



Unidad de Planeación
Minero Energética



Reporte de cálculo de capacidad por zona de la subárea

Arauca -2024



Unidad de Planeación Minero Energética



Tabla de contenido

Introducción	2
Metodología de zonificación de las subáreas	2
Zona 1.....	6
Zona 2.....	8
Zona 3.....	10
Zona 4.....	12
Zona 5.....	14
Zona 6.....	16

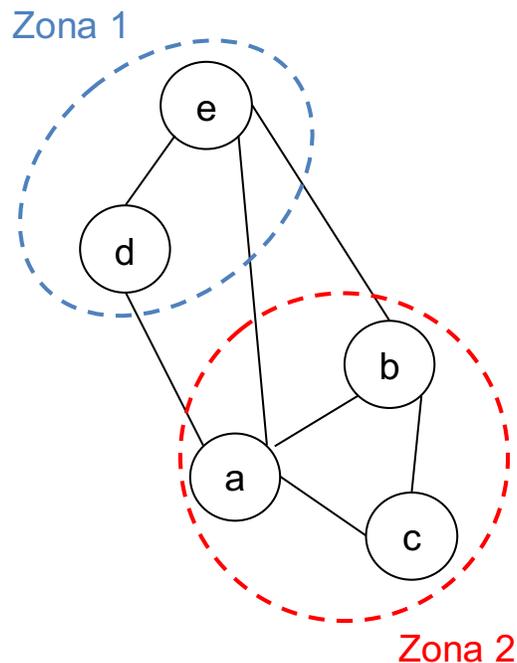


Introducción

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) .

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.





Unidad de Planeación Minero Energética

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.



Unidad de Planeación Minero Energética

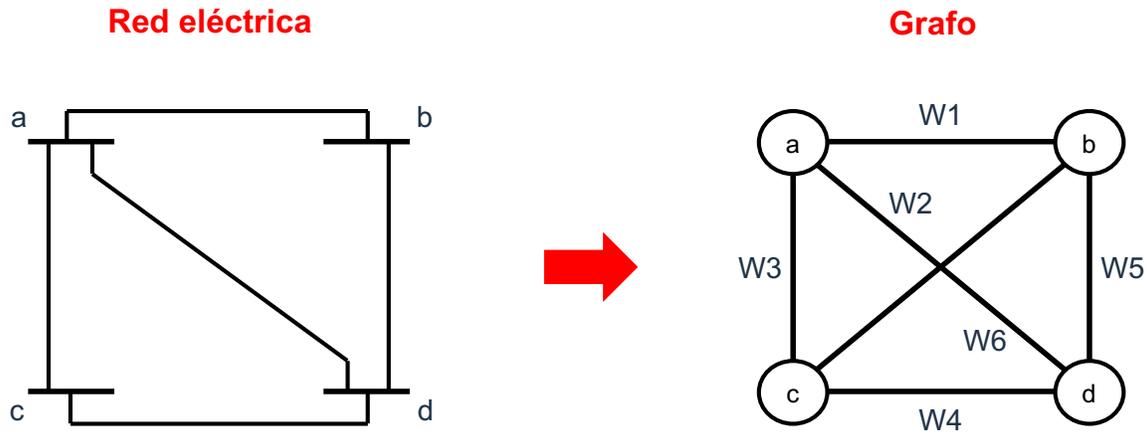


Figura 2. Transformación de una red eléctrica a un grafo equivalente.

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.



Unidad de Planeación Minero Energética

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.

