

## INFORME FINAL

**AUDITORÍA TÉCNICA PARA  
VERIFICAR CAMBIOS EN LA  
CAPACIDAD MÁXIMA DE MEDIANO  
PLAZO (CMMP) CALCULADA PARA  
LOS TRAMOS REGULATORIOS  
CUSIANA - EL PORVENIR, EL  
PORVENIR - LA BELLEZA, LA  
BELLEZA - COGUA Y LA BELLEZA -  
VASCONIA, CON BASE EN LA  
METODOLOGÍA DE LA RESOLUCIÓN  
CREG 126 DE 2010**



Orden de Servicio No. 6500003108  
Referencia: TGI 2020



DIVISA Ingenieros Asociados Ltda.

CA-ATP-039

Bogotá D.C., diciembre de 2020

DS  
*fm*

DS  
*jt*

DS  
*g*

DS  
*ASV*

***DIVISA Ingenieros Asociados Ltda.***

---

**Transportadora de Gas del Interior S.A. ESP - TGI**

Mónica Leticia Contreras Esper - Presidente

Heliodoro Mayorga Moncada - Gerente de Desarrollo Comercial

Luis Alfredo Serrato Salazar - Gerente de Regulación y Políticas Energéticas

**Equipo Técnico para la Auditoría**

George Prieto Carranza

Alexander Sierra Vargas

John Triana

Fabio Martínez Landínez

**Divisa Ingenieros Asociados Ltda.**

**Auditor Técnico**

Fabio Cabal Posada

*DIVISA Ingenieros Asociados Ltda.*

---

**AUDITORÍA TÉCNICA PARA VERIFICAR CAMBIOS EN  
LA CAPACIDAD MÁXIMA DE MEDIANO PLAZO (CMMP) CALCULADA PARA LOS  
TRAMOS REGULATORIOS CUSIANA - EL PORVENIR, EL PORVENIR - LA BELLEZA,  
LA BELLEZA - COGUA Y LA BELLEZA - VASCONIA, CON BASE EN LA  
METODOLOGÍA DE LA RESOLUCIÓN CREG 126 DE 2010**

**INFORME FINAL DE AUDITORÍA TÉCNICA**

PARA A LA EMPRESA

**TRANSPORTADORA DE GAS INTERNACIONAL S.A. ESP. - TGI**

Diciembre de 2020

**TABLA DE CONTENIDO**

TABLA DE CONTENIDO.....	ii
ANEXOS.....	iii
ACRÓNIMOS .....	iii
ABREVIATURAS .....	iii
<b>1. OBJETIVOS DE LA AUDITORÍA.....</b>	<b>1</b>
<b>2. METODOLOGÍA APLICADA.....</b>	<b>2</b>
2.1. VISITA DE AUDITORÍA TÉCNICA .....	2
2.2. AUDITORÍA DE PROCESO .....	2
<b>3. RESULTADOS DE LA AUDITORÍA TÉCNICA.....</b>	<b>4</b>
<b>A. PLANIFICAR.....</b>	<b>4</b>
A.1. HORIZONTE DE PROYECCIÓN .....	4
A.2. CONDICIONES DE FLUJO .....	4
A.3. SISTEMA DE TUBERÍAS .....	5
A.4. MODELACIÓN MATEMÁTICA Y SIMULACIÓN DEL SUBSISTEMA .....	6
<b>B. HACER.....</b>	<b>6</b>
<b>C. VERIFICAR .....</b>	<b>8</b>
<b>D. ACTUAR.....</b>	<b>9</b>
<b>4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>10</b>
REFERENCIAS & BIBLIOGRAFÍA.....	11

*DIVISA Ingenieros Asociados Ltda.*

---

## ANEXOS

ANEXO 1: AUDITORÍA DE PROCESO - CICLO PHVA

ANEXO 2: EVIDENCIAS DE SOPORTE AL CICLO PHVA

## ACRÓNIMOS

Sigla	Significado
API	American Petroleum Institute
ASTM	American Society for Testing and Materials
CMMP	Capacidad Máxima de Mediano Plazo
CNO-GAS	Consejo Nacional de Operación de Gas Natural
CREG	Comisión de Regulación de Energía y Gas
EC	Estación de Compresión
FBE	Fusion Bonded Epoxy
IAC	Inversión en Aumento de Capacidad
ICONTEC	Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación
ISO	International Organization for Standardization
MPOP	Máxima Presión de Operación Permisible
NTC	Norma Técnica Colombiana
OSHAS	Occupational Health and Safety Assessment Series
PHVA	Ciclo Planificar-Hacer-Verificar-Actuar
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition
SIT	Sistema Integrado de Transporte
TGI	Transportadora de Gas Internacional S.A. E.S.P.

## ABREVIATURAS

Sigla	Significado
BTU	British Thermal Unit
in	Inch
km	Kilómetro
KPCD	Miles de pies cúbicos por día
m	Metro
MBTUD	Millones de BTU por día
MMSCFD	Million standard cubic feet per day
MPCD	Millones de pies cúbicos por día
PSI <sub>g</sub>	Pounds-force per square inch - gauge

## 1. OBJETIVOS DE LA AUDITORÍA

El objetivo general es adelantar el proceso de auditoría técnica de que trata la Resolución CREG 126 del 2010, o aquellas que la modifiquen, sustituyan o complementen, verificando los cambios en la Capacidad Máxima de Mediano Plazo (CMMP) que la Transportadora de Gas Internacional S.A. ESP. (en adelante TGI) ha calculado para los tramos regulatorios Cusiana - El Porvenir, El Porvenir - La Belleza, La Belleza - Cogua y La Belleza - Vasconia, en virtud de la entrada en operación de las siguientes Inversiones en Aumento de Capacidad (IAC) correspondientes a la ampliación Fase IV - Etapa III: a) a partir del 1° de diciembre entra en operación el "loop 1" de 11,6 km en Ø30" en el tramo regulatorio El Porvenir - La Belleza, objeto de la presente auditoría, que en adición al ya existente entre Pto. Romero y Vasconia (22,75 km x Ø30" - "Cusiana Fase IV Temprana"), las adecuaciones de las E.C. Miraflores y Vasconia y la instalación de una nueva unidad de compresión en Pte. Guillermo, incrementa el volumen máximo inyectable en Cusiana a 467,6 MPCD; y b) a partir del 1° de enero de 2021 entra en operación el "loop 2" de 5 km en Ø30" en el tramo regulatorio Cusiana - El Porvenir, con el cual se completan las ampliaciones de la Fase IV y se incrementa el volumen máximo inyectable en Cusiana a los 470 MPCD proyectados desde la simulación "Cusiana Fase IV", según consta en la auditoría técnica del 24 de diciembre de 2016 (Ref. 2016-II)<sup>1</sup>.

Para este fin se adelantaron las siguientes actividades:

- a) Acreditar el cumplimiento de los requisitos que trata el Acuerdo 01 del 9 de mayo de 2013 del Consejo Nacional de Operación de Gas Natural, en su numeral 2.
  - b) Analizar los soportes utilizados por TGI para el cálculo de la CMMP.
  - c) Revisar y analizar la modelación utilizada por TGI para el cálculo de la CMMP, así:
    - Verificar que las variables de entrada al modelo computacional que utilizó TGI para modelar el sistema de transporte, correspondan con lo establecido en el anexo 3 de la Resolución CREG 126 de 2010.
    - Verificar que en el modelo se hayan utilizado las ecuaciones adecuadas para flujo de gases por tuberías, según las características del respectivo sistema.
    - Verificar que los resultados de la CMMP obtenidos con el modelo utilizado por TGI correspondan con el procedimiento definido en la Resolución CREG 126 de 2010.
- Para este fin, se acordó con TGI un mecanismo para revisar la base de datos y el modelo computacional utilizado para calcular la CMMP, para lo cual se programó una visita a las instalaciones de TGI en la ciudad de Bogotá, con objeto de verificar la información y los modelos pertinentes.
- d) Proponer los ajustes necesarios al proceso de modelación de cada sistema de transporte, de tal forma que se cumpla con la metodología de estimación de la CMMP prevista en la Resolución CREG 126 de 2010.
  - e) Rendir el presente informe a TGI, mediante el cual se presente la verificación final de los valores de la CMMP para los tramos objeto de análisis.

---

<sup>1</sup> Véanse anteriores Informes de Auditoría Técnica (DIVISA, 2011); (DIVISA, 2013); (DIVISA, 2016 II); y (DIVISA, 2019 II & III)

## 2. METODOLOGÍA APLICADA

La metodología seleccionada para el desarrollo de la auditoría está basada en la verificación de procesos, específicamente en lo relacionado con la estructuración de modelos de cálculo, el diseño y simulación dinámica de sistemas de flujo de gas por tuberías, la validación de los insumos empleados y el control de resultados, conforme a lo establecido para el efecto por la norma técnica internacional NTC ISO 9001- Versión 2015.

El modelo empleado para la auditoría se fundamenta en la aplicación del ciclo PHVA (Deming, 1986), el cual implica la ejecución y desarrollo de cuatro pasos básicos para la verificación, evaluación y análisis de los parámetros, modelos y procedimientos utilizados por el transportador para el cálculo de la CMMP, con ajuste a los criterios de la NTC ISO 9001 - Versión 2015 y los requisitos establecidos para el efecto en la Resolución CREG 126 de 2010:

- A. **PLANIFICAR:** Identificar la situación particular que requiere de análisis, desagregarla en componentes menores, seleccionar entre estos los más críticos, establecer los métodos de solución aplicables, determinar los parámetros necesarios para cuantificar las variables involucradas y definir los mecanismos necesarios para su adecuada resolución.
- B. **HACER:** Definir y proveer los recursos necesarios para el cumplimiento del plan, determinar las responsabilidades para la ejecución de lo planeado, desarrollar las acciones definidas en el plan y registrar los resultados obtenidos.
- C. **VERIFICAR:** Determinar indicadores y modelos de evaluación, establecer mecanismos de verificación y ajuste, efectuar seguimiento al cumplimiento de lo planeado y documentar y registrar las acciones desarrolladas.
- D. **ACTUAR:** Establecer acciones correctivas ante las desviaciones observadas, definir posibilidades de mejora, ejecutar ajustes hasta lograr los objetivos de lo planeado y registrar los procesos de seguimiento y control aplicados.

### 2.1. VISITA DE AUDITORÍA TÉCNICA

Las auditoría técnica fue realizada de manera virtual el día lunes 23 de noviembre de 2020 mediante videoconferencia a través de la plataforma *Webex*, y comprendió la verificación de los parámetros y métodos de cálculo empleados, la aplicabilidad de los modelos de simulación seleccionados, la validación de los sistemas de recolección y análisis de la información de base requerida para el adecuado desarrollo de cada proceso, y el seguimiento y control realizado para establecer la conformidad de los resultados obtenidos.

