

# Reporte de zonificación para la sub-área de Santander



## 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

<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>7</b>
<b>Zona2</b> .....	<b>8</b>
<b>Zona3</b> .....	<b>9</b>
<b>Zona4</b> .....	<b>11</b>
<b>Zona5</b> .....	<b>12</b>
<b>Zona6</b> .....	<b>13</b>
<b>Zona7</b> .....	<b>15</b>
<b>Zona8</b> .....	<b>16</b>
<b>Zona9</b> .....	<b>17</b>
<b>Zona10</b> .....	<b>19</b>
<b>Zona11</b> .....	<b>20</b>
<b>Zona12</b> .....	<b>21</b>
<b>Zona13</b> .....	<b>22</b>
<b>Zona14</b> .....	<b>24</b>
<b>Zona15</b> .....	<b>25</b>
<b>Zona16</b> .....	<b>26</b>
<b>Zona17</b> .....	<b>27</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 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 las 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.

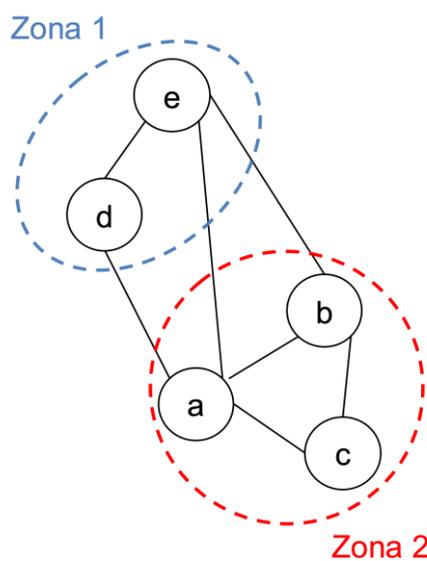


Figura 1. Agrupamiento en zonas de nodos con alto grado de correlación.

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.

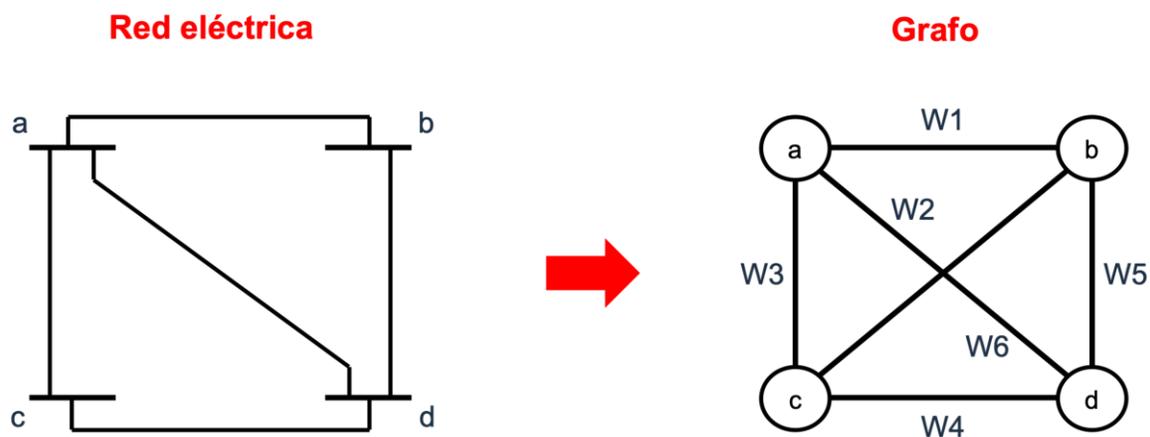


Figura 2. Transformación de una red eléctrica a un grafo equivalente.

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.

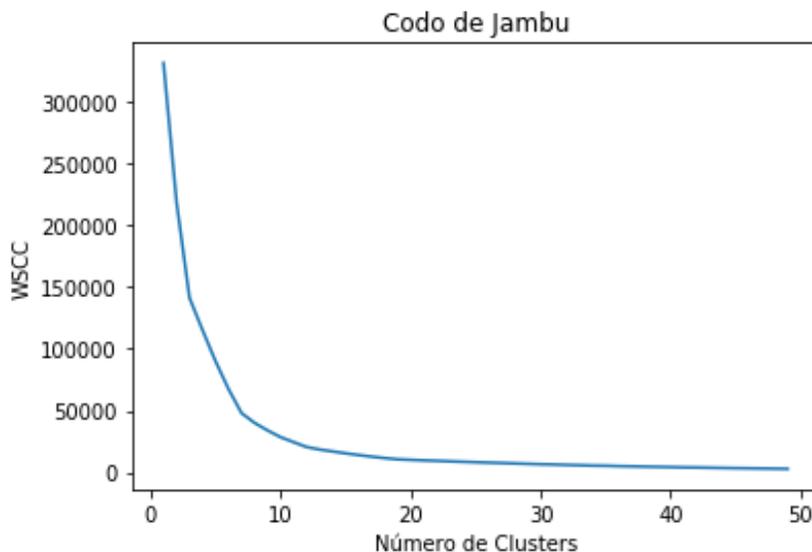


Figura 3. Ejemplo del Codo de Jambu.

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) Santander-Santander.

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

Zonas	Barras
Zona1	Oiba 115, Suaita 115, Oiba 34.5, Charala 34.5
Zona2	Florida ESSA 115, Bmanga 115, Rio Frio 115
Zona3	Wilches 115, Puerto Wilches 34.5 kV, KM8 34.5 kV
Zona4	Barranca 115, Sn Silvestre 115, Barranca 34.5, Buena Vista 115, Condor 115
Zona5	Lizama 115, Sabana de Torres 115, San Alberto 115, Sabana de Torres 34.5 kV, San Alberto 13.8, San Alberto 34.5
Zona6	Guatiguara 220
Zona7	Barranca 220, Comuneros 220, CiralInfanta 220, Merilectrica 220, Magdalena M 220
Zona8	Sogamoso 500
Zona9	Cabrera 220
Zona10	Palos 115, Principal 115, Conucos 115, Bosconia 115, TBosconia 115
Zona11	Barbosa 115, Cimitarra 115, Sta Rosa 115, TSta Rosa 115, Cimitarra 34.5 kV
Zona12	Sogamoso 220
Zona13	Palenque 220
Zona14	San Gil 115, Cabrera 115
Zona15	Palenque 115, Realminas 115
Zona16	Bmanga 220, Palos 220
Zona17	Piedecuesta 115, Mesa del Sol 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 Oiba 115, Suaita 115, Oiba 34.5, Charala 34.5. Los resultados se presentan de manera gráfica (Figura 4), como también de manera tabular (Tabla 2).

