



Unidad de Planeación Minero Energética



ANEXO GENERAL METODOLOGÍA Y CRITERIOS DE EVALUACIÓN TÉCNICA

1. METODOLOGÍA GENERAL PARA LA EVALUACIÓN TÉCNICA DE LOS PROYECTOS

A continuación, se presentan los pasos a seguir para la evaluación de los proyectos presentados por los interesados:

1.1 Paso 1. Publicación de información relevante del procedimiento

a) Fecha de corte información de parámetros y condiciones de entrada

La UPME por medio de circular externa informará la fecha de corte de la información reportada en el repositorio establecido en la presente resolución.

b) Selección de la herramienta de simulación

El modelo de simulación a emplear calcula las condiciones de operación de cada proyecto según la infraestructura actual y las adecuaciones propuestas, considerando parámetros físicos (diámetro, longitud, espesor, rugosidad y especificaciones de los materiales de los ductos), variables operativas (presiones y temperaturas de entrada y salida, estaciones de compresión y equipos asociados) y parámetros geoespaciales (perfil topográfico del trazado). Este proceso permite obtener las especificaciones técnicas y su ubicación que serán evaluadas conforme se establece en el numeral 2.

La modelación de cada proyecto de infraestructura de gas natural se realizará mediante una herramienta de simulación desarrollada por la UPME en un lenguaje de programación MATLAB que integra los principios de la dinámica de los fluidos y modelos matemáticos seleccionados para representar el comportamiento fisicoquímico del gas natural a lo largo de cada tramo del Sistema Nacional de Transporte (SNT), o a través de una herramienta de simulación comercial de amplia aplicación en el sector de gas natural, adquirida por la entidad. La herramienta de modelamiento a utilizar en el proceso de evaluación será informada a los interesados por medio de circular externa antes de iniciar con el proceso de evaluación. .

c) Definición del orden de revisión y evaluación técnica de los proyectos presentados



Unidad de Planeación Minero Energética

Para determinar el orden de revisión y evaluación técnica de los proyectos presentados a la UPME y la elaboración del respectivo informe del proceso, la Unidad considerará aspectos como la priorización de necesidades nacionales y/o regionales para el suministro de gas natural, la fecha de puesta en operación de los proyectos adoptados, la fecha anticipada de entrada en operación parcial o total, y la interrelación o dependencia entre proyectos, procurando dar cumplimiento a los análisis y recomendaciones establecidas en el ETPAGN y lo adoptado en el PAGN.

La UPME podrá socializar o someter a consideración previamente dicho listado con el MME, la CREG o el órgano consultivo que se cree para tal fin y será informada a los interesados por medio de circular externa antes de iniciar con el proceso de evaluación.

1.2 Paso 2. Evaluación de criterios técnicos

Con base en los datos reportados por los interesados y conforme al artículo 5 de la presente resolución, se evaluarán técnicamente los criterios establecidos. Es importante tener en cuenta que todos los criterios deben cumplirse de manera simultánea.

- i) **Criterio - tipos de construcción:** Se inicia la evaluación con el criterio de tipo de construcción, cuyo objetivo es verificar que lo propuesto por el interesado se ajuste a las categorías permitidas por la normativa vigente. Para ello, la UPME revisa la información contenida en el anexo “**FORMATO 2. Información general del proyecto**” que se radique por parte del interesado.

