




ÍNDICE

1.	OBJETIVO	3
2.	METODOLOGÍA	3
3.	DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA	5
4.	DATOS BÁSICOS	5
5.	ESCENARIO DE TRANSPORTE.....	6
6.	RESULTADOS.....	6
7.	CONCLUSIONES	10
8.	ANEXOS	10

	MODELO HIDRÁULICO	N°	Rev. 0
	GASODUCTO URUGUAYANA-PORTO ALEGRE - GASUP		FOLHA 3/12
	TÍTULO: CAPACIDAD DE CIRCULACIÓN DEL GASUP – TRECHO 01		

1. OBJETIVO

Evaluar, a través de una simulación hidráulica, la capacidad de flujo en el gasoducto Uruguayana/Porto Alegre - GASUP, trecho 01 en régimen permanente.

De acuerdo a la solicitud de TSB evaluaron tres condiciones operativas relativas a las presiones de recepción en la Frontera Brasil/Argentina y de entrega del gas del City Gate Uruguayana.

2. METODOLOGÍA

Para efectuar la evaluación se simula mediante un modelo matemático computacional – Pipeline Studio 3.4 (Energy Solutions) - las condiciones fluido dinámicas del GASUP Trecho 03

Forma de Cálculo de las condiciones de transporte


Cálculo de las pérdidas de presión

Se utilizará la ecuación de AGA (American Gas Association - IGT Technical Report Number 10 "Steady Flow in Gas Pipelines", July, 1965), para representar el balance de fuerzas en un segmento de gasoducto, para fluidos compresibles entre dos puntos de sección constante y en condiciones no isotérmicas. Esta expresión corresponde a un modelo que describe el fenómeno con un planteo riguroso y no utiliza eficiencia.

Para régimen turbulento, donde se aplica la ecuación de Nikuradse, la expresión es la siguiente:

$$Q_b = 38.774 \frac{T_b}{P_b} \left[\frac{P_1^2 - P_2^2 - 0.375 G (h_2 - h_1) \frac{P_{ave}^2}{z_{ave} T_{ave}}}{GL T_{ave} z_{ave}} \right]^{0.5} * \left(4 \log \frac{3.7 D}{k_e} \right) * D^{2.5} \quad \text{Ecuación (1)}$$

- P = presión (ave = promedio, 1 y 2 presión en los puntos extremos)
- T ave = temperatura promedio del gas en el tramo.
- z ave = coeficiente de compresibilidad de gas promedio.
- G = gravedad específica.
- L = longitud de tramo.
- D = diámetro interno.
- h = altimetría (en el punto 1 o 2).
- ke = rugosidad efectiva u operativa.
- Tb = temperatura en el estado de referencia (15°C).
- Pb = presión en el estado de referencia (101.325 kPa).
- Qb = caudal en condiciones estándar.

	MODELO HIDRÁULICO	N°	Rev.	0
	<small>GASODUTO:</small> GASODUCTO URUGUAYANA-PORTO ALEGRE - GASUP	<small>FOLHA</small>		4/12
	<small>TÍTULO:</small> CAPACIDAD DE CIRCULACIÓN DEL GASUP – TRECHO 01			

Cuando las unidades utilizadas son en el sistema imperial, la constante es 38.774.

La rugosidad efectiva k_e , se considera como el aporte de varios términos:

$$k_e = k_s + k_i + k_d \quad \text{Ecuación (2)}$$

- k_s = rugosidad de la superficie
- k_i = rugosidad interfacial
- k_d = rugosidad debida a las curvaturas, juntas, accesorios, etc.

En condiciones de transporte con alto régimen de flujo, los valores de k_i y de k_d son despreciables comparados con k_s . El valor de k_e es importante en régimen turbulento porque juega un rol importante en la determinación del caudal y la pérdida de presión en el tramo de conducto.

