

Reporte de zonificación para la sub- área(s) Norte de Santander



Subdirección de Energía Eléctrica Grupo de Transmisión, Distribución y Cobertura

2022

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
Metodología de zonificación de las subáreas	3
Resultados	6
Zona1	6
Zona2	8
Zona3	9
Zona4	10
Zona5	12
Zona6	13
Zona7	14
Zona8	16
Zona9	17
Zona10	18

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(s) Norte de Santander-Norte de Santander.

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.

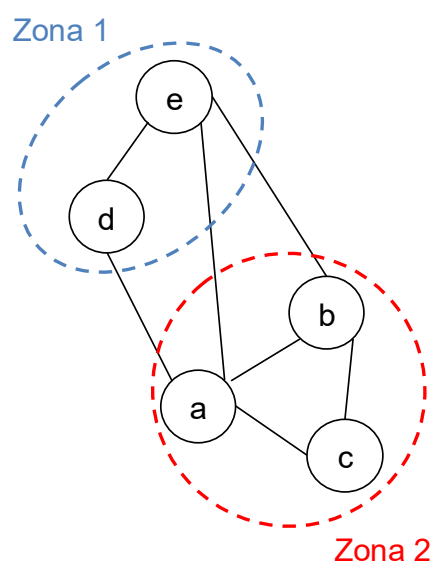


Figura 1. Agrupamiento en zonas de nodos con alto grado de correlación.

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.

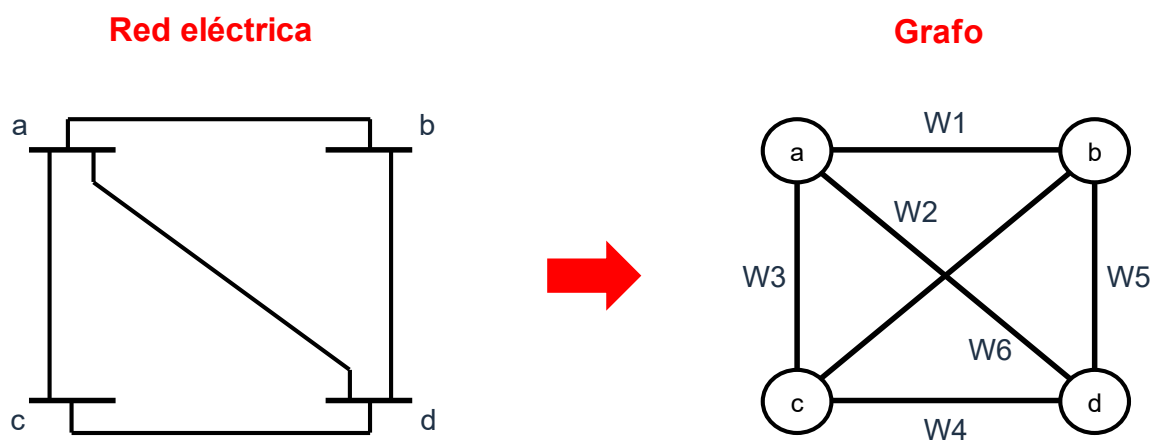


Figura 2. Transformación de una red eléctrica a un grafo equivalente.

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.

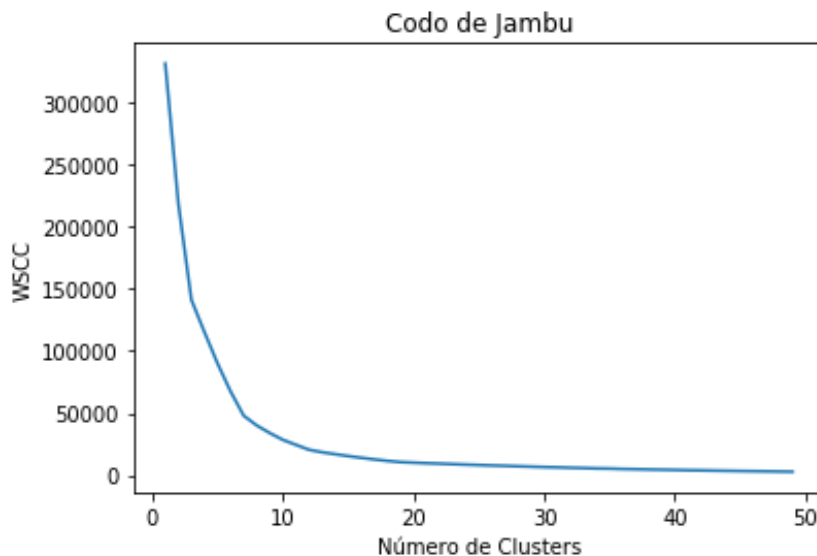


Figura 3. Ejemplo del Codo de Jambu.