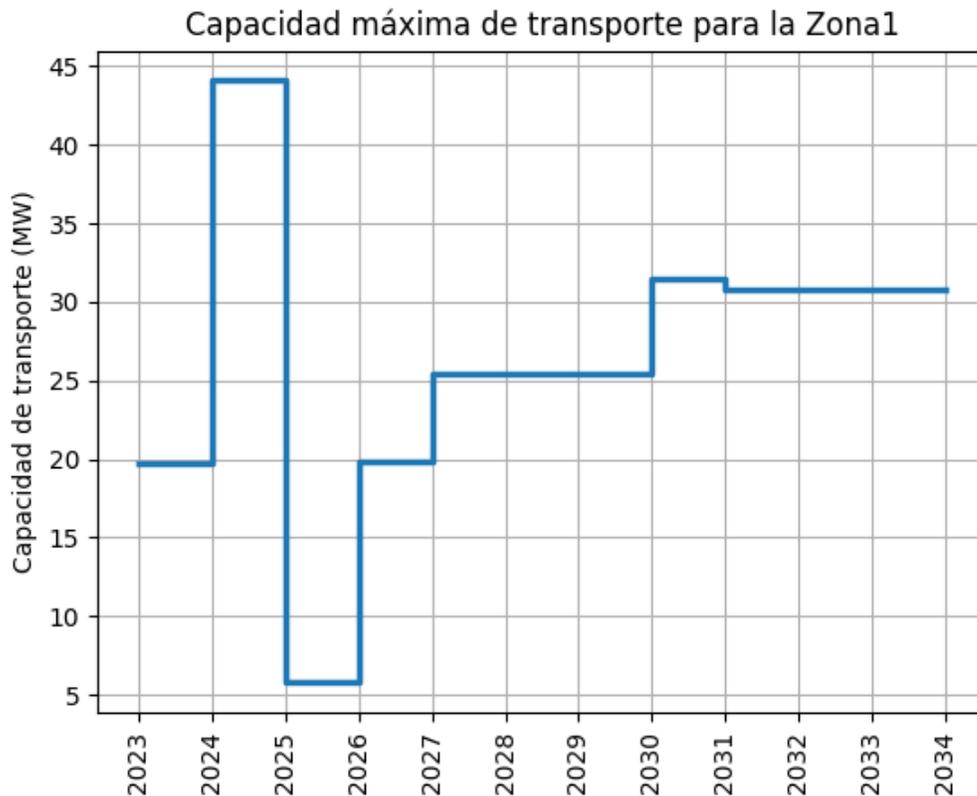


Figura 4. Capacidad máxima de transporte para la Zona1 a lo largo del horizonte de planeación.

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

Año	Capacidad (MW)
2023	19.74
2024	44.10
2025	5.77
2026	19.83
2027	25.41
2028	25.41
2029	25.41
2030	31.44

2031	30.84
2032	30.84
2033	30.84

## 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 Florida ESSA 115, Bmanga 115, Rio Frio 115. Los resultados se presentan de manera gráfica (Figura 5), como también de manera tabular (Tabla 3).

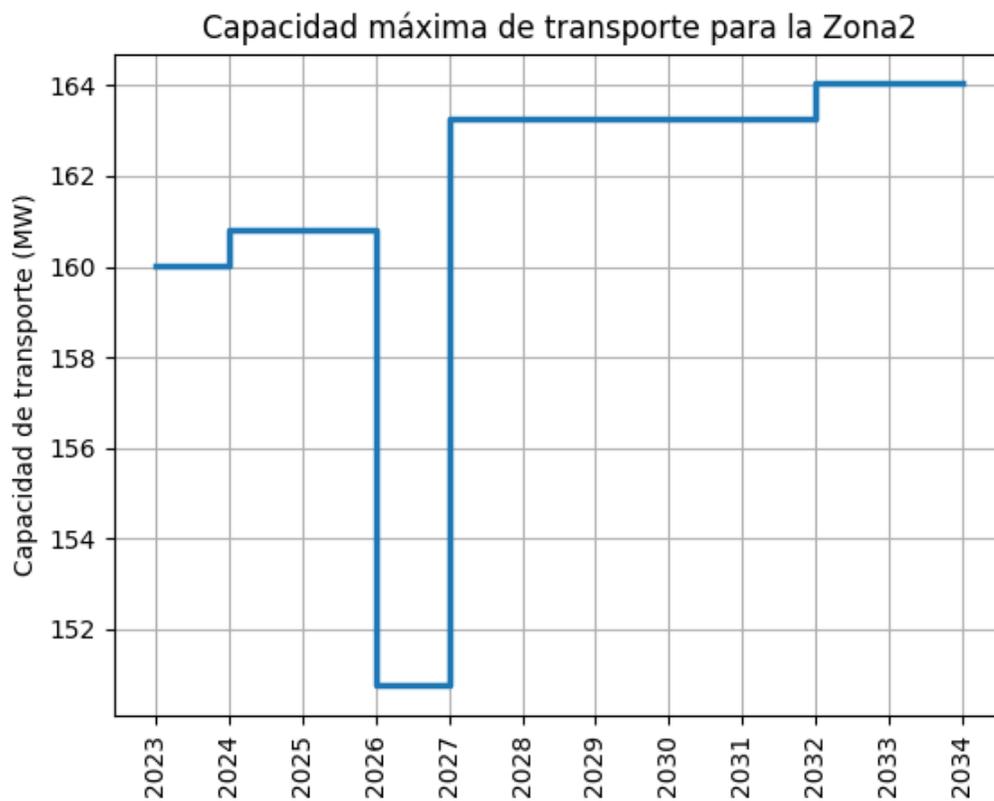


Figura 5. Capacidad máxima de transporte para la Zona2 a lo largo del horizonte de planeación.

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

Año	Capacidad (MW)
2023	160.03
2024	160.81
2025	160.81
2026	150.76
2027	163.26
2028	163.26
2029	163.26
2030	163.26
2031	163.26
2032	164.04
2033	164.04

### 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 Wilches 115, Puerto Wilches 34.5 kV, KM8 34.5 kV. Los resultados se presentan de manera gráfica (Figura 6), como también de manera tabular (Tabla 4).

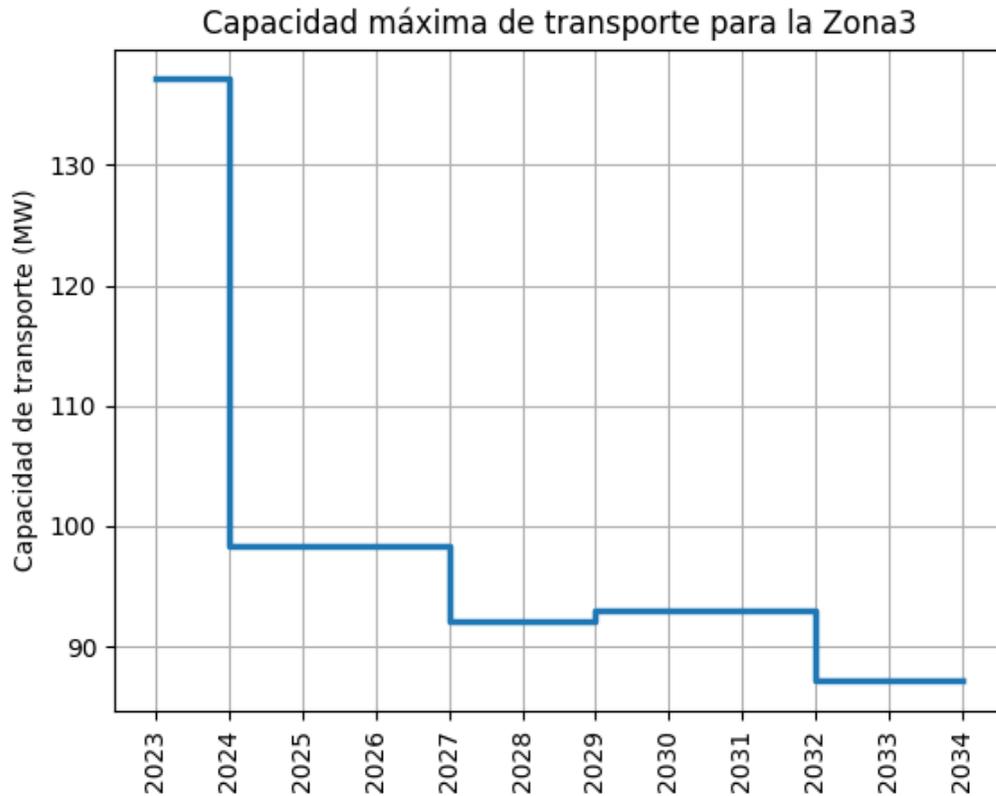


Figura 6. Capacidad máxima de transporte para la Zona3 a lo largo del horizonte de planeación.