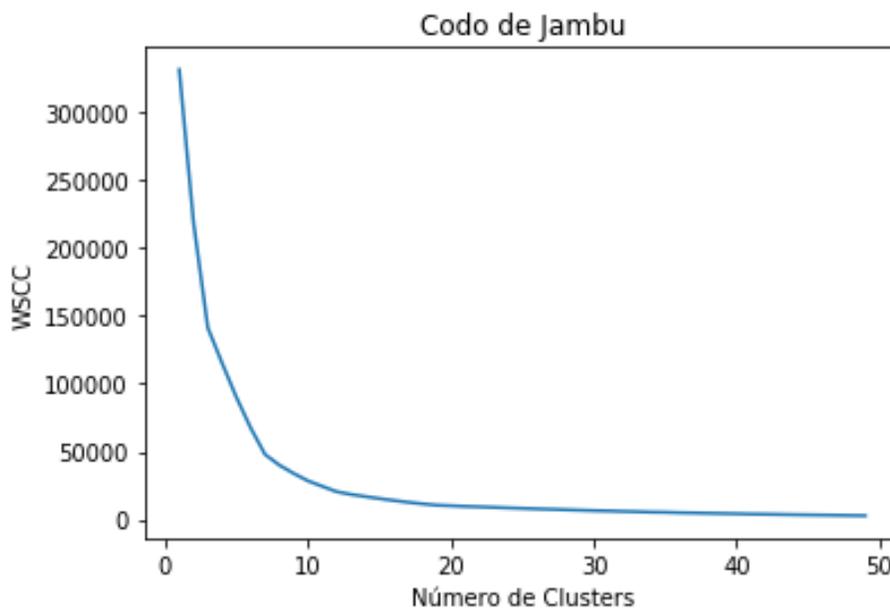


Figura 3. Ejemplo del Codo de Jambu.

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:

$$\underbrace{Min_Zonas}_{\substack{\text{Número mínimo} \\ \text{de zonas} \\ \text{obtenido a partir del} \\ \text{Codo de Jabu}}} \leq N_Zonas \leq \underbrace{N_Nodos/3}_{\substack{\text{Número máximo} \\ \text{de zonas} \\ \text{obtenido a partir del} \\ \text{número de nodos} \\ \text{en evaluación}}}$$



Unidad de Planeación Minero Energética

Zona 1

A continuación, en la tabla 1, se presentan las subestaciones que pertenecen a la Zona 1 de la subárea Arauca conforme a la metodología presentada al inicio de este documento.

Tabla 1. Listado de subestaciones que pertenecen a la Zona 1 de la subárea Arauca.

Subestación	Zona
Banadia 115	Zona 1
Banadia 34.5	Zona 1
Tame 115	Zona 1
Saravena 34.5	Zona 1

Por otra parte, en la tabla 2 se presentan los datos de capacidad de conexión conjunta (capacidad por zona) para la Zona 1 de la subárea Arauca de acuerdo con la formulación planetada en sección 5.3.3 del procedimiento de evaluación de solicitudes de asignación de capacidad para proyectos clase 1 (Circular UPME 057 de 2022).

Tabla 2. Capacidad máxima de transporte para la Zona 1 para todo el horizonte de planeación.

Zona	Año	Capacidad zona (MW)
Zona 1	2024	10.62
Zona 1	2025	25.00
Zona 1	2026	1.88
Zona 1	2027	2.50
Zona 1	2028	12.50
Zona 1	2029	12.50
Zona 1	2030	12.50
Zona 1	2031	12.50
Zona 1	2032	12.50
Zona 1	2033	12.50
Zona 1	2034	12.50
Zona 1	2035	12.50
Zona 1	2036	12.50
Zona 1	2037	12.50



Unidad de Planeación Minero Energética

Finalmente, en la siguiente figura se presenta de manera grafica los valores de capacidad para la Zona 1 de la subárea Arauca de acuerdo con los datos presentados en la tabla 2.