### 2.2. AUDITORÍA DE PROCESO

La visita técnica permitió consolidar el formato de auditoría de proceso mediante el ciclo PHVA (Anexo 1) correspondiente a los dos escenarios definidos para efectos de simulación, así como obtener las evidencias que sustentan los procesos auditados (Anexo 2). La siguiente página contiene la relación de los soportes allegados al proceso.

## Anexo 1. AUDITORÍA DE PROCESO – CICLO PHVA

### A.2.1. Auditoría de Proceso PHVA:

- Formato PHVA 2020.
- Explicación de la CMMP de los tramos La Belleza - Vasconia y La Belleza - Cogua.

### A.2.2. Formato CREG:

- Formato 7 - 2020.
- Explicación del Formato 7.

## Anexo 2. EVIDENCIAS DE SOPORTE AL CICLO PHVA

### A.2.1. Características Técnicas:

- Ampliación Cusiana Fase IV Etapa III.

### A.2.2. Cromatografías:

- Cromatografías Miraflores 2020.

### A.2.3. Diagramas Funcionales:

- Topológico Fase IV Etapa III Loop 1.
- Topológico Fase IV Etapa III Loop 2.
- Topológico Fase IV Completa.

### A.2.4. Otros:

- Certificaciones ISO 2019.
- Capacidades Contratadas Cusiana Fase IV Etapa III.
- Licencia PipelineStudio.
- Información Aseguramiento Metrológico 2016.

### 3. RESULTADOS DE LA AUDITORÍA TÉCNICA

#### Subsistema Cusiana - Porvenir - La Belleza - Vasconia: Fase IV Etapa III

##### (Simulación FASE\_IV\_30P\_PRE\_5)

“Esta simulación corresponde al archivo digital "FASE\_IV\_30P\_PRE\_5", que contiene los tramos Cusiana - El Porvenir, El Porvenir - La Belleza, La Belleza - Vasconia, La Belleza - Cogua, Vasconia - Mariquita, Mariquita – Cali, la cual remplaza la simulación "Ampliación Cusiana Fase IV 30 Pulgadas" del 17 de diciembre de 2019 (Ref. 2019-II). Para fines tanto operativos como de diseño, considera el transporte de la Capacidad Máxima Inyectable en Cusiana.” (Formato PHVA 2020, 2020) <sup>2</sup>

#### A. PLANIFICAR

##### A.1. HORIZONTE DE PROYECCIÓN

- Primer año de vida útil normativa del sistema de transporte: 2010.
- Último año considerado por el Horizonte de Proyección: 2029.
- Periodo de tiempo considerado como Horizonte de Proyección: 20 años.

##### A.2. CONDICIONES DE FLUJO

A.2.1. Calidad del Gas: Los cálculos de propiedades físico-químicas se hacen acorde con las recomendaciones de la AGA y los procedimientos de ensayo de la norma técnica ASTM D3588-81. La información sobre la calidad del gas corresponde a los datos registrados por los cromatógrafos en línea instalados en la infraestructura de transporte, asociados al sistema SCADA, durante los meses de mayo a octubre de 2020, de donde se determinan las siguientes propiedades a las condiciones estándar de referencia:<sup>3</sup>

Punto de Entrada	PCS (BTU/pie <sup>3</sup> )	Gravedad Específica
Cusiana Porvenir	1.142,99	0,6755

A.2.2. Condiciones de operación: Para establecer las condiciones promedio de operación del subsistema de transporte a la demanda esperada de capacidad para cada año del Horizonte de Proyección, la empresa empleó y aporta las siguientes evidencias:<sup>4</sup>

- MPOP: La MPOP del subsistema de transporte es de 1200 PSIg, correspondiente a la máxima presión de diseño de los elementos accesorios empleados en el gasoducto, acorde con los criterios aplicables de las normas NTC 3838 y NTC 3728.
- Periodo de análisis: Los cálculos se basan en las capacidades de transporte contratadas en firme<sup>5</sup>, las cuales se usaron para modelar el mes de octubre de 2020.
- Puntos de entrada y condiciones de abastecimiento: El subsistema cuenta con un (1) solo punto de entrada en Cusiana. Con la entrada del *Loop 1* el volumen máximo inyectable en Cusiana incrementará a 467,6 MPCD y con la entrada del *Loop 2* alcanzará los 470 MPCD proyectados desde 2016 para el conjunto de ampliaciones de la Fase IV. <sup>6</sup>

<sup>2</sup> Fuente: **Anexo 1:** Auditoría de Proceso / Formato PHVA 2020; Fase IV Etapa III Loops 1&2: Literal A.1.a.

<sup>3</sup> (**Anexo 2:** Archivo: Cromatografías/ Cromatografías Miraflores 2020).

<sup>4</sup> Fuente: **Anexo 1:** Auditoría de Proceso / Formato PHVA 2020; Fase IV Etapa III Loops 1&2: Literales A.1.A.1. y A.1.A.2. (**Anexo 2:** Archivo: Características Técnicas/ Ampliación Cusiana Fase IV Etapa III).

<sup>5</sup> (**Anexo 2:** Archivo: Otros / Capacidades Contratadas Cusiana Fase IV Etapa III).

<sup>6</sup> Fuente: **Anexo 1:** Auditoría de Proceso / Formato PHVA 2020; Fase IV Etapa III Loops 1&2: Literal A.1.A.2.2.a



**DIVISA Ingenieros Asociados Ltda.**

- Puntos de salida y condiciones de entrega: Para efecto de simulación se consideraron ocho (8) puntos de salida, con las siguientes condiciones de flujo y presiones contractuales mínimas de entrega:<sup>7</sup>

PUNTOS DE SALIDA	PH		PRESIÓN		CAUDAL		PUNTOS DE SALIDA	PH		PRESIÓN		CAUDAL	
	SI	NO	UND.	Psig	UND.	MPCD		SI	NO	UND.	Psig	UND.	MPCD
COGUA - R	x			500		121,5	CALI-DISTRIBUCION	x			250		63
SUR	x			-		15	ARMENIA	x			250		15
PEREIRA	x			250		15	EPM	x			500		60
COGUA - NR	x			500		50							
BARRANCA	x			350		128,1							

**Nota:** Se adjunta información complementaria (Archivo: Características Técnicas / Ampliación Cusiana Fase IV Etapa III; Hojas: Puntos de Entrada y Puntos de Salida). Corresponde a los puntos de salida modelados en el simulador.

- Perfiles horarios de demanda: Se empleó información histórica para determinar los perfiles horarios de consumo en cada punto de salida, que corresponden a la máxima del transiente histórico de consumo típico de 96 horas registrado por el sistema SCADA durante el mes de octubre de 2020.<sup>8</sup>
- Variables críticas: Las variables que condicionan la operación del subsistema son la capacidad de transporte en firme.<sup>9</sup>

### A.3. SISTEMA DE TUBERÍAS

- Descripción del subsistema: El *Loop 1* (11,6 km x Ø30") entre los nodos Pte. Guillermo y La Belleza del tramo regulatorio El Porvenir - La Belleza permitirá, en adición al ya existente entre Pto. Romero y Vasconia (22,75 km x Ø30") y a las adecuaciones de las E.C. Miraflores, Vasconia y Pte. Guillermo, incrementar el volumen máximo transportable desde Cusiana a 467,6 MPCD. Así mismo, con la entrada en operación en enero de 2021 del *Loop 2* (5 km x Ø30") en el tramo regulatorio Cusiana - El Porvenir, se incrementará a 470 MPCD y quedarán concluidas las ampliaciones de la Fase IV: "Con la entrada de Fase IV - Etapa III se incrementará la Capacidad Máxima Inyectable en Cusiana, primero en 9,6 MPCD a partir del 1° de diciembre de 2020 (*Loop 1*) y luego en 2,4 MPCD a partir del 1° de enero de 2021 (*Loop 2*), para un total de 12 MPCD adicionales. Como resultado de lo anterior, la CMMP del tramo La Belleza - Vasconia incrementa primero a 303,0 MPCD (*Loop 1*) y luego a 305,0 MPCD (*Loop 2*), respectivamente. El tramo La Belleza - Cogua se mantiene en 223,5 MPCD. Con la entrada en operación del *Loop 2* de la Etapa III concluye la ampliación Cusiana Fase IV."<sup>10</sup>

A.3.1. Especificaciones técnicas de las tuberías: Con las ampliaciones de la Etapa III de la Fase IV, el subsistema Cusiana - Vasconia tendrá una longitud total de 1.205,4 km que comprende: a) 1.113,2 km en tuberías calidad API 5LX Grado 65 con recubrimiento FBE, conformados por (i) 39,3 km en Ø30" (los tres nuevos *loops*), (ii) 74 km en Ø22", (iii) 907,8 km en Ø20" y (iv) 92 km en Ø16"; y b) 92,2 km en tuberías calidad API 5LX Grado 52 FBE, conformados por (i) 39,2 km en Ø14" y 53 km en Ø12".<sup>11</sup>

A.3.2. Tipología del subsistema: La empresa aporta diagramas de las simulaciones con indicación de nodos, dirección de flujo y presiones y caudales en puntos de entrada y salida, bajo condiciones normales de operación a la demanda máxima esperada. Así mismo, adjunta curvas de elevación y presión vs. distancia (longitud de los tramos de gasoducto).<sup>12</sup>

<sup>7</sup> Fuente: **Anexo 1:** Auditoría de Proceso / Formato PHVA 2020; Fase IV Etapa III Loops 1&2: Literal A.1.A.2.2.c (**Anexo 2:** Archivo: Características Técnicas / Ampliación Cusiana Fase IV Etapa III; Hojas: Puntos de Entrada y de Salida).

<sup>8</sup> Fuente: **Anexo 1:** Auditoría de Proceso / Formato PHVA 2020; Fase IV Etapa III Loops 1&2: Literal A.1.f. (**Anexo 2:** Archivo: Características Técnicas / Ampliación Cusiana Fase IV Etapa III; Hoja: Perfiles Horarios de Volumen).

<sup>9</sup> Fuente: **Anexo 1:** Auditoría de Proceso / Formato PHVA 2020; Fase IV Etapa III Loops 1&2: Literal A.1.d.

<sup>10</sup> Fuente: **Anexo 1:** Auditoría de Proceso / Formato PHVA 2020; Fase IV Etapa III Loops 1&2: Literal A.1.b.

<sup>11</sup> Fuente: **Anexo 1:** Auditoría de Proceso / Formato PHVA 2020; Fase IV Etapa III Loops 1&2: Literal A.1.A.3.

<sup>12</sup> Fuente: **Anexo 2:** Archivo: Diagramas Funcionales / Topológicos Fase IV Etapa III Loops 1&2 y Fase IV Completa).