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

Año	Capacidad (MW)
2023	137.13
2024	98.30
2025	98.30
2026	98.30
2027	92.16
2028	92.16
2029	92.94
2030	92.94
2031	92.94
2032	87.13
2033	87.13

## 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 Barranca 115, Sn Silvestre 115, Barranca 34.5, Buena Vista 115, Condor 115. Los resultados se presentan de manera gráfica (Figura 7), como también de manera tabular (Tabla 5).

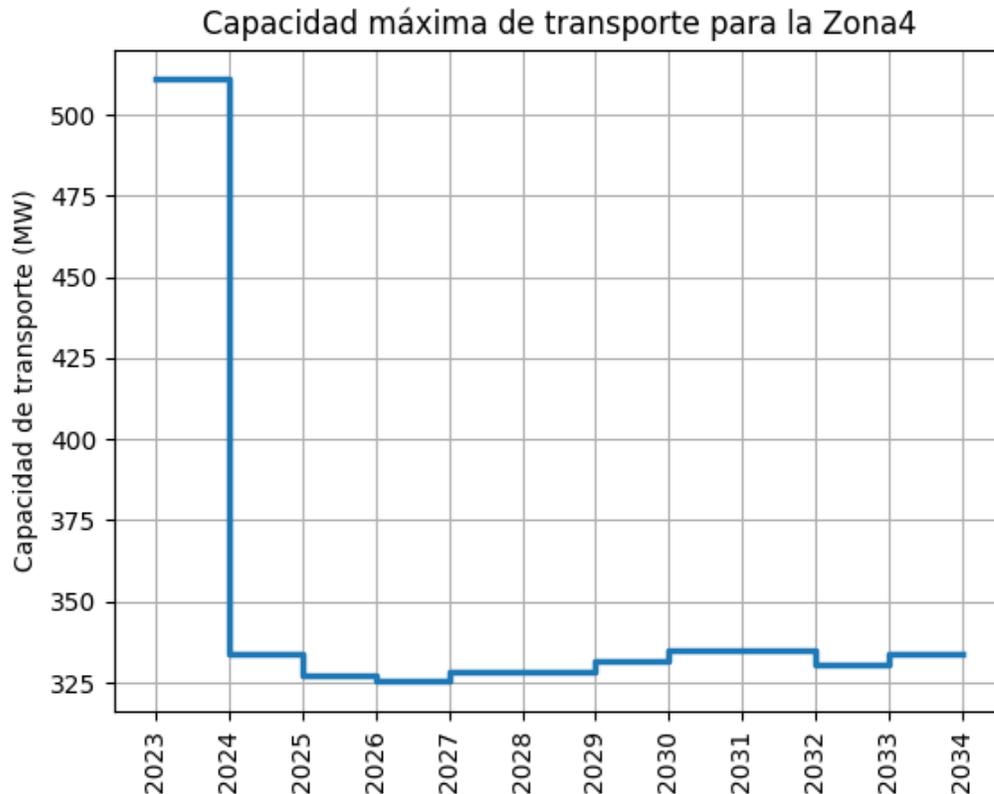


Figura 7. Capacidad máxima de transporte para la Zona4 a lo largo del horizonte de planeación.

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

Año	Capacidad (MW)
2023	510.94
2024	333.59
2025	327.33
2026	325.34
2027	328.47
2028	328.47
2029	331.59

<b>2030</b>	334.72
<b>2031</b>	334.72
<b>2032</b>	330.51
<b>2033</b>	333.63

## 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 Lizama 115, Sabana de Torres 115, San Alberto 115, Sabana de Torres 34.5 kV, San Alberto 13.8, San Alberto 34.5. Los resultados se presentan de manera gráfica (Figura 8), como también de manera tabular (Tabla 6).

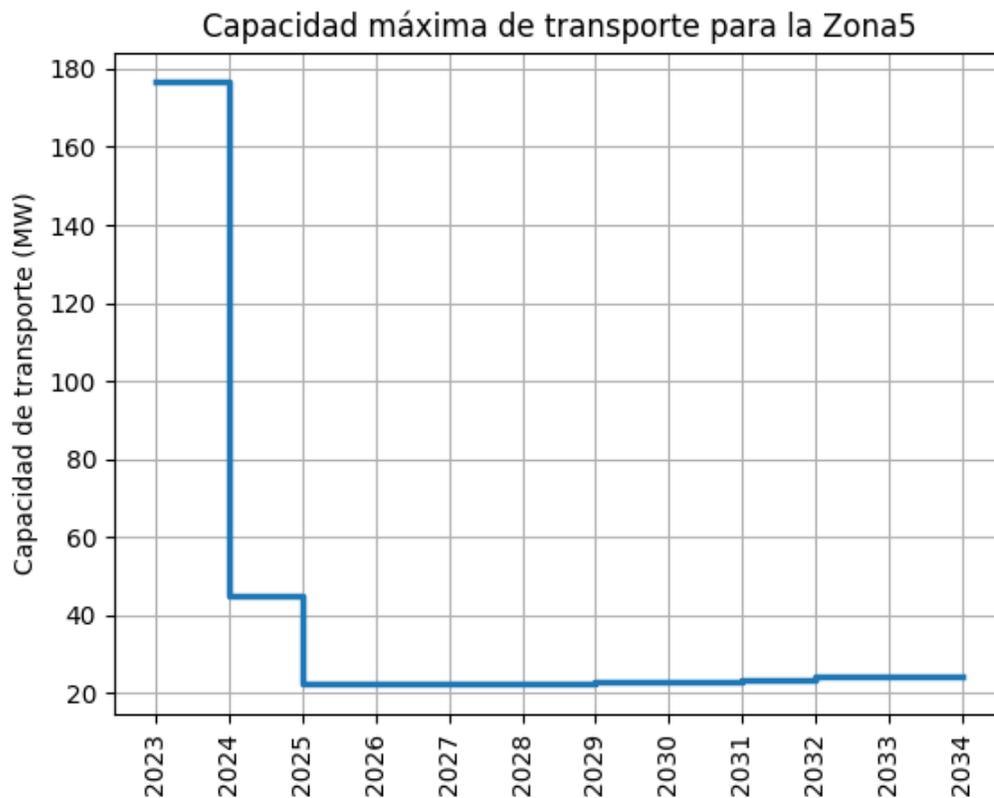


Figura 8. Capacidad máxima de transporte para la Zona5 a lo largo del horizonte de planeación.

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

Año	Capacidad (MW)
2023	176.56
2024	45.17
2025	22.59
2026	22.27
2027	22.27
2028	22.27
2029	22.74
2030	22.74
2031	23.52
2032	24.30
2033	24.30

## 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 Guatiguara 220. Los resultados se presentan de manera gráfica (Figura 9), como también de manera tabular (Tabla 7).