La rugosidad efectiva es el factor de ajuste de la ecuación a las condiciones de operación. Este valor se incrementa en caño sin revestimiento interno, y por los fenómenos generados por el transcurso del tiempo y los posibles contaminantes que presenta el gas. (Pipeline Design & Construction A Practical Approach – Second Edition, M.Mohitpour, H. Golshan, A. Murray - ASME Press.2003).

Asimismo, la ecuación de estado para el cálculo de las propiedades del gas natural adoptada fue Benedict-Webb-Rubin-Starling (BWRS).

Cálculo del Perfil de Temperatura

La resolución del balance de Energía, permite evaluar la temperatura del gas dentro del caño, incluyendo la variación de la temperatura con la presión (efecto Joule Thompson) y el intercambio de energía con el medio que rodea al caño, que se expresa como:

$$-m c_v (T - T_1) = U A (T - T_s) + m c_v J L \quad \text{Ecuación (3)}$$

- m = Caudal másico de gas
- c_v = calor específico del gas
- T = temperatura del gas en un punto
- T_s = temperatura de los alrededores.
- U = coeficiente global de transferencia de calor entre el gasoducto y el terreno
- A = área de transferencia $A = \pi D L$
- T_1 = Temperatura de entrada del gas
- J = coeficiente Joule Thompson
- D = diámetro del caño
- L = longitud de conducto



3. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

El trecho 1 del gasoducto Uruguayana - Porto Alegre posee aproximadamente 25 km de extensión y 24" de diámetro nominal con 4 diferentes espesores: 0,254, 0,256, 0,305 y 0,307".

Para las simulaciones fue considerado el mayor espesor, de 0,307".

4. DATOS BÁSICOS

4.1. Condiciones de Simulación

3.1.1. Condiciones Básicas

- Régimen permanente.

3.1.2. Base de referencia del caudal

- Temperatura: 15°C.
- Presión: 1 atm.

3.1.3. Características del gas

- CO₂: 0,6%.
- Poder calorífico: 33.496 MJ/m³.
- Temperatura del fluido: 28°C.

3.1.4. Características del suelo

- Coeficiente de transferencia de calor suelo - gasoducto: 2,7 W/m²K.
- Altimetría

Tabla 1. Altimetría del GASUP Trecho 1.

Tramo	Altura [m]
Km 00 (Rio Uruguay)	41,73
SDV-01	44,24
Km 01	50,51
km 05	60,48
km 10	48,05
km 15	60,03
km 20	67,73
km 24	97,41
Pto Entr. (City Gate)	101,00



3.1.5. Rugosidad del gasoducto

- La rugosidad adoptada para el gasoducto fue de 0,020 mm.

4.2. Temperatura

3.2.1. Temperatura ambiente

- La temperatura ambiente considerada en la simulación fue 28°C.

3.2.2. Temperatura del suelo

- La temperatura del suelo considerada en la simulación fue de 28°C.

3.3. Presión

3.3.1. Presión Máxima Operativa Admisible

- La presión máxima admisible del gasoducto es igual a 76,48 kg/cm².

3.3.2. Presión mínima operativa admisible

- La presión mínima admisible del gasoducto es igual a 33,65 kg/cm²

5. ESCENARIO DE TRANSPORTE

El cálculo de la capacidad de flujo del Trecho 1 del gasoducto Uruguayana - Porto Alegre - GASUP se basó en escenarios de transporte que reflejan la operación del gasoducto con el flujo en el sentido Frontera Brasil/Argentina hacia el City Gate Uruguayana.

De acuerdo a la información suministrada se consideraron presiones en el punto de recepción de 76,48 kg/cm², 34,48 kg/cm² y 33,65 kg/cm² y en el punto de entrega de 32,00 kg/cm² conforme especificaciones e histórico del gasoducto.

6. RESULTADOS

En la siguiente tabla se presentan los resultados de los caudales calculados. Los gráficos siguientes muestran los perfiles de presión y caudal a lo largo del gasoducto, para cada escenario evaluado. Las simulaciones realizadas para cada condición de operación se presentan en los Anexos I, II y III.



Tabla 2. Resultados de los caudales calculados.