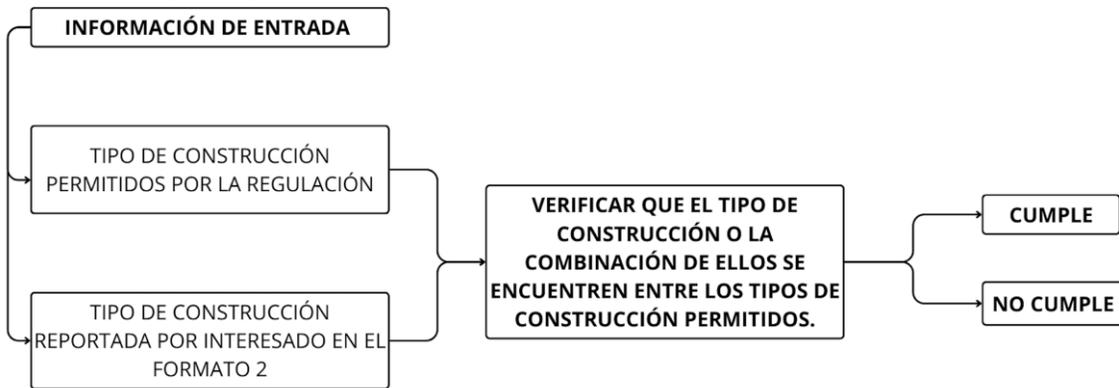
Criterio de evaluación	Descripción	Cumple / No cumple
Tipo de construcción	El diseño técnico de la propuesta presentada por el interesado se basa en la construcción de gasoductos <i>loops</i> , estaciones de compresión y/o en adecuaciones de la infraestructura existente de transporte de hidrocarburos y de sus mezclas o derivados, incluida la de transporte de gas natural.	Si el diseño presentado por el interesado se encuentra dentro los tipos de construcción de la descripción o en una combinación de los mismos se considera que se CUMPLE con el criterio. Si el diseño presentado por el interesado NO se encuentra dentro los tipos de construcción de la descripción se considera



**Unidad de Planeación
Minero Energética**

		que NO CUMPLE con el criterio.
--	--	---------------------------------------

Figura: Proceso evaluación criterio tipo de construcción



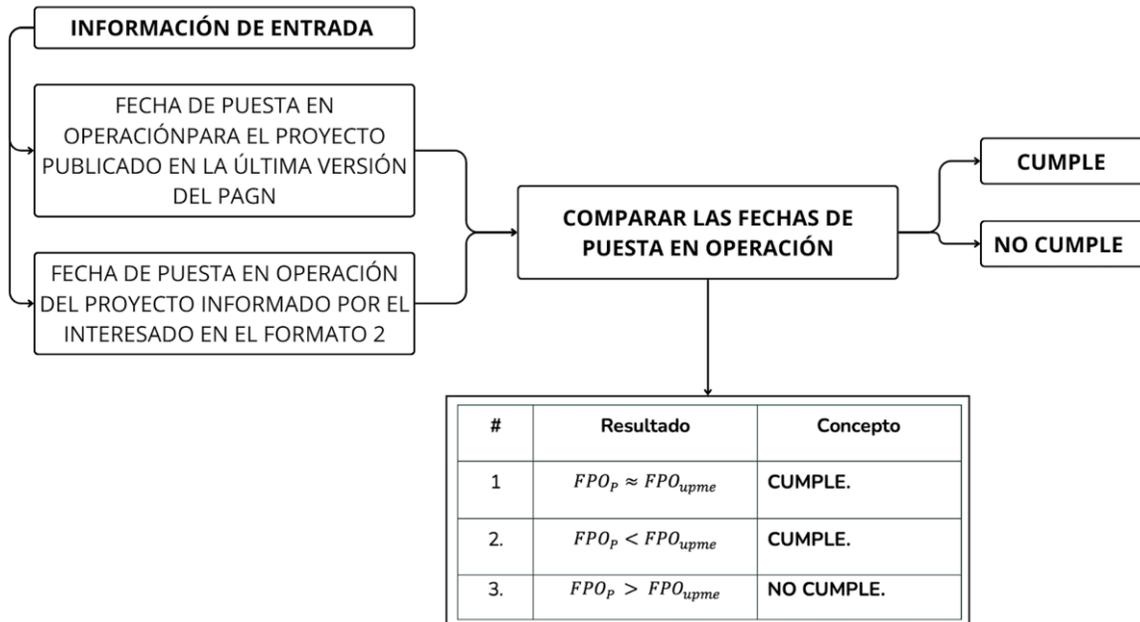
- ii) **Criterio – Fecha de puesta en operación:** El objetivo de este criterio es verificar que la entrada en operación del proyecto propuesto por el interesado es igual o inferior a la FPO adoptada por el MME.