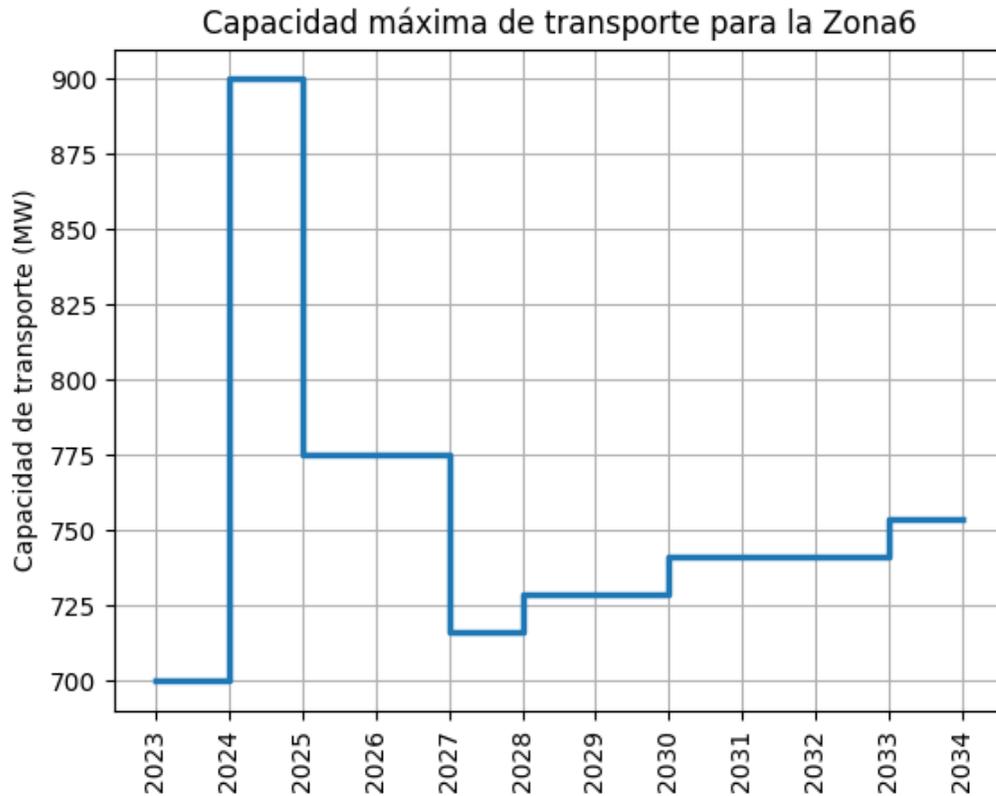


Figura 9. Capacidad máxima de transporte para la Zona6 a lo largo del horizonte de planeación.

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

Año	Capacidad (MW)
2023	700.00
2024	900.00
2025	775.00
2026	775.00
2027	716.41
2028	728.91
2029	728.91
2030	741.41
2031	741.41
2032	741.41
2033	753.91

## 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 Barranca 220, Comuneros 220, CiralInfanta 220, Merilectrica 220, Magdalena M 220. Los resultados se presentan de manera gráfica (Figura 10), como también de manera tabular (Tabla 8).

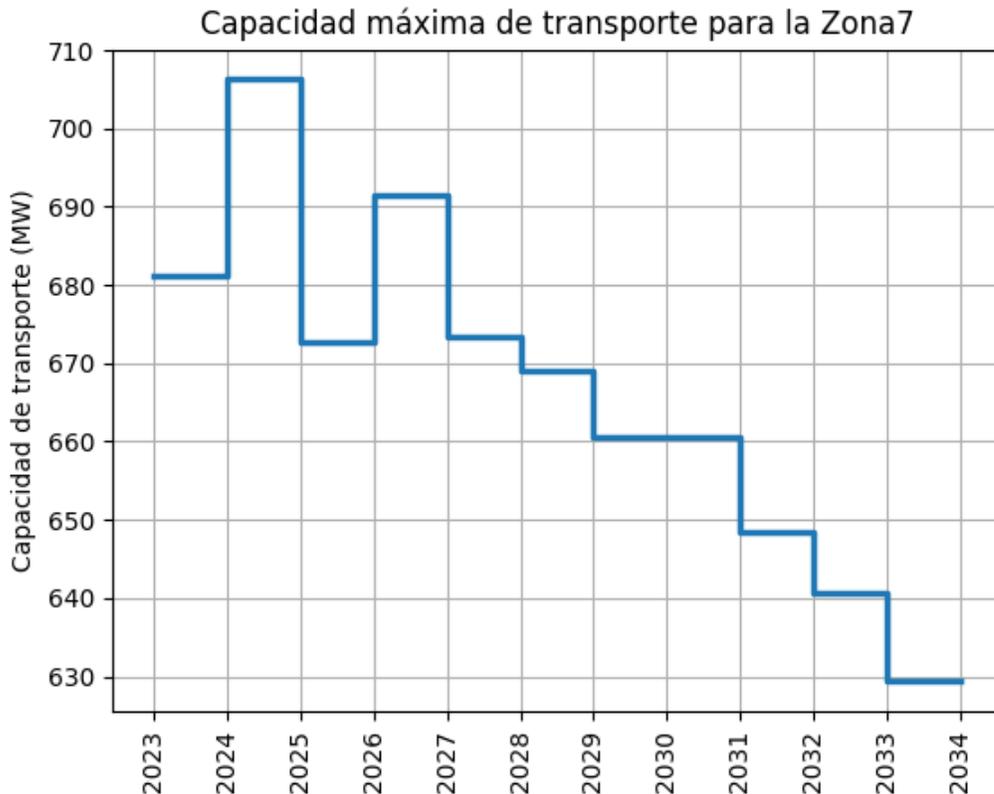


Figura 10. Capacidad máxima de transporte para la Zona7 a lo largo del horizonte de planeación.

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

Año	Capacidad (MW)
2023	681.25
2024	706.25
2025	672.75
2026	691.50
2027	673.28
2028	669.01
2029	660.61
2030	660.61

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	648.39
2032	640.63
2033	629.35

## 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 Sogamoso 500. Los resultados se presentan de manera gráfica (Figura 11), como también de manera tabular (Tabla 9).

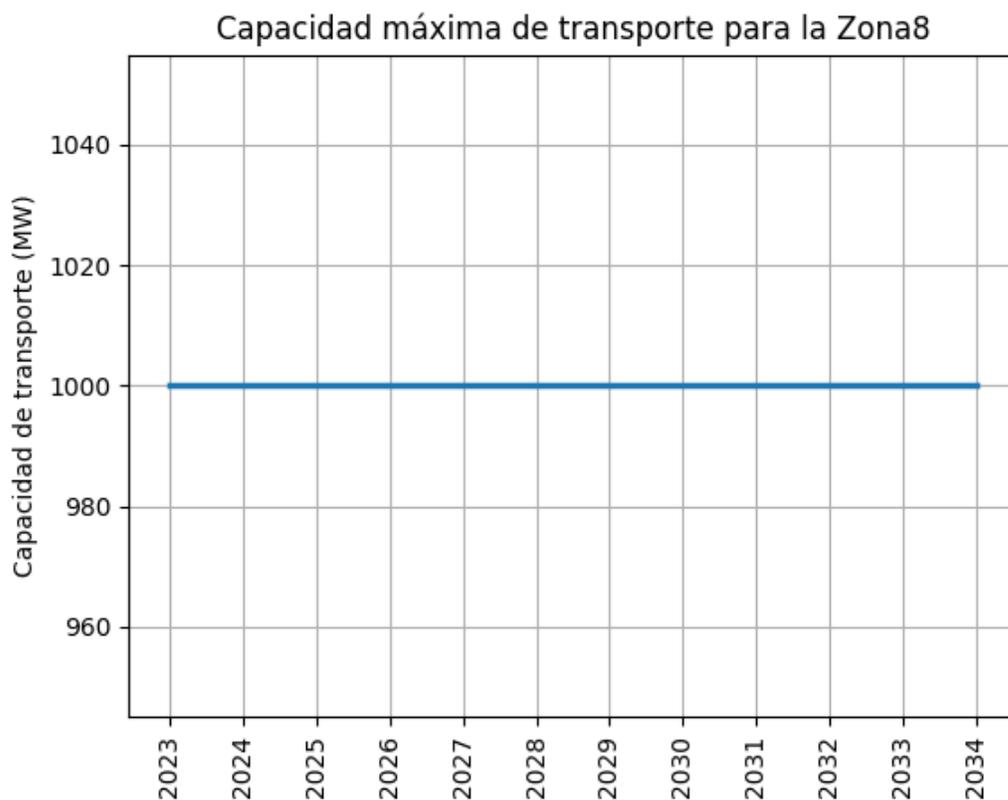


Figura 11. Capacidad máxima de transporte para la Zona8 a lo largo del horizonte de planeación.

