

# Reporte de zonificación para la sub- área(s) Boyacá-Casanare



## 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

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

## 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) Boyacá-Casanare-Boyacá-Casanare.

## 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.

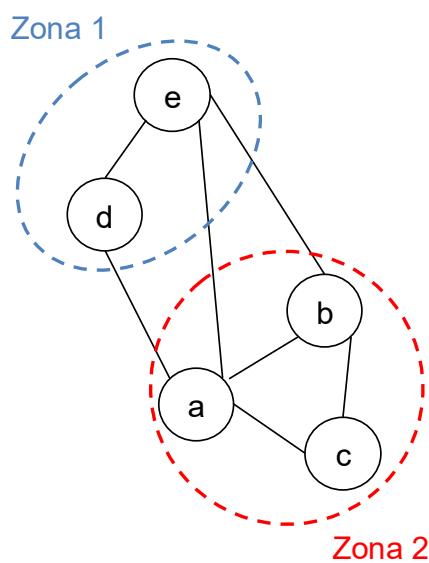


Figura 1. Agrupamiento en zonas de nodos con alto grado de correlación.

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.

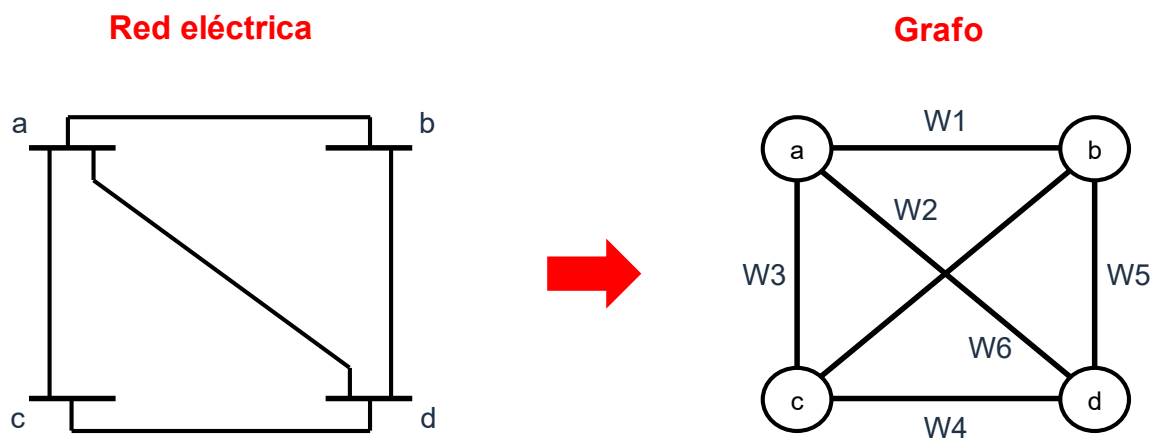


Figura 2. Transformación de una red eléctrica a un grafo equivalente.

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.

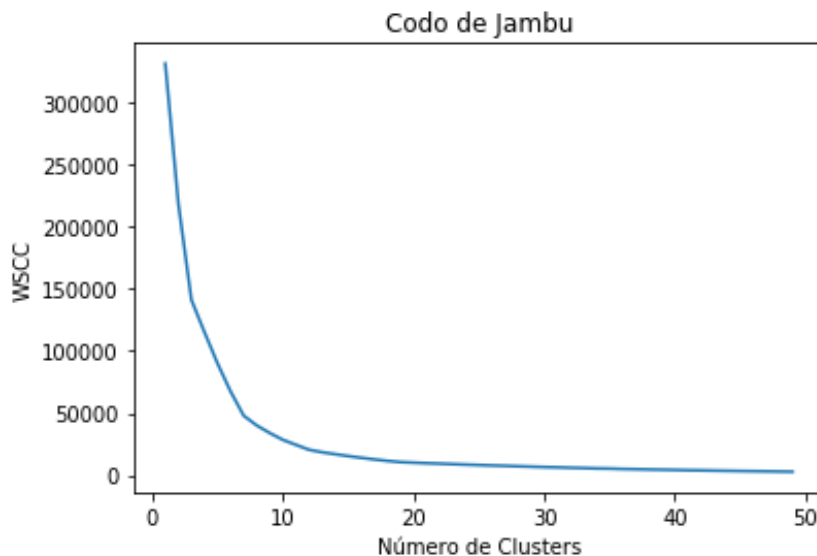


Figura 3. Ejemplo del Codo de Jambu.

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) Boyacá-Casanare-Boyacá-Casanare.