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) Norte de Santander-Norte de Santander.

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

Zonas	Barras
Zona1	Belén 115, Don Juana 115, Tonchalá 115, Ínsula 115, San Mateo 115 (Barra1SanMat115), Sevilla 1 Sec1 115, Sevilla 1 Sec2 115, Tonchalá 13.8
Zona2	Ayacucho 115, Convención 115, Aguachica 115, Buturama 115, Buturama 34.5, Aguachica 34.5
Zona3	Ocaña 230 (Barra1Oc230)
Zona4	Cúcuta 220, San Mateo 220 (SMT_B1_220), Tasajero 220 (TSJ_B1_220)
Zona5	Ocaña 115 (Barra1Oc115)
Zona6	Culebra 34.5, Guaduas 34.5, Belén 34.5, Ínsula 34.5, Tonchalá 34.5
Zona7	Ocaña 500 (Barra1Oc500)
Zona8	Abrego 34.5, Ocaña 34.5
Zona9	Pamplona 34.5
Zona10	Tibú 115, Zulia 115, Zulia 34.5, Zulia 13.8

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 está conformada por las barras Belén 115, Don Juana 115, Tonchalá 115, Ínsula 115, Barra1SanMat115, Sevilla 1 Sec1 115, Sevilla 1 Sec2 115, Tonchalá 13.8. Los resultados se presentan de manera gráfica (Figura 4), como también de manera tabular (Tabla 2).

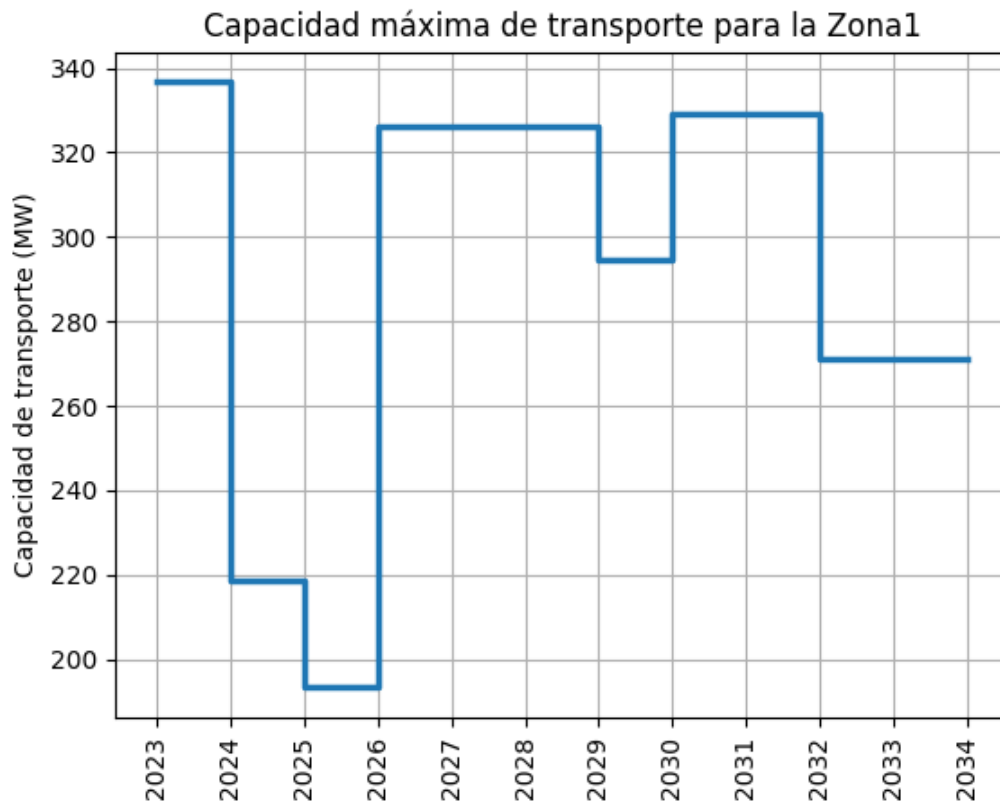


Figura 4. Capacidad máxima de transporte para la Zona1 a lo largo del horizonte de planeación.

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

Año	Capacidad (MW)
2023	336.64
2024	218.75
2025	193.32
2026	326.16
2027	326.16
2028	326.17
2029	294.62
2030	329.30
2031	329.30
2032	271.09
2033	271.09

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 está conformada por las barras Ayacucho 115, Convención 115, Aguachica 115, Buturama 115, Buturama 34.5, Aguachica 34.5. Los resultados se presentan de manera gráfica (Figura 5), como también de manera tabular (Tabla 3).

