

Reporte de zonificación para la sub-área Caldas Quindío Risaralda - CQR



Subdirección de Energía Eléctrica Grupo de Transmisión, Distribución y Cobertura

2023

F-DO-03 – V2

2022/08/12

Recuerde: Si este documento se encuentra impreso no se garantiza su vigencia, por lo tanto, se considera "Copia No Controlada". La versión vigente se encuentra publicada en el Sistema de Gestión Único Estratégico de Mejoramiento - SIGUEME.



Tabla de contenido

Introducción..... 3



Introducción

Este documento tiene como objetivo presentar a los interesados un reporte de los resultados obtenidos con respecto a la zonificación de cada una de las barras del STN, STR y SDL que fueron evaluadas en el ciclo de asignación de capacidad de transporte y que pertenecen a la subárea Caldas Quindío Risaralda - CQR..

Metodología de zonificación de las subáreas

Para la aplicación del modelo MACC es necesario determinar la capacidad máxima de transporte que tiene cada una de zonas eléctricas al interior de una subárea en específico, siendo estas zonas un grupo de barras con alto grado de correlación eléctrica, tal y como se presenta en la siguiente figura.

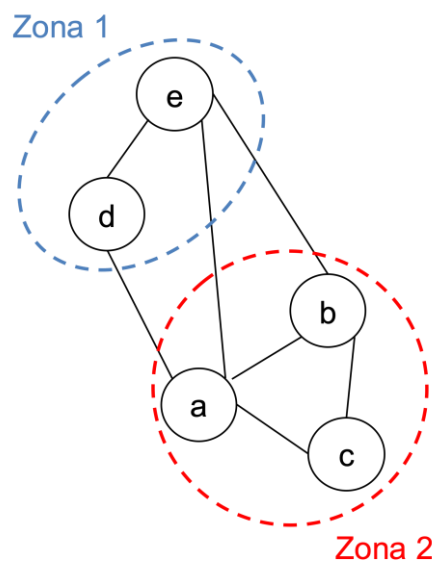


Figura 1. Agrupamiento en zonas de nodos con alto grado de correlación.

Se debe resaltar que la restricción de zonificación busca controlar que la capacidad de una zona eléctrica no sea excedida al conectar los proyectos de expansión y con esto poder controlar los problemas internos de cada una de las áreas operativas. Lo anterior se plantea en el modelo MACC por medio de las siguientes ecuaciones:

$$\sum_{p \text{ conectado a barra de la zona } z} CP_p \cdot u_{p,t} \leq CZ_{z,t} \quad \forall z, t,$$

$$CZ_{z,t} = \max(CB_{1,t}, CB_{2,t}, \dots, CB_{b,t}) \quad \forall b \text{ que pertenece a } z$$

donde:

Z	Conjunto de zonas del área de análisis.
$CZ_{z,t}$	Capacidad máxima de un conjunto de barras del sistema (zona) (MW).
$u_{p,t}$	Variable binaria que toma el valor de 1 cuando al proyecto p se le asigna capacidad de conexión.

Por otra parte, con el objetivo de identificar las zonas al interior de una subárea eléctrica, y teniendo en cuenta las metodologías para la zonificación que se destacan en el estado del arte, se implementa la teoría de grafos para realizar el agrupamiento de los diferentes nodos que puedan estar correlacionados al interior de la respectiva red eléctrica. Esto implica transformar la red eléctrica en un grafo que represente adecuadamente los nodos de dicha red con sus respectivas correlaciones, tal y como se muestra en la figura 2, siendo W los pesos que determinan el grado de relación eléctrica que existe entre los diferentes nodos que componen la red en cuestión.

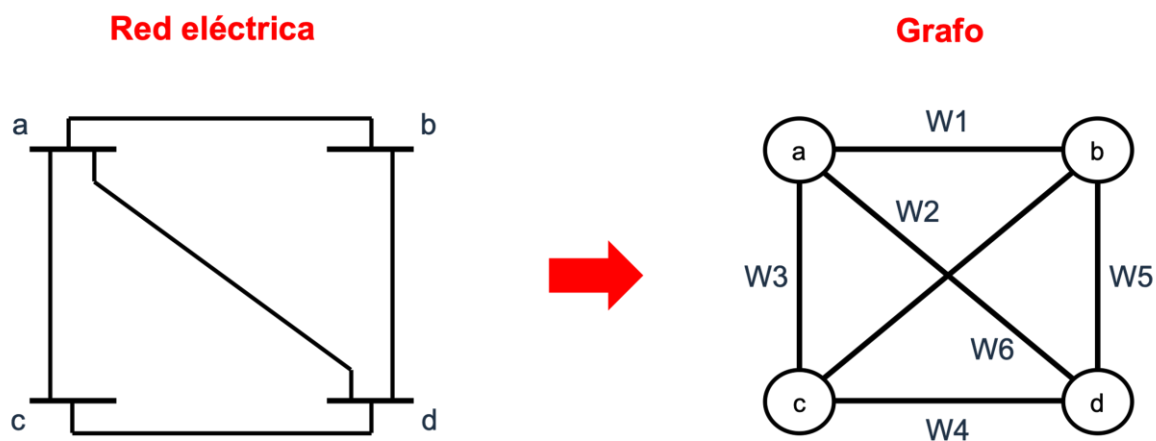


Figura 2. Transformación de una red eléctrica a un grafo equivalente.

Dado a que el peso W determina el grado de correlación entre los nodos, y conforme a lo que se presenta en (E. Cotilla-Sanchez, 2013), (S. Blumsack, 2009) se optó por utilizar factores de sensibilidad como variable eléctrica para representar dichos pesos, específicamente se toma la variación angular ante la inyección de potencia en un nodo específico mediante un flujo DC. Dentro los beneficios que se tiene al emplear esta metodología se encuentra la robustez y la reproducibilidad, además de simplificar el problema al volverlo lineal.

