

**MODELO HIDRÁULICO**

N°

SISTEMA:

SISTEMA DE GASODUCTOS DE TSB

FOLHA

**1/12**

GASODUTO(S):

Gasoduto Uruguayana-Porto Alegre - GASUP

SOLICITANTE:

TSB

TÍTULO:

CAPACIDAD DE TRANSPORTE DEL GASUP – TRECHO 03

**ÍNDICE DE REVISIONES**

Rev.	DESCRIPCIÓN
0	Original.

REVISIÓN	ORIGINAL	REV. A	REV. B	REV. C	REV. D	REV. E	REV. F	REV. G	REV. H
FECHA	20/04/2018	Janeiro/2019							
EJECUCIÓN	Eduardo Ibañez	Claudio Chaves							
VERIFICACIÓN									
APROBACIÓN	Claudio Chaves	Claudio Chaves							



## 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



## 1. OBJETIVO

Evaluar, a través de una simulación hidráulica, la capacidad de transporte en el gasoducto Uruguayana/Porto Alegre - GASUP, Trecho 03 en régimen permanente.

De acuerdo a la solicitud de TSB se evaluaron tres condiciones operativas relativas a las presiones de recepción y de entrega del gas en los City Gates de Canoas y de Triunfo

## 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.

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

	<b>MODELO HIDRÁULICO</b>	N°	Rev.	<b>0</b>
	<small>GASODUCTO:</small> <b>GASODUCTO URUGUAYANA-PORTO ALEGRE - GASUP</b>	<small>FOLHA</small>		4/12
	<small>TÍTULO:</small> <b>CAPACIDAD DE TRANSPORTE DEL GASUP – TRECHO 03</b>			

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 3 del gasoducto Uruguayana - Porto Alegre posee aproximadamente 25,86 km de extensión y 24" de diámetro nominal con 3 diferentes espesores: 0,339, 0,406 y 0,488". Para las simulaciones fue considerado el mayor espesor, de 0,488".

### 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

- CO<sub>2</sub>: 0,6%.
- Poder calorífico: 33.496 MJ/m<sup>3</sup>.
- Temperatura del fluido: 28°C .

##### 3.1.4. Características del suelo

- Coeficiente de transferencia de calor suelo - gasoducto: 2,7 W/m<sup>2</sup>K.
- Altimetría

**Tabla 1.** Altimetría del GASUP Trecho3.

Tramo	Altura [m]
Km 00 (Pto Rec.)	19,06
km 01	13,93
km 05	3,64
km 10	1,66
SDV-29	6,52
km 15	29,71
km 20	1,42
km 24	2,59
Pto Entr. (EMED)	9,31



### 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 100,00 kg/cm<sup>2</sup>.

### 3.3.2. Presión mínima operativa admisible

- La presión mínima admisible del gasoducto es igual a 25,00 kg/cm<sup>2</sup>

## **5. ESCENARIO DE TRANSPORTE**

El cálculo de la capacidad de flujo del Trecho 3 del gasoducto Uruguayana - Porto Alegre - GASUP se basó en escenarios de transporte que reflejan la operación del gasoducto con el flujo en el sentido City Gate Canoas hacia el City Gate Triunfo.

De acuerdo a la información suministrada se consideraron presiones en el punto de recepción de 45 kg/cm<sup>2</sup>, 62 kg/cm<sup>2</sup> y 100 kg/cm<sup>2</sup>. El punto de entrega se encuentra a 26,5 kg/cm<sup>2</sup> conforme especificaciones e histórico del gasoducto en el primer y tercer caso y 25 kg/cm<sup>2</sup> en el segundo.

## **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.

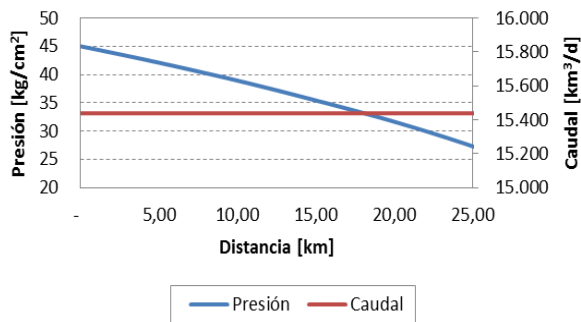


**Tabla 2.** Resultados de los caudales calculados.

Escenarios	Presión de recibimiento CG Canoas [kg/cm <sup>2</sup> ]	Presión de entrega CG Triunfo [kg/cm <sup>2</sup> ]	Caudal GasUp [Mm <sup>3</sup> /d]
1) Condición de operación 1	45	26.5	15.438,53 (*)
2) Condición de operación 2	62	25	24.305,21 (*)
3) Condición de operación 3	100	26.5	42.229,97 (*)