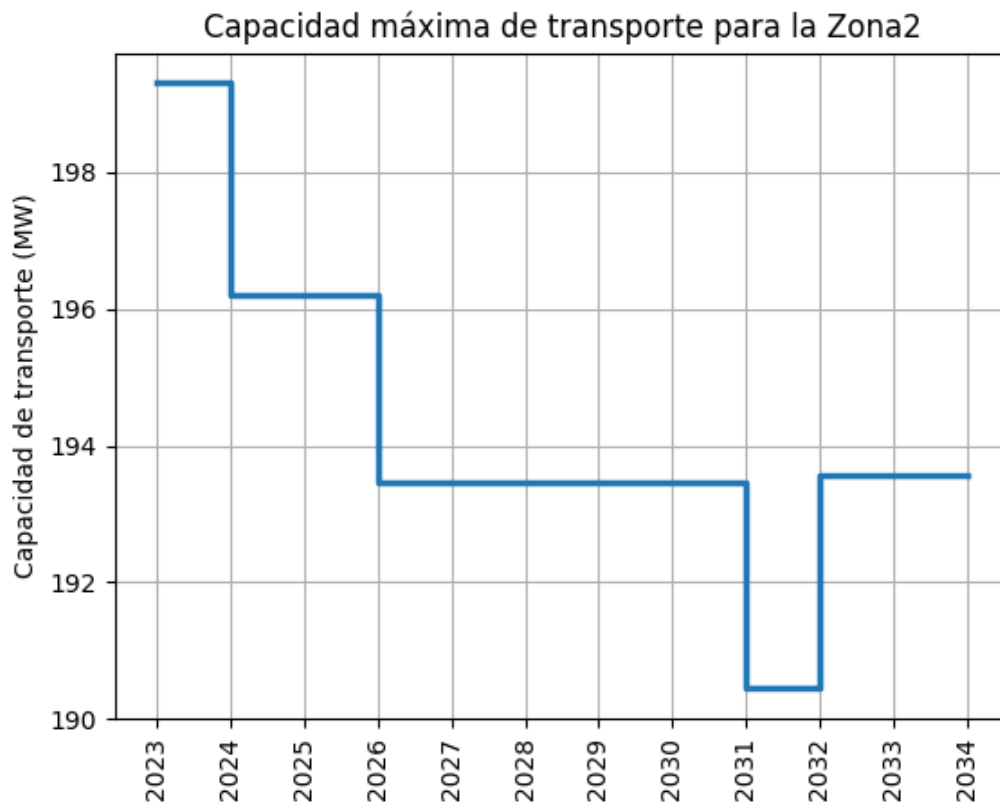


Figura 5. Capacidad máxima de transporte para la Zona2 a lo largo del horizonte de planeación.

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

Año	Capacidad (MW)
2023	199.31
2024	196.19
2025	196.19
2026	193.46
2027	193.46

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.

2028	193.46
2029	193.46
2030	193.46
2031	190.44
2032	193.57
2033	193.57

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 está conformada por las barras Barra1Oc230. Los resultados se presentan de manera gráfica (Figura 6), como también de manera tabular (Tabla 4).