Al emplear la variación angular ante la inyección de potencia en un nodo específico ($d\theta/dP$) como criterio para correlacionar los diferentes nodos de la red se debe tener en cuenta que entre más grande sea este valor mayor es la correlación entre los nodos, sin embargo, para la teoría de grafos, entre menor sea el peso del enlace que existe entre dos nodos mayor

será la correlación entre estos. Teniendo en cuenta lo anterior se representa el peso W entre los nodos como se muestra a continuación:

$$W = \frac{1}{d\theta/dP}$$

Posteriormente, una vez se tiene definido el grafo que representa la red eléctrica en análisis, se procede a agrupar los nodos con mayor correlación (menor peso W entre ellos) por medio del método “K-Means” el cual tiene como función objetivo minimizar la sumatoria de los pesos internos en cada uno de los grupos y maximizar los pesos equivalentes que existe entre los n grupos que se determine por subárea.

Finalmente, para determinar un rango del número de zonas óptimo para hacer el agrupamiento, se emplea la metodología del Codo de Jambu el cual permite obtener el número de grupos óptimo en términos de la eficiencia computacional y la minimización de los pesos promedio al interior de cada uno de estos grupos. Un ejemplo del Codo de Jambu se puede observar en la figura 3, en la que se observa que a partir de un número de grupos el peso promedio al interior de cada uno de estos grupos no presenta mayor variación, permitiendo identificar el número de grupos mínimos para tener en cuenta.

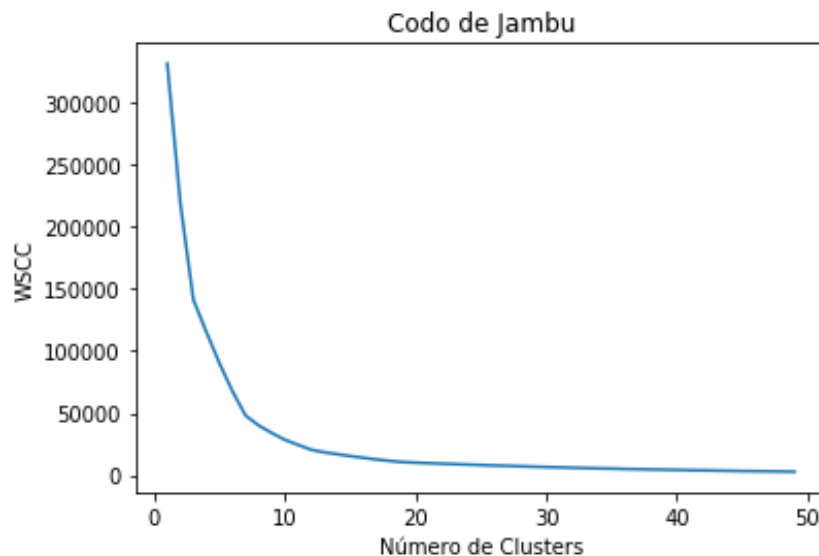


Figura 3. Ejemplo del Codo de Jambu.

Sumado a lo anterior, se define un límite máximo de grupos de manera que se obtenga en promedio 3 nodos en cada uno de los grupos lo que se traduce en la siguiente ecuación:

$$\underbrace{Min_Zonas} \leq N_Zonas \leq \underbrace{N_Nodos/3}$$

Número mínimo de zonas obtenido a partir del Codo de Jabu

Número máximo de zonas obtenido a partir del número de nodos en evaluación

Resultados

A continuación, se presentan los resultados de la metodología de zonificación presentada anteriormente para la subárea(s) CQR-CQR.

Tabla 1. Resultados de zonificación para la subárea(s) CQR-CQR.

Zonas	Barras
Zona1	Insula CQR 115, Insula 33, Buencafe 115, Margarita 33, Risaralda 33
Zona2	Dorada 115, Purnio 115, Dorada Norte 115, Dorada 33, DNorte 33, Rio Negro 33, Salamina Cund 33, Manzanares 115, Mariquita 115, San Felipe 115, Victoria CQR 115, San Felipe 13.2
Zona3	Enea 220, Hermosa 220, Armenia 220
Zona4	SFelipe 34.5, Mariquita 34.5, Guayabal 34.5, Ambalema 13.2, Ambalema 34.5, Beltran 34.5
Zona5	Irra 115, Salamina 115, Rio Sucio 115, Irra 33, Quinchia 13.2, Quinchia 33, Salamina 33
Zona6	Cuba 115, La Rosa 115, Regivit 115, Armenia 115, Dosquebradas 115, Hermosa 115, Molinos 115, Papeles 115, Pavas 115, Dosquebradas 33, Pavas 33, Dosquebradas 13.2, Pavas1 13.2
Zona7	Esmeralda CQR 115, Viterbo 115, Virginia 115, San Fcisco 1 115, Viterbo 33, PuebloRico 33
Zona8	Virginia 220, Virginia 500, Esmeralda 220, La Miel 220, San Felipe 220, Purnio 220
Zona9	San Lorenzo 220, Salamina 220
Zona10	Enea 115, Manizales 115, Peralonso 115, Acasa 115

Zona1

A continuación, se hace la presentación de los resultados obtenidos de capacidad máxima de transporte para la Zona1 a lo largo de todo el horizonte de planeación. Dicha zona esta conformada por las barras Insula CQR 115, Insula 33, Buencafe 115, Margarita 33, Risaralda 33. Los resultados se presentan de manera gráfica (Figura 4), como también de manera tabular (Tabla 2).