Escenarios	Presión de recibimiento -Frontera Brasil / Argentina [kg/cm ²]	Presión de entrega CG Uruguayana [kg/cm ²]	Caudal GasUp [Mm ³ /d]
1) Condición de operación 1	76.48	32	31.700,49 (*)
2) Condición de operación 2	33.65	32	4.453,67
3) Condición de operación 3	34.48	32	5.576,80

(*) Supera la velocidad de flujo asumida como parámetro de diseño/integridad

Perfil de presión y caudal

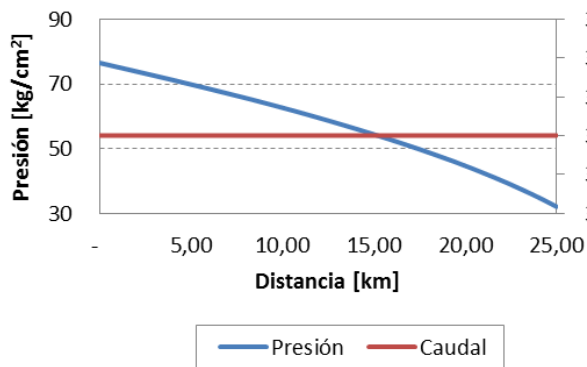


Figura 1. Perfil de Presión y Caudal (Escenario 01).

Tabla 3. Perfil de Presión y Caudal (Escenario 01).

Distancia km	Presión kg/cm ² g	Caudal kSm ³ /d
-	76,48	31.700,49
0,33	76,04	31.700,49
0,67	75,60	31.700,49
1,00	75,16	31.700,49
1,00	75,16	31.700,49
1,80	74,12	31.700,49
2,60	73,06	31.700,49
3,40	71,99	31.700,48
4,20	70,91	31.700,49
5,00	69,80	31.700,49
5,00	69,80	31.700,49
5,83	68,66	31.700,49
6,67	67,50	31.700,49
7,50	66,31	31.700,49
8,33	65,10	31.700,49
9,17	63,87	31.700,49
10,00	62,62	31.700,49
10,00	62,62	31.700,49
10,83	61,32	31.700,49
11,67	59,99	31.700,48
12,50	58,64	31.700,49
13,33	57,25	31.700,49
14,17	55,83	31.700,49
15,00	54,37	31.700,49
15,00	54,37	31.700,49
15,83	52,88	31.700,49
16,67	51,34	31.700,48
17,50	49,75	31.700,49
18,33	48,11	31.700,49
19,17	46,42	31.700,49
20,00	44,66	31.700,49
20,00	44,66	31.700,49
20,80	42,88	31.700,49
21,60	41,03	31.700,49
22,40	39,09	31.700,49
23,20	37,05	31.700,49
24,00	34,89	31.700,49
24,00	34,89	31.700,49
24,33	33,96	31.700,49
24,67	32,99	31.700,49
25,00	32,00	31.700,49



Tabla 4. Perfil de Presión y Caudal (Escenario 02).

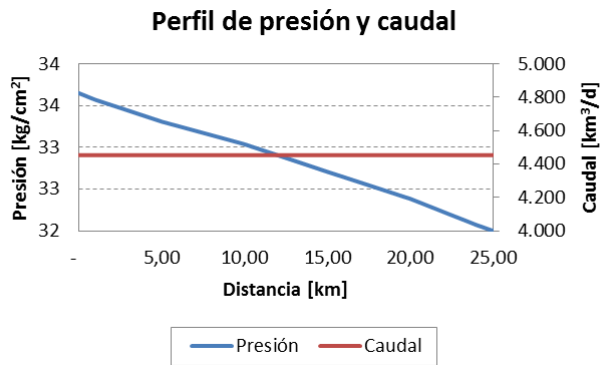


Figura 2. Perfil de Presión y Caudal (Escenario 02).