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

Zonas	Barras
<b>Zona1</b>	Aguazul 115, Yopal 1 34.5, Aguazul 34.5, Piñalito 34.5, Piñalito 13.8
<b>Zona2</b>	Tunja 115, Jenesano 115 (Barra1Jenes115), Muiscas 115 (Barra1Muisc115), Jenesano 34.5, Muiscas 34.5, Rio Piedras 13.8, Tunja 34.5
<b>Zona3</b>	Ramada 115, Duitama 115, Boavita 115, Sidenal 115, El Huche 115, Toquilla 115, Bavaria 115 kV, Acerías Paz del Rio 115, Cementos Argos, San Antonio 115 (Barra1SanAnt115), San Antonio 34.5, Suamox 115, Holcim 115 kV, Boavita 34.5, Holcim 13.8
<b>Zona4</b>	Aguaclara 115, Tauramena 34.5, Tauramena 13.8
<b>Zona5</b>	Yopal 2 34.5, La Niata 34.5, Morichal 34.5, La Niata 13.8
<b>Zona6</b>	Ramada 34.5, Firavitoba 34.5, Duitama 34.5, Siraatá 34.5, Ramada 13.8
<b>Zona7</b>	Chiquinquirá 115, Sta Rosa 115, Alto Ricaurte 115, Alto Ricaurte 34.5, Sáchica 34.5, Chiquinquirá 34.5, Chiquinquirá 13.8, Otanche 115
<b>Zona8</b>	Paz de Ariporo 115, Yopalosa 115, Santa Rosalía 115, San Luis 115
<b>Zona9</b>	Paipa 220, Diaco 115, Paipa 115 B1S1, Sochagota 220 (Barra1Sochag230), Sochagota 115 Barra Ppal, San Antonio 220 (Barra 1SanAnt230)
<b>Zona10</b>	Yopal 115, Morro 115, Alcaraván 220, Alcaraván 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 Aguazul 115, Yopal 1 34.5, Aguazul 34.5, Piñalito 34.5, Piñalito 13.8. Los resultados se presentan de manera gráfica (Figura 4), como también de manera tabular (Tabla 2).

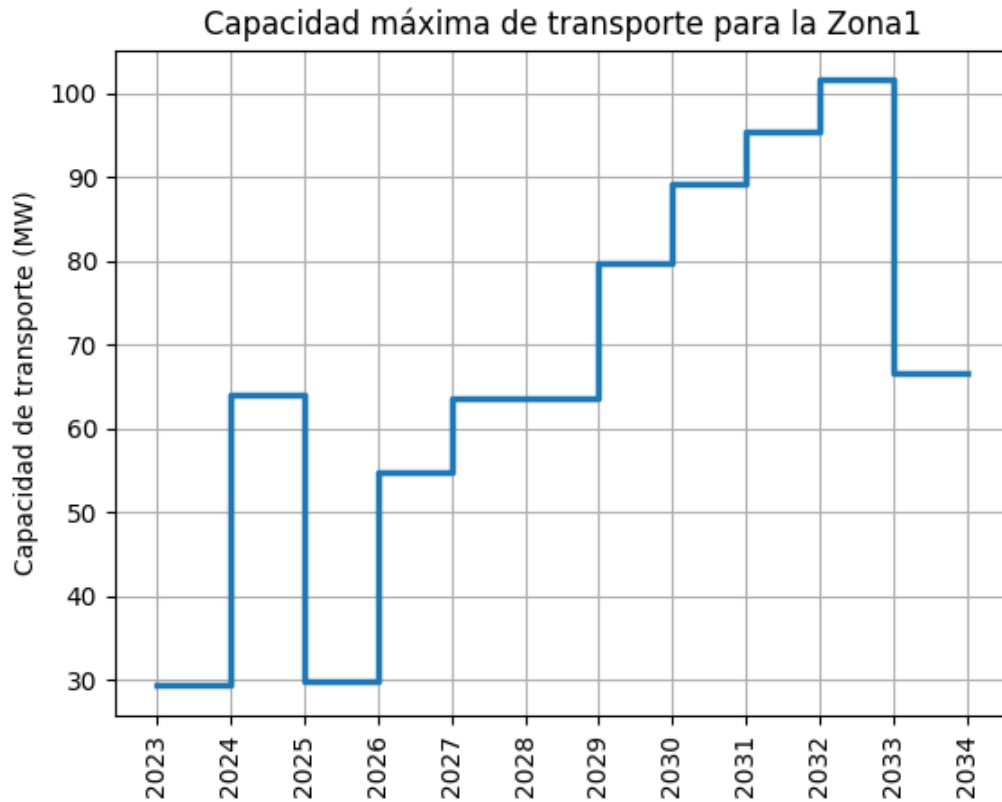


Figura 4. Capacidad máxima de transporte para la Zona1 a lo largo del horizonte de planeación.

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

Año	Capacidad (MW)
2023	29.28
2024	64.06
2025	29.76
2026	54.76
2027	63.67
2028	63.67
2029	79.76
2030	89.13
2031	95.38
2032	101.63
2033	66.52

## 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 Tunja 115, Barra1Jenes115, Barra1Muisca115, Jenesano 34.5, Muisca 34.5, Rio Piedras 13.8, Tunja 34.5. Los resultados se presentan de manera gráfica (Figura 5), como también de manera tabular (Tabla 3).