Criterio de evaluación	Descripción	Cumple / no cumple
Fecha de puesta en operación	La fecha de puesta en operación debe ser igual o inferior a la adoptada en el PAGN por el MME	La FPO presentada por el interesado es igual o inferior a la publicada en la última versión del PAGN. CUMPLE. La FPO presentada por el interesado es mayor a la publicada en la última versión del PAGN. NO CUMPLE.



Unidad de Planeación Minero Energética

Figura: Proceso evaluación criterio de fecha de puesta en operación



- iii) **Criterio – Evaluación de la capacidad y ubicación:** El objetivo de este criterio es verificar que el diseño técnico del proyecto presentado por el interesado cumple con la capacidad y ubicación del proyecto adoptado por el PAGN. Para esto se deberá realizar la simulación, de acuerdo con el modelo previsto en el numeral 3 del presente anexo, así como la información entregada por el interesado para el proyecto.

Criterio de evaluación	Descripción	Cumple / no cumple
Capacidad y ubicación	Las capacidades del proyecto presentado y su ubicación cumplen con las capacidades y ubicación del proyecto adoptado en el PAGN, sin que el diseño presentado sobrepase la capacidad del proyecto IPAT	Si el diseño presentado por el interesado cumple con la capacidad y ubicación se considera que se CUMPLE con el criterio. (ver tabla Comparación de resultados)
		Si el diseño presentado por el interesado presenta una capacidad por encima o por debajo de la banda de



Unidad de Planeación Minero Energética



		<p>sensibilidad se considera que NO CUMPLE con el criterio aun cuando la ubicación cumpla.</p> <p>Así mismo, se considera que el diseño presentado por el interesado NO CUMPLE cuando aún cumpliendo con la capacidad, la ubicación no corresponda. (ver tabla Comparación de resultados)</p>
--	--	--

Para la evaluación de estos criterios, la UPME adelantará los siguientes pasos:

4.2.2 Determinación de la información de entrada para el modelo de simulación

a) Condiciones del modelo físico del sistema actual

Corresponde a la información actualizada requerida periódicamente a los transportadores para efectos de la planeación centralizada a cargo de la UPME, antes del inicio del proceso de evaluación técnica.

Es importante tener presente que el proceso de simulación tendrá en cuenta la red integrada por la totalidad de los ductos, estaciones y equipo que hacen parte del sistema de transporte objeto de evaluación, empleando el modelo de simulación en estado estable y transitorio.

b) Condiciones de entrada del sistema a modelar

Se requieren como mínimo una serie de parámetros que describan la tubería, los equipos asociados, el gas natural y las condiciones de operación actuales y futuras, tales como: las características físicas básicas del sistema de transporte como la longitud, ubicación, perfil de altura, los diámetros de las diferentes secciones, rugosidades, espesores, especificaciones de los materiales de diseño, y las clases de localidad definidas por el operador a lo largo del trazado; de igual forma se necesita una cromatografía con la composición del fluido de referencia que permita establecer propiedades como la densidad, la viscosidad, el calor específico, factores de compresibilidad, y finalmente los perfiles de presiones y temperaturas de diseño y máximas de operación, las unidades de potencia instaladas, válvulas, derivaciones y demás elementos citados en los formatos anexos de la presente resolución.



Unidad de Planeación Minero Energética

Las presiones resultantes no deberán exceder las máximas presiones de operación permisibles (MAOP)¹ establecidas por la norma NTC-3838 o aquellas normas que la modifiquen, aclaren o sustituyan. Se empleará como referencia los perfiles de presiones presentados por el interesado en cuanto a las presiones de diseño, presiones máximas de operación, clases de localidad, perfiles de altitud, entre otros.

Para aquellos proyectos que se deriven de un sistema de transporte de otro transportador, se utilizarán las presiones promedio referidas en la información suministrada por el interesado en el punto de transferencia correspondiente. Para aquellos sistemas que cuenten con infraestructura de compresión, se considerarán las presiones de descarga de cada compresor y las potencias instaladas.

Como resultado del proceso de evaluación de las condiciones de entrada y en el marco de lo dispuesto en los artículos 6 y 7 de la presente resolución, la UPME podrá solicitar aclaraciones al interesado por una sola vez sobre la información.