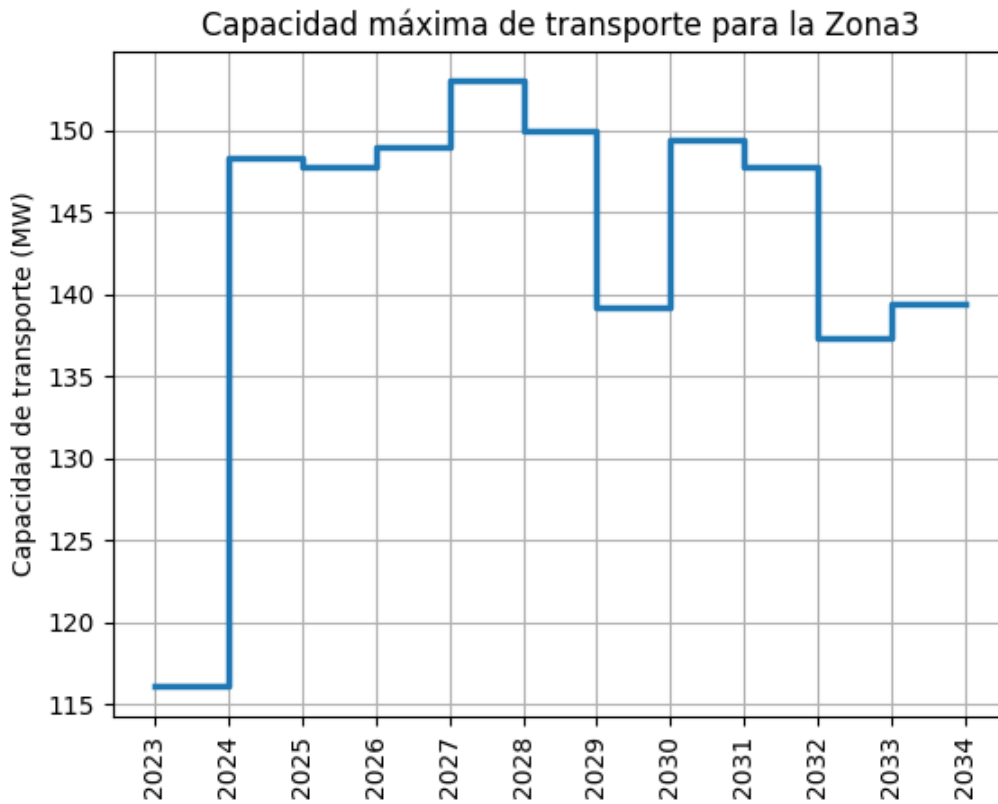


Figura 6. Capacidad máxima de transporte para la Zona3 a lo largo del horizonte de planeación.

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

Año	Capacidad (MW)
2023	116.10
2024	148.36
2025	147.76
2026	148.94
2027	152.98
2028	149.97
2029	139.20
2030	149.37
2031	147.76
2032	137.29
2033	139.38

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 está conformada por las barras Cúcuta 220, SMT_B1_220, TSJ_B1_220. Los resultados se presentan de manera gráfica (Figura 7), como también de manera tabular (Tabla 5).

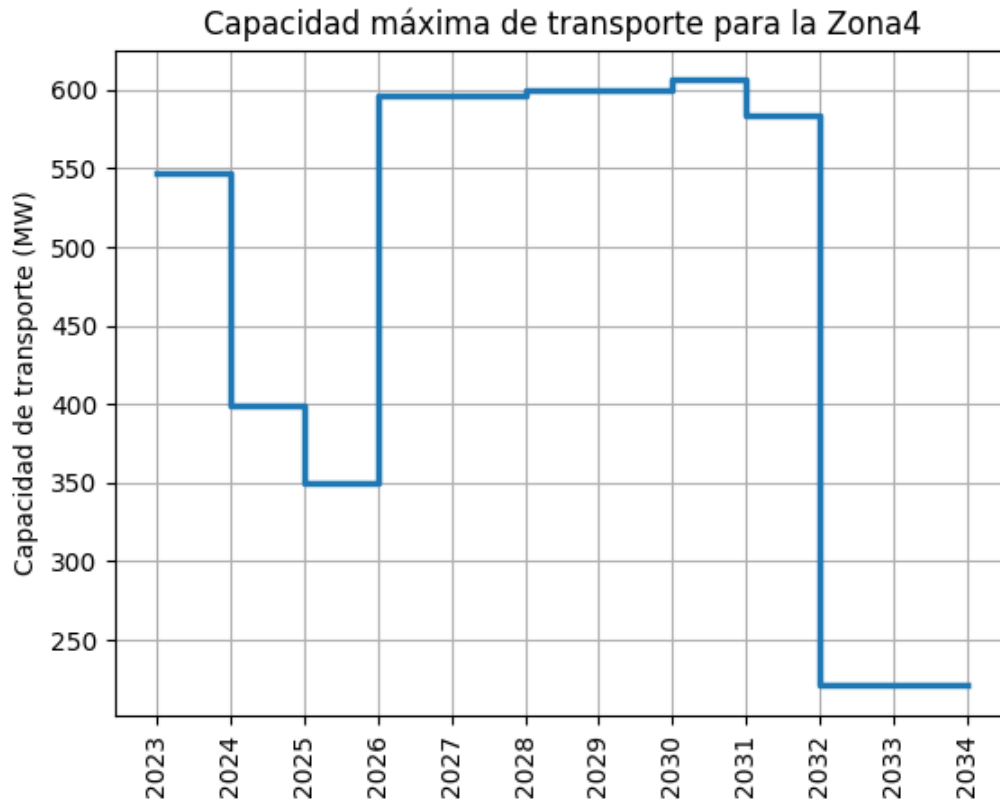


Figura 7. Capacidad máxima de transporte para la Zona4 a lo largo del horizonte de planeación.

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

Año	Capacidad (MW)
2023	547.22
2024	398.61
2025	349.43
2026	596.88
2027	596.88
2028	600.00
2029	600.00
2030	606.25
2031	584.03
2032	220.97
2033	220.97

Zona5

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 está conformada por las barras Barra1Oc115. Los resultados se presentan de manera gráfica (Figura 8), como también de manera tabular (Tabla 6).

