a las líneas eléctricas de M.V.; distancias a las líneas eléctricas de transmisión y subtransmisión, ver figura Nro. 33; distancias a carreteras principales, distancias a áreas urbanas, irradiación solar, ver figura Nro. 34; pendiente del suelo; peligros volcánicos y movimientos de masa).

Figura Nro. 33: Distancias a las líneas eléctricas de transmisión y subtransmisión referente a la EEASA en ArcGIS

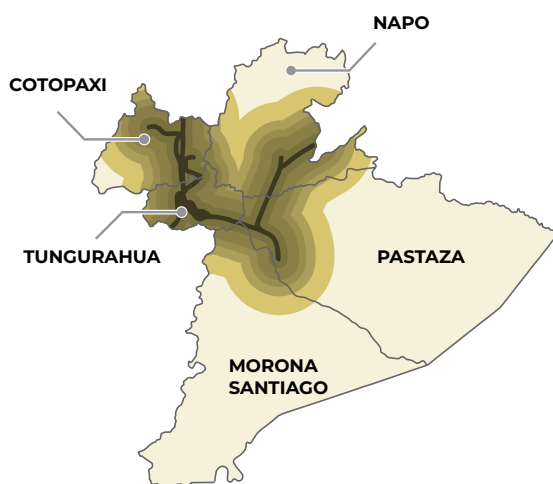


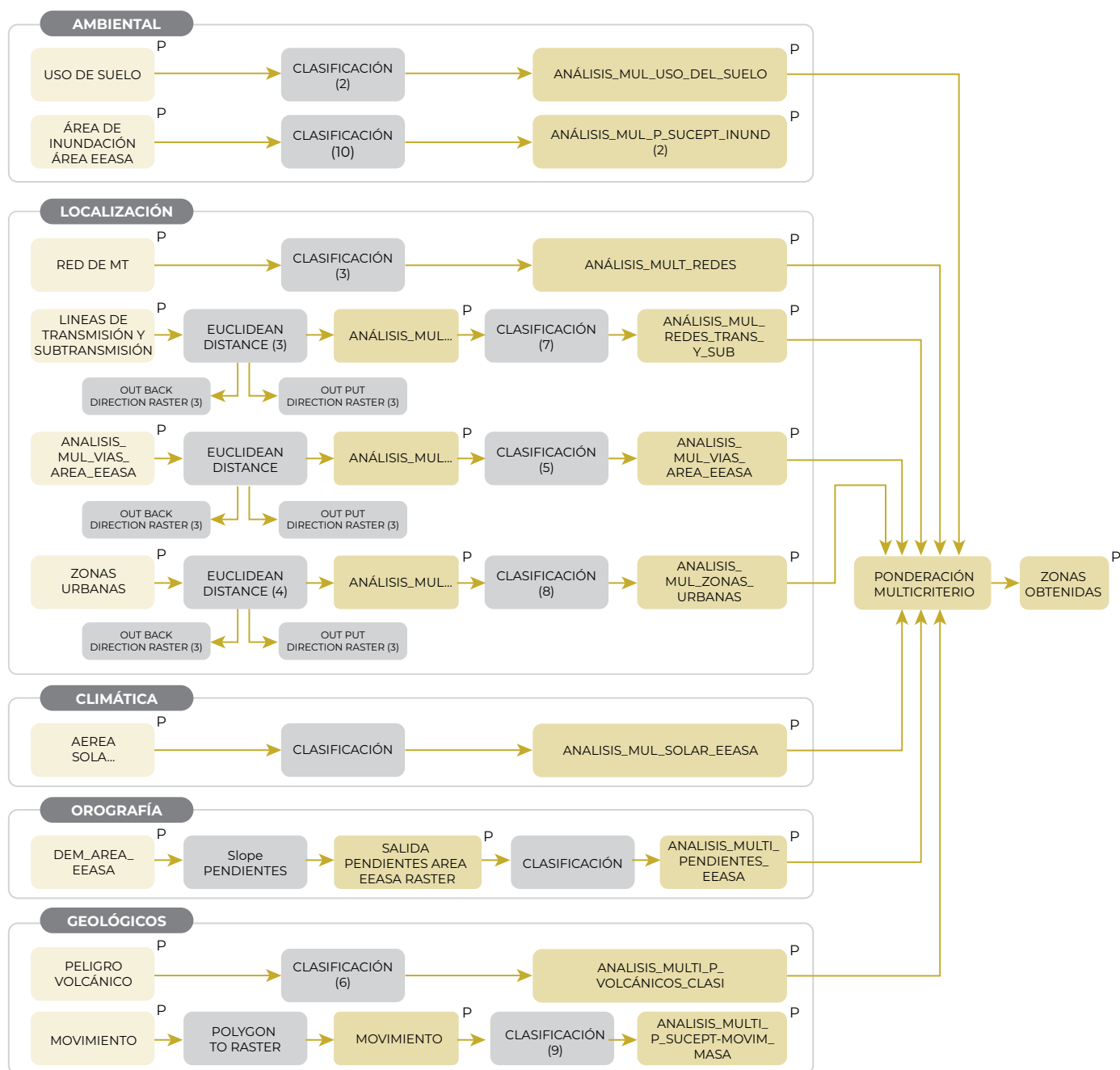
Figura Nro. 34: Irradiación solar referente a la EEASA en ArcGIS