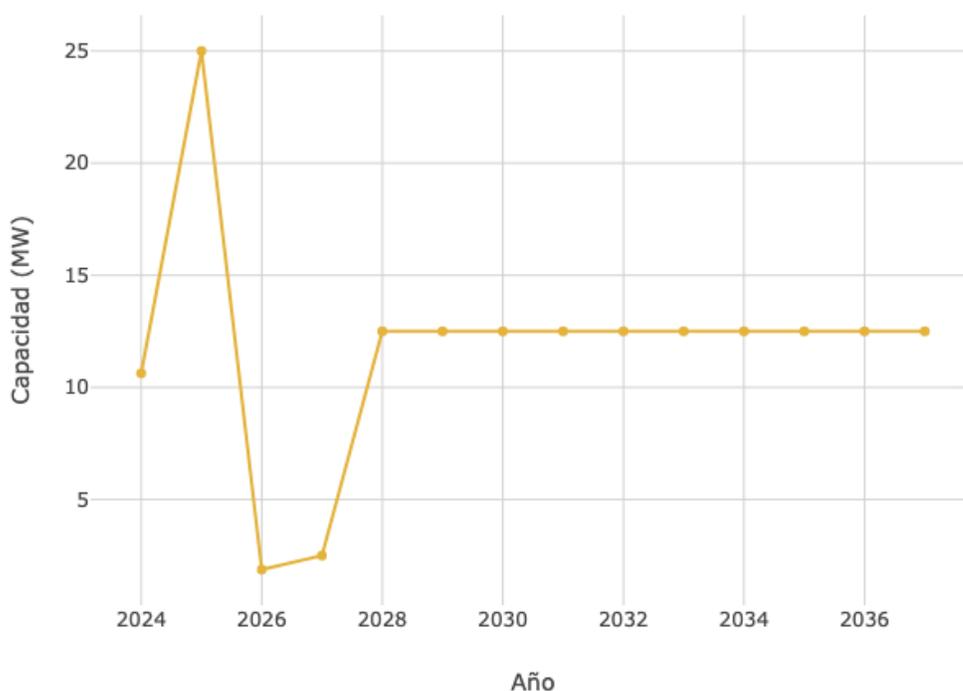


Figura 4. Capacidad máxima de transporte para la Zona 1 a lo largo del horizonte de planeación.



Unidad de Planeación Minero Energética

Zona 2

A continuación, en la tabla 3, se presentan las subestaciones que pertenecen a la Zona 2 de la subárea Arauca conforme a la metodología presentada al inicio de este documento.

Tabla 3. Listado de subestaciones que pertenecen a la Zona 2 de la subárea Arauca.

Subestación	Zona
Banadia 220	Zona 2

Por otra parte, en la tabla 4 se presentan los datos de capacidad de conexión conjunta (capacidad por zona) para la Zona 2 de la subárea Arauca de acuerdo con la formulación planteada en sección 5.3.3 del procedimiento de evaluación de solicitudes de asignación de capacidad para proyectos clase 1 (Circular UPME 057 de 2022).

Tabla 4. Capacidad máxima de transporte para la Zona 2 para todo el horizonte de planeación.

Zona	Año	Capacidad zona (MW)
Zona 2	2024	25.00
Zona 2	2025	25.00
Zona 2	2026	25.00
Zona 2	2027	1.56
Zona 2	2028	12.50
Zona 2	2029	12.50
Zona 2	2030	12.50
Zona 2	2031	12.50
Zona 2	2032	12.50
Zona 2	2033	12.50
Zona 2	2034	12.50
Zona 2	2035	12.50
Zona 2	2036	12.50
Zona 2	2037	12.50

Finalmente, en la siguiente figura se presenta de manera gráfica los valores de capacidad para la Zona 2 de la subárea Arauca de acuerdo con los datos presentados en la tabla 4.