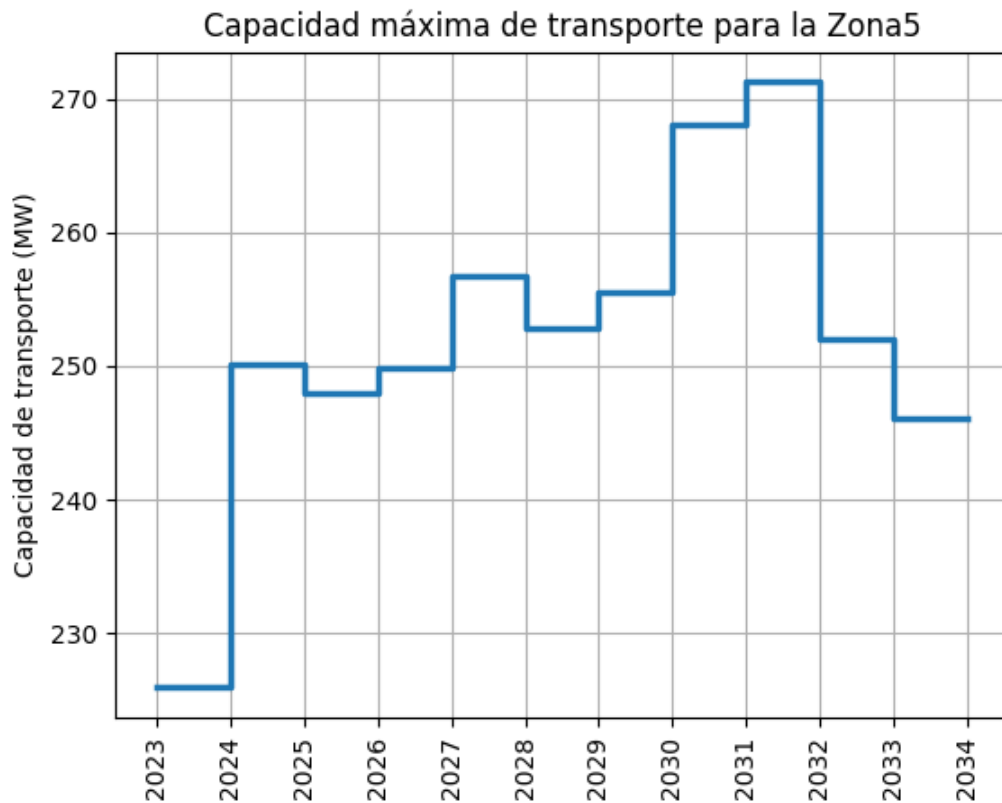


Figura 8. Capacidad máxima de transporte para la Zona5 a lo largo del horizonte de planeación.

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

Año	Capacidad (MW)
2023	225.90
2024	250.18
2025	247.92
2026	249.90
2027	256.69
2028	252.90

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.

2029	255.56
2030	268.05
2031	271.28
2032	252.06
2033	246.14

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 está conformada por las barras Culebra 34.5, Guaduas 34.5, Belén 34.5, Ínsula 34.5, Tonchalá 34.5. Los resultados se presentan de manera gráfica (Figura 9), como también de manera tabular (Tabla 7).