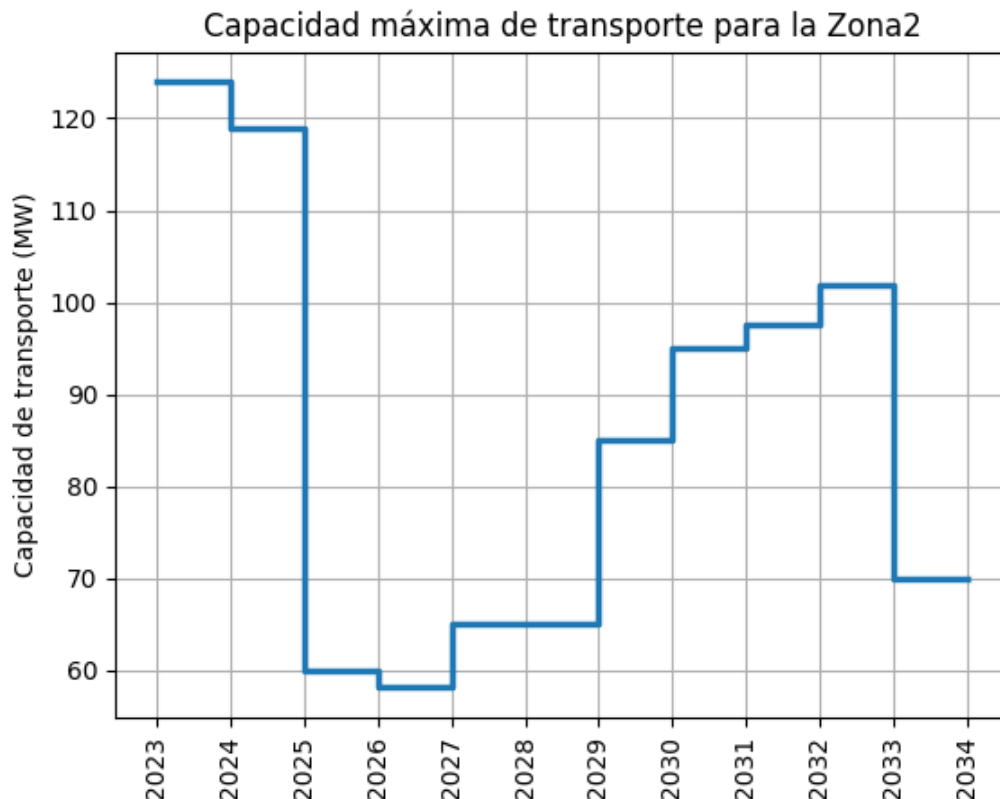


Figura 5. Capacidad máxima de transporte para la Zona2 a lo largo del horizonte de planeación.

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

Año	Capacidad (MW)
2023	123.94
2024	118.87
2025	60.00
2026	58.10
2027	65.00
2028	65.00
2029	85.00

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.



<b>2030</b>	95.00
<b>2031</b>	97.50
<b>2032</b>	101.85
<b>2033</b>	69.84

### 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 Ramada 115, Duitama 115, Boavita 115, Sidenal 115, El Huche 115, Toquilla 115, Bavaria 115 kV, Acerías Paz del Rio 115, Cementos Argos, Barra1SanAnt115, San Antonio 34.5, Suamox 115, Holcim 115 kV, Boavita 34.5, Holcim 13.8. Los resultados se presentan de manera gráfica (Figura 6), como también de manera tabular (Tabla 4).