Distancia km	Presión kg/cm ²	Caudal kSm ³ /d
-	33,65	4.453,67
0,33	33,62	4.453,67
0,67	33,60	4.453,67
1,00	33,57	4.453,67
1,00	33,57	4.453,67
1,80	33,52	4.453,67
2,60	33,47	4.453,67
3,40	33,41	4.453,67
4,20	33,36	4.453,67
5,00	33,31	4.453,67
5,00	33,31	4.453,67
5,83	33,26	4.453,67
6,67	33,22	4.453,67
7,50	33,17	4.453,67
8,33	33,13	4.453,67
9,17	33,08	4.453,67
10,00	33,04	4.453,67
10,00	33,04	4.453,67
10,83	32,98	4.453,67
11,67	32,93	4.453,67
12,50	32,87	4.453,67
13,33	32,82	4.453,67
14,17	32,76	4.453,67
15,00	32,71	4.453,67
15,00	32,71	4.453,67
15,83	32,65	4.453,67
16,67	32,60	4.453,67
17,50	32,55	4.453,67
18,33	32,49	4.453,67
19,17	32,44	4.453,67
20,00	32,38	4.453,67
20,00	32,38	4.453,67
20,80	32,32	4.453,67
21,60	32,26	4.453,67
22,40	32,20	4.453,67
23,20	32,13	4.453,67
24,00	32,07	4.453,67
24,00	32,07	4.453,67
24,33	32,05	4.453,67
24,67	32,02	4.453,67
25,00	32,00	4.453,67



Tabla 5. Perfil de Presión y Caudal (Escenario 03).

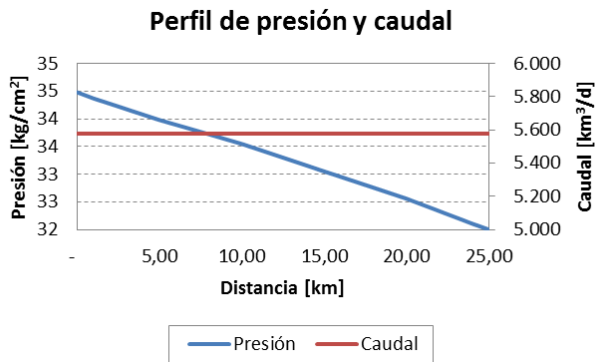


Figura 3. Perfil de Presión y Caudal (Escenario 03).

Distancia km	Presión kg/cm ²	Caudal kSm ³ /d
-	34,48	5.576,80
0,33	34,44	5.576,80
0,67	34,41	5.576,80
1,00	34,37	5.576,80
1,00	34,37	5.576,80
1,80	34,29	5.576,80
2,60	34,21	5.576,80
3,40	34,14	5.576,80
4,20	34,06	5.576,80
5,00	33,98	5.576,80
5,00	33,98	5.576,80
5,83	33,91	5.576,80
6,67	33,84	5.576,80
7,50	33,76	5.576,80
8,33	33,69	5.576,80
9,17	33,62	5.576,80
10,00	33,55	5.576,80
10,00	33,55	5.576,80
10,83	33,47	5.576,80
11,67	33,38	5.576,80
12,50	33,30	5.576,80
13,33	33,22	5.576,80
14,17	33,13	5.576,80
15,00	33,05	5.576,80
15,00	33,05	5.576,80
15,83	32,97	5.576,80
16,67	32,89	5.576,80
17,50	32,81	5.576,80
18,33	32,72	5.576,80
19,17	32,64	5.576,80
20,00	32,56	5.576,80
20,00	32,56	5.576,80
20,80	32,47	5.576,80
21,60	32,38	5.576,80
22,40	32,29	5.576,80
23,20	32,20	5.576,80
24,00	32,11	5.576,80
24,00	32,11	5.576,80
24,33	32,07	5.576,80
24,67	32,04	5.576,80
25,00	32,00	5.576,80



7. CONCLUSIONES

La capacidad de transporte, en la condición operativa de mínima presión en la recepción, es de 4.453,67 Mm³/d. En caso de que el gasoducto sea operado en la condición de recepción con la mínima presión histórica desde el inicio, el caudal se incrementa hasta 5.576,80 Mm³/d.