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

Año	Capacidad (MW)
2023	1000.00
2024	1000.00
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

## 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 Cabrera 220. Los resultados se presentan de manera gráfica (Figura 12), como también de manera tabular (Tabla 10).

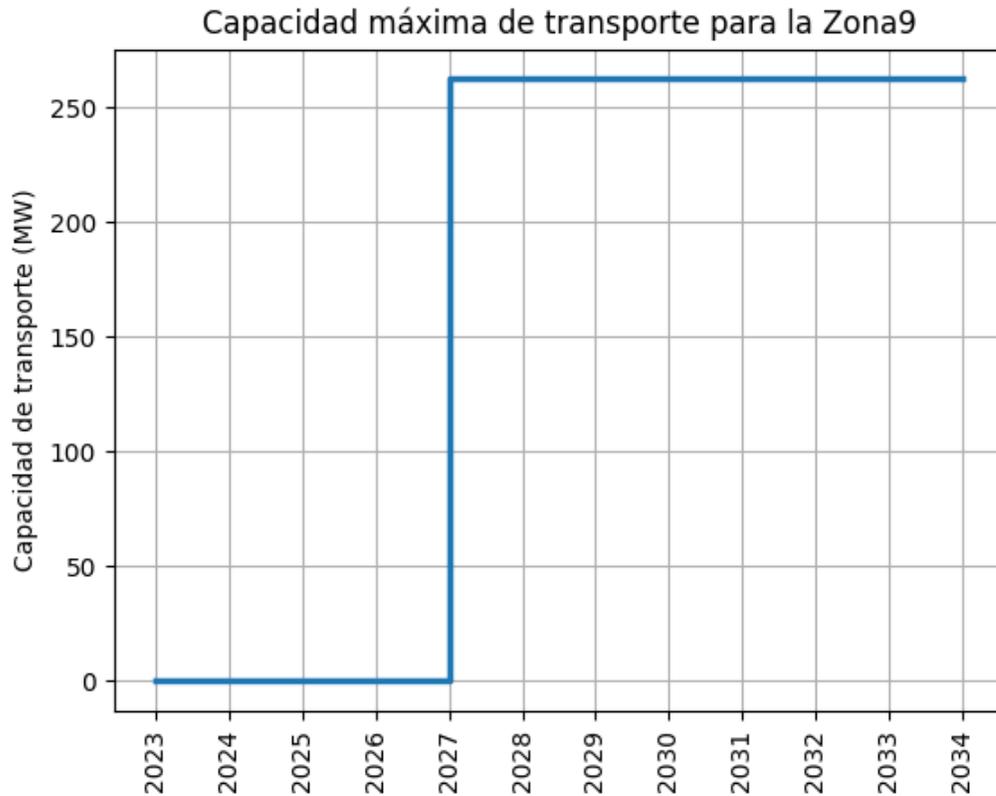


Figura 12. Capacidad máxima de transporte para la Zona9 a lo largo del horizonte de planeación.

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	0.00
2026	0.00
2027	262.50
2028	262.50
2029	262.50
2030	262.50
2031	262.50
2032	262.50
2033	262.50

## 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 Palos 115, Principal 115, Conucos 115, Bosconia 115, TBosconia 115. Los resultados se presentan de manera gráfica (Figura 13), como también de manera tabular (Tabla 11).

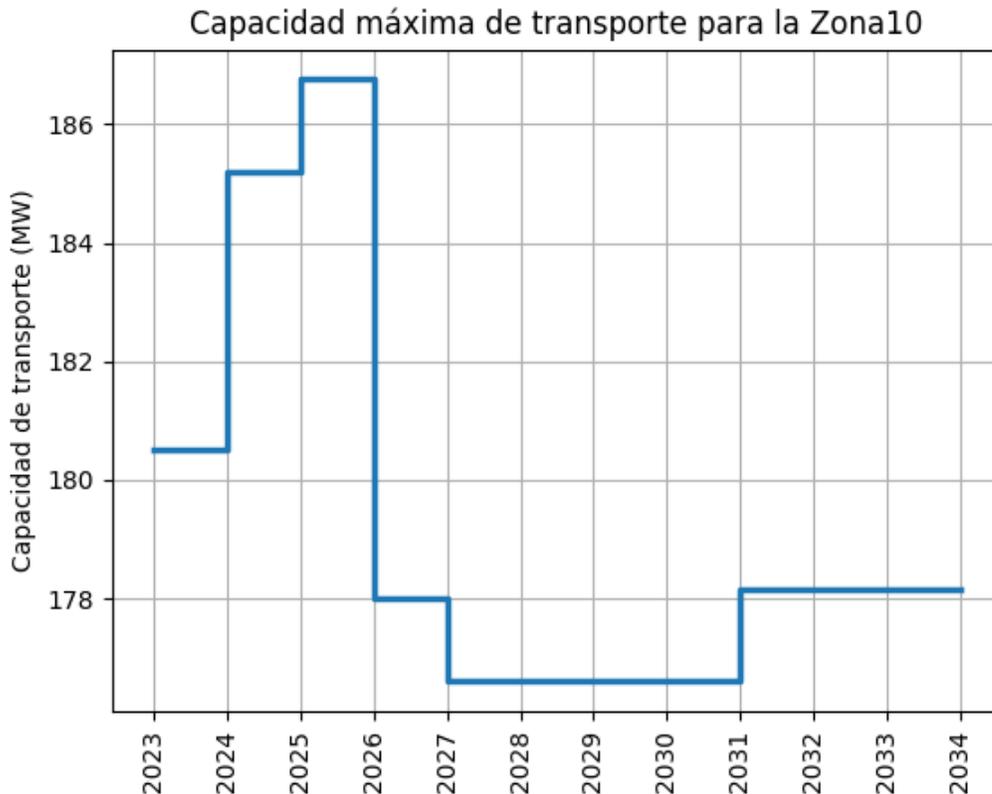


Figura 13. Capacidad máxima de transporte para la Zona10 a lo largo del horizonte de planeación.

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

Año	Capacidad (MW)
2023	180.50
2024	185.19
2025	186.75
2026	178.00
2027	176.61
2028	176.61
2029	176.61
2030	176.61

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>2031</b>	178.17
<b>2032</b>	178.17
<b>2033</b>	178.17

### Zona11

A continuación, se hace la presentación de los resultados obtenidos de capacidad máxima de transporte para la Zona11 a lo largo de todo el horizonte de planeación. Dicha zona esta conformada por las barras Barbosa 115, Cimitarra 115, Sta Rosa 115, TSta Rosa 115, Cimitarra 34.5 kV. Los resultados se presentan de manera gráfica (Figura 14), como también de manera tabular (Tabla 12).