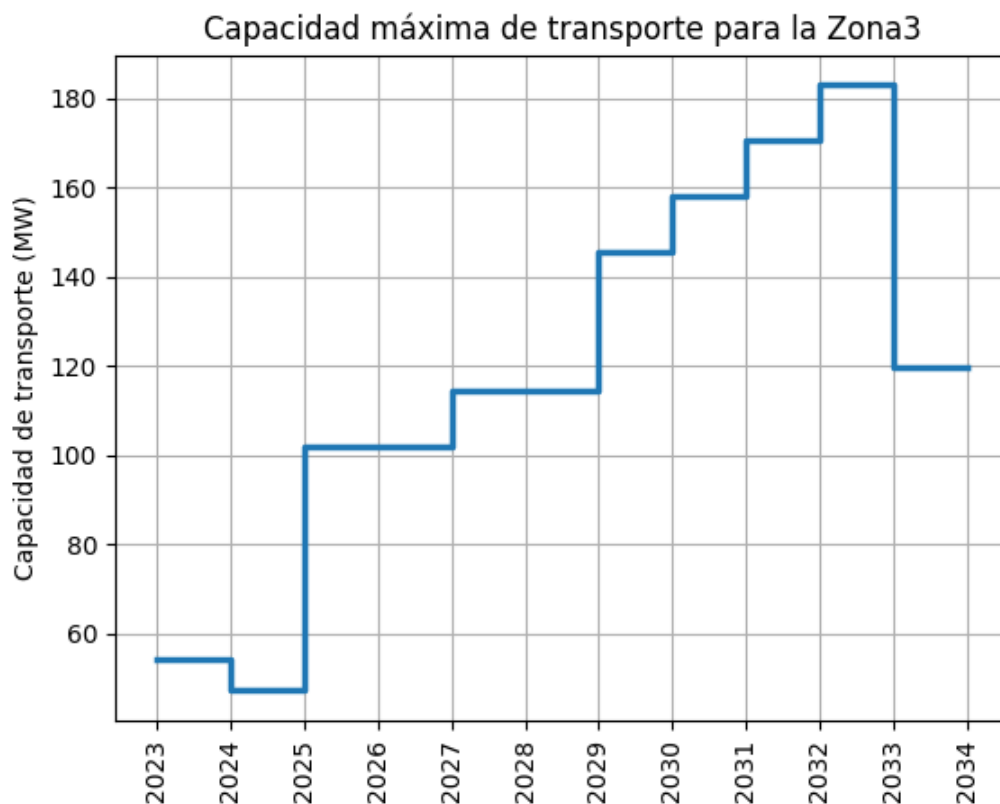


Figura 6. Capacidad máxima de transporte para la Zona3 a lo largo del horizonte de planeación.

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

Año	Capacidad (MW)
2023	54.26
2024	47.12
2025	101.80
2026	101.80
2027	114.30
2028	114.30
2029	145.55
2030	158.05
2031	170.55
2032	183.05
2033	119.58

## 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 Aguaclara 115, Tauramena 34.5, Tauramena 13.8. Los resultados se presentan de manera gráfica (Figura 7), como también de manera tabular (Tabla 5).

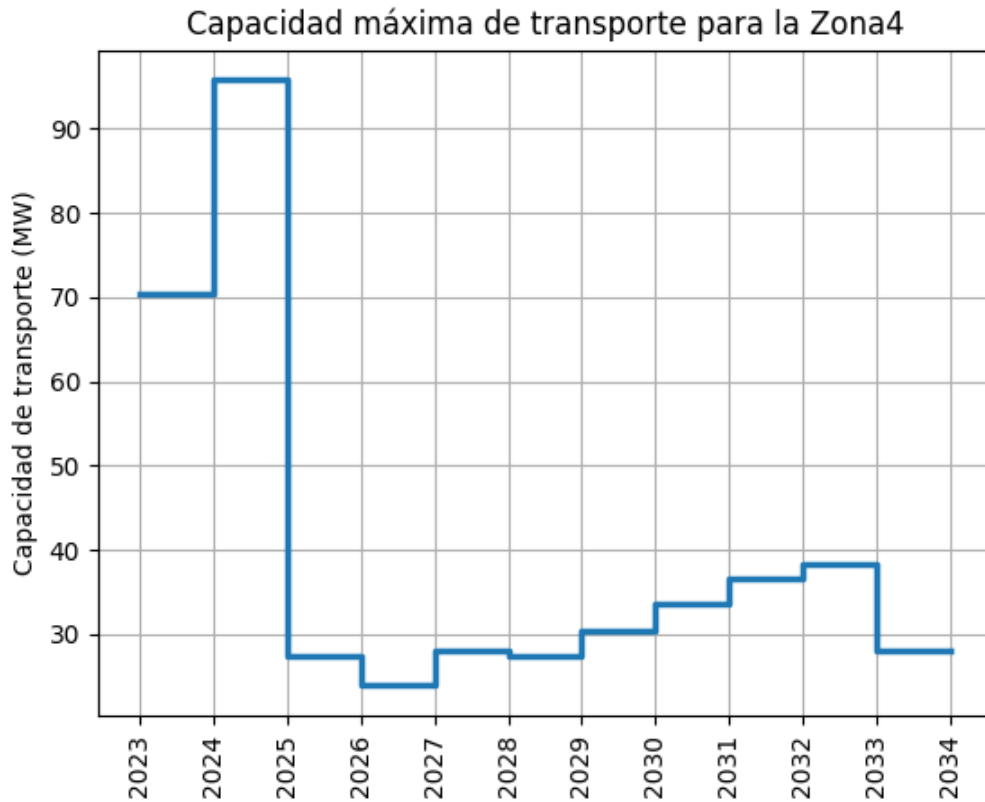


Figura 7. Capacidad máxima de transporte para la Zona4 a lo largo del horizonte de planeación.