#### A.4. MODELACIÓN MATEMÁTICA Y SIMULACIÓN DEL SUBSISTEMA

- Ecuación empleada para la modelación del sistema: Colebrook<sup>13</sup>
- Criterios de selección de la ecuación: *“La ecuación Colebrook-White está recomendada como una ecuación de uso general. Esta ecuación combina las leyes “Smooth-Pipe Law” y “Rough Pipe Law” y provee una buena precisión sobre un amplio rango de condiciones de flujo. Las simulaciones realizadas con esta ecuación arrojan resultados muy cercanos al comportamiento real observado en los gasoductos de TGI.”*<sup>14</sup>
- Modelo de simulación empleado: *“TGI para la simulación del sistema de transporte emplea el PipelineStudio desarrollado por la firma Energy Solutions International, es un producto de avanzada con ambiente gráfico que permite realizar análisis en estado estacionario (Steady State) y estado transiente o dinámico (Transient) de redes de gas natural y líquidos.”*<sup>15</sup>
- Criterios de selección del modelo: *“Es el modelo que TGI viene utilizando para la planeación de su operación desde 2007 con excelentes resultados. Así mismo, es el modelo que Ecogás empleó, tanto para la operación como para el desarrollo de proyectos de expansión, durante más de 6 años.”*<sup>16</sup>

## B. HACER

- Modelación del Sistema: *“La CMMP de estos tramos se estimó en 2007 como parte de la ingeniería básica y conceptual de la ampliación de la capacidad de transporte desde Cusiana (Fase II). En el proceso se utilizó la información correspondiente a las solicitudes de transporte en firme, agregando a la red existente la nueva infraestructura requerida para atender las demandas...”*<sup>17</sup> Por lo tanto, la nueva simulación tiene por objeto ajustar las características operacionales del sistema a las actuales proyecciones de la demanda, teniendo en cuenta la entrada en servicio de nueva infraestructura por IAC.

*“Acorde con la metodología establecida en la Res. CREG 126/10, los cálculos de la CMMP se realizaron en función de los contratos en firme y las solicitudes de desvío. Es decir, que el proceso de cálculo de la CMMP no involucró incrementos a prorrata de los consumos esperados en los puntos de salida, ya que la demanda considerada es equivalente al 100% del volumen máximo inyectable.”*<sup>18</sup>

<sup>13</sup> **Colebrook-White Equation:** This equation combines the three flow regimes, partially turbulent, transition and fully turbulent and it is recommended (Mohitpour et al., 2002) when the system is operating in the transition region between both regimes. Many researchers, as referred by Smith (1990), adopt a modification of the Colebrook-White equation, using the 2.825 constant instead of 2.51 to achieve better agreement with experimental data at higher Reynolds numbers (Gersten et al., 2000), valid for the partial turbulent, transition and fully turbulent regions.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left( \frac{\varepsilon/D}{3.7} + \frac{2.825}{\text{Re}\sqrt{f}} \right) \quad (33)$$

and consequently the Modified Colebrook-White flow equation will be,

$$\dot{Q}_{st} = 13.2986 \frac{T_{st}}{P_{st}} \left[ \frac{(P_1^2 - P_2^2) - E}{L d T_{avg} z_{avg}} \right]^{-0.5} \left[ -2 \log_{10} \left( \frac{\varepsilon/D}{3.7} + \frac{2.825}{\text{Re}\sqrt{f}} \right) \right] D^{2.5} \quad (54)$$

Fuente: (Coelho & Pinho, 2007)

<sup>14</sup> Fuente: **Anexo 1:** Auditoría de Proceso / Formato PHVA 2020; Fase IV Etapa III Loops 1&2: Literal A.1.h.

<sup>15</sup> Fuente: **Anexo 1:** Auditoría de Proceso / Formato PHVA 2020; Fase IV Etapa III Loops 1&2: Literal A.1.i.

<sup>16</sup> Fuente: **Anexo 1:** Auditoría de Proceso / Formato PHVA 2020; Fase IV Etapa III Loops 1&2: Literal A.1.j.

<sup>17</sup> Fuente: **Anexo 1:** Auditoría de Proceso / Formato PHVA 2020; Fase IV Etapa III Loops 1&2: Literal B.1.a.

<sup>18</sup> Fuente: **Anexo 1:** Auditoría de Proceso / Formato PHVA 2020; Fase IV Etapa III Loops 1&2: Literal C.1.c.

**DIVISA Ingenieros Asociados Ltda.**

- Cálculo de la CMMP: “La CMMP establecida para cada tramo del expediente tarifario comprendidos por el Subsistema Cusiana - Vasconia, resultado de las simulaciones referidas en el literal A.1.a, se resume de la siguiente manera:

a) A partir del 1° de diciembre de 2020 (Fase IV - Etapa III - Loop 1): Cusiana - Porvenir: 467,6 MPCD; Porvenir - La Belleza: 470,1 MPCD (467,6 MPCD en sentido de flujo y 2,5 MPCD en contraflujo); La Belleza - Vasconia: Resultado de la Ecuaciones 14 y 15, en MPCD; La Belleza - Cogua: Resultado de la Ecuaciones 13 y 15, en MPCD.

b) A partir del 1° de enero de 2021 (Fase IV - Etapa III - Loop 2): Cusiana - Porvenir: 470 MPCD; Porvenir - La Belleza: 472,5 MPCD (470 MPCD en sentido de flujo y 2,5 MPCD en contraflujo); La Belleza - Vasconia: Resultado de la Ecuaciones 17 y 18, en MPCD; La Belleza - Cogua: Resultado de la Ecuaciones 16 y 18, en MPCD.

(Archivo: Formato CREG / Formato 7\_2020)”<sup>19</sup>

- Ecuaciones aplicables al cálculo de la CMMP:<sup>20</sup>

**Vigencia: diciembre de 2020 (Fase IV - Etapa III - Loop 1)****Tramo La Belleza – Cogua:**

$$CMMP_{BC} = 467,6 - CCF_{BV_{Cusiana}} + CCC_{BV_{Cogua}} \quad (\text{Ecuación 13})$$

- Siempre:  $CMMP_{BC} = 467,6 - CCF_{BV_{Cusiana}} + CCC_{BV_{Cogua}} \leq 223,5$
- Siempre:  $CCF_{BV_{Cusiana}} \leq 303,0$
- Siempre:  $CCC_{BV} \leq 30 \text{ MPCD}$

**Tramo La Belleza – Vasconia:**

$$CMMP_{BV} = 467,6 - CCF_{BC_{Cusiana}} + CCC_{BV} \quad (\text{Ecuación 14})$$

- Siempre:  $CMMP_{BV} = 467,6 - CCF_{BC_{Cusiana}} + CCC_{BV} \leq 303,0$
- Siempre:  $CCF_{BC_{Cusiana}} \leq 223,5$
- Siempre:  $CCC_{BV} \leq 30 \text{ MPCD}^*$

$$CCF_{BV_{Cusiana}} + CCF_{BC_{Cusiana}} \leq 467,6 \quad (\text{Ecuación 15})$$

donde:

$CMMP_{BC}$  = Capacida Máxima de Mediano Plazo del tramo La Belleza – Cogua

$CMMP_{BV}$  = Capacida Máxima de Mediano Plazo del tramo La Belleza – Vasconia

$CCF_{BV_{Cusiana}}$  = Capacidad Contratada en Flujo en el tramo La Belleza – Vasconia desde Cusiana

$CCF_{BC_{Cusiana}}$  = Capacidad Contratada en Flujo en el tramo La Belleza – Cogua desde Cusiana

$CCC_{BV}$  = Capacidad Contratada en Contraflujo en el tramo La Belleza – Vasconia desde Vasconia

$CCC_{BV_{Cogua}}$  = Capacidad Contratada en Contraflujo en el tramo La Belleza – Vasconia hacia Cogua

Nota: Sujeto a la entrada en operación del Loop 1 de la expansión Fase IV - Etapa III del subsistema Cusiana-Vasconia.

<sup>19</sup> Fuente: **Anexo 1:** Auditoría de Proceso / Formato PHVA 2020; Fase IV Etapa III Loops 1&2: Literal B.1.a.

<sup>20</sup> Fuente: **Anexo 1:** Auditoría de Proceso / Explicación de la CMMP Tramos BC y BV - 2020.

## Vigencia: enero de 2021 a 2030 (Fase IV - Etapa III - Loop 2)

### Tramo La Belleza – Cogua:

$$CMMP_{BC} = 470 - CCF_{BV_{Cusiana}} + CCC_{BV_{Cogua}} \quad (\text{Ecuación 16})$$

- Siempre:  $CMMP_{BC} = 470 - CCF_{BV_{Cusiana}} + CCC_{BV_{Cogua}} \leq 223,5$
- Siempre:  $CCF_{BV_{Cusiana}} \leq 305,0$
- Siempre:  $CCC_{BV} \leq 30 \text{ MPCD}$

### Tramo La Belleza – Vasconia:

$$CMMP_{BV} = 470 - CCF_{BC_{Cusiana}} + CCC_{BV} \quad (\text{Ecuación 17})$$

- Siempre:  $CMMP_{BV} = 470 - CCF_{BC_{Cusiana}} + CCC_{BV} \leq 305,0$
- Siempre:  $CCF_{BC_{Cusiana}} \leq 223,5$
- Siempre:  $CCC_{BV} \leq 30 \text{ MPCD}^*$

$$CCF_{BV_{Cusiana}} + CCF_{BC_{Cusiana}} \leq 470 \quad (\text{Ecuación 18})$$

donde:

$CMMP_{BC}$  = Capacidad Máxima de Mediano Plazo del tramo La Belleza – Cogua

$CMMP_{BV}$  = Capacidad Máxima de Mediano Plazo del tramo La Belleza – Vasconia

$CCF_{BV_{Cusiana}}$  = Capacidad Contratada en Flujo en el tramo La Belleza – Vasconia desde Cusiana

$CCF_{BC_{Cusiana}}$  = Capacidad Contratada en Flujo en el tramo La Belleza – Cogua desde Cusiana

$CCC_{BV}$  = Capacidad Contratada en Contraflujo en el tramo La Belleza – Vasconia desde Vasconia

$CCC_{BV_{Cogua}}$  = Capacidad Contratada en Contraflujo en el tramo La Belleza – Vasconia hacia Cogua

- Notas: 1. Sujeto a la entrada en operación del Loop 2 de la expansión Fase IV - Etapa III del subsistema Cusiana-Vasconia.  
2. Con la entrada en operación del Loop 2 de la expansión Fase IV - Etapa III en el tramo Cusiana - El Porvenir queda concluido el conjunto de ampliaciones Cusiana Fase IV del subsistema Cusiana-Vasconia.

- Variables de Control: “Las variables críticas son principalmente la firmeza del suministro y las presiones y flujos en la entrada y en los puntos de salida del gasoducto.”<sup>21</sup>

## C. VERIFICAR

- Variables de Entrada: “En la medida que se obtienen resultados de las simulaciones, las variables de control se contrastan con las condiciones de operación. Adicionalmente, se realizan visitas a campo. La información recopilada a través del sistema SCADA se valida mediante procedimientos de patronaje y calibración según documentación adjunta (Carpeta: Otros / Información Aseguramiento Metrológico 2016).”<sup>22</sup>

El documento denominado *Informe Aseguramiento Metrológico 2016* define “el conjunto de actividades y criterios de control metrológico que deben aplicarse para efectuar control de errores, asegurar la trazabilidad de los equipos de medición y garantizar la confiabilidad de los procesos de medición ejecutados en todas las áreas de TGI S.A. ESP, de acuerdo con la clasificación de equipos de medición”.<sup>23</sup>

<sup>21</sup> Fuente: **Anexo 1:** Auditoría de Proceso / Formato PHVA 2020; Fase IV Etapa III Loops 1&2: Literal C.1.a.