Unidad de Planeación Minero Energética

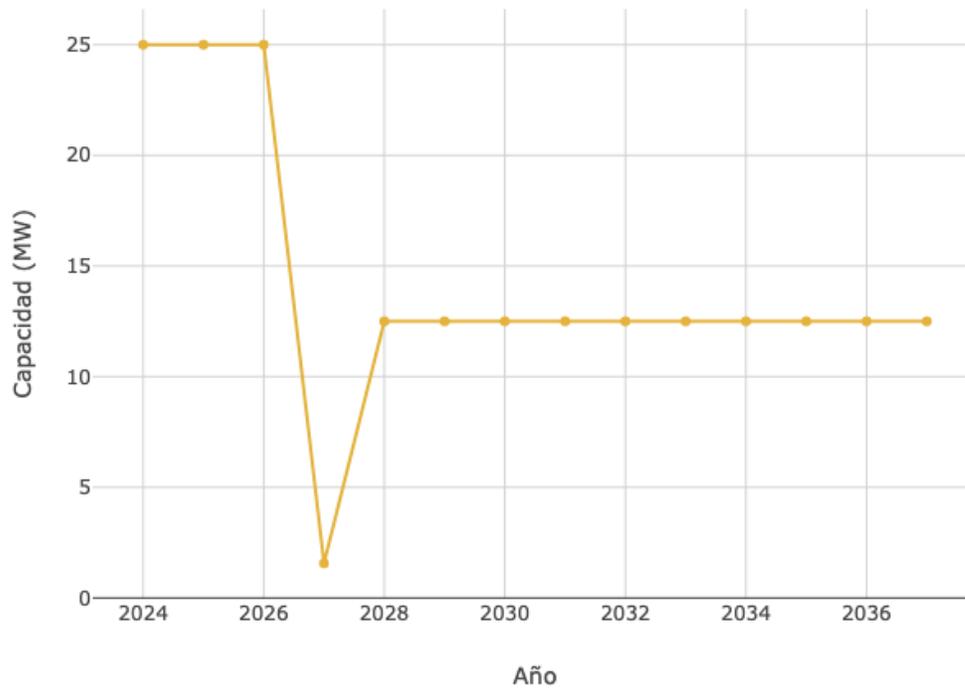


Figura 5. Capacidad máxima de transporte para la Zona 2 a lo largo del horizonte de planeación.



Unidad de Planeación Minero Energética

Zona 3

A continuación, en la tabla 5, se presentan las subestaciones que pertenecen a la Zona 3 de la subárea Arauca conforme a la metodología presentada al inicio de este documento.

Tabla 5. Listado de subestaciones que pertenecen a la Zona 3 de la subárea Arauca.

Subestación	Zona
Playitas 1 34.5	Zona 3
Playitas 2 34.5	Zona 3
Reconectador (CPS34) 34.5	Zona 3
Zona Industrial 34.5	Zona 3

Por otra parte, en la tabla 6 se presentan los datos de capacidad de conexión conjunta (capacidad por zona) para la Zona 3 de la subárea Arauca de acuerdo con la formulación planetada en sección 5.3.3 del procedimiento de evaluación de solicitudes de asignación de capacidad para proyectos clase 1 (Circular UPME 057 de 2022).

Tabla 6. Capacidad máxima de transporte para la Zona 3 para todo el horizonte de planeación.

Zona	Año	Capacidad zona (MW)
Zona 3	2024	20.00
Zona 3	2025	20.00
Zona 3	2026	20.00
Zona 3	2027	2.50
Zona 3	2028	10.00
Zona 3	2029	10.00
Zona 3	2030	10.00
Zona 3	2031	10.00
Zona 3	2032	10.00
Zona 3	2033	10.00
Zona 3	2034	10.00
Zona 3	2035	10.00
Zona 3	2036	10.00
Zona 3	2037	10.00



Unidad de Planeación Minero Energética

Finalmente, en la siguiente figura se presenta de manera grafica los valores de capacidad para la Zona 3 de la subárea Arauca de acuerdo con los datos presentados en la tabla 6.