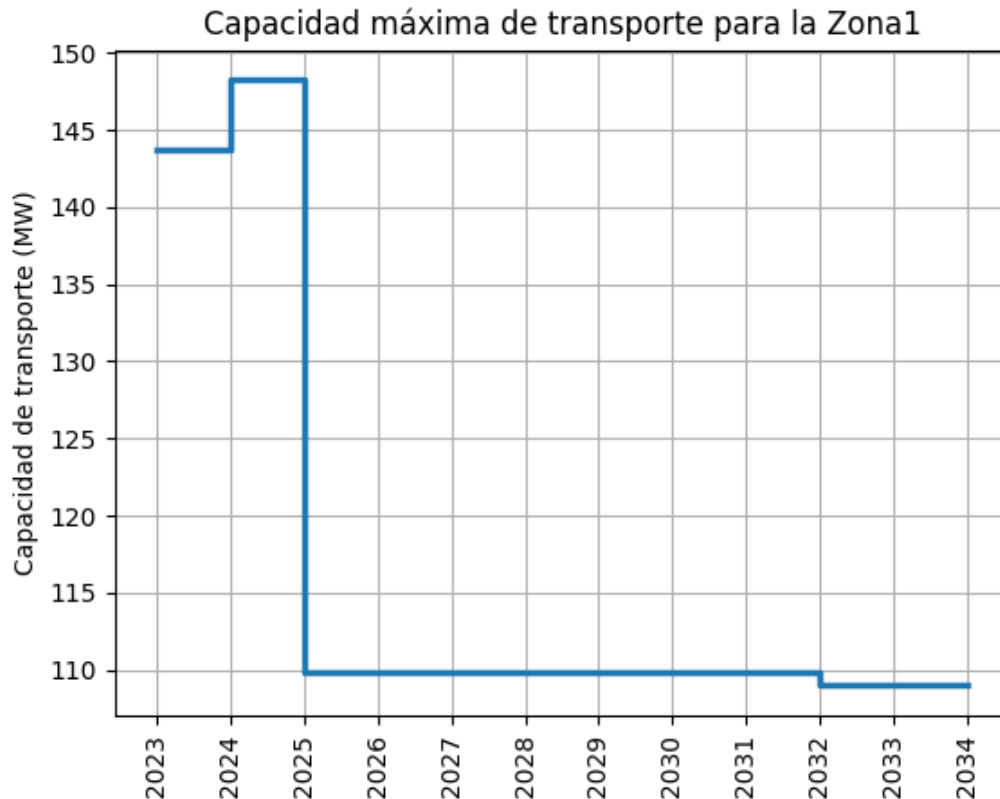


Figura 4. Capacidad máxima de transporte para la Zona1 a lo largo del horizonte de planeación.

Tabla 2. Capacidad máxima de transporte para la Zona1 para todo el horizonte de planeación.

Año	Capacidad (MW)
2023	143.75
2024	148.23
2025	109.83
2026	109.83
2027	109.83
2028	109.83
2029	109.83

2030	109.83
2031	109.83
2032	108.98
2033	108.98

Zona2

A continuación, se hace la presentación de los resultados obtenidos de capacidad máxima de transporte para la Zona2 a lo largo de todo el horizonte de planeación. Dicha zona esta conformada por las barras Dorada 115, Purnio 115, Dorada Norte 115, Dorada 33, DNorte 33, Rio Negrito 33, Salamina Cund 33, Manzanares 115, Mariquita 115, San Felipe 115, Victoria CQR 115, San Felipe 13.2. Los resultados se presentan de manera gráfica (Figura 5), como también de manera tabular (Tabla 3).

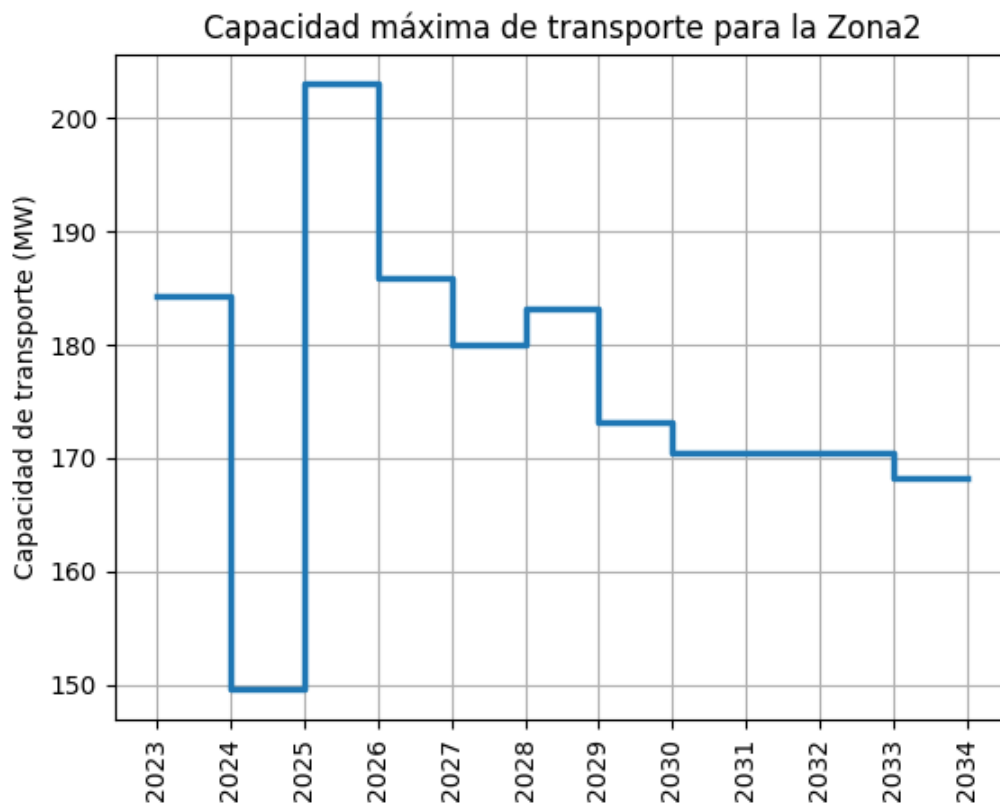


Figura 5. Capacidad máxima de transporte para la Zona2 a lo largo del horizonte de planeación.

Tabla 3. Capacidad máxima de transporte para la Zona2 para todo el horizonte de planeación.

Año	Capacidad (MW)
-----	----------------

F-DO-03 – V2

2022/08/12

Recuerde: Si este documento se encuentra impreso no se garantiza su vigencia, por lo tanto, se considera "Copia No Controlada". La versión vigente se encuentra publicada en el Sistema de Gestión Único Estratégico de Mejoramiento - SIGUEME.