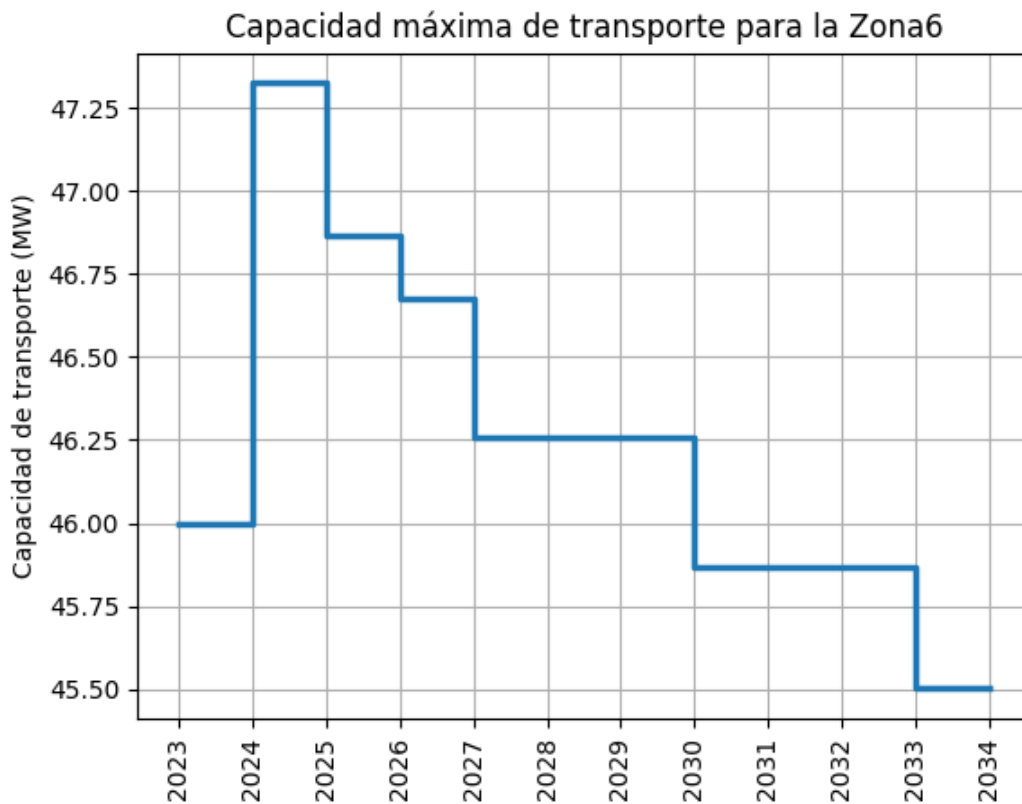


Figura 9. Capacidad máxima de transporte para la Zona6 a lo largo del horizonte de planeación.

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

Año	Capacidad (MW)
2023	46.00
2024	47.32
2025	46.87
2026	46.68
2027	46.26
2028	46.26
2029	46.26
2030	45.87
2031	45.87
2032	45.87
2033	45.50

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 está conformada por las barras Barra1Oc500. Los resultados se presentan de manera gráfica (Figura 10), como también de manera tabular (Tabla 8).

Capacidad máxima de transporte para la Zona7

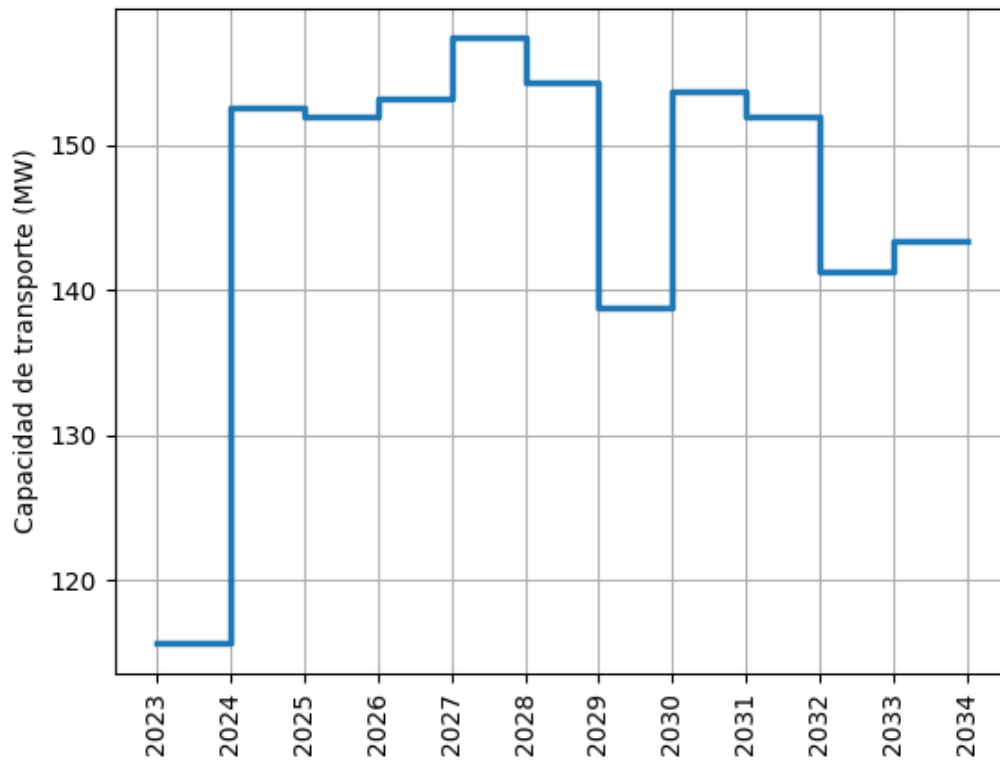


Figura 10. Capacidad máxima de transporte para la Zona7 a lo largo del horizonte de planeación.

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

Año	Capacidad (MW)
2023	115.63
2024	152.62
2025	152.00
2026	153.21
2027	157.37
2028	154.28
2029	138.78
2030	153.66
2031	152.00
2032	141.23
2033	143.38

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 está conformada por las barras Abrego 34.5, Ocaña 34.5. Los resultados se presentan de manera gráfica (Figura 11), como también de manera tabular (Tabla 9).