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

Año	Capacidad (MW)
2023	70.31
2024	95.79
2025	27.36
2026	23.87
2027	27.97
2028	27.39
2029	30.42
2030	33.55
2031	36.67
2032	38.23
2033	28.06

## 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 esta conformada por las barras Yopal 2 34.5, La Niata 34.5, Morichal 34.5, La Niata 13.8. Los resultados se presentan de manera gráfica (Figura 8), como también de manera tabular (Tabla 6).

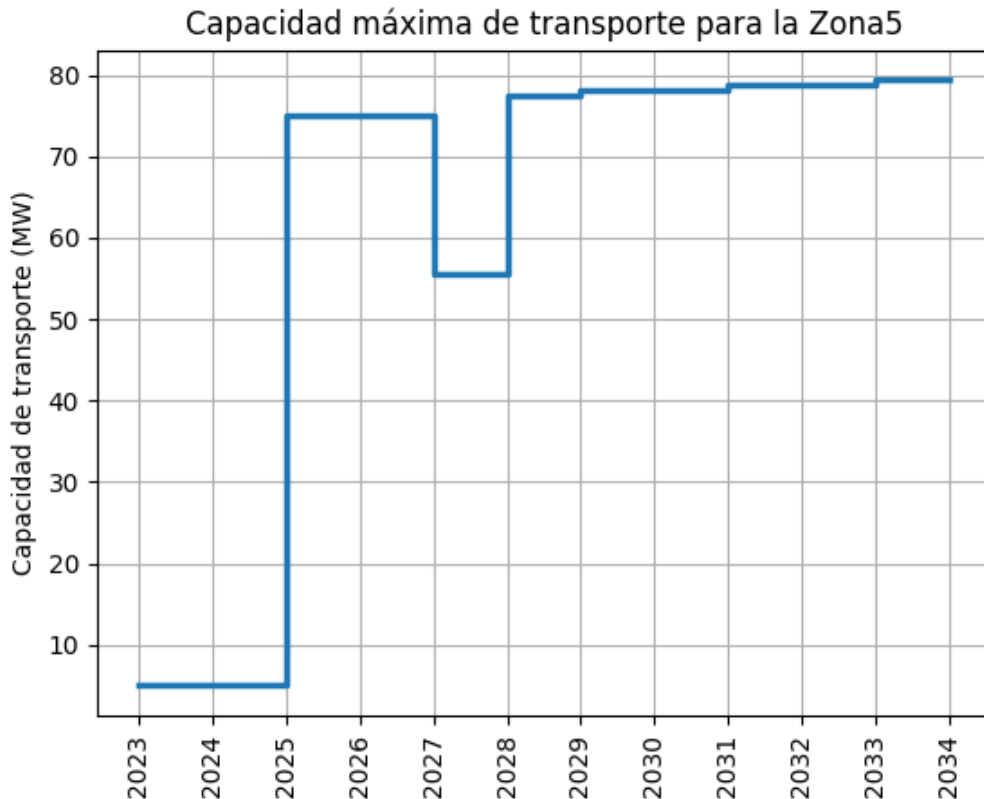


Figura 8. Capacidad máxima de transporte para la Zona5 a lo largo del horizonte de planeación.

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

Año	Capacidad (MW)
2023	5.12
2024	4.96
2025	74.96
2026	74.96
2027	55.63
2028	77.51
2029	78.13

2030	78.13
2031	78.76
2032	78.76
2033	79.38

## 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 Ramada 34.5, Firavitoba 34.5, Duitama 34.5, Siratá 34.5, Ramada 13.8. Los resultados se presentan de manera gráfica (Figura 9), como también de manera tabular (Tabla 7).