2023	184.38
2024	149.57
2025	203.00
2026	185.87
2027	180.07
2028	183.19
2029	173.17
2030	170.47
2031	170.47
2032	170.47
2033	168.31

Zona3

A continuación, se hace la presentación de los resultados obtenidos de capacidad máxima de transporte para la Zona3 a lo largo de todo el horizonte de planeación. Dicha zona esta conformada por las barras Enea 220, Hermosa 220, Armenia 220. Los resultados se presentan de manera gráfica (Figura 6), como también de manera tabular (Tabla 4).

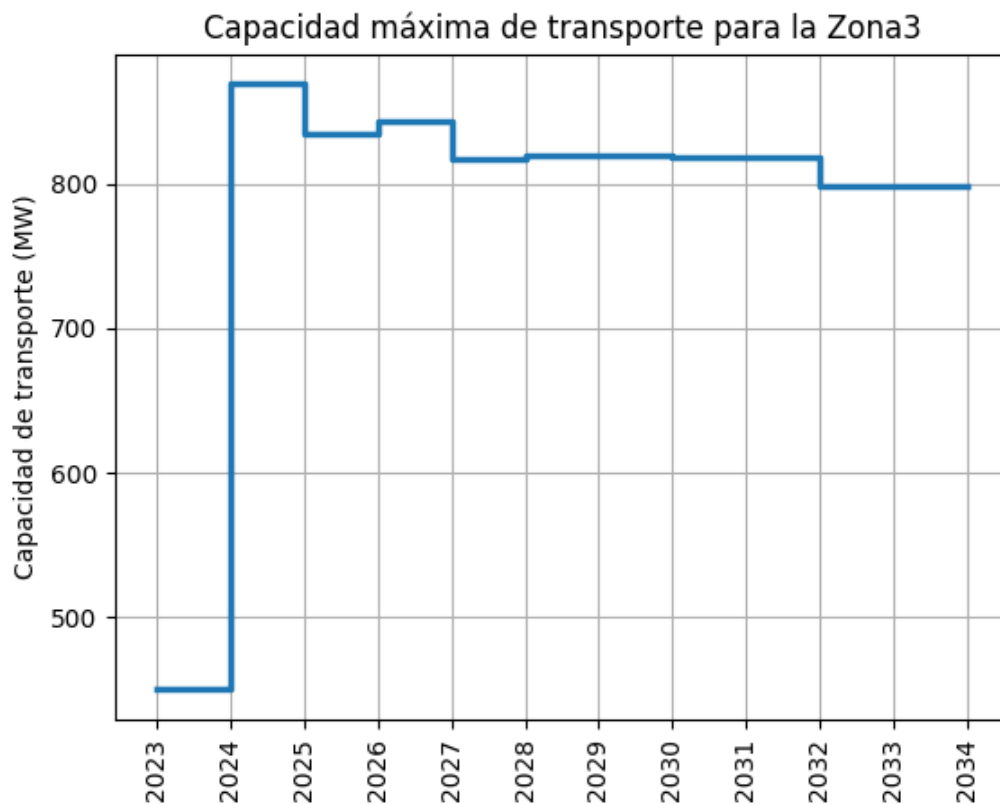


Figura 6. Capacidad máxima de transporte para la Zona3 a lo largo del horizonte de planeación.

F-DO-03 – V2

2022/08/12

Recuerde: Si este documento se encuentra impreso no se garantiza su vigencia, por lo tanto, se considera "Copia No Controlada". La versión vigente se encuentra publicada en el Sistema de Gestión Único Estratégico de Mejoramiento - SIGUEME.

Tabla 4. Capacidad máxima de transporte para la Zona3 para todo el horizonte de planeación.

Año	Capacidad (MW)
2023	450.00
2024	868.75
2025	834.38
2026	842.97
2027	817.19
2028	818.80
2029	820.02
2030	818.35
2031	818.35
2032	798.13
2033	798.13

Zona4

A continuación, se hace la presentación de los resultados obtenidos de capacidad máxima de transporte para la Zona4 a lo largo de todo el horizonte de planeación. Dicha zona esta conformada por las barras SFelipe 34.5, Mariquita 34.5, Guayabal 34.5, Ambalema 13.2, Ambalema 34.5, Beltran 34.5. Los resultados se presentan de manera gráfica (Figura 7), como también de manera tabular (Tabla 5).