2. Función de valor (métodos de estandarización): Proceso de puntuación de rangos es el enfoque más utilizado para estandarizar criterios.
3. Reglas de combinación: También conocidas como reglas de decisión, es una técnica para evaluar y ordenar un conjunto de alternativas.

Los criterios considerados en el modelo se basan en ambientales, de localización, orográficos, geológicos y climáticos. La disponibilidad y calidad de la información, el nivel de resolución espacial y la representatividad del área de estudio fueron las motivaciones para considerar dichos criterios, en la figura Nro. 35, se muestra la implementación en el Model Builder del ArcGIS. Por otro lado, se utilizaron las siguientes restricciones espaciales: terrenos protegidos, cursos de agua y arroyos, zonas cultivadas y de alto paisaje, zonas de mayor pendiente, terrenos urbanos, montañas, aeropuertos y zonas militares.

Figura Nro. 35: Modelo de análisis espacial multicriterio implementado en Model Builder del ArcGIS

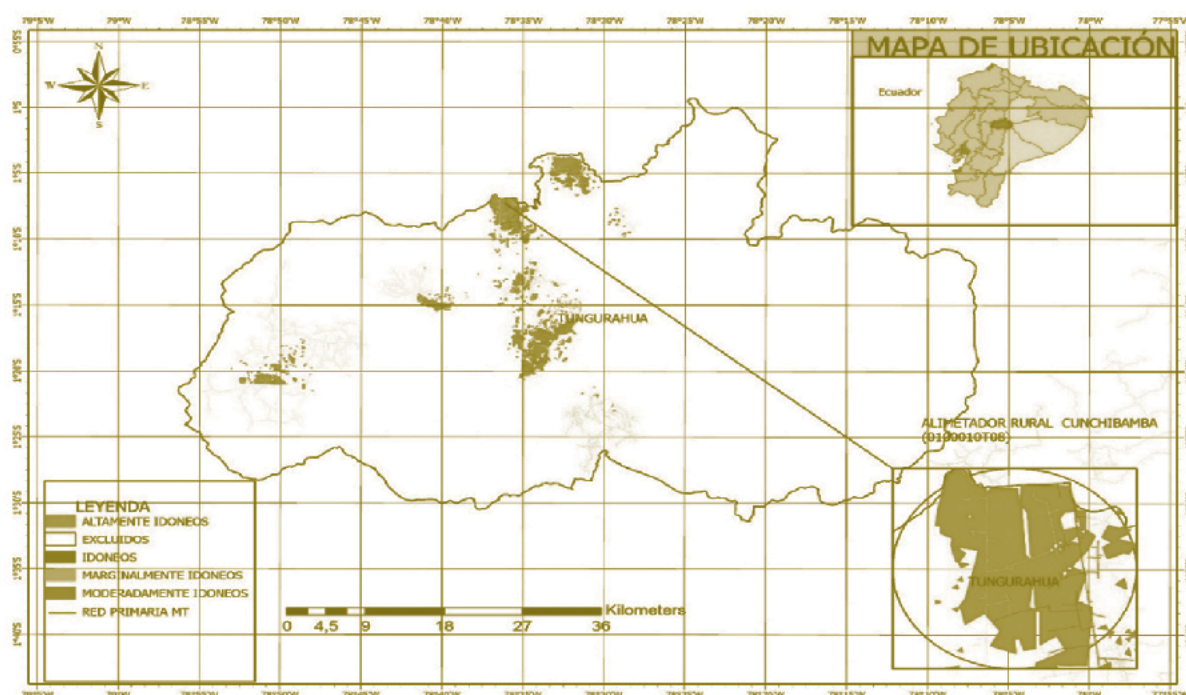


6.4.4 Modelación de nuevos parques solares

Una vez realizado el AEM se obtiene un mapa como se muestra en la figura Nro. 36, de donde se observa que las zonas óptimas tienen las siguientes capacidades de generación:

- Tungurahua: 59 MWh/año
- Pastaza: 57,11 MWh/año
- Napo: 23,37 MWh/año

Figura Nro. 36: Sitios altamente idóneos para implementar sistemas PV en el período 2030. Provincia de Tungurahua



6.5 REGULACIONES CONSIDERADAS

La institución ARCERNNR es la entidad encargada de emitir las regulaciones pertinentes en el ámbito del sector eléctrico las cuales se detallan a continuación las regulaciones más destacadas:

Regulación ARCERNNR 002/20.

Se refiere a la “Calidad del servicio de distribución y comercialización de energía eléctrica”, a su vez asignan restricciones técnicas a las redes de distribución exigiendo límites de niveles de voltaje de 8% para bajo voltaje y 6% para medio voltaje respectivamente.

Las categorías de límites de planificación de la EEASA están configuradas para que:

- Los niveles de voltaje en los nodos de la red primaria se mantengan entre 0,96 y 1,04 p.u. por cuestiones de calidad.
- Los niveles de carga en conductores y transformadores no superen el 33% de su capacidad de trabajo ofreciendo un respaldo para eventualidades.

Regulación ARCONEL 003/18.

Describe la generación fotovoltaica para su propio autosuministro hacia los consumidores finales, que en combinación con la resolución 057/18, asignan condiciones de potencia para el ingreso de la GDFV, los cuales se detallan a continuación la capacidad nominal instalada por clases de consumidor conectados a la red:

- Residenciales (300 kW).
- Comerciales (≤ 1000 kW).
- Industriales (≤ 1000 kW).

Regulación CONELEC 004/01.

La regulación instruye los niveles de calidad entre la prestación del servicio eléctrico de distribución y los procedimientos de evaluación que son observados por medio de las empresas distribuidoras.

Asu vez las empresas distribuidoras tienen la responsabilidad de prestar el servicio eléctrico a los consumidores localizados en su zona de concesión, dentro los niveles de calidad establecidos.

6.6 CONCLUSIONES

El uso del modelo de AEM en este estudio resulta apropiado, debido a su capacidad para manejar múltiples criterios y subcriterios a fin de determinar las áreas más adecuadas para la implementación de centrales de generación renovable. La evaluación de los criterios y subcriterios por medio del método AHP, junto con la generación de mapas cartográficos, constituye una técnica efectiva para modelar la complejidad de la realidad del proyecto y para identificar áreas restringidas por cuestiones ambientales y de conservación, como la presencia de áreas protegidas o de fuentes de agua.

La identificación de áreas altamente idóneas y de superficie cerrada para la implementación de centrales de parques solares, resulta una conclusión importante del estudio, pues permite identificar zonas viables y factibles, tomando en cuenta distintos factores, tales como el potencial eléctrico, la geografía, topología y proximidad a las carreteras. Sin embargo, se debe tener en cuenta que estas áreas sólo representan el 0,13% de la superficie total en el área de concesión relevante, lo cual sugiere que la identificación de áreas altamente idóneas para la implementación de centrales de generación renovable puede ser un proceso complejo y limitado por factores ambientales, geográficos y de protección.

En cuanto al estudio de las caídas de voltaje, el uso del paquete CYMDIST para analizar el escenario de la red eléctrica convencional resulta adecuado, permitiendo detectar anomalías en la red eléctrica y determinar qué alimentadores presentan problemas. Es necesario continuar explorando las implicaciones de la integración de centrales de generación fotovoltaica a gran escala en la red eléctrica, y es posible que se requieran técnicas adicionales para realizar una evaluación exhaustiva de los posibles impactos.

6.7 TRABAJOS A FUTURO

Los paneles solares tienen un rendimiento que puede variar en función de diversos factores, como la temperatura, la inclinación, etc. Es necesario investigar modelos matemáticos que permitan analizar el rendimiento de los paneles en diferentes situaciones y determinar la ubicación óptima de los paneles para maximizar su rendimiento. Investigación de tecnologías emergentes, como los materiales fotovoltaicos avanzados, que pueden mejorar la eficiencia de la conversión de energía solar y su impacto armónico en la red.