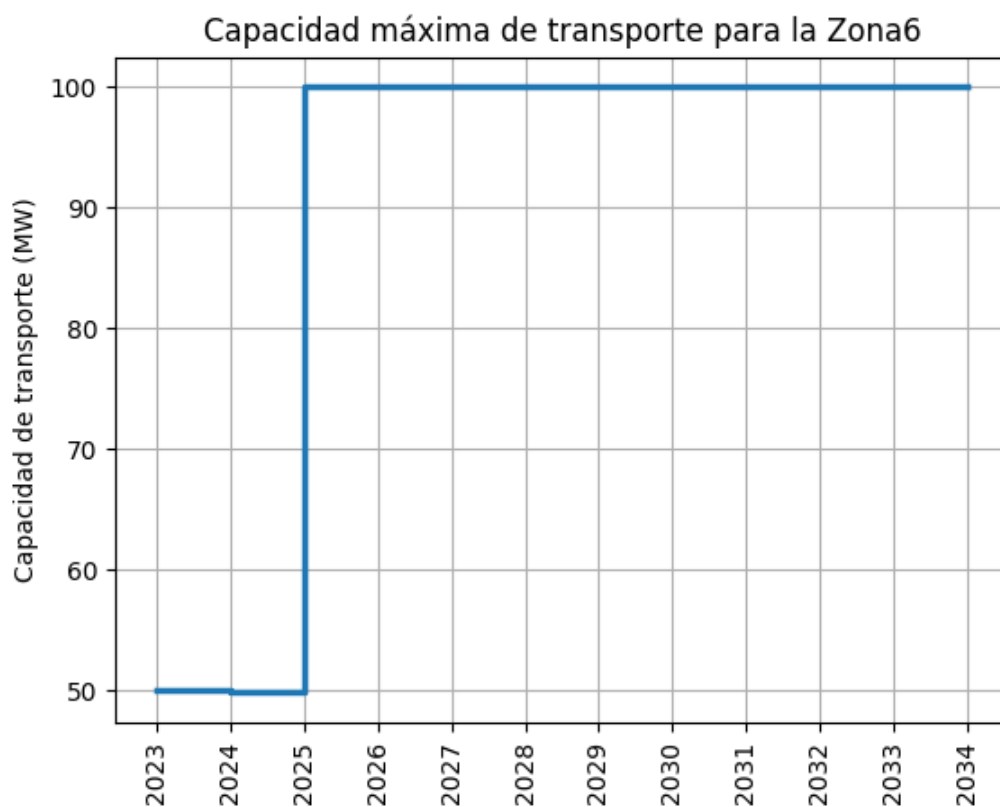


Figura 9. Capacidad máxima de transporte para la Zona6 a lo largo del horizonte de planeación.

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

Año	Capacidad (MW)
2023	50.00
2024	49.84
2025	100.00
2026	100.00
2027	100.00
2028	100.00
2029	100.00
2030	100.00
2031	100.00
2032	100.00
2033	100.00

## 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 Chiquinquirá 115, Sta Rosa 115, Alto Ricaurte 115, Alto Ricaurte 34.5, Sáchica 34.5, Chiquinquirá 34.5, Chiquinquirá 13.8, Otanche 115. Los resultados se presentan de manera gráfica (Figura 10), como también de manera tabular (Tabla 8).

Capacidad máxima de transporte para la Zona7

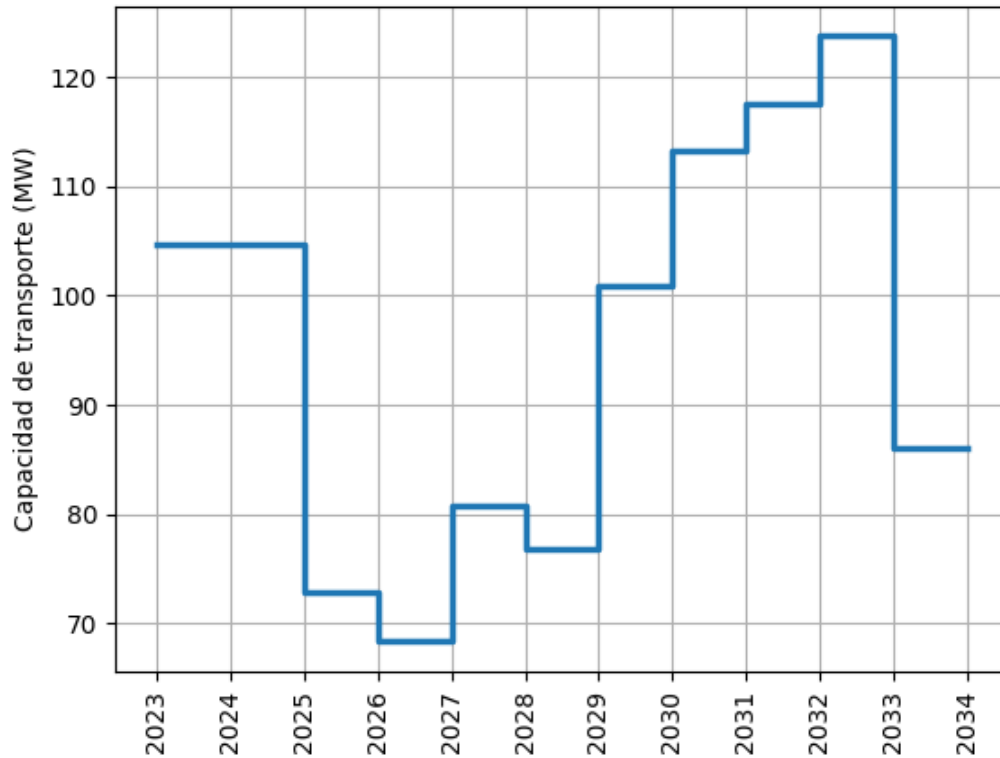


Figura 10. Capacidad máxima de transporte para la Zona7 a lo largo del horizonte de planeación.