4.2.3 Ejecución de la simulación del sistema de transporte

De acuerdo con los datos de entrada, se procederá a correr el modelo de simulación (numeral 3) conforme con lo dispuesto en el literal b) del numeral 4.1 del presente anexo; con esto se busca realizar un análisis de sensibilidades respecto a las condiciones de salida, y la capacidad de los tramos de transporte. Esto involucra el análisis de perfiles de presión y de temperatura a lo largo del ducto, de los límites operativos permitidos y de la capacidad resultante de las adecuaciones propuestas.

4.2.4 Validación de resultados

De acuerdo con los resultados del proceso de simulación se procede a validar que las especificaciones propuestas para cada proyecto satisfacen la capacidad y la ubicación del proyecto adoptado en el PAGN, sin que el diseño técnico sobrepase ni proponga equipos y/o sistemas sobredimensionados. En este punto, se comparan las condiciones de prestación de servicio con base en los resultados de Capacidad Propuesta C_p reportada por el Interesado y los resultados de la Capacidad Modelada C_{upme} obtenida del análisis de simulación. De igual forma, se contrasta el comportamiento de los datos a lo largo del tramo de transporte evaluado. Para ello, se compararán los perfiles de flujo y de presiones obtenidos a medida que se extiende el sistema de transporte, respecto a la información suministrada por el interesado.

¹ MAOP: Maximum Allowable Operating Pressure. Presión máxima a la que un sistema de transporte de gas, incluyendo tuberías, válvulas y accesorios, puede operar de acuerdo con las normas y regulaciones aplicables.



Unidad de Planeación Minero Energética

A partir del proceso de validación de resultados se establecerá el concepto de referencia para cada propuesta, en los términos definidos en la siguiente tabla:

Tabla. Comparación de resultados

#	Resultado	Concepto
1	$C_p \approx C_{upme}$	CUMPLE. Se considerarán aceptables desviaciones del orden de $\pm 5\%$ entre la estimación presentada en la propuesta y los resultados del modelamiento.
2	$C_p < C_{upme}$	NO CUMPLE. Sistema técnicamente subdimensionado.
3	$C_p > C_{upme}$	NO CUMPLE. Sistema técnicamente sobredimensionado.