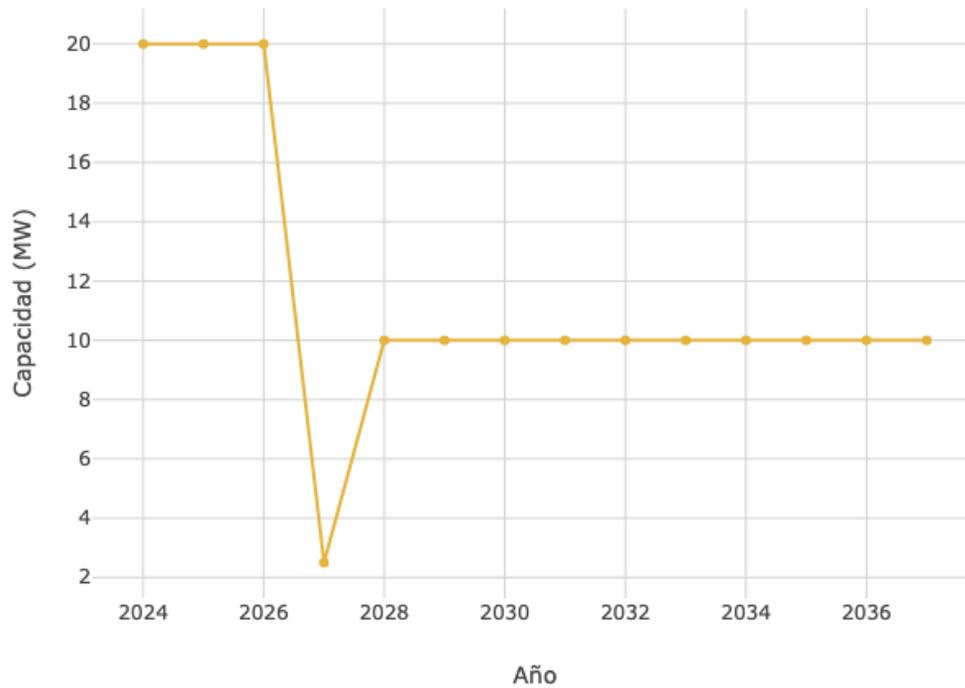


Figura 6. Capacidad máxima de transporte para la Zona 3 a lo largo del horizonte de planeación.



Unidad de Planeación Minero Energética

Zona 4

A continuación, en la tabla 7, se presentan las subestaciones que pertenecen a la Zona 4 de la subárea Arauca conforme a la metodología presentada al inicio de este documento.

Tabla 7. Listado de subestaciones que pertenecen a la Zona 4 de la subárea Arauca.

Subestación	Zona
Playitas 115	Zona 4
La Paz 220	Zona 4
La Paz 115	Zona 4
Caño Limon 220	Zona 4

Por otra parte, en la tabla 8 se presentan los datos de capacidad de conexión conjunta (capacidad por zona) para la Zona 4 de la subárea Arauca de acuerdo con la formulación planetada en sección 5.3.3 del procedimiento de evaluación de solicitudes de asignación de capacidad para proyectos clase 1 (Circular UPME 057 de 2022).

Tabla 8. Capacidad máxima de transporte para la Zona 4 para todo el horizonte de planeación.

Zona	Año	Capacidad zona (MW)
Zona 4	2024	25.00
Zona 4	2025	25.00
Zona 4	2026	25.00
Zona 4	2027	2.50
Zona 4	2028	12.50
Zona 4	2029	12.50
Zona 4	2030	12.50
Zona 4	2031	12.50
Zona 4	2032	12.50
Zona 4	2033	12.50
Zona 4	2034	12.50
Zona 4	2035	12.50
Zona 4	2036	12.50
Zona 4	2037	12.50



Unidad de Planeación Minero Energética

Finalmente, en la siguiente figura se presenta de manera grafica los valores de capacidad para la Zona 4 de la subárea Arauca de acuerdo con los datos presentados en la tabla 8.