<sup>22</sup> Fuente: **Anexo 1:** Auditoría de Proceso / Formato PHVA 2020; Fase IV Etapa III Loops 1&2: Literal C.1.b.

<sup>23</sup> (**Anexo 2:** Archivo: Otros / Información Aseguramiento Metrológico 2016 (Únicamente en medio digital)).

***DIVISA Ingenieros Asociados Ltda.***

---

Dicho documento incluye:

1. Copia no controlada de procedimientos.
2. Distribución equipos de calibración.
3. Certificados equipos de calibración.
4. Distribución de los gases (de calibración).
5. Certificados de los gases de calibración.

De otra parte, la empresa aporta certificaciones de los procesos de gestión de la calidad (ISO 9001:2008), gestión ambiental (ISO 14001:2004) y gestión de seguridad y salud ocupacional (ISO 18001:2007), otorgados por Bureau Veritas – BVQI Colombia. <sup>24</sup>

- Modelación del Sistema: Aporta la licencia vigente del software *PipelineStudio, Gas and Liquid Pipeline Simulation powered by TNet*, versión 4.2.1.0 de 2018, otorgada por *Emerson Automation Solutions*. <sup>25</sup>

## D. ACTUAR

- Seguimiento y Control: Los resultados de las simulaciones modifican la CMMP consignada en el “*Formato 7: Demandas de Capacidad y Volumen*” aportado al expediente tarifario, de la siguiente manera: <sup>26</sup>
  - a) Con la entrada en operación del *Loop 1* de la Fase IV Etapa III, correspondiente a la simulación “*FASE\_IV\_30P\_PRE\_5*” (2020), efectiva a partir del 1° de diciembre de 2020:
    1. Cusiana - Porvenir : 467.600 KPCD en flujo; sin contraflujo.
    2. Porvenir - La Belleza : 467.600 KPCD en flujo; 2.500 KPCD en contraflujo.
    3. La Belleza - Cogua : Ecuaciones 13 y 15 en flujo  $\leq 223.500$  KPCD; sin contraflujo.
    4. La Belleza - Vasconia: Ecuaciones 14 y 15 en flujo  $\leq 303.000$  KPCD; 30.000 KPCD en contraflujo.
  - b) Con la entrada en operación del *Loop 2* de la Fase IV Etapa III, correspondiente a la simulación “*Cusiana Fase IV*” (2016-II), efectiva a partir del 1° de enero de 2021:
    1. Cusiana - Porvenir : 470.000 KPCD en flujo; sin contraflujo.
    2. Porvenir - La Belleza : 470.000 KPCD en flujo; 2.500 KPCD en contraflujo.
    3. La Belleza - Cogua : Ecuaciones 16 y 18 en flujo  $\leq 223.500$  KPCD; sin contraflujo.
    4. La Belleza - Vasconia: Ecuaciones 17 y 18 en flujo  $\leq 305.000$  KPCD; 30.000 KPCD en contraflujo.

---

<sup>24</sup> (Anexo 2: Archivos: Otros / Certificaciones 2020).

<sup>25</sup> (Anexo 2: Archivos: Otros / Licencia Pipeline Studio).

<sup>26</sup> Fuente: Anexo 1: Formato CREG / Formato 7 - 2020.

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

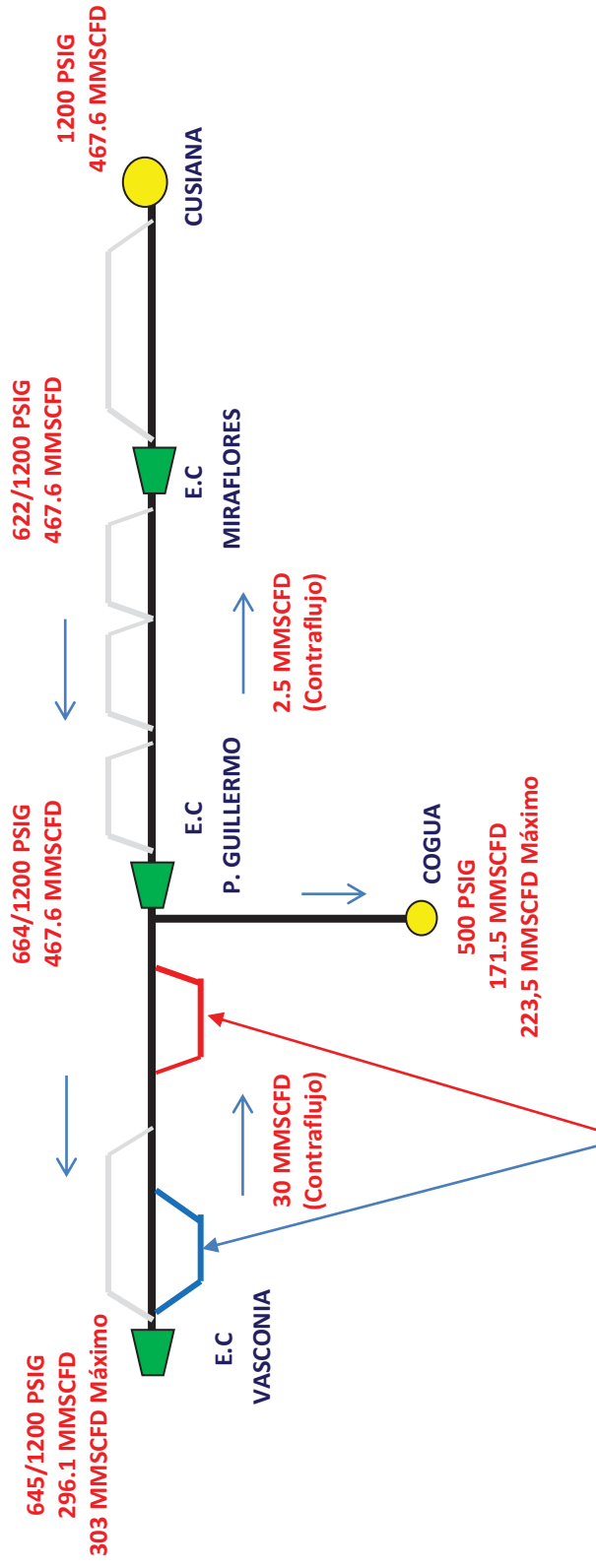
- Conclusiones: De acuerdo con la información técnica descriptiva del sistema integrado de transporte que reposa en el expediente tarifario y la sustitutiva, adicional o complementaria aportada en desarrollo de la auditoría de proceso mediante el Ciclo PHVA, la cual se adjunta al presente informe y forma parte integral del mismo, se establece que los parámetros y métodos de cálculo, las variables de entrada, las ecuaciones empleadas para la modelación matemática del sistema en cada caso, los sistemas de simulación dinámica aplicados y en general los procedimientos y bases de información utilizados por TGI con objeto de reevaluar la CMMP de los tramos regulatorios Cusiana - El Porvenir, El Porvenir - La Belleza, La Belleza - Cogua y La Belleza - Vasconia, en virtud de la entrada en operación de Inversiones en Aumento de Capacidad Cusiana Fase IV Etapa III – *Loop 1* (a partir de diciembre 1° de 2020) y Cusiana Fase IV Etapa III – *Loop 2* (a partir de enero 1° de 2021), con lo cual queda concluido el conjunto de ampliaciones Cusiana Fase IV proyectado desde 2016, se ajustan por completo a los requisitos establecidos sobre el particular en la Resolución CREG 126 de 2010.
- Recomendaciones: Dar concepto favorable a los procedimientos de cálculo y a los resultados obtenidos por la empresa transportadora TGI para reevaluar la CMMP de los tramos regulatorios Cusiana - El Porvenir, El Porvenir - La Belleza, La Belleza - Cogua y La Belleza - Vasconia, en virtud de la entrada en operación de Inversiones en Aumento de Capacidad Cusiana Fase IV Etapa III *Loops 1&2*, que modifican la originalmente presentada a la CREG dentro de la solicitud de cargos regulados y cuyos nuevos valores fueron revisados y validados durante el proceso de auditoría técnica, según se detalla y relaciona a lo largo del presente informe.

## REFERENCIAS & BIBLIOGRAFÍA

- ASTM. (1981). *D3588 - Standard Method for Calculating Calorific Value and Specific Gravity (relative density) of Gaseous Fuels*. West Conshohocken, PA - USA: ASTM.
- Coelho, P. M., & Pinho, C. (2007). Considerations About Equations for Steady State Flow in Natural Gas Pipelines. *J. of the Braz. Soc. of Mech. Sci. & Eng. - July-September 2007, Vol. XXIX, No. 3*, 262-273.
- Deming, W. E. (1986). *Calidad, Productividad y Competitividad, como salir de la crisis*. México: Ediciones Díaz Santos S.A.
- DIVISA. (2011). *Auditoría de Aspectos Técnicos dentro de la Revisión de Cargos Regulados de Transporte de Gas Natural con base en la Metodología de la Res. CREG 126 de 2010*. Bogotá: CREG.
- DIVISA. (2013). *Auditoría de Aspectos Técnicos dentro de la Revisión de Cargos Regulados de Transporte de Gas Natural con base en la Metodología de la Res. CREG 126 de 2010*. Bogotá: DIVISA Ingenieros Asociados Ltda.
- DIVISA. (2016 II). *Auditoría de Aspectos Técnicos dentro de la Revisión de Cargos Regulados de Transporte de Gas Natural con base en la Metodología de la Res. CREG 126 de 2010*. Bogotá: DIVISA Ingenieros Asociados Ltda.
- DIVISA. (2019 II & III). *Auditoría de Aspectos Técnicos dentro de la Revisión de Cargos Regulados de Transporte de Gas Natural con base en la Metodología de la Res. CREG 126 de 2010*. Bogotá: Divisa Ingenieros Asociados Ltda.
- Formato PHVA 2016 - II. (2016). *TGI\_AudiTrans PHVA\_2016 II*. Bogotá: Divisa Ingenieros Asociados Ltda.
- Formato PHVA 2020. (2020). *TGI\_AudiTrans PHVA\_2020\_vf*. Bogotá: Divisa Ingenieros Asociados Ltda.
- ICONTEC. (2010). *NTC 3728. Gasoductos. Líneas de transporte y distribución de gas*. Bogotá: ICONTEC.
- ICONTEC. (2010). *NTC 3838. Gasoductos. Presiones de operación permisibles para el transporte, distribución y suministro de gases combustibles*. Bogotá: ICONTEC.
- Pipeline Studio. (22 de 11 de 2016). *Energy Solutions*. Obtenido de Pipeline Studio: [http://www.energy-solutions.com/products/pipeline\\_studio.php](http://www.energy-solutions.com/products/pipeline_studio.php)