Capacidad máxima de transporte para la Zona4

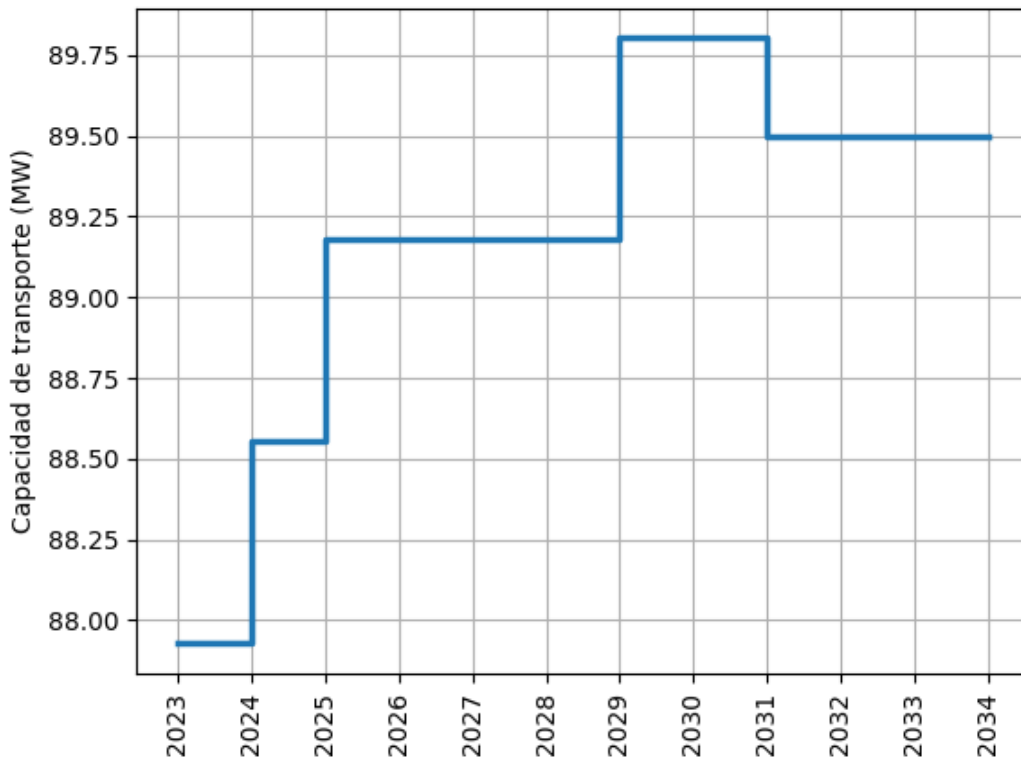


Figura 7. Capacidad máxima de transporte para la Zona4 a lo largo del horizonte de planeación.

Tabla 5. Capacidad máxima de transporte para la Zona4 para todo el horizonte de planeación.

Año	Capacidad (MW)
2023	87.93
2024	88.55
2025	89.18
2026	89.18
2027	89.18
2028	89.18
2029	89.80
2030	89.80
2031	89.50
2032	89.50
2033	89.50

Zona5

F-DO-03 – V2

2022/08/12

Recuerde: Si este documento se encuentra impreso no se garantiza su vigencia, por lo tanto, se considera "Copia No Controlada". La versión vigente se encuentra publicada en el Sistema de Gestión Único Estratégico de Mejoramiento - SIGUEME.

A continuación, se hace la presentación de los resultados obtenidos de capacidad máxima de transporte para la Zona5 a lo largo de todo el horizonte de planeación. Dicha zona esta conformada por las barras Irra 115, Salamina 115, Rio Sucio 115, Irra 33, Quinchia 13.2, Quinchia 33, Salamina 33. Los resultados se presentan de manera gráfica (Figura 8), como también de manera tabular (Tabla 6).

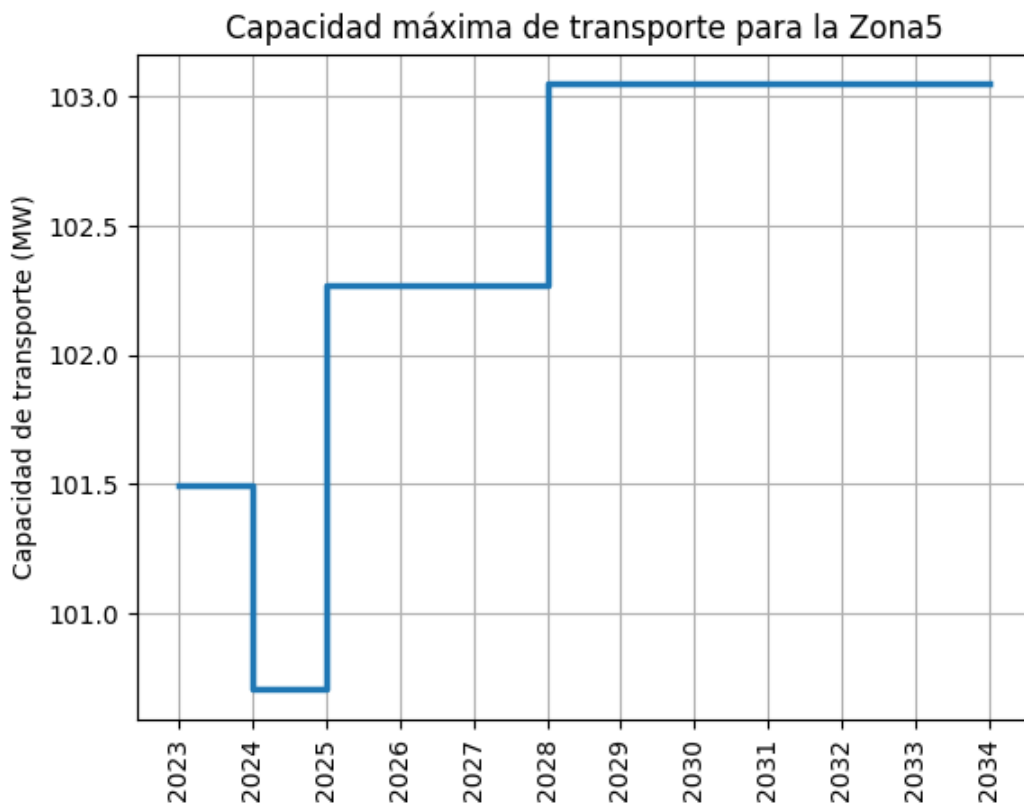


Figura 8. Capacidad máxima de transporte para la Zona5 a lo largo del horizonte de planeación.

Tabla 6. Capacidad máxima de transporte para la Zona5 para todo el horizonte de planeación.

Año	Capacidad (MW)
2023	101.50
2024	100.71
2025	102.27
2026	102.27
2027	102.27
2028	103.05
2029	103.05
2030	103.05
2031	103.05

2032	103.05
2033	103.05

Zona6

A continuación, se hace la presentación de los resultados obtenidos de capacidad máxima de transporte para la Zona6 a lo largo de todo el horizonte de planeación. Dicha zona esta conformada por las barras Cuba 115, La Rosa 115, Regivit 115, Armenia 115, Dosquebradas 115, Hermosa 115, Molinos 115, Papeles 115, Pavas 115, Dosquebradas 33, Pavas 33, Dosquebradas 13.2, Pavas1 13.2. Los resultados se presentan de manera gráfica (Figura 9), como también de manera tabular (Tabla 7).