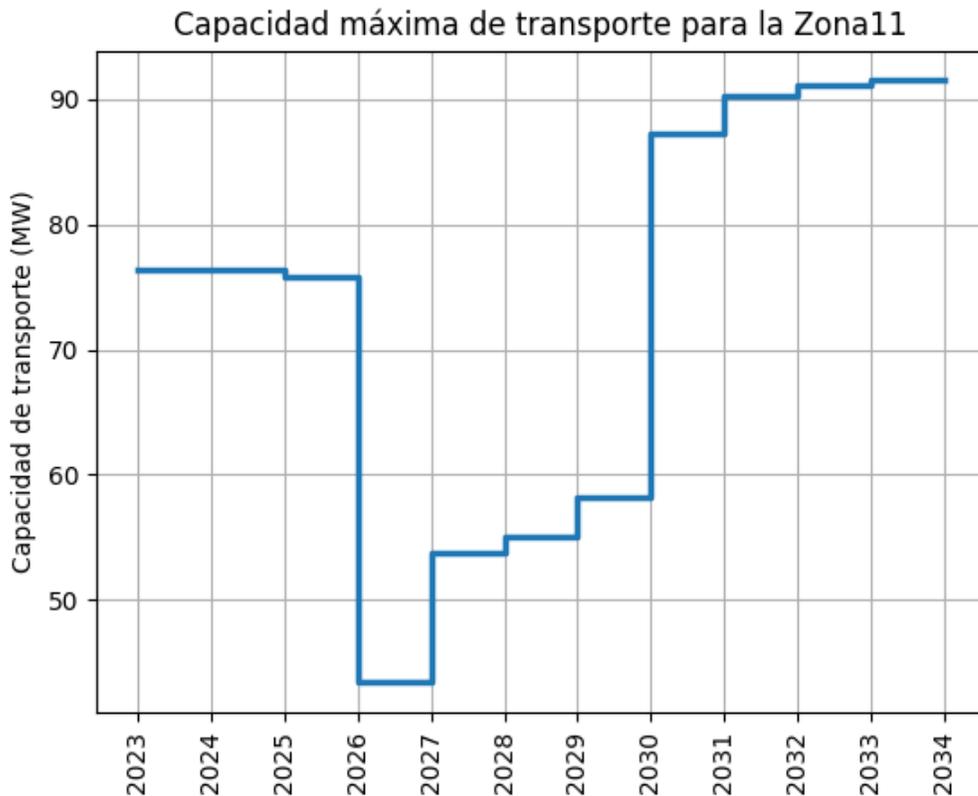


Figura 14. Capacidad máxima de transporte para la Zona11 a lo largo del horizonte de planeación.

Tabla 12. Capacidad máxima de transporte para la Zona11 para todo el horizonte de planeación.

Año	Capacidad (MW)
<b>2023</b>	76.36
<b>2024</b>	76.36
<b>2025</b>	75.86

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	43.42
2027	53.72
2028	55.06
2029	58.19
2030	87.17
2031	90.30
2032	91.08
2033	91.47

## Zona12

A continuación, se hace la presentación de los resultados obtenidos de capacidad máxima de transporte para la Zona12 a lo largo de todo el horizonte de planeación. Dicha zona esta conformada por las barras Sogamoso 220. Los resultados se presentan de manera gráfica (Figura 15), como también de manera tabular (Tabla 13).

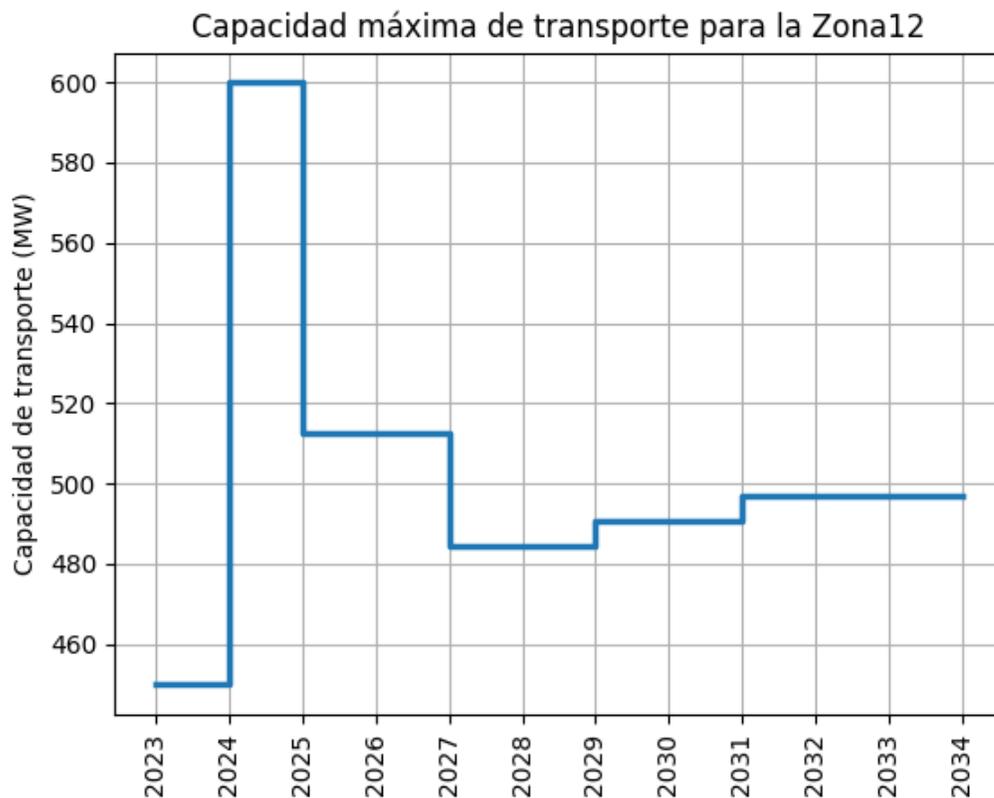


Figura 15. Capacidad máxima de transporte para la Zona12 a lo largo del horizonte de planeación.

Tabla 13. Capacidad máxima de transporte para la Zona12 para todo el horizonte de planeación.

Año	Capacidad (MW)
2023	449.89
2024	599.89
2025	512.44
2026	512.44
2027	484.33
2028	484.33
2029	490.58
2030	490.58
2031	496.83
2032	496.83
2033	496.83

### Zona13

A continuación, se hace la presentación de los resultados obtenidos de capacidad máxima de transporte para la Zona13 a lo largo de todo el horizonte de planeación. Dicha zona esta conformada por las barras Palenque 220. Los resultados se presentan de manera gráfica (Figura 16), como también de manera tabular (Tabla 14).

