



**CONTRATACIÓN DE UN SERVICIO DE CONSULTORÍA  
TÉCNICA PARA LA VALORIZACIÓN DE UNA ESTACIÓN DE  
REGULACIÓN Y EL MODELAMIENTO HIDRÁULICO DE UN  
DUCTO**

I0116-I-001

**Informe Final**

**INPROGAS** S.  
A.  
C.  
INGENIERIA Y PROYECTOS DE GAS

**14 de Abril del 2016**

Título de Documento:	Proyecto N°:	Código del Documento:	Revisión:
VALORIZACIÓN DE UNA ESTACIÓN DE REGULACIÓN Y EL MODELAMIENTO HIDRÁULICO DE UN DUCTO	I0116	I - 001	0

## TABLA DE CONTENIDO

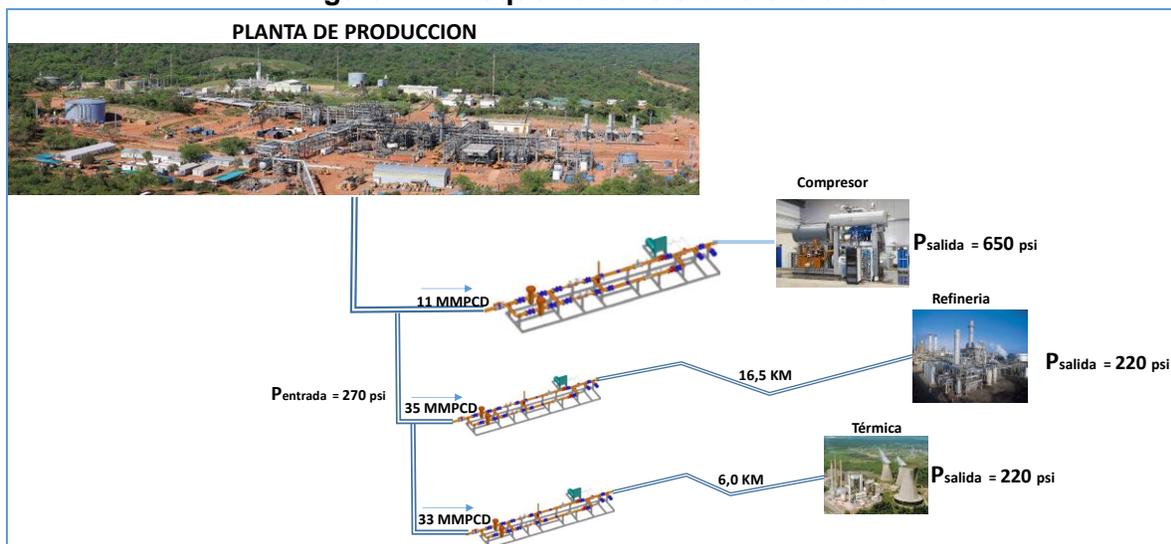
1	ANTECEDENTES.....	3
2	CALCULO DEL DIÁMETRO DE LA TUBERIA .....	5
2.1	MODELAMIENTO HIDRÁULICO DEL GASODUCTO HACIA REFINERÍA .....	7
2.2	MODELAMIENTO HIDRÁULICO DEL GASODUCTO HACIA LA A CENTRAL TÉRMICA.....	9
3	ESPESOR DE PARED DE TUBERÍA.....	12
4	ESTACIONES CITY GATE.....	19
5	SISTEMA DE COMPRESIÓN EN LÍNEA.....	26
6	RECOMENDACIONES.....	31
7	DOCUMENTOS DE REFERENCIA .....	33

Título de Documento:	Proyecto N°:	Código del Documento:	Revisión:
VALORIZACIÓN DE UNA ESTACIÓN DE REGULACIÓN Y EL MODELAMIENTO HIDRÁULICO DE UN DUCTO	I0116	I - 001	0

## 1 ANTECEDENTES

De acuerdo con los requerimientos de OSINERGHMIN se requiere hacer la evaluación técnica y económica de los activos de distribución de un sistema de Regulación y Medición y un Gasoducto de conexión para el suministro de gas, de acuerdo con las condiciones descritas a continuación y que reflejan las demandas máximas esperadas en un horizonte de 8 años y las condiciones de operación mínimas a las cuales trabajarán los sistemas.