## GASODUCTO CUSIANA-VASCONIA AMPLIACION CUSIANA FASE IV

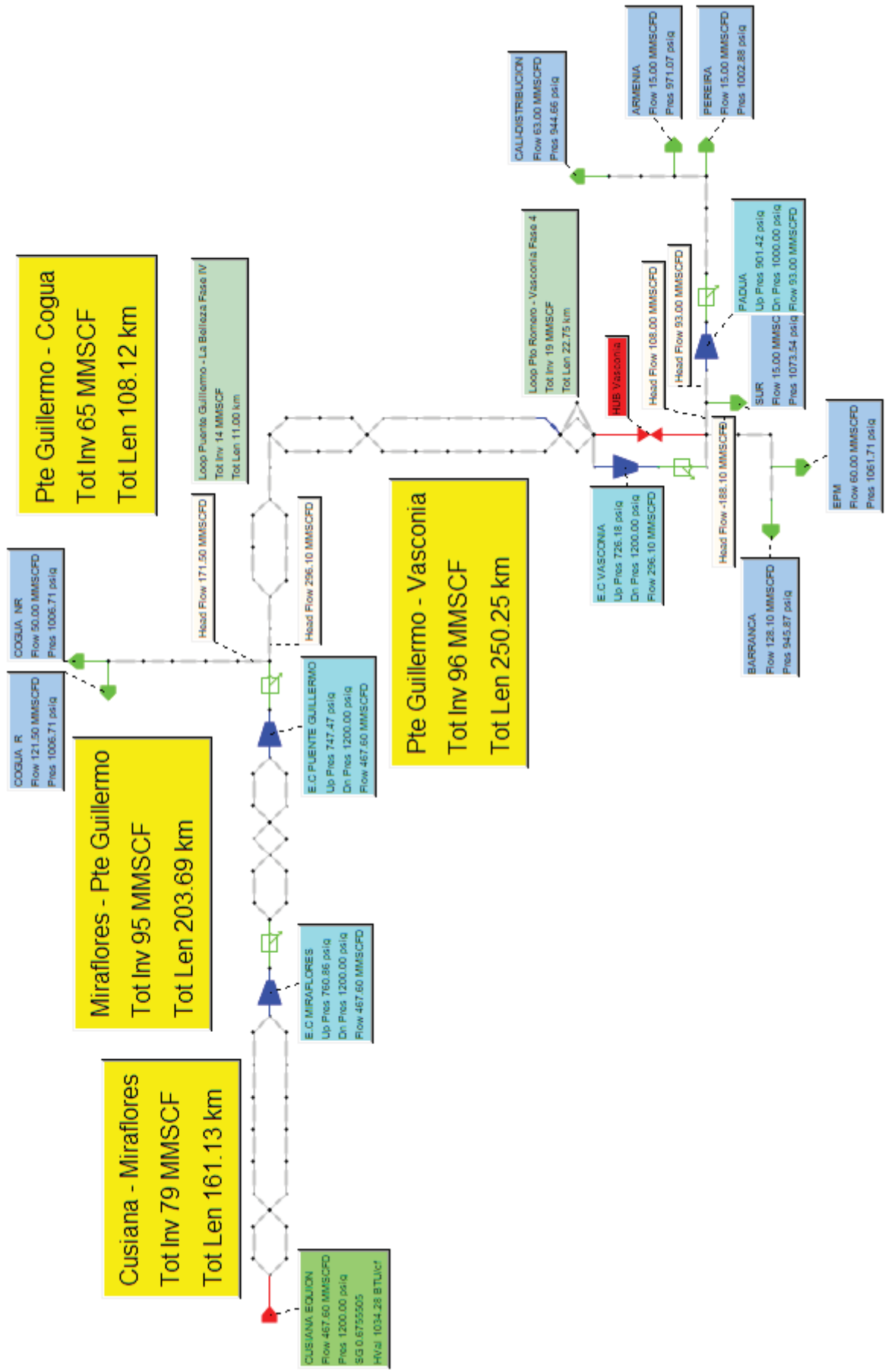
### ETAPA III – Loop 1



INCORPORACIÓN DE UN LOOP ENTRE PUENTE GUILLERMO Y LA BELLEZA (11,6 KM), QUE EN ADICIÓN AL YA EXISTENTE ENTRE PTO. ROMERO Y VASCONIA (22,75 km – Cusiana Fase IV temprana), AMPLIA LA CAPACIDAD DE TRANSPORTE DESDE CUSIANA EN 55,6 MMSCFD