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

Año	Capacidad (MW)
2023	104.69
2024	104.69
2025	72.86
2026	68.36
2027	80.86
2028	76.85
2029	100.81
2030	113.31
2031	117.47
2032	123.72
2033	86.07

## 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 Paz de Ariporo 115, Yopalosa 115, Santa Rosalía 115, San Luis 115. Los resultados se presentan de manera gráfica (Figura 11), como también de manera tabular (Tabla 9).

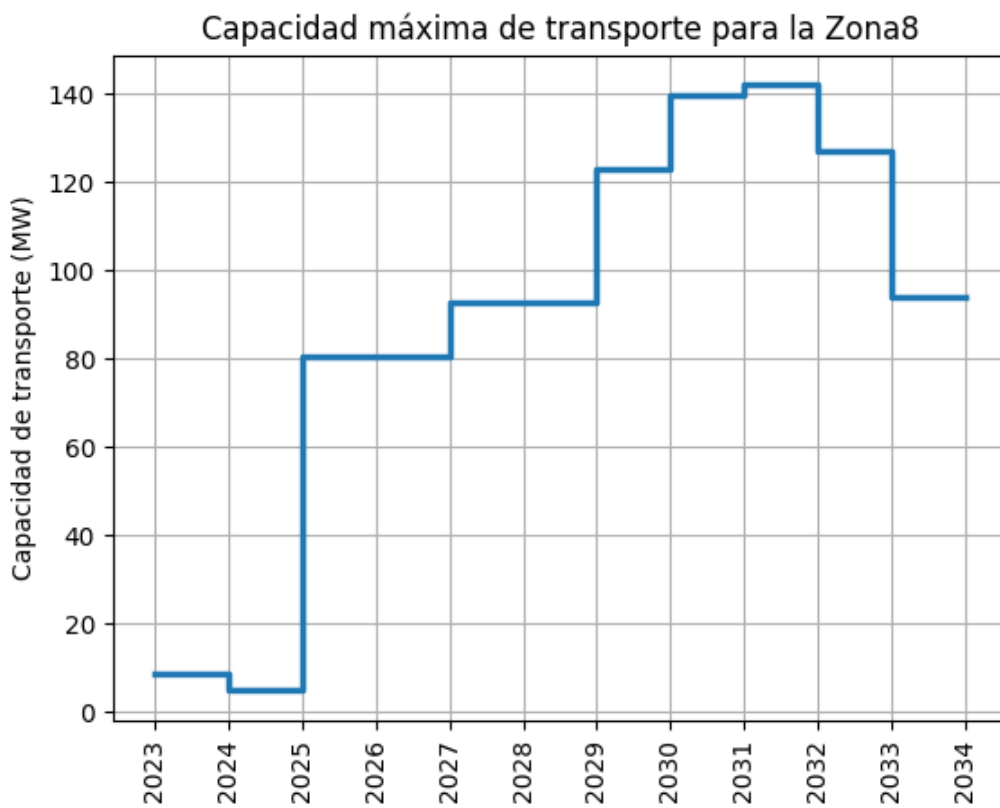


Figura 11. Capacidad máxima de transporte para la Zona8 a lo largo del horizonte de planeación.

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

Año	Capacidad (MW)
<b>2023</b>	8.84
<b>2024</b>	4.93
<b>2025</b>	80.50
<b>2026</b>	80.50
<b>2027</b>	93.00

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	93.00
2029	123.09
2030	139.87
2031	142.06
2032	127.17
2033	94.25

## 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 esta conformada por las barras Paipa 220, Diaco 115, Paipa 115 B1S1, Barra1Sochag230, Sochagota 115 Barra Ppal, Barra 1SanAnt230. Los resultados se presentan de manera gráfica (Figura 12), como también de manera tabular (Tabla 10).