(\*) 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 <sup>2</sup> g	Caudal kSm <sup>3</sup> /d
-	45,00	15.438,53
0,33	44,81	15.438,53
0,67	44,63	15.438,53
1,00	44,44	15.438,53
1,00	44,44	15.438,53
1,80	43,98	15.438,53
2,60	43,52	15.438,53
3,40	43,05	15.438,53
4,20	42,58	15.438,53
5,00	42,10	15.438,53
5,00	42,10	15.438,53
5,83	41,59	15.438,53
6,67	41,08	15.438,53
7,50	40,55	15.438,53
8,33	40,02	15.438,53
9,17	39,49	15.438,53
10,00	38,94	15.438,53
10,00	38,94	15.438,53
10,83	38,38	15.438,53
11,67	37,81	15.438,53
12,50	37,22	15.438,53
13,33	36,63	15.438,53
14,17	36,03	15.438,53
15,00	35,42	15.438,53
15,00	35,42	15.438,53
15,83	34,83	15.438,53
16,67	34,22	15.438,53
17,50	33,60	15.438,53
18,33	32,97	15.438,53
19,17	32,33	15.438,53
20,00	31,67	15.438,53
20,00	31,67	15.438,53
20,80	31,02	15.438,53
21,60	30,35	15.438,53
22,40	29,67	15.438,53
23,20	28,97	15.438,53
24,00	28,25	15.438,53
24,00	28,25	15.438,53
24,62	27,68	15.438,53
25,24	27,10	15.438,53
25,86	26,50	15.438,53



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

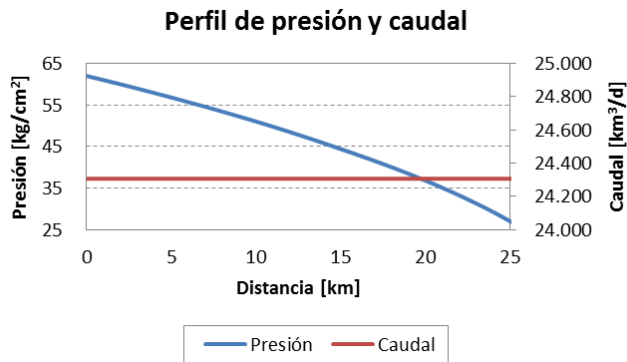


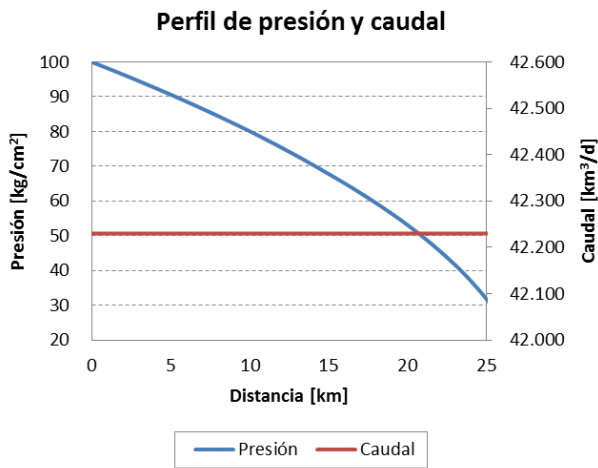
Figura 2. Perfil de Presión y Caudal (Escenario 02).

Distancia km	Presión kg/cm <sup>2</sup>	Caudal kSm <sup>3</sup> /d
0	62	24305,209
0,33	61,67	24.305,21
0,67	61,34	24.305,21
1,00	61,01	24.305,21
1,00	61,01	24.305,21
1,80	60,19	24.305,21
2,60	59,37	24.305,21
3,40	58,53	24.305,21
4,20	57,68	24.305,21
5,00	56,82	24.305,21
5,00	56,82	24.305,21
5,83	55,90	24.305,21
6,67	54,97	24.305,21
7,50	54,01	24.305,21
8,33	53,05	24.305,21
9,17	52,06	24.305,21
10,00	51,05	24.305,21
10,00	51,05	24.305,21
10,83	50,01	24.305,21
11,67	48,94	24.305,21
12,50	47,86	24.305,21
13,33	46,74	24.305,21
14,17	45,60	24.305,21
15,00	44,43	24.305,21
15,00	44,43	24.305,21
15,83	43,27	24.305,21
16,67	42,06	24.305,21
17,50	40,83	24.305,21
18,33	39,55	24.305,21
19,17	38,23	24.305,21
20,00	36,85	24.305,21
20,00	36,85	24.305,21
20,80	35,47	24.305,21
21,60	34,04	24.305,21
22,40	32,54	24.305,21
23,20	30,96	24.305,21
24,00	29,30	24.305,21
24,00	29,30	24.305,21
24,62	27,94	24.305,21
25,24	26,51	24.305,21
25,86	25,00	24.305,21