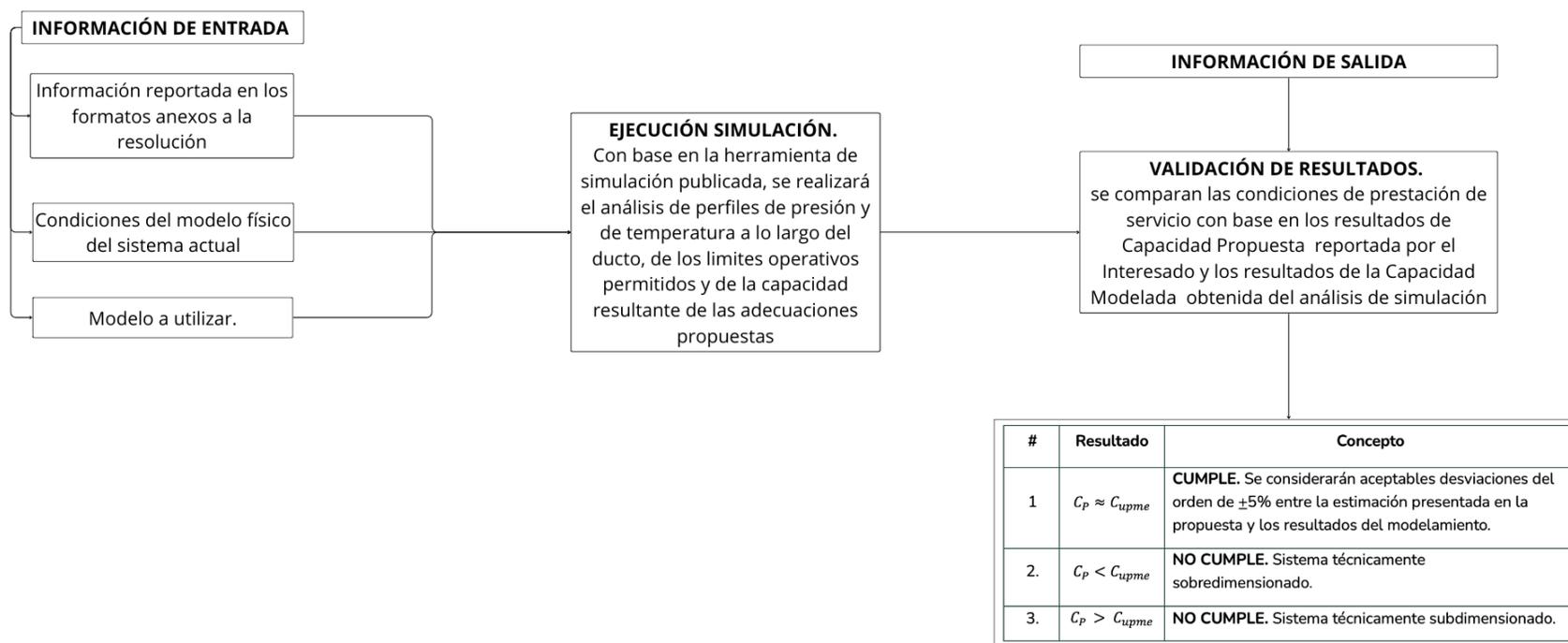
Fuente: Elaboración UPME

Si bien el diseño presentado para la ejecución del proyecto de infraestructura es de autonomía del agente interesado y este puede satisfacer la capacidad de transporte adoptada, la UPME podrá plantear observaciones sobre el particular, independientemente del resultado, con el objetivo de optimizar el dimensionamiento de las obras, equipos y demás actividades requeridas producto del análisis de simulación y de los resultados obtenidos.



Unidad de Planeación Minero Energética

Figura: Proceso evaluación técnica criterio de capacidad y ubicación





Unidad de Planeación Minero Energética

- iv) **Criterio – Relación beneficio/costo:** Para realizar la evaluación de este criterio la UPME tomará como referencia base el beneficio y el costo estimado publicados en la última versión del ETPAGN para cada proyecto, y el costo del proyecto contenido en el “**Formato 3. Información de Costos estimados de Inversión del Proyecto**” que deberá entregar el interesado en el momento de realizar la declaración.

#	Resultado	Concepto
1	$BC_P > BC_{upme}$	<p>Se considerarán aceptables estimación de costos de proyectos presentados inferior a los costos contenidos en la última versión del estudio técnico para la adopción del PAGN por parte de MME.</p> <p>Relación beneficio costo calculada a partir del costo del proyecto presentado es mayor, CUMPLE con el criterio.</p>
2	$BC_P \approx < BC_{upme}$	<p>Se considerarán aceptables desviaciones del orden de +30%² entre la estimación de costos del proyecto presentado y los resultados del costo contenido en la última versión del estudio técnico para la adopción del PAGN por parte de MME.</p> <p>Relación beneficio costo calculada a partir del costo del proyecto presentado es aproximadamente menor, CUMPLE con el criterio.</p>
3	$BC_P < BC_{upme}$	<p>No se considerarán aceptables desviaciones superiores al orden de 30%³ entre la estimación de costos del proyecto presentado y los resultados del costo</p>

² Se estima según las prácticas internacionales (AACE International Recommended Practice No. 18R-97) bajo una estimación de nivel clase 5 de incertidumbre con márgenes de precisión de $\pm 30\%$, con base en la consultoría con la Unión Temporal CQM & DIA finalizada en diciembre de 2024 en articulación con la consultoría contratado por la UPME en el año 2016 con el Consorcio ACI-SANIG.

³ Se estima según las prácticas internacionales (AACE International Recommended Practice No. 18R-97) bajo una estimación de nivel clase 5 de incertidumbre con márgenes de precisión de $\pm 30\%$, con base en la consultoría con la Unión Temporal CQM & DIA finalizada en diciembre de 2024 en articulación con la consultoría contratado por la UPME en el año 2016 con el Consorcio ACI-SANIG.