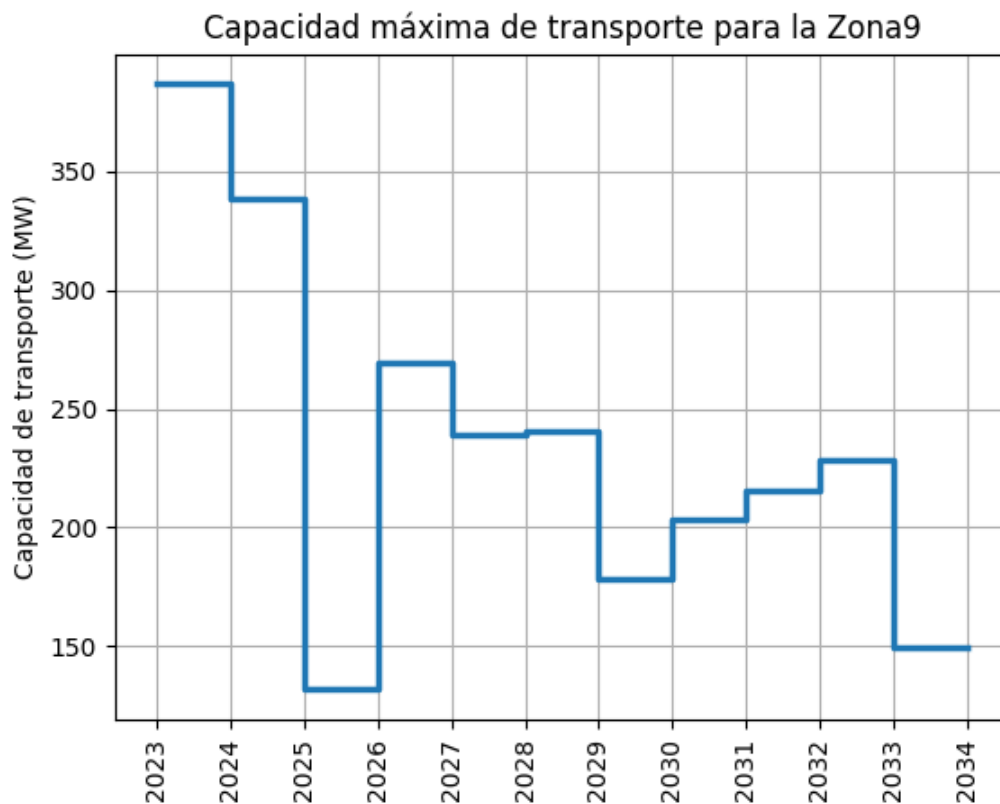


Figura 12. Capacidad máxima de transporte para la Zona9 a lo largo del horizonte de planeación.

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

Año	Capacidad (MW)
2023	386.72
2024	338.38
2025	131.78
2026	269.28
2027	239.03
2028	240.61
2029	178.11
2030	203.11
2031	215.61
2032	228.11
2033	149.70

## 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 Yopal 115, Morro 115, Alcaraván 220, Alcaraván 115. Los resultados se presentan de manera gráfica (Figura 13), como también de manera tabular (Tabla 11).

Capacidad máxima de transporte para la Zona10

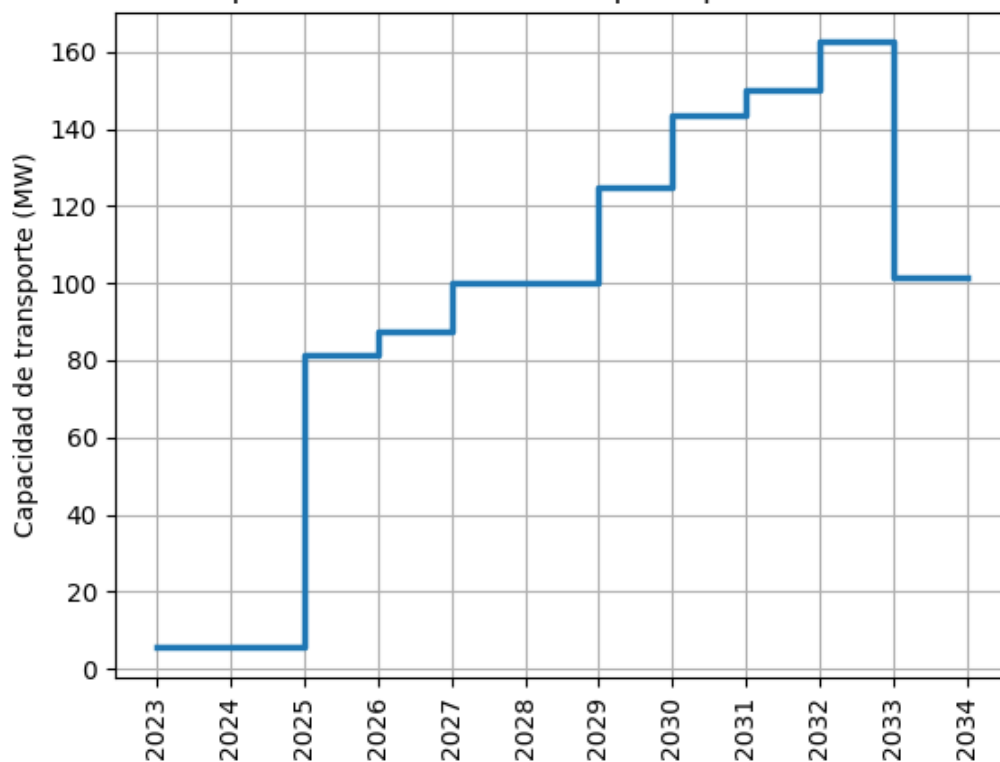


Figura 13. Capacidad máxima de transporte para la Zona10 a lo largo del horizonte de planeación.

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

Año	Capacidad (MW)
2023	5.57
2024	5.51
2025	81.25
2026	87.50
2027	100.00
2028	100.00
2029	125.00
2030	143.75
2031	150.00
2032	162.50
2033	101.56