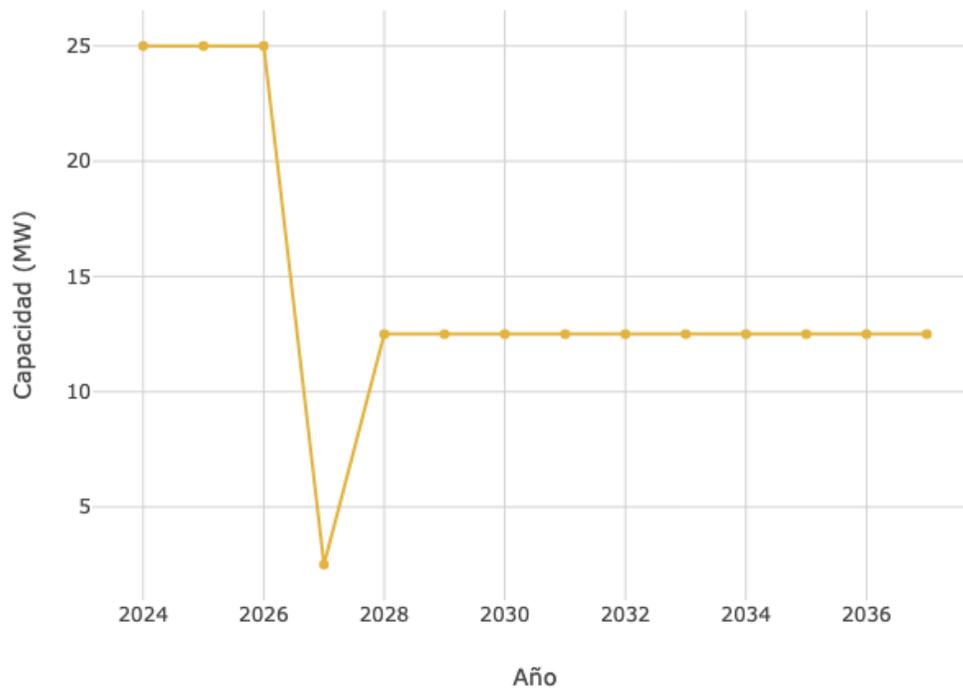


Figura 7. Capacidad máxima de transporte para la Zona 4 a lo largo del horizonte de planeación.



Unidad de Planeación Minero Energética

Zona 5

A continuación, en la tabla 9, se presentan las subestaciones que pertenecen a la Zona 5 de la subárea Arauca conforme a la metodología presentada al inicio de este documento.

Tabla 9. Listado de subestaciones que pertenecen a la Zona 5 de la subárea Arauca.

Subestación	Zona
Samore 220	Zona 5

Por otra parte, en la tabla 10 se presentan los datos de capacidad de conexión conjunta (capacidad por zona) para la Zona 5 de la subárea Arauca de acuerdo con la formulación planteada en sección 5.3.3 del procedimiento de evaluación de solicitudes de asignación de capacidad para proyectos clase 1 (Circular UPME 057 de 2022).

Tabla 10. Capacidad máxima de transporte para la Zona 5 para todo el horizonte de planeación.

Zona	Año	Capacidad zona (MW)
Zona 5	2024	25.00
Zona 5	2025	25.00
Zona 5	2026	25.00
Zona 5	2027	3.12
Zona 5	2028	12.50
Zona 5	2029	12.50
Zona 5	2030	12.50
Zona 5	2031	12.50
Zona 5	2032	12.50
Zona 5	2033	12.50
Zona 5	2034	12.50
Zona 5	2035	12.50
Zona 5	2036	12.50
Zona 5	2037	12.50

Finalmente, en la siguiente figura se presenta de manera grafica los valores de capacidad para la Zona 5 de la subárea Arauca de acuerdo con los datos presentados en la tabla 10.



Unidad de Planeación Minero Energética

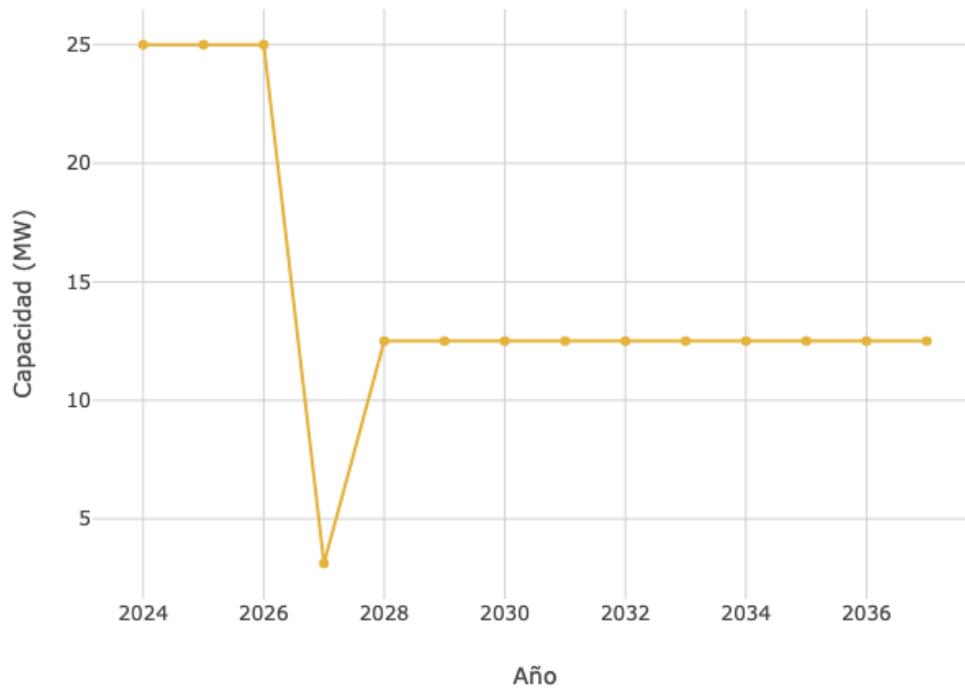


Figura 8. Capacidad máxima de transporte para la Zona 5 a lo largo del horizonte de planeación.