Unidad de Planeación Minero Energética



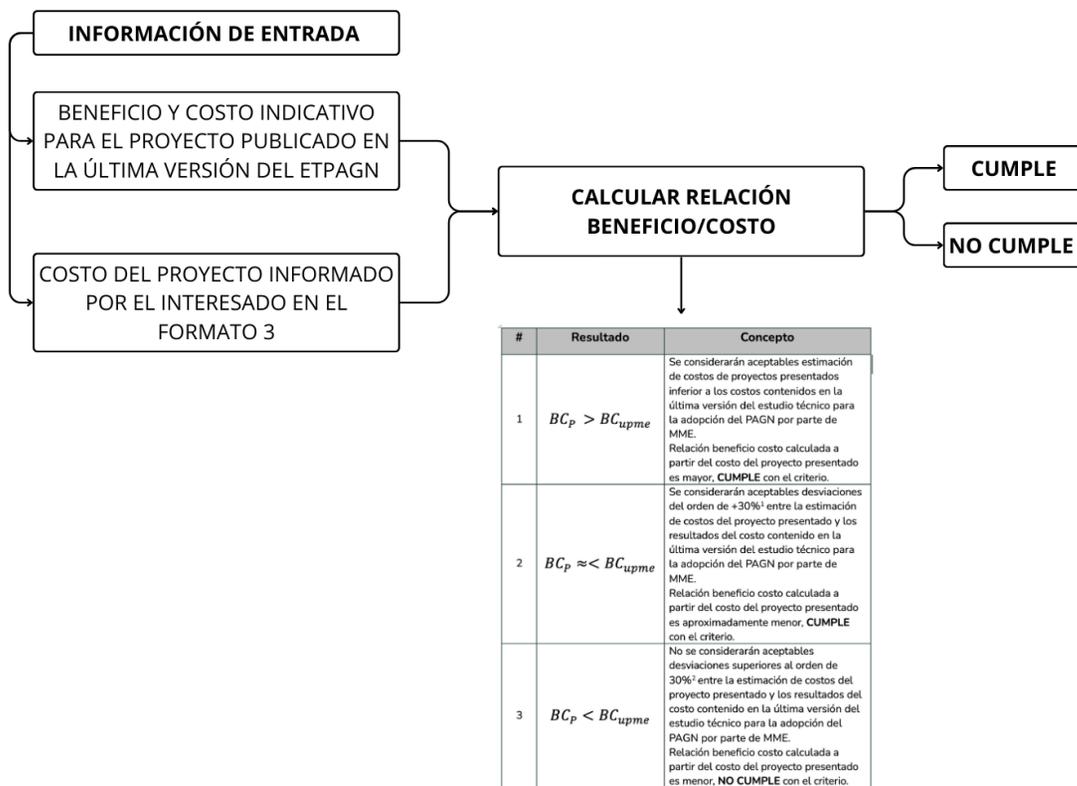
		<p>contenido en la última versión del estudio técnico para la adopción del PAGN por parte de MME.</p> <p>Relación beneficio costo calculada a partir del costo del proyecto presentado es menor, NO CUMPLE con el criterio.</p>
--	--	--

La UPME podrá plantear observaciones sobre el particular, independientemente del resultado, con el objetivo de optimizar el dimensionamiento de las obras, equipos y demás actividades requeridas producto de los resultados obtenidos.