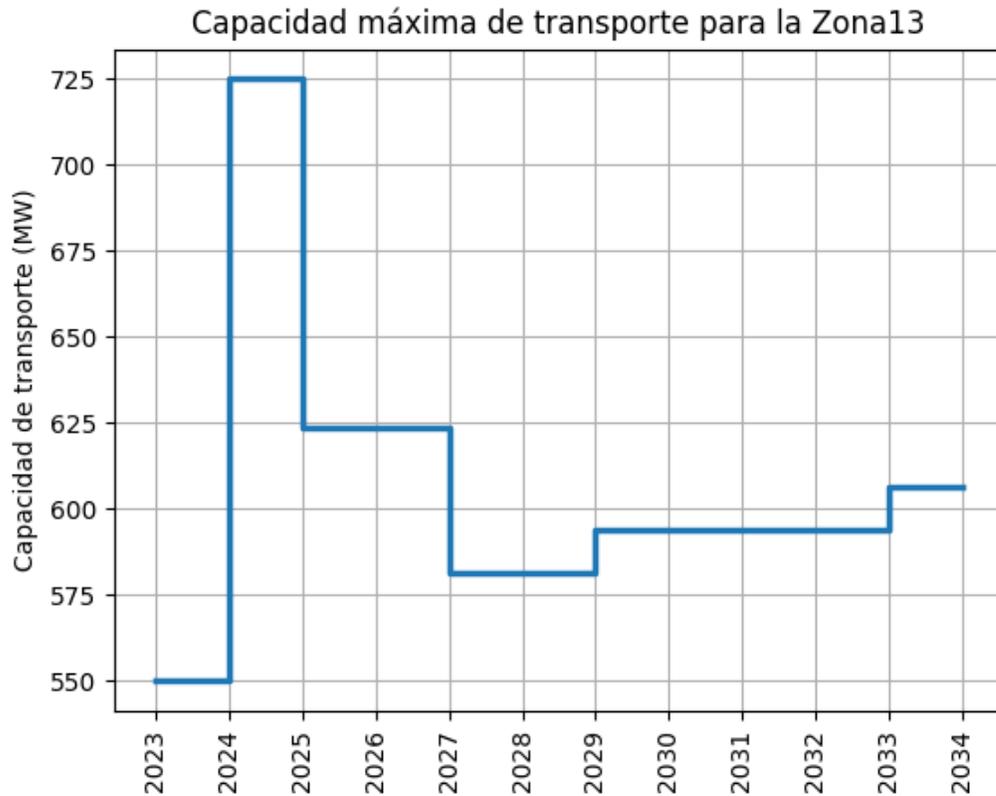


Figura 16. Capacidad máxima de transporte para la Zona13 a lo largo del horizonte de planeación.

Tabla 14. Capacidad máxima de transporte para la Zona13 para todo el horizonte de planeación.

Año	Capacidad (MW)
2023	549.84
2024	724.84
2025	623.33
2026	623.33
2027	581.45
2028	581.45
2029	593.95
2030	593.95
2031	593.95
2032	593.95
2033	606.45

## Zona14

A continuación, se hace la presentación de los resultados obtenidos de capacidad máxima de transporte para la Zona14 a lo largo de todo el horizonte de planeación. Dicha zona esta conformada por las barras San Gil 115, Cabrera 115. Los resultados se presentan de manera gráfica (Figura 17), como también de manera tabular (Tabla 15).

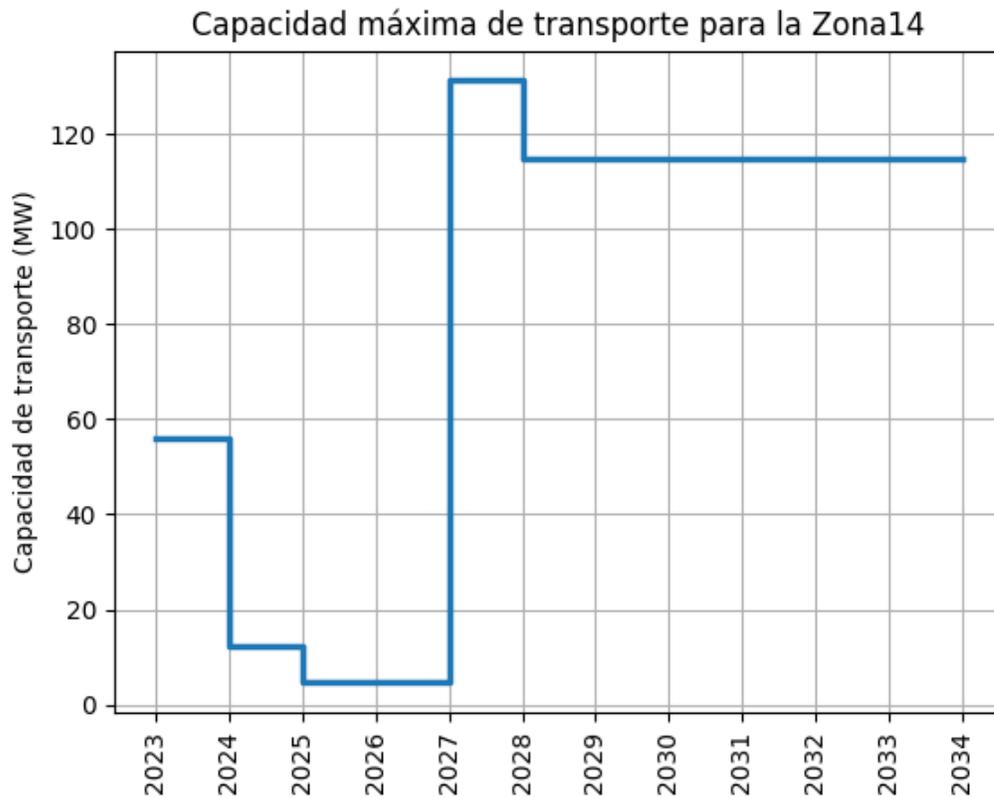


Figura 17. Capacidad máxima de transporte para la Zona14 a lo largo del horizonte de planeación.

Tabla 15. Capacidad máxima de transporte para la Zona14 para todo el horizonte de planeación.

Año	Capacidad (MW)
2023	56.03
2024	12.26
2025	4.60
2026	4.60
2027	131.25
2028	114.84
2029	114.84
2030	114.84
2031	114.84

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.

2032	114.84
2033	114.84

## Zona15

A continuación, se hace la presentación de los resultados obtenidos de capacidad máxima de transporte para la Zona15 a lo largo de todo el horizonte de planeación. Dicha zona esta conformada por las barras Palenque 115, Realminas 115. Los resultados se presentan de manera gráfica (Figura 18), como también de manera tabular (Tabla 16).

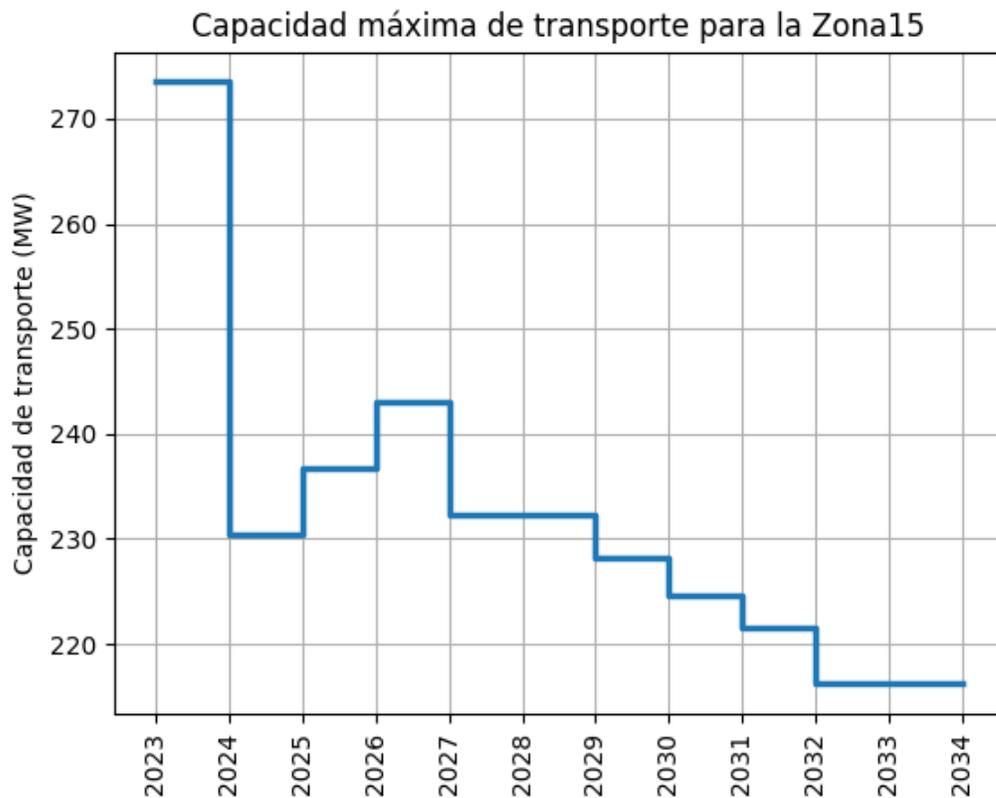


Figura 18. Capacidad máxima de transporte para la Zona15 a lo largo del horizonte de planeación.