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



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

Distancia km	Presión kg/cm <sup>2</sup>	Caudal kSm <sup>3</sup> /d
0	100,00	42.229,97
0,33	99,41	42.229,97
0,67	98,81	42.229,97
1,00	98,21	42.229,97
1,00	98,21	42.229,97
1,80	96,74	42.229,97
2,60	95,25	42.229,97
3,40	93,74	42.229,97
4,20	92,20	42.229,97
5,00	90,64	42.229,97
5,00	90,64	42.229,97
5,83	88,97	42.229,97
6,67	87,27	42.229,97
7,50	85,54	42.229,97
8,33	83,77	42.229,97
9,17	81,97	42.229,97
10,00	80,13	42.229,97
10,00	80,13	42.229,97
10,83	78,21	42.229,97
11,67	76,25	42.229,97
12,50	74,24	42.229,97
13,33	72,17	42.229,97
14,17	70,05	42.229,97
15,00	67,86	42.229,97
15,00	67,86	42.229,97
15,83	65,65	42.229,97
16,67	63,36	42.229,97
17,50	60,98	42.229,97
18,33	58,51	42.229,97
19,17	55,92	42.229,97
20,00	53,19	42.229,97
20,00	53,19	42.229,97
20,80	50,42	42.229,97
21,60	47,48	42.229,97
22,40	44,34	42.229,97
23,20	40,94	42.229,97
24,00	37,23	42.229,97
24,00	37,23	42.229,97
24,62	34,05	42.229,97
25,24	30,53	42.229,97
25,86	26,50	42.229,97



## 7. CONCLUSIONES

La capacidad de flujo, en la condición operativa de mínima presión en la recepción, es de 15.438,53 Mm<sup>3</sup>/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 24.305,31 Mm<sup>3</sup>/d.

Teniendo en cuenta la máxima presión de operación del tramo igual a 100,00 kg/cm<sup>2</sup> en el punto de recepción del gasoducto, la capacidad de flujo es 42.229,97 Mm<sup>3</sup> / d.

En todos los casos, 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

TRANSPETRO1

### SUPPLY

Initial	Supply	Node	Heating Value	Flow	Pressure	Temperature
Units			MJ/m <sup>3</sup>	kSm <sup>3</sup> /d	kg/cm <sup>2</sup>	Deg C
1	Supply0001	N1	33,50	15.438,54	45,00	28,00

### DELIVERY

Initial	Delivery	Node	Flow	Pressure	Temperature
Units			kSm <sup>3</sup> /d	kg/cm <sup>2</sup>	Deg C
1	TSB	N8	15.438,53	26,50	22,73

### TRAMOS

Initial	Pipe-Name	Altimetri a	NOD E		Leng h	Diamete r inside	Wall thicknes s	Gas Equatio n	Flow (Head)	Flow (Tail)	Pressur e (Head)	Pressur e (Tail)	Temp (Head )	Tem p (Tail)	Velocit y (Head)	Velocit y (Tail)
Units		m	Up Down		km	in	in		kSm <sup>3</sup> / d	kSm <sup>3</sup> / d	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	Deg C	Deg C	m/s	m/s
1	PIPE000	19,06	N1	N2	1	23,024	0,488	AGA	15.439	15.439	45,00	44,44	28,00	27,82	14,39	14,57
2	PIPE010	13,93	N2	N3	4	23,024	0,488	AGA	15.439	15.439	44,44	42,10	27,82	27,08	14,57	15,37
3	PIPE020	3,64	N3	N4	5	23,024	0,488	AGA	15.439	15.439	42,10	38,94	27,08	26,10	15,37	16,60
4	PIPE030	1,66	N4	N5	5	23,024	0,488	AGA	15.439	15.439	38,94	35,42	26,10	24,96	16,60	18,23
6	PIPE040	29,71	N5	N6	5	23,024	0,488	AGA	15.439	15.439	35,42	31,67	24,96	24,07	18,23	20,37



**MODELO HIDRÁULICO**

N°

Rev.