Unidad de Planeación Minero Energética

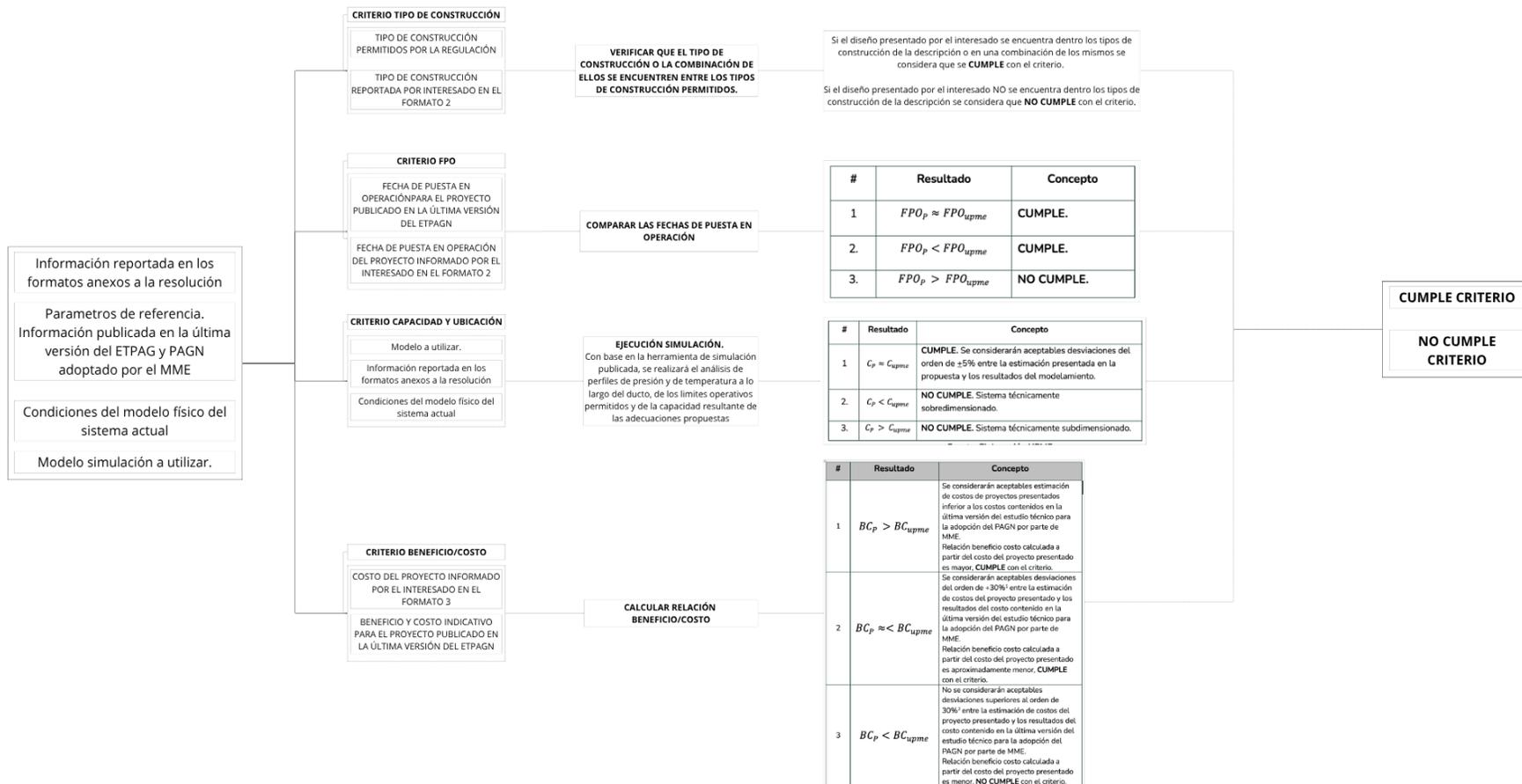
Figura: Proceso evaluación criterio de relación beneficio/costo





Unidad de Planeación Minero Energética

Figura. Metodología de evaluación de los criterios técnicos





Unidad de Planeación Minero Energética

2. MODELO DE SIMULACIÓN PARA EL CÁLCULO DE LOS CRITERIOS DE CAPACIDAD Y UBICACIÓN

2.1 Consideraciones para el modelamiento hidráulico

Se toman como punto de partida las siguientes consideraciones y ecuaciones de referencia:

- Configuración física del sistema de acuerdo con la información suministrada en la propuesta respecto a las condiciones actuales y futuras de la infraestructura existente.
- Composición y propiedades físicas del gas natural de referencia remitidas por el interesado en la propuesta.
- Se emplearán los perfiles de demanda de gas natural definidos en los escenarios del ETPAGN utilizado como insumo técnico para la adopción del proyecto objeto de evaluación.
- Se utilizará como presión en puntos de entrada de campos de producción 1200 psig.
- Eficiencia adiabática del compresor: 100%
- Ecuación de fricción entre los ductos: White-Colebrook
- Ecuación de estado: Benedict – Webb – Rubin – Starling (BWRS)