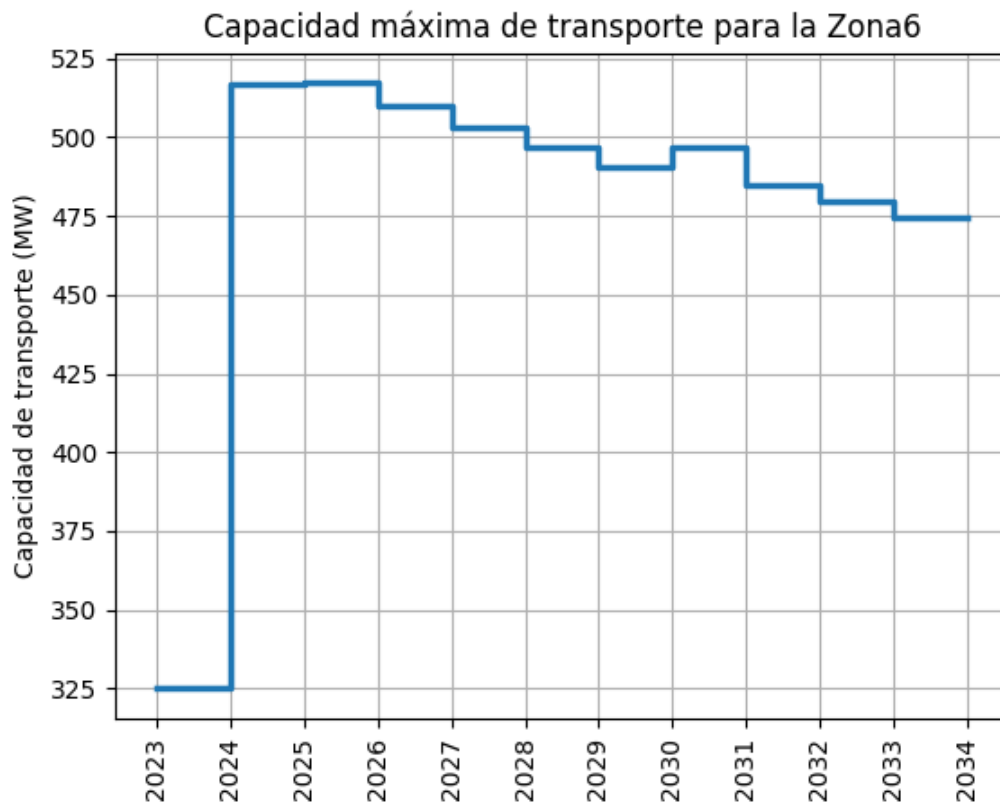


Figura 9. Capacidad máxima de transporte para la Zona6 a lo largo del horizonte de planeación.

Tabla 7. Capacidad máxima de transporte para la Zona6 para todo el horizonte de planeación.

Año	Capacidad (MW)
2023	325.00
2024	516.76

F-DO-03 – V2

2022/08/12

Recuerde: Si este documento se encuentra impreso no se garantiza su vigencia, por lo tanto, se considera "Copia No Controlada". La versión vigente se encuentra publicada en el Sistema de Gestión Único Estratégico de Mejoramiento - SIGUEME.

2025	517.19
2026	509.86
2027	503.00
2028	496.56
2029	490.52
2030	496.77
2031	484.68
2032	479.39
2033	474.42

Zona7

A continuación, se hace la presentación de los resultados obtenidos de capacidad máxima de transporte para la Zona7 a lo largo de todo el horizonte de planeación. Dicha zona esta conformada por las barras Esmeralda CQR 115, Viterbo 115, Virginia 115, San Fcisco 1 115, Viterbo 33, PuebloRico 33. Los resultados se presentan de manera gráfica (Figura 10), como también de manera tabular (Tabla 8).

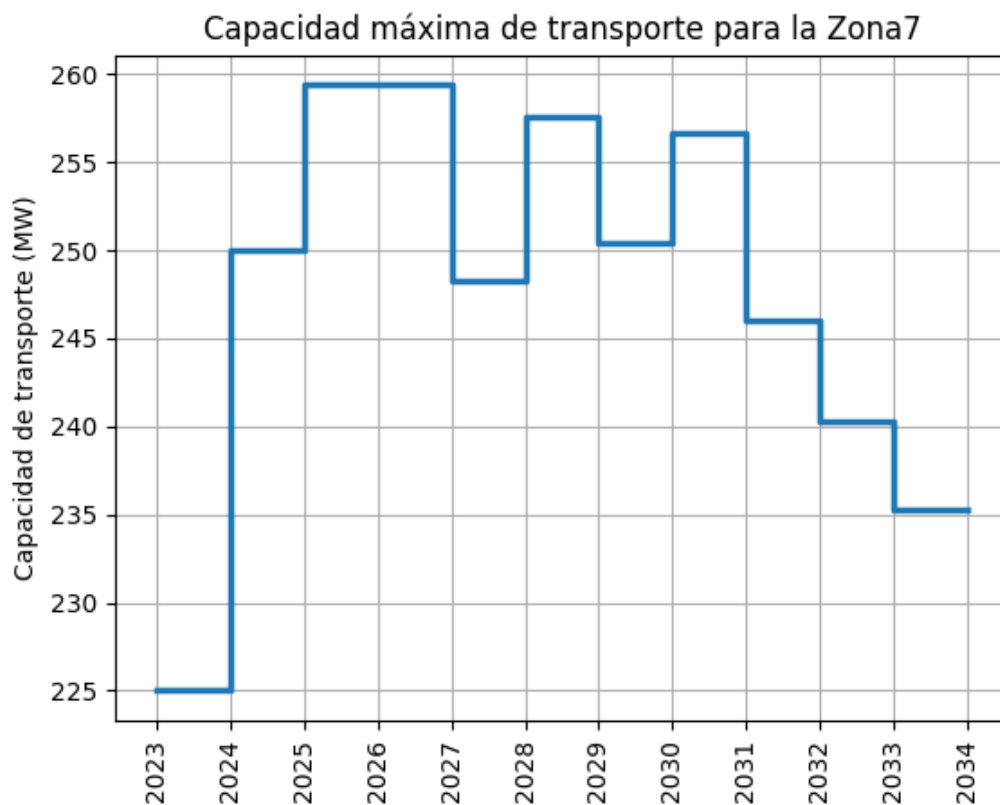


Figura 10. Capacidad máxima de transporte para la Zona7 a lo largo del horizonte de planeación.