Teniendo en cuenta la máxima presión de operación del tramo igual a 76,48 kg/cm² en el punto de recepción del gasoducto, la capacidad de flujo es 31.700,49 Mm³ / d. Para este escenario se supera la velocidad de flujo asumida como parámetro de diseño/integridad/ruido de ducto y/o instalaciones de superficie.

8. ANEXOS

Anexo I: Simulación TSB: Condiciones de operación 1

Pipeline Studio v3.4

TGNET Version 7.6 level 00 issue date 30-SEP-2008

TGNET VERSION 7.6

A PROPRIETARY PRODUCT OF ENERGY SOLUTIONS

CONFIGURATION EDITOR

ENERGY SOLUTIONS INTERNATIONAL

TSB1

SUPPLY

Initial	Supply	Node	Heating Value	Flow	Pressure	Temperature
Units			MJ/m ³	kSm ³ /d	kg/cm ²	Deg C
1	Supply	N1	33,496	31.700,49	76,48	28,00

DELIVERY

Initial	Delivery	Node	Flow	Pressure	Temperature
Units			kSm ³ /d	kg/cm ²	Deg C
1	TSB	N8	31.700,49	32,00	14,68

TRAMOS

Initial	Pipe-Name	Elevation	NODE		Length	Diameter inside	Wall thickness	Gas Equation	Flow (Head)	Flow (Tail)	Pressure (Head)	Pressure (Tail)	Temp (Head)	Temp (Tail)	Velocity (Head)	Velocity (Tail)
Units		m	Up	Down	km	in	in		kSm ³ /d	kSm ³ /d	kg/cm ²	kg/cm ²	Deg C	Deg C	m/s	m/s
1	PIPE000	41,73	N1	N2	1	23.386	0,307	AGA	31.700	31.700	76,48	75,16	28,00	27,57	16,24	16,51
2	PIPE010	50,51	N2	N3	4	23.386	0,307	AGA	31.700	31.700	75,16	69,80	27,57	25,92	16,51	17,74
3	PIPE020	60,48	N3	N4	5	23.386	0,307	AGA	31.700	31.700	69,80	62,62	25,92	23,79	17,74	19,75
4	PIPE030	48,05	N4	N5	5	23.386	0,307	AGA	31.700	31.700	62,62	54,37	23,79	21,25	19,75	22,71
5	PIPE040	60,03	N5	N6	5	23.386	0,307	AGA	31.700	31.700	54,37	44,66	21,25	18,35	22,71	27,64
6	PIPE050	67,73	N6	N7	4	23.386	0,307	AGA	31.700	31.700	44,66	34,89	18,35	15,63	27,64	35,39
7	PIPE060	97,41	N7	N8	1	23.386	0,307	AGA	31.700	31.700	34,89	32,00	15,63	14,68	35,39	38,56

**MODELO HIDRÁULICO**

N°

Rev.

0

GASODUCTO:

GASODUCTO URUGUAYANA-PORTO ALEGRE - GASUP

FOLHA

11/12

TÍTULO:

CAPACIDAD DE CIRCULACIÓN DEL GASUP – TRECHO 01

Anexo II: Simulación TSB: Condiciones de operación 2

Pipeline Studio v3.4

TGNET Version 7.6 level 00 issue date 30-SEP-2008

TGNET VERSION 7.6

A PROPRIETARY PRODUCT OF ENERGY SOLUTIONS

CONFIGURATION EDITOR

ENERGY SOLUTIONS INTERNATIONAL

TSB2

SUPPLY

Initial	Supply	Node	Heating Value	Flow	Pressure	Temperature
Units			MJ/m ³	kSm ³ /d	kg/cm ²	Deg C
1	Supply	N1	33,496	4.453,67	33,65	28,00

DELIVERY

Initial	Delivery	Node	Flow	Pressure	Temperature
Units			kSm ³ /d	kg/cm ²	Deg C
1	TSB	N8	4.453,67	32,00	27,50