Unidad de Planeación Minero Energética

Zona 6

A continuación, en la tabla 11, se presentan las subestaciones que pertenecen a la Zona 6 de la subárea Arauca conforme a la metodología presentada al inicio de este documento.

Tabla 11. Listado de subestaciones que pertenecen a la Zona 6 de la subárea Arauca.

Subestación	Zona
Toledo 220	Zona 6

Por otra parte, en la tabla 12 se presentan los datos de capacidad de conexión conjunta (capacidad por zona) para la Zona 6 de la subárea Arauca de acuerdo con la formulación planteada en sección 5.3.3 del procedimiento de evaluación de solicitudes de asignación de capacidad para proyectos clase 1 (Circular UPME 057 de 2022).

Tabla 12. Capacidad máxima de transporte para la Zona 6 para todo el horizonte de planeación.

Zona	Año	Capacidad zona (MW)
Zona 6	2024	25.00
Zona 6	2025	25.00
Zona 6	2026	25.00
Zona 6	2027	3.12
Zona 6	2028	25.00
Zona 6	2029	25.00
Zona 6	2030	25.00
Zona 6	2031	25.00
Zona 6	2032	25.00
Zona 6	2033	25.00
Zona 6	2034	25.00
Zona 6	2035	25.00
Zona 6	2036	25.00
Zona 6	2037	25.00

Finalmente, en la siguiente figura se presenta de manera gráfica los valores de capacidad para la Zona 6 de la subárea Arauca de acuerdo con los datos presentados en la tabla 12.



Unidad de Planeación Minero Energética

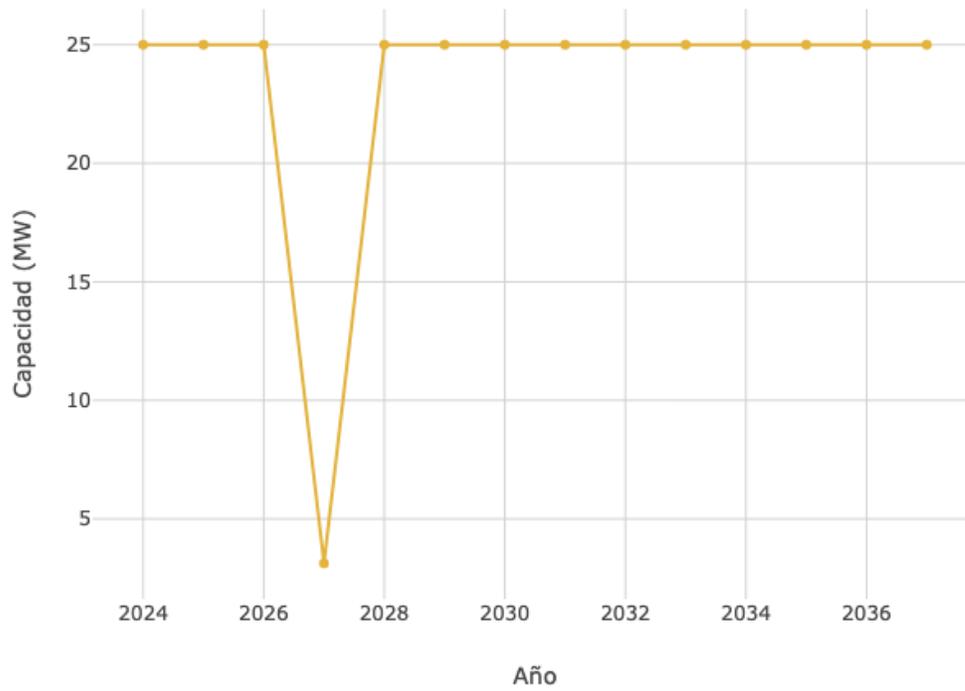


Figura 9. Capacidad máxima de transporte para la Zona 6 a lo largo del horizonte de planeación.