F-DO-03 – V2

2022/08/12

Recuerde: Si este documento se encuentra impreso no se garantiza su vigencia, por lo tanto, se considera "Copia No Controlada". La versión vigente se encuentra publicada en el Sistema de Gestión Único Estratégico de Mejoramiento - SIGUEME.

Tabla 8. Capacidad máxima de transporte para la Zona7 para todo el horizonte de planeación.

Año	Capacidad (MW)
2023	225.00
2024	250.00
2025	259.38
2026	259.38
2027	248.24
2028	257.62
2029	250.42
2030	256.67
2031	246.04
2032	240.29
2033	235.25

Zona8

A continuación, se hace la presentación de los resultados obtenidos de capacidad máxima de transporte para la Zona8 a lo largo de todo el horizonte de planeación. Dicha zona esta conformada por las barras Virginia 220, Virginia 500, Esmeralda 220, La Miel 220, San Felipe 220, Purnio 220. Los resultados se presentan de manera gráfica (Figura 11), como también de manera tabular (Tabla 9).

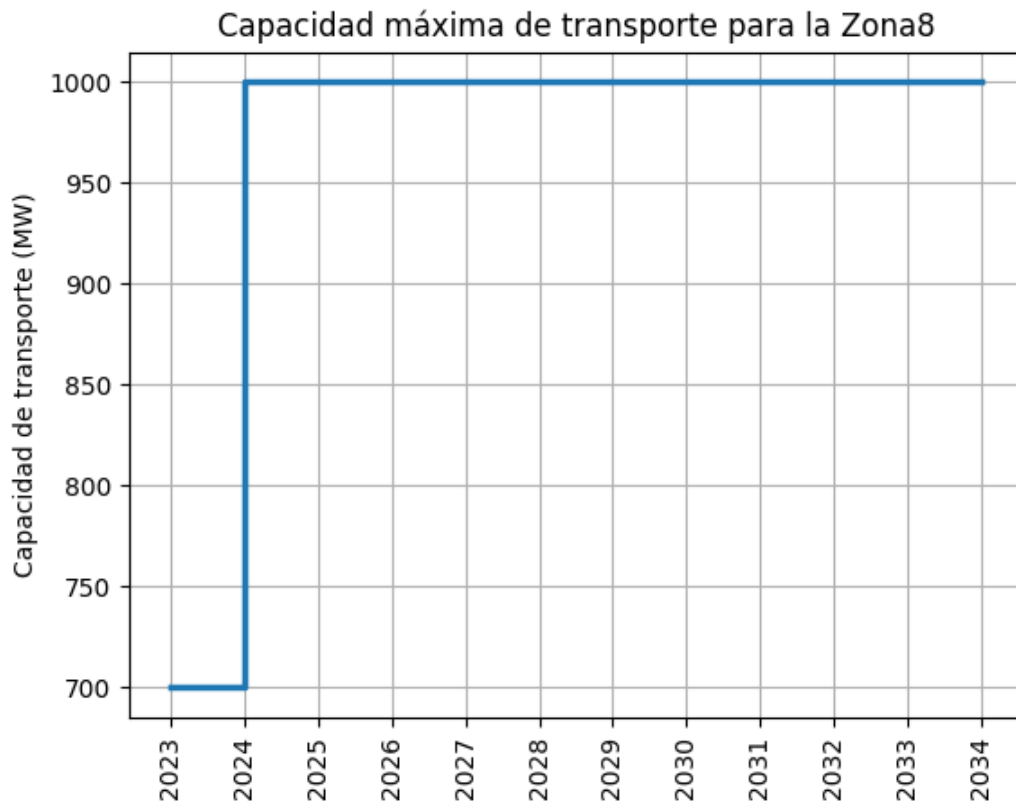


Figura 11. Capacidad máxima de transporte para la Zona8 a lo largo del horizonte de planeación.

Tabla 9. Capacidad máxima de transporte para la Zona8 para todo el horizonte de planeación.

Año	Capacidad (MW)
2023	700.00
2024	999.71
2025	999.71
2026	999.71
2027	999.71
2028	999.71
2029	999.71
2030	999.71
2031	999.71
2032	999.71
2033	999.71

Zona9

F-DO-03 – V2

2022/08/12

Recuerde: Si este documento se encuentra impreso no se garantiza su vigencia, por lo tanto, se considera "Copia No Controlada". La versión vigente se encuentra publicada en el Sistema de Gestión Único Estratégico de Mejoramiento - SIGUEME.

A continuación, se hace la presentación de los resultados obtenidos de capacidad máxima de transporte para la Zona9 a lo largo de todo el horizonte de planeación. Dicha zona esta conformada por las barras San Lorenzo 220, Salamina 220. Los resultados se presentan de manera gráfica (Figura 12), como también de manera tabular (Tabla 10).