Desarrollo de modelos de análisis económico que consideren los costos de instalación, mantenimiento y operación de paneles solares en diferentes ubicaciones, así como los costos asociados con la integración de energía solar en la red eléctrica.

-
- [1] M. N. Ahmed, A. K. Srivastava y M. I. Younis, «Optimal location and sizing of solar photovoltaic system using differential evolution algorithm,» Power, Electronics, and Computing Conference (PECCON), pp. 1-6, 2019.
 - [2] R. Zhang, Y. Shi, Z. Wang, Y. Zhang y Z. Liu, «Optimal Planning of Solar Power Stations Based on Spatial Data Analysis and Decision-Making,» IEEE, pp. 29192-29202, 2019.
 - [3] D. L. Shanmugam, S. Manogaran y M. Varadharajan, «A novel hybrid algorithm for optimal placement of solar panels in a smart grid environment,» International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS), pp. 303-308, 2017.
 - [4] B. D. Rani y S. Chatterji, «Optimal site selection for solar power plants using geographic information system and analytical hierarchy process,» International Conference on Industrial Instrumentation and Control (ICIC), pp. 1463-1467, 2015.

Créditos

ELABORACIÓN Y EDICIÓN

AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL DE ENERGÍA Y RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES.
DIRECCIÓN DE ESTUDIOS E INFORMACIÓN DEL SECTOR ELÉCTRICO



Marisol Díaz

Ingeniera de sistemas



Andrea Torres

Ingeniera eléctrica



Rodrigo Briones

Ingeniero eléctrico



Andrés Chiles

Ingeniero eléctrico



Christian Junia

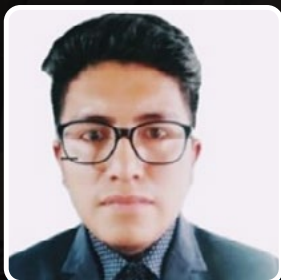
Ingeniero eléctrico

EMPRESA ELÉCTRICA DE AMBATO



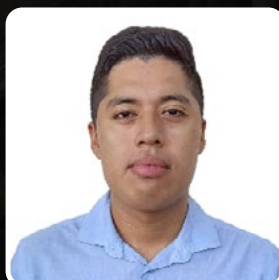
Bryan Mayorga

Ingeniero eléctrico



Fernando Tonato

Ingeniero eléctrico



Jimmy Chamba

Ingeniero eléctrico



Yadyra Ortiz

Ingeniera eléctrica

EMPRESA ELÉCTRICA DE RIOBAMBA



Josué Silva

Lcdo. en electricidad



Juan Carlos Arias

Electricista

Créditos

ELABORACIÓN Y EDICIÓN

COORDINACIÓN GENERAL

Geovanny Pardo Salazar

Coordinador Técnico de Regulación y Control Eléctrico - ARCERNNR

DIRECCIÓN GENERAL

Iván Sánchez Loo

Director de Estudios e Información del Sector Eléctrico - ARCERNNR

DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN

Esmeralda Bolaños / Augusto Cabrera

FOTOGRAFÍAS

ALTGENOTEC

CELE Coca Codo Sinclair

CELEC Hidroagoyan

CELEC Transelectric

CNEL EL Oro

Elecaustro

Electrisol

E.E. Centro Sur

Gensur

Hidrobánico

Hidroalto

Loja Energy

OCP Ecuador

Orion Energy

Orncem

Petroamazonas

Tecpretrol

UCEM

Unacem

Valsolar

AUSPICIO

Banco Interamericano de Desarrollo – BID



CITAR ESTE DOCUMENTO COMO

Panorama Eléctrico, Edición 15.

Quito – Ecuador, Marzo 2023.

Todos los derechos reservados.



Planta industrial Guapán
Chimborazo
Ucem



Captación central Alazán
Azuay
CELEC-Hidroazogues



Válvulas Manifold
Francisco de Orellana
Orncem



Línea de transmisión
Pichincha
CELEC Transelectric



Captación Hidroabánico
Morona Santiago
Hidroabánico



Central Fotovoltaica
Imbabura
Valsolar



Campo Amistad 2
El Oro
Petroamazonas



Ventana
Pichincha
CELEC-Coca Codo Sinclair



@ControlRecursosyEnergia



@arc_energiayrecursos



@ARC_EnergíaEc

**Agencia de Regulación y Control de Energía
y Recursos Naturales No Renovables**



**República
del Ecuador**