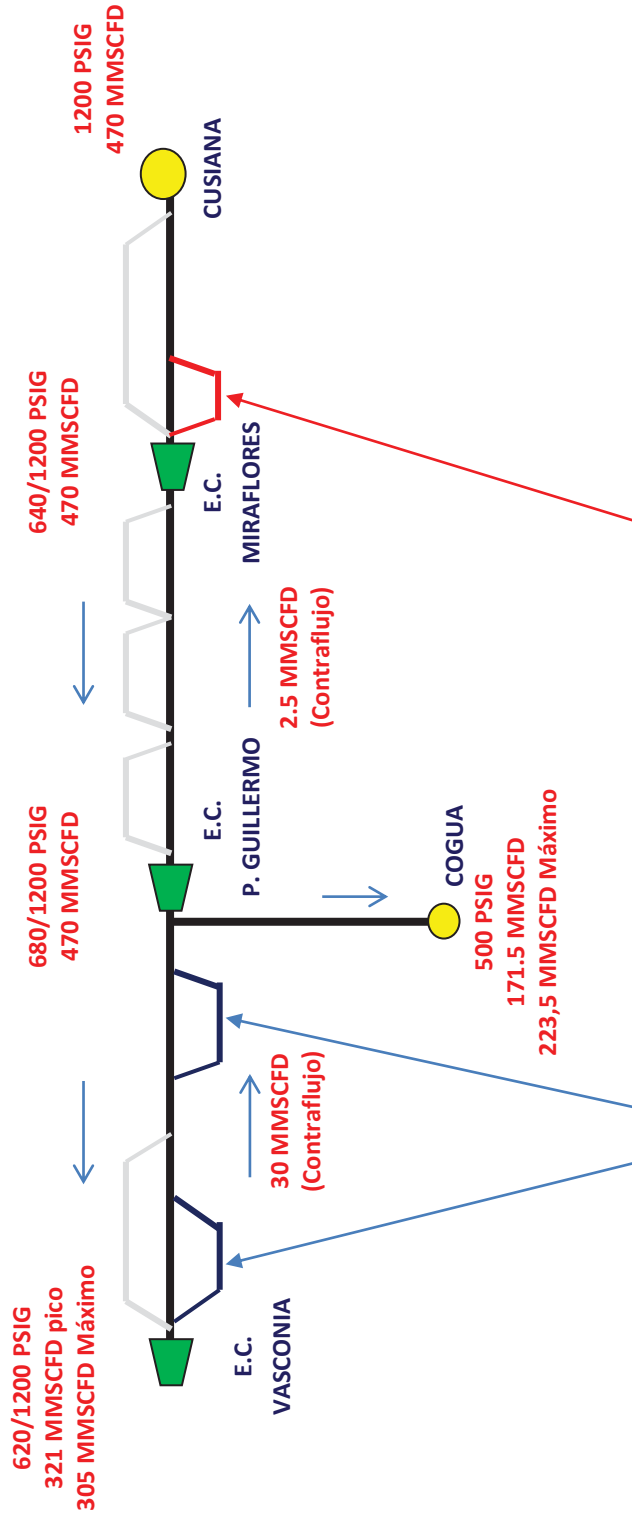


**SISTEMA CUSIANA - VASCONIA - AMPLIACIÓN FASE IV LOOP PTE GILLERMO + PTO ROMERO**

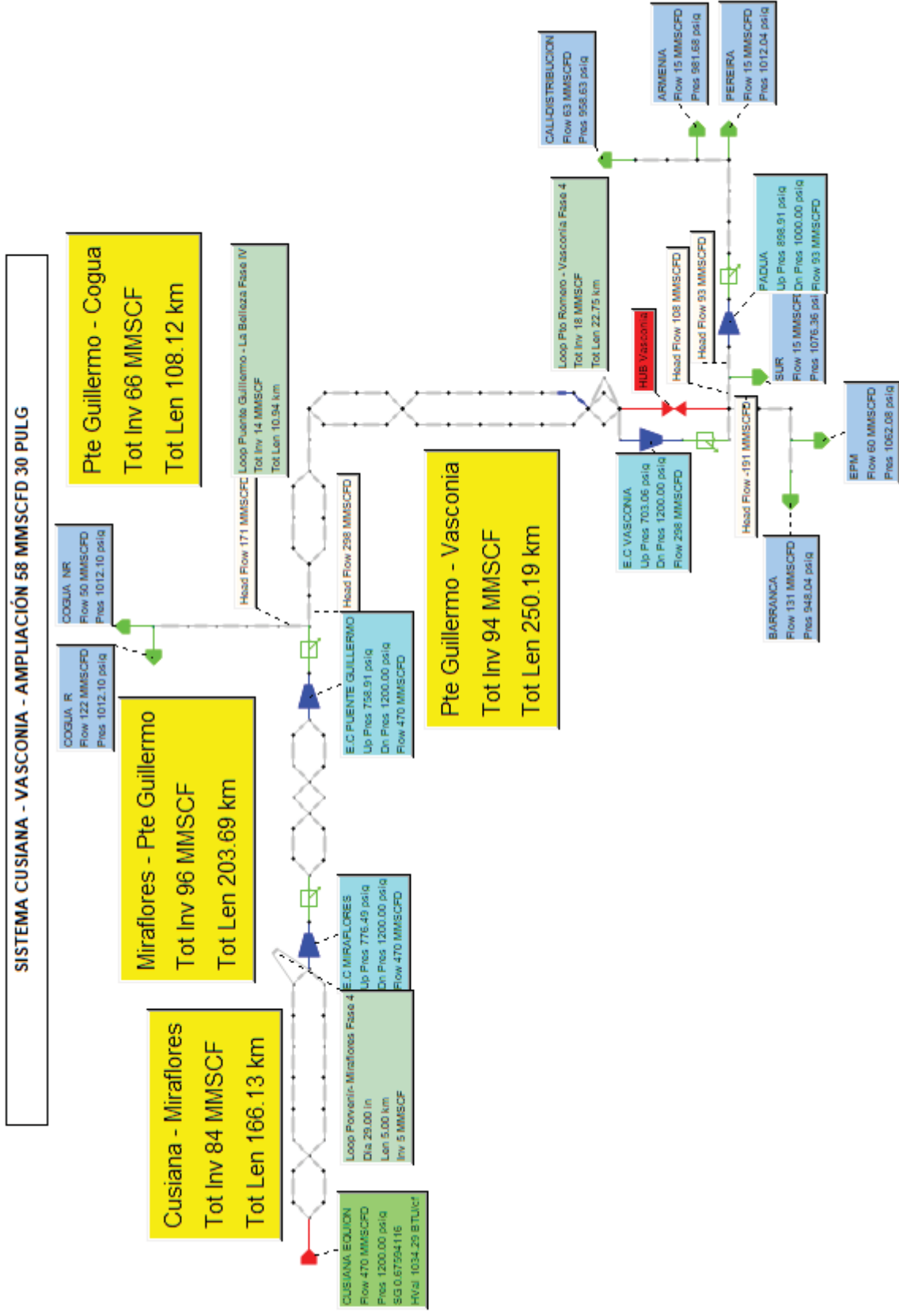


## GASODUCTO CUSIANA-VASCONIA AMPLIACION CUSIANA FASE IV

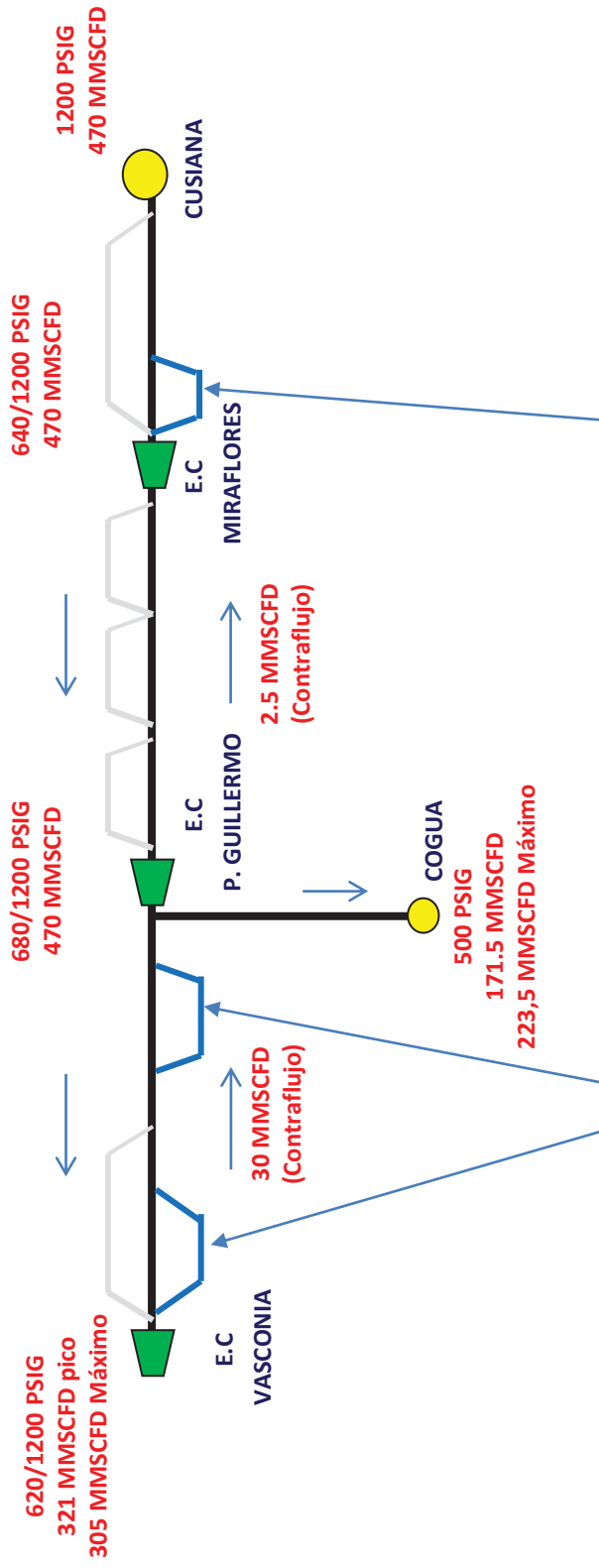
### Etapa III – Loop 2



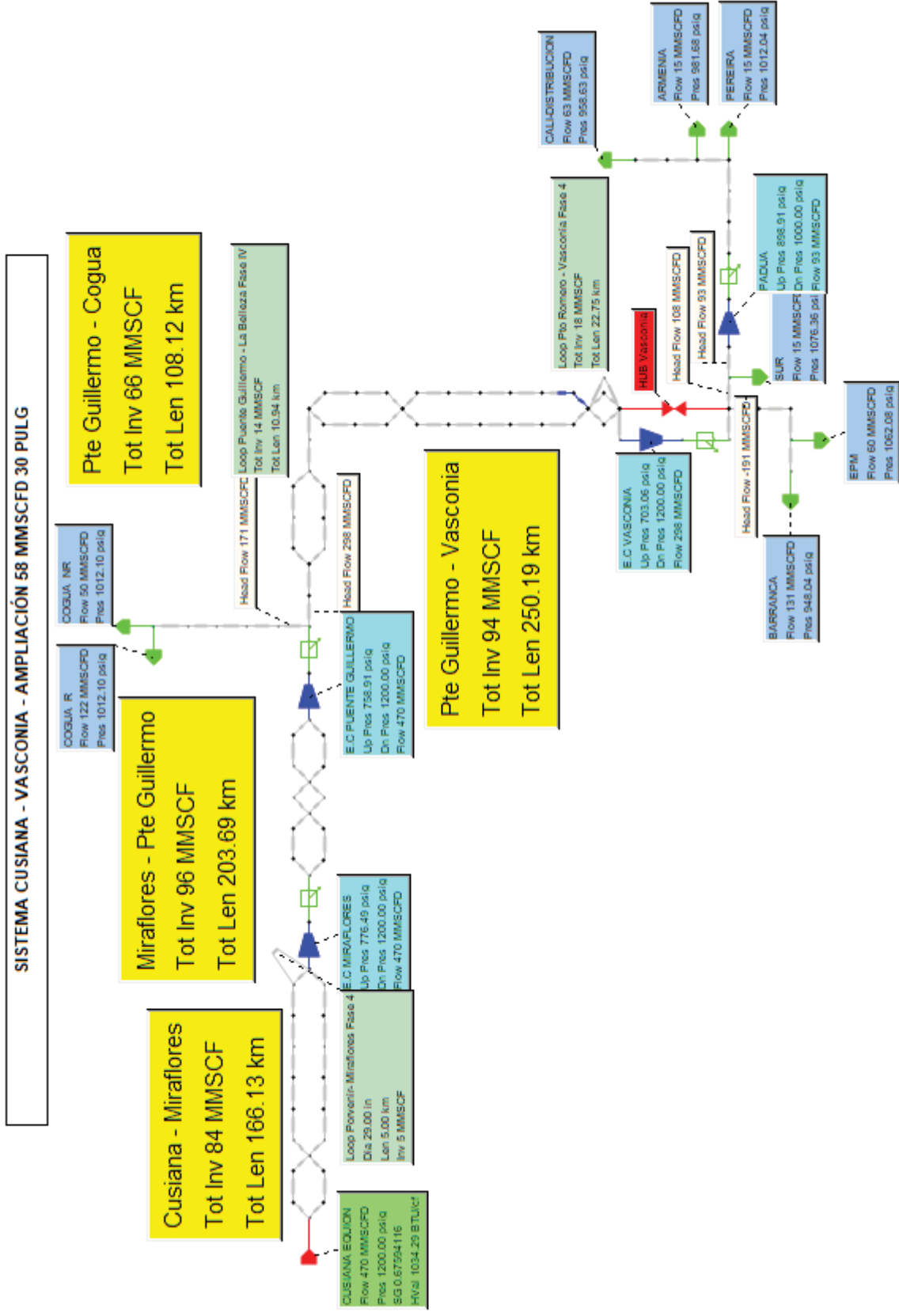
INCORPORACIÓN DE UN LOOP ENTRE CUSIANA Y MIRAFLORES (5 km), QUE EN ADICIÓN A LOS YA EXISTENTES ENTRE PTO. ROMERO Y VASCONIA (22,75 km – Cusiana Fase IV Temprana) Y ENTRE PTE. GUILLERMO Y LA BELLEZA (11,6 km – Cusiana Fase IV Etapa III Loop 1); ASÍ COMO LAS ADECUACIONES DE LAS E.C. MIRAFLORES Y VASCONIA PARA EL NUEVO FLUJO Y LA INSTALACION DE UNA NUEVA UNIDAD DE COMPRESION EN PTE. GUILLERMO; COMPLETA LA FASE IV Y AMPLIA LA CAPACIDAD DE TRANSPORTE DESDE CUSIANA EN 58 MMSCFD.



## GASODUCTO CUSIANA-VASCONIA AMPLIACION CUSIANA FASE IV COMPLETA



AMPLIACIÓN DE LA CAPACIDAD DE TRANSPORTE DESDE CUSIANA EN 58 MMSCFD CON LA INCORPORACIÓN DE UN LOOP ENTRE PTO. ROMERO Y VASCONIA (22,75 km); UN LOOP ENTRE PTE. GUILLERMO Y LA BELLEZA (11,6 km); UN LOOP ANTES DE LA E.C. MIRAFLORES (5 km); ADECUACIONES DE LAS E.C. MIRAFLORES Y VASCONIA PARA EL NUEVO FLUJO; Y LA INSTALACION DE UNA NUEVA UNIDAD DE COMPRESION EN PTE. GUILLERMO.



## EXPLICACIÓN DE LOS VALORES DE LA CMMP REPORTADOS EN EL FORMATO 7

Año Tarifario	Año 5	Años 6 a 8	Año 9	Año 10	Año 11
<b>CUSIANA - EL PORVENIR</b>	Hasta Jun. 30	<b>412.000</b>	Hasta Dic. 31	Desde Ene. 1	Desde Ene. 1
	Desde Jul. 1		<b>412.000</b>	Desde Dic. 1	<b>470.000</b>
	<b>392.000</b>		<b>458.000</b>	<b>467.600</b>	

- A partir de Oct. 1 de 2013 (año 3) hasta Jun. 30 de 2015 (Año 5): Simulación CUSIANA FaseII\_CONTBarran: **392.000 KPCD** en sentido de flujo (Cusiana - El Porvenir). No tiene contraflujos.
- A partir de Julio 1 de 2015 (Año 5) y hasta Dic. 31 de 2019 (Año 9): Simulación CUSIANA FaseIII\_242\_CONTBallen: **412.000 KPCD** en sentido de flujo (Cusiana - El Porvenir). No tiene contraflujos.
- A partir de Ene. 1 y hasta Nov. 30 de 2020 (Año 10): Simulación Ampliación Fase IV Temprana (Etapa II): **458.000** en sentido de flujo (Cusiana - El Porvenir). No tiene contraflujos.
- A partir de Dic. 1 y hasta Dic. 31 de 2020 (Año 10): Simulación FASE\_IV\_30P\_PRE\_5 (Etapa III-Loop 1): **467.600 KPCD** en sentido de flujo (Cusiana - El Porvenir). No tiene contraflujos.
- A partir de Ene. 1 de 2021 (Año 11): Simulación Cusiana Fase IV (Etapa III-Loop 2): **470.000 KPCD** en sentido de flujo (Cusiana - El Porvenir). No tiene contraflujos.