TRAMOS

Initial	Pipe-Name	Elevation	NODE		Lengh	Diameter inside	Wall thickness	Gas Equation	Flow (Head)	Flow (Tail)	Pressure (Head)	Pressure (Tail)	Temp (Head)	Temp (Tail)	Velocity (Head)	Velocity (Tail)
Units		m	Up	Down	km	in	in		kSm ³ /d	kSm ³ /d	kg/cm ²	kg/cm ²	Deg C	Deg C	m/s	m/s
1	PIPE000	41,73	N1	N2	1	23.386	0,307	AGA	4.454	4.454	33,65	33,57	28,00	27,94	5,44	5,45
2	PIPE010	50,51	N2	N3	4	23.386	0,307	AGA	4.454	4.454	33,57	33,31	27,94	27,83	5,45	5,49
3	PIPE020	60,48	N3	N4	5	23.386	0,307	AGA	4.454	4.454	33,31	33,04	27,83	27,82	5,49	5,54
4	PIPE030	48,05	N4	N5	5	23.386	0,307	AGA	4.454	4.454	33,04	32,71	27,82	27,72	5,54	5,60
5	PIPE040	60,03	N5	N6	5	23.386	0,307	AGA	4.454	4.454	32,71	32,38	27,72	27,66	5,60	5,65
6	PIPE050	67,73	N6	N7	4	23.386	0,307	AGA	4.454	4.454	32,38	32,07	27,66	27,52	5,65	5,70
7	PIPE060	97,41	N7	N8	1	23.386	0,307	AGA	4.454	4.454	32,07	32,00	27,52	27,50	5,70	5,72



Anexo III: Simulación TSB: Condiciones de operación 3

Pipeline Studio v3.4

TGNET Version 7.6 level 00 issue date 30-SEP-2008

TGNET VERSION 7.6

A PROPRIETARY PRODUCT OF ENERGY SOLUTIONS

CONFIGURATION EDITOR

ENERGY SOLUTIONS INTERNATIONAL

TSB3

SUPPLY

Initial	Supply	Node	Heating Value	Flow	Pressure	Temperature
Units			MJ/m ³	kSm ³ /d	kg/cm ²	Deg C
1	Supply	N1	33,496	5.576,80	34,48	28,00

DELIVERY

Initial	Delivery	Node	Flow	Pressure	Temperature
Units			kSm ³ /d	kg/cm ²	Deg C
1	TSB	N8	5.576,81	32,00	27,27

TRAMOS

Initial	Pipe-Name	Elevation	NODE		Lengh	Diameter inside	Wall thickness	Gas Equation	Flow (Head)	Flow (Tail)	Pressure (Head)	Pressure (Tail)	Temp (Head)	Temp (Tail)	Velocity (Head)	Velocity (Tail)
			Up	Down												
Units		m			km	in	in		kSm ³ /d	kSm ³ /d	kg/cm ²	kg/cm ²	Deg C	Deg C	m/s	m/s
1	PIPE000	41,73	N1	N2	1	23.386	0,307	AGA	5.577	5.577	34,48	34,37	28,00	27,93	6,64	6,67
2	PIPE010	50,51	N2	N3	4	23.386	0,307	AGA	5.577	5.577	34,37	33,98	27,93	27,77	6,67	6,74
3	PIPE020	60,48	N3	N4	5	23.386	0,307	AGA	5.577	5.577	33,98	33,55	27,77	27,72	6,74	6,83
4	PIPE030	48,05	N4	N5	5	23.386	0,307	AGA	5.577	5.577	33,55	33,05	27,72	27,57	6,83	6,93
5	PIPE040	60,03	N5	N6	5	23.386	0,307	AGA	5.577	5.577	33,05	32,56	27,57	27,46	6,93	7,03
6	PIPE050	67,73	N6	N7	4	23.386	0,307	AGA	5.577	5.577	32,56	32,11	27,46	27,29	7,03	7,13
7	PIPE060	97,41	N7	N8	1	23.386	0,307	AGA	5.577	5.577	32,11	32,00	27,29	27,27	7,13	7,15