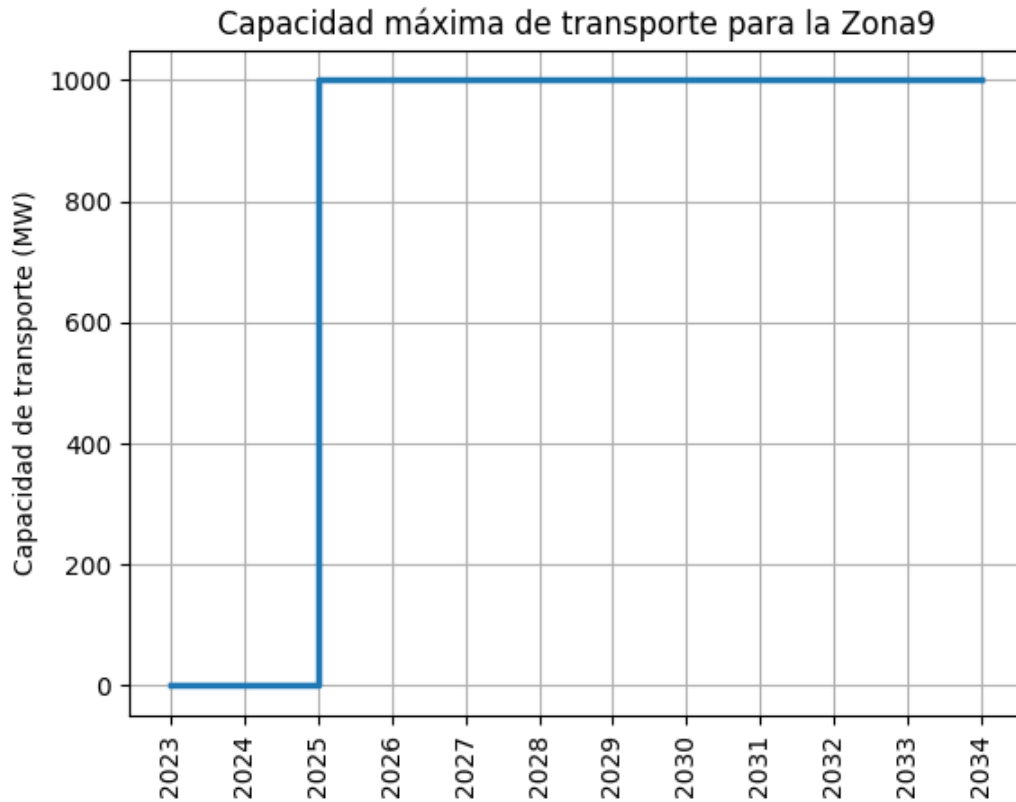


Figura 12. Capacidad máxima de transporte para la Zona9 a lo largo del horizonte de planeación.

Tabla 10. Capacidad máxima de transporte para la Zona9 para todo el horizonte de planeación.

Año	Capacidad (MW)
2023	0.00
2024	0.00
2025	1000.00
2026	1000.00
2027	1000.00
2028	1000.00
2029	1000.00
2030	1000.00
2031	1000.00
2032	1000.00

2033

1000.00

Zona10

A continuación, se hace la presentación de los resultados obtenidos de capacidad máxima de transporte para la Zona10 a lo largo de todo el horizonte de planeación. Dicha zona esta conformada por las barras Enea 115, Manizales 115, Peralonso 115, Acasa 115. Los resultados se presentan de manera gráfica (Figura 13), como también de manera tabular (Tabla 11).

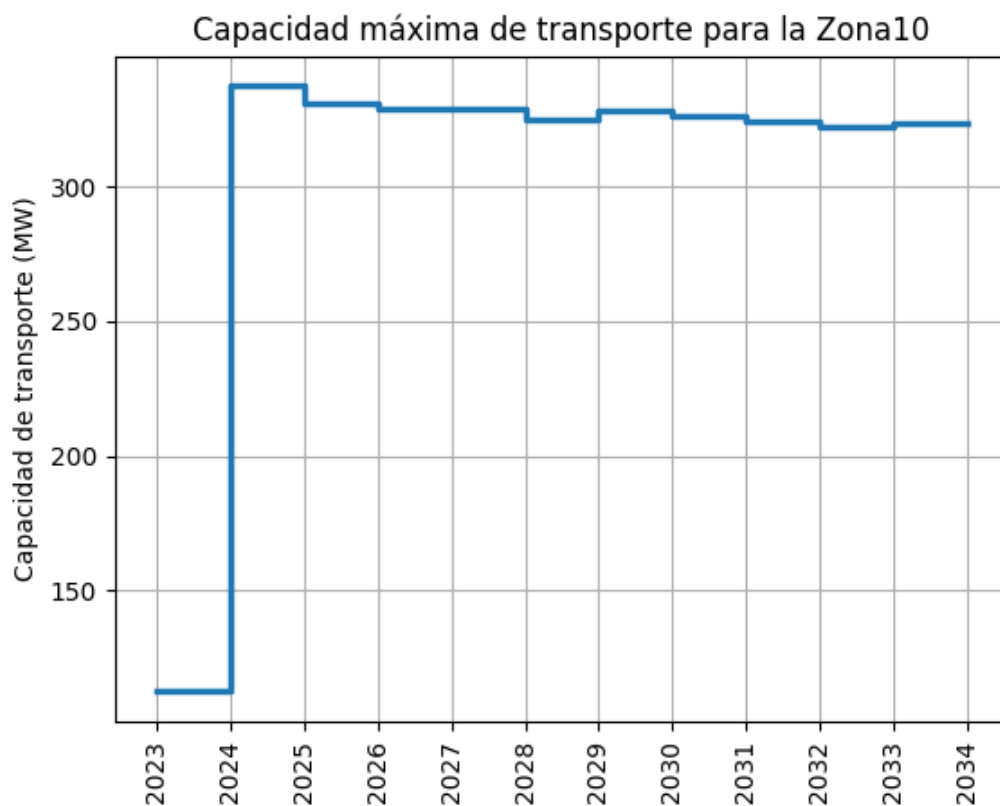


Figura 13. Capacidad máxima de transporte para la Zona10 a lo largo del horizonte de planeación.

Tabla 11. Capacidad máxima de transporte para la Zona10 para todo el horizonte de planeación.

Año	Capacidad (MW)
2023	112.50
2024	337.23
2025	330.80
2026	328.75

F-DO-03 – V2

2022/08/12

Recuerde: Si este documento se encuentra impreso no se garantiza su vigencia, por lo tanto, se considera "Copia No Controlada". La versión vigente se encuentra publicada en el Sistema de Gestión Único Estratégico de Mejoramiento - SIGUEME.

2027	328.75
2028	324.73
2029	327.85
2030	325.86
2031	323.89
2032	321.95
2033	323.52