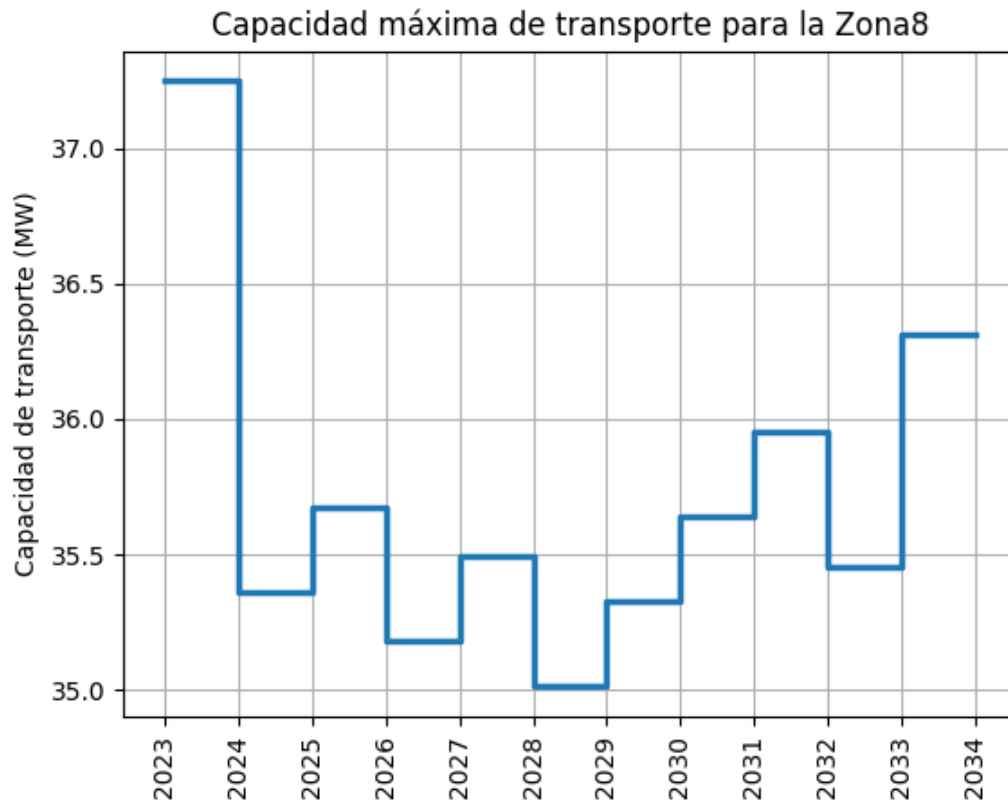


Figura 11. Capacidad máxima de transporte para la Zona8 a lo largo del horizonte de planeación.

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

Año	Capacidad (MW)
2023	37.25
2024	35.36
2025	35.67
2026	35.18
2027	35.50
2028	35.01
2029	35.32
2030	35.64

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.

2031	35.95
2032	35.45
2033	36.31

Zona9

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 está conformada por las barras Pamplona 34.5. Los resultados se presentan de manera gráfica (Figura 12), como también de manera tabular (Tabla 10).