Año Tarifario	Año 5	Años 6 a 8	Año 9	Año 10	Año 11
<b>EL PORVENIR - LA BELLEZA</b>	Hasta Jun. 30	<b>414.500</b>	Hasta Dic. 31	Desde Ene. 1	Desde Ene. 1
	Desde Jul. 1		<b>414.500</b>	Desde Dic. 1	<b>472.500</b>
	<b>394.500</b>		<b>460.500</b>	<b>470.100</b>	

- A partir de Oct. 1 de 2013 (año 3) hasta Jun. 30 de 2015 (Año 5): Simulación CUSIANA FaseII\_CONTBarran: **392.000 KPCD** en sentido de flujo (El Porvenir - La Belleza) + **2.500 KPCD** en contraflujo.
- A partir de Julio 1 de 2015 (Año 5) y hasta Dic. 31 de 2019 (Año 9): Simulación CUSIANA FaseIII\_242\_CONTBallen: **412.000 KPCD** en sentido de flujo (El Porvenir - La Belleza) + **2.500 KPCD** en contraflujo.
- A partir de Ene. 1 y hasta Nov. 30 de 2020 (Año 10): Simulación Ampliación Fase IV Temprana (Etapa II): **458.000 KPCD** en sentido de flujo (El Porvenir - La Belleza) + **2.500 KPCD** en contraflujo.
- A partir de Dic. 1 y hasta Dic. 31 de 2020 (Año 10): Simulación FASE\_IV\_30P\_PRE\_5 (Etapa III-Loop 1): **467.600 KPCD** en sentido de flujo (El Porvenir - La Belleza) + **2.500 KPCD** en contraflujo.
- A partir de Ene. 1 de 2021 (Año 11): Simulación Cusiana Fase IV (Etapa III-Loop 2): **470.000 KPCD** en sentido de flujo (El Porvenir - La Belleza) + **2.500 KPCD** en contraflujo.

Año Tarifario	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11
<b>LA BELLEZA - COGUA</b>	Hasta Jun. 30	<b>Ecuación 4</b>	Hasta Oct. 31	<b>Ecuación 7</b>	Hasta Dic. 31	Desde Ene. 1	Desde Ene. 1
	Desde Jul. 1		<b>Ecuación 1</b>		Desde Nov. 1	<b>Ecuación 7</b>	Desde Dic. 1
	<b>Ecuación 4</b>		<b>Ecuación 4</b>		<b>Ecuación 7</b>	<b>Ecns. 10 y 12</b>	
			<b>Ecuación 7</b>			<b>Ecns. 13 y 15</b>	

- A partir de Oct. 1 de 2013 (año 3) hasta Jun. 30 de 2015 (Año 5): Simulación CUSIANA FaseII\_CONTBarran: **Ecuación 1**. No tiene contraflujos. Conjunta con La Belleza - Vasconia  $\leq$  **375.000 KPCD (Ecuación 3)**.
- A partir de Julio 1 de 2015 (Año 5) y hasta Oct. 31 de 2017 (Año 7): Simulación CUSIANA FaseIII\_242\_CONTBallen: **Ecuación 4**. No tiene contraflujos. Conjunta con Ballena - Vasconia  $\leq$  **395.000 KPCD (Ecuación 6)**.
- A partir de Nov. 1 de 2017 (Año 7) y hasta Dic. 31 de 2019 (Año 9): CUSIANA Fase IV 30 Pulgadas (Etapa 1): **Ecuación 7**. No tiene contraflujos. Conjunta con La Belleza - Vasconia  $\leq$  **412.000 KPCD (Ecuación 9)**.
- A partir de Ene. 1 y hasta Nov. 30 de 2020 (Año 10): Simulación Ampliación Fase IV Temprana (Etapa II): **Ecuaciones 10 y 12**. No tiene contraflujos. Conjunta con La Belleza - Vasconia  $\leq$  **458.000 KPCD (Ecuación 12)**.
- A partir de Dic. 1 y hasta Dic. 31 de 2020 (Año 10): Simulación FASE\_IV\_30P\_PRE\_5 (Etapa III-Loop 1): **Ecuaciones 13 y 15**. No tiene contraflujos. Conjunta con La Belleza - Vasconia  $\leq$  **467.600 KPCD (Ecuación 15)**.
- A partir de Ene. 1 de 2021 (Año 11): Simulación Cusiana Fase IV (Etapa III-Loop 2): **Ecuaciones 16 y 18**. No tiene contraflujos. Conjunta con La Belleza - Vasconia  $\leq$  **470.000 KPCD (Ecuación 18)**.

Año Tarifario	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11
<b>LA BELLEZA - VASCONIA</b>	Hasta Jun. 30 <b>Ecuación 2</b> Desde Jul. 1 <b>Ecuación 5</b>	<b>Ecuación 5</b>	Hasta Oct. 31 <b>Ecuación 5</b> Desde Nov. 1 <b>Ecuación 8</b>	<b>Ecuación 8</b>	Hasta Jun. 30 <b>Ecuación 8</b> Desde Jul. 1 <b>Ecuación 11</b>	Desde Ene. 1 <b>Ecns. 11 y 12</b> Desde Dic. 1 <b>Ecns. 14 y 15</b>	Desde Ene. 1 <b>Ecns. 17 y 18</b>

- A partir de Oct. 1 de 2013 (año 3) hasta Jun. 30 de 2015 (Año 5): Simulación CUSIANA FaseII\_CONTBarran: **Ecuación 2** (incluyendo contraflujos). Conjunta con La Belleza - Cogua ≤ **375.000 KPCD (Ecuación 3)**.
- A partir de Julio 1 de 2015 (Año 5) y hasta Oct. 31 de 2017 (Año 7): Simulación CUSIANA FaseIII\_242\_CONTBallen: **Ecuación 5** (incluyendo contraflujos). Conjunta con La Belleza - Cogua ≤ **395.000 KPCD (Ecuación 6)**.
- A partir de Nov. 1 de 2017 (Año 7) y hasta Dic. 31 de 2019 (Año 9): CUSIANA Fase IV 30 Pulgadas (Etapa 1): **Ecuación 8** (incluyendo contraflujos). Conjunta con La Belleza - Cogua ≤ **412.000 KPCD (Ecuación 9)**.
- A partir de Ene. 1 y hasta Nov. 30 de 2020 (Año 10): Simulación Ampliación Fase IV Temprana (Etapa II): **Ecuaciones 11 y 12 + 30.000 KPCD** en contraflujo. Conjunta con La Belleza - Cogua ≤ **458.000 KPCD (Ecuación 12)**.
- A partir de Dic. 1 de 2020 (Año 10): Simulación FASE\_IV\_30P\_PRE\_5 (Etapa III-Loop 1): **Ecuaciones 14 y 15 + 30.000 KPCD** en contraflujo. Conjunta con La Belleza - Cogua ≤ **467.600 KPCD (Ecuación 15)**.
- A partir de Ene. 1 de 2021 (Año 11): Simulación Cusiana Fase IV (Etapa III-Loop 2): **Ecuaciones 17 y 18 + 30.000 KPCD** en contraflujo. Conjunta con La Belleza - Cogua ≤ **470.000 KPCD (Ecuación 18)**.

La Simulación **FASE\_IV\_30P\_PRE\_5** (noviembre de 2020), aplicable a la **Etapa III-Loop 1**, elimina y sustituye la Simulación **Ampliación Fase IV 30 Pulgadas (Etapa III)** (diciembre de 2019). La simulación **CUSIANA Fase IV** (noviembre de 2016) es aplicable a la **Etapa III-Loop 2**, con la cual se concluye la ampliación Cusiana Fase IV.

A no ser que explícitamente se indique lo contrario en los respectivos Informes de Auditoría Técnica, las CMMP de los restantes tramos del SNT de TGI presentadas a la CREG y/o publicadas en el BEO tras cada simulación auditada continúan vigentes sin modificación.

## Vigencia<sup>1</sup>: octubre de 2011 a junio de 2015 (Fase II)

### Tramo La Belleza – Cogua:

$$CMMP_{BC} = 375 - x + CCC_{BV_{Cogua}} \quad (\text{Ecuación 1})$$

$$\text{Sí } CCF_{BV_{Cusiana}} < 153 \Rightarrow x = 153$$

$$\text{Sí } CCF_{BV_{Cusiana}} > 222 \Rightarrow x = 222$$

$$\text{Sí } 153 \leq CCF_{BV_{Cusiana}} \leq 222 \Rightarrow x = CCF_{BV_{Cusiana}}$$

En todo caso,  $CCF_{BV_{Cusiana}}$  siempre debe ser  $\leq 222$

### Tramo La Belleza – Vasconia:

$$CMMP_{BV} = 375 - y + CCC_{BV_{Cogua}} \quad (\text{Ecuación 2})$$

$$\text{Sí } CCF_{BC_{Cusiana}} < 153 \Rightarrow y = 153$$

$$\text{Sí } CCF_{BC_{Cusiana}} > 222 \Rightarrow y = 222$$

$$\text{Sí } 153 \leq CCF_{BC_{Cusiana}} \leq 222 \Rightarrow y = CCF_{BC_{Cusiana}}$$

En todo caso,  $CCF_{BC_{Cusiana}}$  siempre debe ser  $\leq 222$

$$CCF_{BV_{Cusiana}} + CCF_{BC_{Cusiana}} \leq 375 \quad (\text{Ecuación 3})$$

donde:

$CMMP_{BC}$  = Capacidad Máxima de Mediano Plazo del tramo La Belleza – Cogua

$CMMP_{BV}$  = Capacidad Máxima de Mediano Plazo del tramo La Belleza – Vasconia

$CCF_{BV_{Cusiana}}$  = Capacidad Contratada en Flujo en el tramo La Belleza – Vasconia desde Cusiana

$CCF_{BC_{Cusiana}}$  = Capacidad Contratada en Flujo en el tramo La Belleza – Cogua desde Cusiana

$CCC_{BV_{Cogua}}$  = Capacidad Contratada en Contraflujo en el tramo La Belleza – Vasconia hacia Cogua

---

<sup>1</sup> Sujeto a la entrada en operación de la expansión Fase II del subsistema Cusiana-Vasconia.