A continuación, se describen las ecuaciones que serán empleadas en el proceso de modelamiento:

a. Cálculo de la Presión en el tramo SNT

Se determina la presión del fluido en el tramo evaluado, con base en la ecuación de *White-Colebrook* para fricción entre los ductos, donde se relaciona el factor de Darcy λ con el número de Reynolds Re del fluido:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log_{10} \left(\frac{\epsilon}{3.7D} + \frac{2.51}{\sqrt{\lambda} Re} \right) \quad (1)$$

Siendo:

ϵ Rugosidad del ducto

D Diámetro del ducto

El factor de Darcy determina el decaimiento de la presión por la relación:

$$-\frac{\partial P}{\partial x} = \frac{\lambda \rho v^2}{2D} + \rho \cdot g \cdot \text{sen}(\theta) \quad (2)$$



Unidad de Planeación Minero Energética

Siendo:

- v Velocidad media
- ρ Densidad del fluido
- g Aceleración de la gravedad
- θ Inclinación del ducto obtenida a partir del perfil topológico.

Finalmente, $\text{sen}(\theta)$ se expresa como:

$$\text{sen}(\theta) = \frac{dh}{dx} \quad (3)$$

Donde:

- h Altura del perfil topológico
- x Medición a lo largo del ducto, desde el punto de origen al punto de medición.

No obstante, al tratarse de gas natural, se debe complementar con la ecuación de estado de gas natural de *Benedict – Webb – Rubin – Starling (BWRS)*, la cual se cita a continuación:

$$P = \rho_M RT + \left(B_0 RT - A_0 - \frac{C_0}{T^2} + \frac{D_0}{T^3} + \frac{E_0}{T^4} \right) \rho_M^2 + \left(b RT - a - \frac{d}{T} \right) \rho_M^3 + \alpha \left(a + \frac{d}{T} \right) \rho_M^6 + \frac{c \rho_M^3}{T^2} (1 + g) \rho_M^2 e^{-\gamma \rho_M^2} \quad (4)$$

Siendo:

- ρ_M Densidad molar, la cual corresponde al cociente entre la densidad del hidrocarburo y su respectivo peso molecular.

Cabe resaltar que, el primer término de la ecuación corresponde al gas ideal, el cual es dominante en condiciones normales. Los demás parámetros dependen de la composición y propiedades del gas natural transportado de acuerdo con condiciones del Reglamento Único de Transporte (RUT).

b. Cálculo de la potencia para compresión

Se determina la potencia de compresión para la capacidad de transporte (Caudal) por cada tramo, a partir de la eficiencia adiabática reportada del compresor. Para este análisis la eficiencia adiabática del compresor se asume en 100%, con lo que el cambio de entropía del gas se asume nulo.

Esto lleva a calcular las siguientes relaciones de Temperatura y Potencia:



Unidad de Planeación Minero Energética

$$p = \int_{P_0}^P \frac{Q \rho_{M,0}}{\rho_M} dP \quad (5)$$

Donde:

- p Potencia del compresor
 Q Caudal (según la capacidad adoptada en el PAGN del tramo)
 $\rho_{M,0}$ Densidad molar del gas en condiciones normales

Esta ecuación se toma de la BWRS en conjunto con la eficiencia adiabática del 100%, lo que conlleva a la ecuación diferencial

$$\frac{dT}{dP} = \frac{T}{c_P \rho_M^2} \frac{\frac{\partial P}{\partial T}}{\frac{\partial P}{\partial \rho_M}} \quad (6)$$

Donde:

$\frac{\frac{\partial P}{\partial T}}{\frac{\partial P}{\partial \rho_M}}$ Derivadas parciales tomadas de la ecuación (4)

c_P Calor específico molar a presión constante.

Finalmente, la ecuación (6) permite calcular la Temperatura como función de la Presión y haciendo uso de la ecuación (4) se obtiene el ρ_M como función de la Presión que permite calcular la integral de la Potencia en la ecuación (5).

Solucionando las ecuaciones descritas a partir del planteamiento de diferentes capacidades esperadas, se obtiene el perfil de presiones correspondiente, el cual se contrasta con el perfil de presiones máximas permisibles para el sistema (MAOP).