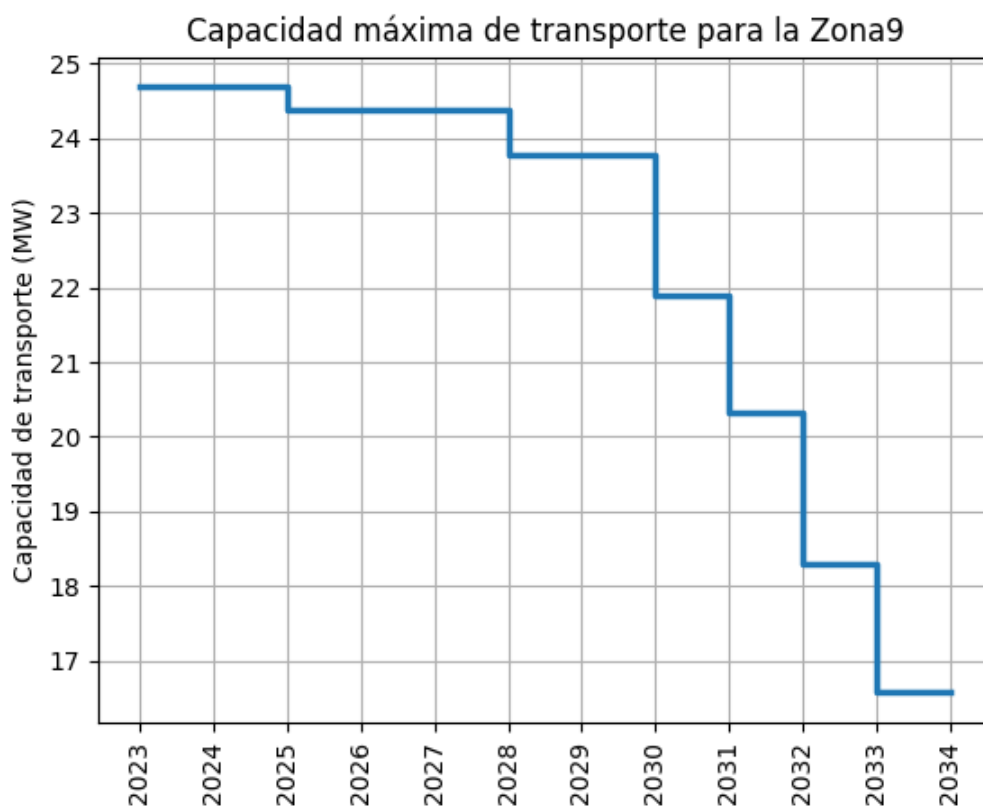


Figura 12. Capacidad máxima de transporte para la Zona9 a lo largo del horizonte de planeación.

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

Año	Capacidad (MW)
2023	24.69
2024	24.69
2025	24.39

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.

2026	24.39
2027	24.39
2028	23.79
2029	23.79
2030	21.89
2031	20.32
2032	18.29
2033	16.57

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 está conformada por las barras Tibú 115, Zulia 115, Zulia 34.5, Zulia 13.8. Los resultados se presentan de manera gráfica (Figura 13), como también de manera tabular (Tabla 11).

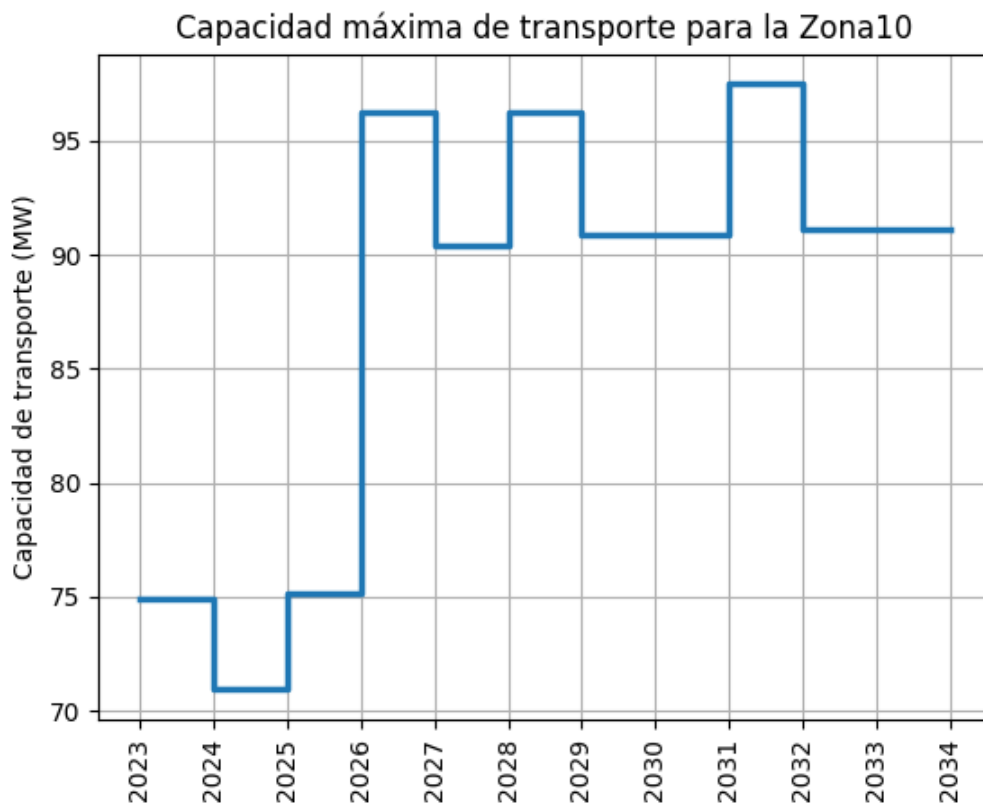


Figura 13. Capacidad máxima de transporte para la Zona10 a lo largo del horizonte de planeación.

Tabla 11. Capacidad máxima de transporte para la Zona 10 para todo el horizonte de planeación.

Año	Capacidad (MW)
2023	74.92
2024	70.93
2025	75.19
2026	96.26
2027	90.42
2028	96.26
2029	90.86
2030	90.86
2031	97.50
2032	91.13
2033	91.13