## Vigencia<sup>2</sup>: julio de 2015 hasta octubre de 2017 (Fase III)

### Tramo La Belleza – Cogua:

$$CMMP_{BC} = 395 - x + CCC_{BV_{Cogua}} \quad (\text{Ecuación 4})$$

$$\text{Si } CCF_{BV_{Cusiana}} < 173 \Rightarrow x = 173$$

$$\text{Si } CCF_{BV_{Cusiana}} > 242 \Rightarrow x = 242$$

$$\text{Si } 153 \leq CCF_{BV_{Cusiana}} \leq 242 \Rightarrow x = CCF_{BV_{Cusiana}}$$

En todo caso,  $CCF_{BV_{Cusiana}}$  siempre debe ser  $\leq 242$

### Tramo La Belleza – Vasconia:

$$CMMP_{BV} = 395 - y + CCC_{BV_{Cogua}} \quad (\text{Ecuación 5})$$

$$\text{Si } CCF_{BC_{Cusiana}} < 153 \Rightarrow y = 153$$

$$\text{Si } CCF_{BC_{Cusiana}} > 222 \Rightarrow y = 222$$

$$\text{Si } 153 \leq CCF_{BC_{Cusiana}} \leq 222 \Rightarrow y = CCF_{BC_{Cusiana}}$$

En todo caso,  $CCF_{BC_{Cusiana}}$  siempre debe ser  $\leq 222$

$$CCF_{BV_{Cusiana}} + CCF_{BC_{Cusiana}} \leq 395 \quad (\text{Ecuación 6})$$

donde:

$CMMP_{BC}$  = Capacidad Máxima de Mediano Plazo del tramo La Belleza – Cogua

$CMMP_{BV}$  = Capacidad Máxima de Mediano Plazo del tramo La Belleza – Vasconia

$CCF_{BV_{Cusiana}}$  = Capacidad Contratada en Flujo en el tramo La Belleza – Vasconia desde Cusiana

$CCF_{BC_{Cusiana}}$  = Capacidad Contratada en Flujo en el tramo La Belleza – Cogua desde Cusiana

$CCC_{BV_{Cogua}}$  = Capacidad Contratada en Contraflujo en el tramo La Belleza – Vasconia hacia Cogua

<sup>2</sup> Sujeto a la entrada en operación de la expansión Fase III del subsistema Cusiana-Vasconia.

## Vigencia<sup>3</sup>: noviembre de 2017 a diciembre de 2019 (Fase IV - Etapa I)

### Tramo La Belleza – Cogua:

$$CMMP_{BC} = 412 - x + CCC_{BV_{Cogua}} \quad (\text{Ecuación 7})$$

$$\text{Sí } CCF_{BV_{Cusiana}} < 190 \Rightarrow x = 190$$

$$\text{Sí } CCF_{BV_{Cusiana}} > 259 \Rightarrow x = 259$$

$$\text{Sí } 190 \leq CCF_{BV_{Cusiana}} \leq 259 \Rightarrow x = CCF_{BV_{Cusiana}}$$

En todo caso,  $CCF_{BV_{Cusiana}}$  siempre debe ser  $\leq 259$

### Tramo La Belleza – Vasconia:

$$CMMP_{BV} = 412 - y + CCC_{BV_{Cogua}} \quad (\text{Ecuación 8})$$

$$\text{Sí } CCF_{BC_{Cusiana}} < 153 \Rightarrow y = 153$$

$$\text{Sí } CCF_{BC_{Cusiana}} > 222 \Rightarrow y = 222$$

$$\text{Sí } 190 \leq CCF_{BC_{Cusiana}} \leq 222 \Rightarrow y = CCF_{BC_{Cusiana}}$$

En todo caso,  $CCF_{BC_{Cusiana}}$  siempre debe ser  $\leq 222$

$$CCF_{BV_{Cusiana}} + CCF_{BC_{Cusiana}} \leq 412 \quad (\text{Ecuación 9})$$

donde:

$CMMP_{BC}$  = Capacidad Máxima de Mediano Plazo del tramo La Belleza – Cogua

$CMMP_{BV}$  = Capacidad Máxima de Mediano Plazo del tramo La Belleza – Vasconia

$CCF_{BV_{Cusiana}}$  = Capacidad Contratada en Flujo en el tramo La Belleza – Vasconia desde Cusiana

$CCF_{BC_{Cusiana}}$  = Capacidad Contratada en Flujo en el tramo La Belleza – Cogua desde Cusiana

$CCC_{BV_{Cogua}}$  = Capacidad Contratada en Contraflujo en el tramo La Belleza – Vasconia hacia Cogua

<sup>3</sup> Sujeto a la entrada en operación de la expansión Fase IV - Etapa 1 del subsistema Cusiana-Vasconia.

## Vigencia<sup>4</sup>: enero a noviembre<sup>5</sup> de 2020 (Fase IV – Etapa II)

### Tramo La Belleza – Cogua:

$$CMMP_{BC} = 458 - CCF_{BV_{Cusiana}} + CCC_{BV_{Cogua}} \quad (\text{Ecuación 10})$$

- Siempre:  $CMMP_{BC} = 458 - CCF_{BV_{Cusiana}} + CCC_{BV_{Cogua}} \leq 223,5$
- Siempre:  $CCF_{BV_{Cusiana}} \leq 303,5$
- Siempre:  $CCC_{BV} \leq 30 \text{ MPCD}$

### Tramo La Belleza – Vasconia:

$$CMMP_{BV} = 458 - CCF_{BC_{Cusiana}} + CCC_{BV} \quad (\text{Ecuación 11})$$

- Siempre:  $CMMP_{BV} = 458 - CCF_{BC_{Cusiana}} + CCC_{BV} \leq 303,5$
- Siempre:  $CCF_{BC_{Cusiana}} \leq 223,5$
- Siempre:  $CCC_{BV} \leq 30 \text{ MPCD}^*$

$$CCF_{BV_{Cusiana}} + CCF_{BC_{Cusiana}} \leq 458 \quad (\text{Ecuación 12})$$

donde:

$CMMP_{BC}$  = Capacidad Máxima de Mediano Plazo del tramo La Belleza – Cogua

$CMMP_{BV}$  = Capacidad Máxima de Mediano Plazo del tramo La Belleza – Vasconia

$CCF_{BV_{Cusiana}}$  = Capacidad Contratada en Flujo en el tramo La Belleza – Vasconia desde Cusiana

$CCF_{BC_{Cusiana}}$  = Capacidad Contratada en Flujo en el tramo La Belleza – Cogua desde Cusiana

$CCC_{BV}$  = Capacidad Contratada en Contraflujo en el tramo La Belleza – Vasconia desde Vasconia

$CCC_{BV_{Cogua}}$  = Capacidad Contratada en Contraflujo en el tramo La Belleza – Vasconia hacia Cogua

<sup>4</sup> Sujeto a la entrada en operación de la expansión Fase IV – Etapa 2 del subsistema Cusiana-Vasconia.

<sup>5</sup> Originalmente prevista hasta agosto de 2020.

## Vigencia<sup>6</sup>: diciembre<sup>7</sup> de 2020 (Fase IV - Etapa III - Loop 1)

### Tramo La Belleza – Cogua:

$$CMMP_{BC} = 467,6 - CCF_{BV_{Cusiana}} + CCC_{BV_{Cogua}} \quad (\text{Ecuación 13})$$

- Siempre:  $CMMP_{BC} = 467,6 - CCF_{BV_{Cusiana}} + CCC_{BV_{Cogua}} \leq 223,5$
- Siempre:  $CCF_{BV_{Cusiana}} \leq 303,0$
- Siempre:  $CCC_{BV} \leq 30 \text{ MPCD}$

### Tramo La Belleza – Vasconia:

$$CMMP_{BV} = 467,6 - CCF_{BC_{Cusiana}} + CCC_{BV} \quad (\text{Ecuación 14})$$

- Siempre:  $CMMP_{BV} = 467,6 - CCF_{BC_{Cusiana}} + CCC_{BV} \leq 303,0$
- Siempre:  $CCF_{BC_{Cusiana}} \leq 223,5$
- Siempre:  $CCC_{BV} \leq 30 \text{ MPCD}^*$

$$CCF_{BV_{Cusiana}} + CCF_{BC_{Cusiana}} \leq 467,6 \quad (\text{Ecuación 15})$$

donde:

$CMMP_{BC}$  = Capacidad Máxima de Mediano Plazo del tramo La Belleza – Cogua

$CMMP_{BV}$  = Capacidad Máxima de Mediano Plazo del tramo La Belleza – Vasconia

$CCF_{BV_{Cusiana}}$  = Capacidad Contratada en Flujo en el tramo La Belleza – Vasconia desde Cusiana

$CCF_{BC_{Cusiana}}$  = Capacidad Contratada en Flujo en el tramo La Belleza – Cogua desde Cusiana

$CCC_{BV}$  = Capacidad Contratada en Contraflujo en el tramo La Belleza – Vasconia desde Vasconia

$CCC_{BV_{Cogua}}$  = Capacidad Contratada en Contraflujo en el tramo La Belleza – Vasconia hacia Cogua

<sup>6</sup> Sujeto a la entrada en operación de la expansión Fase IV - Etapa III - Loop1 del subsistema Cusiana-Vasconia.

<sup>7</sup> Originalmente prevista desde septiembre de 2020.

## Vigencia<sup>8</sup>: enero de 2021 a 2030 (Fase IV - Etapa III - Loop 2)<sup>9</sup>

### Tramo La Belleza – Cogua:

$$CMMP_{BC} = 470 - CCF_{BV_{Cusiana}} + CCC_{BV_{Cogua}} \quad (\text{Ecuación 16})$$

- Siempre:  $CMMP_{BC} = 470 - CCF_{BV_{Cusiana}} + CCC_{BV_{Cogua}} \leq 223,5$
- Siempre:  $CCF_{BV_{Cusiana}} \leq 305,0$
- Siempre:  $CCC_{BV} \leq 30 \text{ MPCD}$

### Tramo La Belleza – Vasconia:

$$CMMP_{BV} = 470 - CCF_{BC_{Cusiana}} + CCC_{BV} \quad (\text{Ecuación 17})$$

- Siempre:  $CMMP_{BV} = 470 - CCF_{BC_{Cusiana}} + CCC_{BV} \leq 305,0$
- Siempre:  $CCF_{BC_{Cusiana}} \leq 223,5$
- Siempre:  $CCC_{BV} \leq 30 \text{ MPCD}^*$

$$CCF_{BV_{Cusiana}} + CCF_{BC_{Cusiana}} \leq 470 \quad (\text{Ecuación 18})$$

donde:

$CMMP_{BC}$  = Capacidad Máxima de Mediano Plazo del tramo La Belleza – Cogua

$CMMP_{BV}$  = Capacidad Máxima de Mediano Plazo del tramo La Belleza – Vasconia

$CCF_{BV_{Cusiana}}$  = Capacidad Contratada en Flujo en el tramo La Belleza – Vasconia desde Cusiana

$CCF_{BC_{Cusiana}}$  = Capacidad Contratada en Flujo en el tramo La Belleza – Cogua desde Cusiana

$CCC_{BV}$  = Capacidad Contratada en Contraflujo en el tramo La Belleza – Vasconia desde Vasconia

$CCC_{BV_{Cogua}}$  = Capacidad Contratada en Contraflujo en el tramo La Belleza – Vasconia hacia Cogua

<sup>8</sup> Sujeto a la entrada en operación de la expansión Fase IV - Etapa III - Loop 2 del subsistema Cusiana-Vasconia.

<sup>9</sup> Con la entrada en operación del Loop 2 en el tramo Cusiana - El Porvenir queda concluida la ampliación Cusiana Fase IV.