**0**

GASODUTO:

**GASODUCTO URUGUAYANA-PORTO ALEGRE - GASUP**

FOLHA

11/12

TÍTULO:

**CAPACIDAD DE TRANSPORTE DEL GASUP – TRECHO 03**

5	PIPE05 0	1,42	N6	N7	4	23,024	0,488	AGA	15.439	15.439	31,67	28,25	24,07	23,2 0	20,37	22,81
7	PIPE06 0	2,59	N7	N8	1,86	23,024	0,488	AGA	15.439	15.439	28,25	26,50	23,20	22,7 3	22,81	24,30

**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

TRANSPETRO2

**SUPPLY**

Initial	Supply	Node	Heating Value	Flow	Pressure	Temperature
Units			MJ/m <sup>3</sup>	kSm <sup>3</sup> /d	kg/cm <sup>2</sup>	Deg C
1	Supply	N1	33,496	24.305,21	62,00	28,00

**DELIVERY**

Initial	Delivery	Node	Flow	Pressure	Temperature
Units			kSm <sup>3</sup> /d	kg/cm <sup>2</sup>	Deg C
1	TSB	N8	24.305,21	25,00	17,67

**TRAMOS**

Initial	Pipe-Name	Altimetria	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 <sup>3</sup> /d	kSm <sup>3</sup> /d	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	Deg C	Deg C	m/s	m/s
1	PIPE000	19,06	N1	N2	1	23,024	0,488	AGA	24.305	24.305	62,00	61,01	28,00	27,69	16,12	16,37
2	PIPE010	13,93	N2	N3	4	23,024	0,488	AGA	24.305	24.305	61,01	56,82	27,69	26,39	16,37	17,56
3	PIPE020	3,64	N3	N4	5	23,024	0,488	AGA	24.305	24.305	56,82	51,05	26,39	24,61	17,56	19,52
4	PIPE030	1,66	N4	N5	5	23,024	0,488	AGA	24.305	24.305	51,05	44,43	24,61	22,51	19,52	22,40
6	PIPE040	29,71	N5	N6	5	23,024	0,488	AGA	24.305	24.305	44,43	36,85	22,51	20,47	22,40	27,01
5	PIPE050	1,42	N6	N7	4	23,024	0,488	AGA	24.305	24.305	36,85	29,30	20,47	18,63	27,01	33,96
7	PIPE060	2,59	N7	N8	1,86	23,024	0,488	AGA	24.305	24.305	29,30	25,00	18,63	17,67	33,96	39,75

**MODELO HIDRÁULICO**

N°

Rev.

**0**

GASODUCTO:

**GASODUCTO URUGUAYANA-PORTO ALEGRE - GASUP**

FOLHA

12/12

TÍTULO:

**CAPACIDAD DE TRANSPORTE DEL GASUP – TRECHO 03****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

TRANSPETRO3

**SUPPLY**

Initial	Supply	Node	Heating Value	Flow	Pressure	Temperature
Units			MJ/m <sup>3</sup>	kSm <sup>3</sup> /d	kg/cm <sup>2</sup>	Deg C
1	Supply	N1	33,496	42.229,97	100,00	28,00

**DELIVERY**

Initial	Delivery	Node	Flow	Pressure	Temperature
Units			kSm <sup>3</sup> /d	kg/cm <sup>2</sup>	Deg C
1	TSB	N8	42.229,97	26,50	9,34

**TRAMOS**

Initial	Pipe-Name	Altimetria	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 <sup>3</sup> /d	kSm <sup>3</sup> /d	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	Deg C	Deg C	m/s	m/s
1	PIPE000	19,06	N1	N2	1	23,024	0,488	AGA	42.230	42.230	100,00	98,21	28,00	27,54	16,69	16,97
2	PIPE010	13,93	N2	N3	4	23,024	0,488	AGA	42.230	42.230	98,21	90,64	27,54	25,54	16,97	18,31
3	PIPE020	3,64	N3	N4	5	23,024	0,488	AGA	42.230	42.230	90,64	80,13	25,54	22,62	18,31	20,62
4	PIPE030	1,66	N4	N5	5	23,024	0,488	AGA	42.230	42.230	80,13	67,86	22,62	18,96	20,62	24,25
6	PIPE040	29,71	N5	N6	5	23,024	0,488	AGA	42.230	42.230	67,86	53,19	18,96	14,72	24,25	30,94
5	PIPE050	1,42	N6	N7	4	23,024	0,488	AGA	42.230	42.230	53,19	37,23	14,72	10,65	30,94	44,43
7	PIPE060	2,59	N7	N8	1,86	23,024	0,488	AGA	42.230	42.230	37,23	26,50	10,65	9,34	44,43	62,85