Tabla 16. Capacidad máxima de transporte para la Zona15 para todo el horizonte de planeación.

Año	Capacidad (MW)
2023	273.49
2024	230.49
2025	236.74
2026	242.99

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	232.25
2028	232.25
2029	228.22
2030	224.69
2031	221.60
2032	216.20
2033	216.21

## Zona16

A continuación, se hace la presentación de los resultados obtenidos de capacidad máxima de transporte para la Zona16 a lo largo de todo el horizonte de planeación. Dicha zona esta conformada por las barras Bmanga 220, Palos 220. Los resultados se presentan de manera gráfica (Figura 19), como también de manera tabular (Tabla 17).

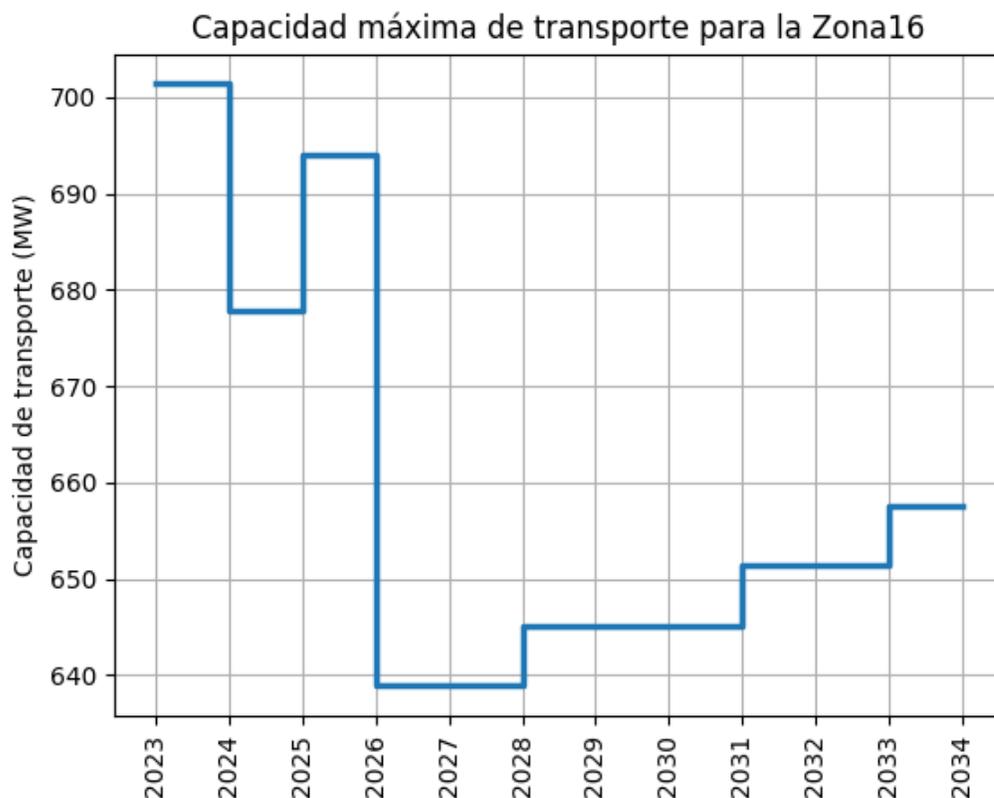


Figura 19. Capacidad máxima de transporte para la Zona16 a lo largo del horizonte de planeación.

Tabla 17. Capacidad máxima de transporte para la Zona16 para todo el horizonte de planeación.

Año	Capacidad (MW)
2023	701.37
2024	677.83
2025	693.99
2026	638.87
2027	638.87
2028	645.12
2029	645.12
2030	645.12
2031	651.37
2032	651.37
2033	657.62

## Zona17

A continuación, se hace la presentación de los resultados obtenidos de capacidad máxima de transporte para la Zona17 a lo largo de todo el horizonte de planeación. Dicha zona esta conformada por las barras Piedecuesta 115, Mesa del Sol 115. Los resultados se presentan de manera gráfica (Figura 20), como también de manera tabular (Tabla 18).

### Capacidad máxima de transporte para la Zona17

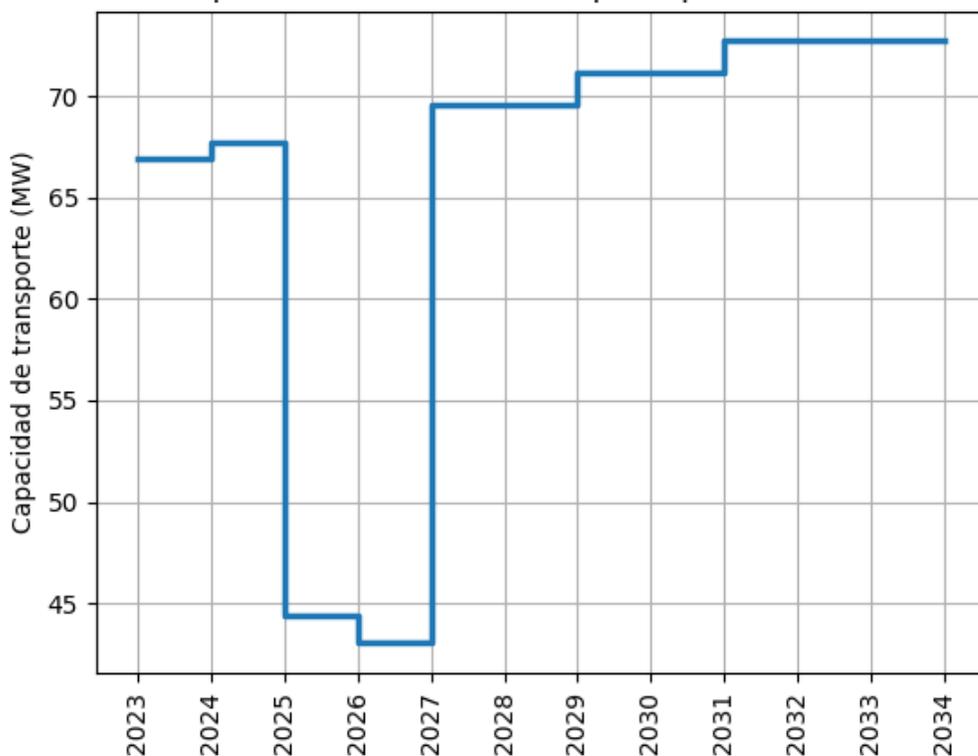


Figura 20. Capacidad máxima de transporte para la Zona17 a lo largo del horizonte de planeación.

Tabla 18. Capacidad máxima de transporte para la Zona17 para todo el horizonte de planeación.

Año	Capacidad (MW)
2023	66.91
2024	67.69
2025	44.42
2026	43.03
2027	69.59
2028	69.59
2029	71.16
2030	71.16
2031	72.72
2032	72.72
2033	72.72