**Figura N° 1 Esquema del sistema evaluado**



La evaluación técnica comprenderá los siguientes aspectos:

1. Diseño de los Componentes de la Estación City Gate con Capacidad de 11MMPCD.
2. Diseño de los Componentes de una Estación City Gate tipo para una capacidad de 35MMPCD.
3. Diseño del gasoducto de Distribución de 16,5 km entre la planta de producción y la Refinería con una capacidad de 35MMPCD.

Título de Documento:	Proyecto N°:	Código del Documento:	Revisión:
VALORIZACIÓN DE UNA ESTACIÓN DE REGULACIÓN Y EL MODELAMIENTO HIDRÁULICO DE UN DUCTO	I0116	I - 001	0

4. Diseño del gasoducto de Distribución de 6,0 km entre la planta de producción y la Termoeléctrica con una capacidad de 33MMPCD.
5. Determinación de la relación entre capacidad de Compresión y potencia para el Compresor Centrifugo que manejaría 11 MMPCD.

La evaluación Económica se presentará para cada uno de los componentes de las Dos estaciones City Gate y una Ratio por HP requerido para el caso del Compresor Centrifugo.

Para los cálculos hidráulicos del diámetro de la tubería de los dos gasoductos, se utilizará una composición fisicoquímica del gas de las siguientes características:

**Tabla N° 1 Características del gas utilizado en el modelamiento hidráulico**

COMPONENTE	FRACCION
METANO	93,202%
ETANO	5,519%
PROPANO	0,057%
I-BUTANO	0,009%
N-BUTANO	0,014%
I-PENTANO	0,124%
N-PENTANO	0,157%
HEXANO	0,065%
DIOXIDO DE CARBONO	0,650%
NITROGENO	0,205%
<b>TOTAL</b>	<b>100,000%</b>

PROPIEDADES	VALOR	UNIDADES
PODER CALORIFICO	1.052,20	BTU/ft3
VISCOSIDAD	0,0000071	LBm/ft-Seg.
GRAVEDAD ESPECIFICA	0,596	

<b>Título de Documento:</b>	<b>Proyecto N°:</b>	<b>Código del Documento:</b>	<b>Revisión:</b>
VALORIZACIÓN DE UNA ESTACIÓN DE REGULACIÓN Y EL MODELAMIENTO HIDRÁULICO DE UN DUCTO	I0116	I - 001	0

## 2 CALCULO DEL DIÁMETRO DE LA TUBERÍA

Para el cálculo del diámetro de la tubería de cada uno de los gasoductos se utiliza un perfil de consumo de acuerdo a los valores máximos estimados para ser Distribuidos, teniendo en cuenta un perfil lineal en un periodo de 24 horas. Se determina una presión mínima de entrega de 220 PSI y los parámetros básicos a considerar en las ecuaciones de Diseño, se definen como:

- Presión atmosférica = 14.65 Psia
- Temperatura de Máxima flujo = 104° F (40°C)
- Temperatura base = 60°F (519.6°R)

Las propiedades fisicoquímicas del gas, se calcularon en el Software de diseño que es el GASWorkS 9.0, según la tabla adjunta:

**Figura N° 2 Software de diseño que es el GASWorkS 9.0 – Característica del Gas**

Gas Properties...			
Enter Gas Properties (%)...			
Methane (CH4):	93.2015	Air (N2+O2):	0
Ethylene (C2H4):	0	Water (H2O):	0
Ethane (C2H6):	5.5185	Argon (Ar):	0
Propane (C3H8):	0.0566	Carbon Monoxide (CO):	0
I-Butane (iC4H10):	0.0094	Carbon Dioxide (CO2):	0.6501
N-Butane (nC4H10):	0.0144	Hydro Sulfide (H2S):	0
I-Pentane (iC5H12):	0.1235	Helium (He):	0
N-Pentane (nC5H12):	0.1571	Hydrogen (H2):	0
Hexane (C6H14):	0.0645	Nitrogen (N2):	0.2047
Heptane (C7H16):	0	Oxygen (O2):	0
Octane (C8H18):	0	Other:	0
Nonane (C9H20):	0	Heating Value Method:	
Decane (C10H22):	0		
Calculated Values...			
Heating:	1052.2	Btu/cf	Specific Gravity: 0.596
Viscosity:	0.0000071	Lbm/Ft-sec	Specific Heat Ratio: 1.31
Calculate		Apply	
Clear	Open	Save	Print
Close			

Título de Documento:	Proyecto N°:	Código del Documento:	Revisión:
VALORIZACIÓN DE UNA ESTACIÓN DE REGULACIÓN Y EL MODELAMIENTO HIDRÁULICO DE UN DUCTO	I0116	I - 001	0

El cálculo del diseño se realizó seleccionando la fórmula de acuerdo a los criterios establecidos por la A.G.A. (American Gas Association) e incorporando las fórmulas y bases de cálculo del programa interactivo utilizado.

**IGT – IMPROVED:** Del Institute of Gas Technology-Improved. Ampliamente usada en el diseño de sistemas de distribución que opera entre 1 a 500 psig, en una amplia gama de número de Reynolds y de diámetros.

$$Q = 664,3 \frac{T_b}{P_b} \frac{1}{U^{0,111}} \left( \frac{P_1^2 - P_2^2}{S G^{0,8} T_f L Z} \right)^{0,556} D^{2,667} E$$

Donde:

D = Diámetro Interno de la Tubería en Inches

E = Eficiencia de la Tubería en %

L = Longitud de la Tubería en Ft

P1 = Presión de entrada en Psia

P2 = Presión de salida en Psia

Pb = Presión Base en Psia

Q = Rata de Flujo en Cfh

SG = Gravedad Especifica adimensional.

Tb = Temperatura Base en °R

Z = Factor de Compresibilidad, adimensional.

Tf= temperatura promedio de flujo de gas en °R

U: Viscosidad Absoluta en Lbm/Ft-sec

Las condiciones particulares de diseño para los dos sistemas, se describen de la siguiente forma:

<b>Título de Documento:</b>	<b>Proyecto N°:</b>	<b>Código del Documento:</b>	<b>Revisión:</b>
VALORIZACIÓN DE UNA ESTACIÓN DE REGULACIÓN Y EL MODELAMIENTO HIDRÁULICO DE UN DUCTO	I0116	I - 001	0

**Tabla N° 2 Condiciones particulares de diseño para los dos sistemas**

VARIABLE	GASODUCTO A REFINERIA		GASODUCTO A TERMICA	
	CANTIDAD	UNIDAD	CANTIDAD	UNIDAD
PRESION DE ENTRADA	270,0	PSI	270,0	PSI
CAUDAL DE ENTRADA	35,0	MMPCD	33,0	MMPCD
LONGITUD DEL TUBO	16.500,0	MTS	6.000,0	MTS
TEMPERATURA MAXIMA DEL GAS	40,0	°C	40,0	°C
ALTURA SOBRE NIVEL DEL MAR	20,0	MTS	20,0	MTS
PRESION MINIMA A LA SALIDA	220,0	PSI	220,0	PSI

Para determinar el diámetro óptimo a utilizar en los dos gasoductos de distribución, se realiza una simulación de la máxima capacidad de cada uno de los Gasoductos con diámetros variables.

## 2.1 MODELAMIENTO HIDRÁULICO DEL GASODUCTO HACIA REFINERÍA

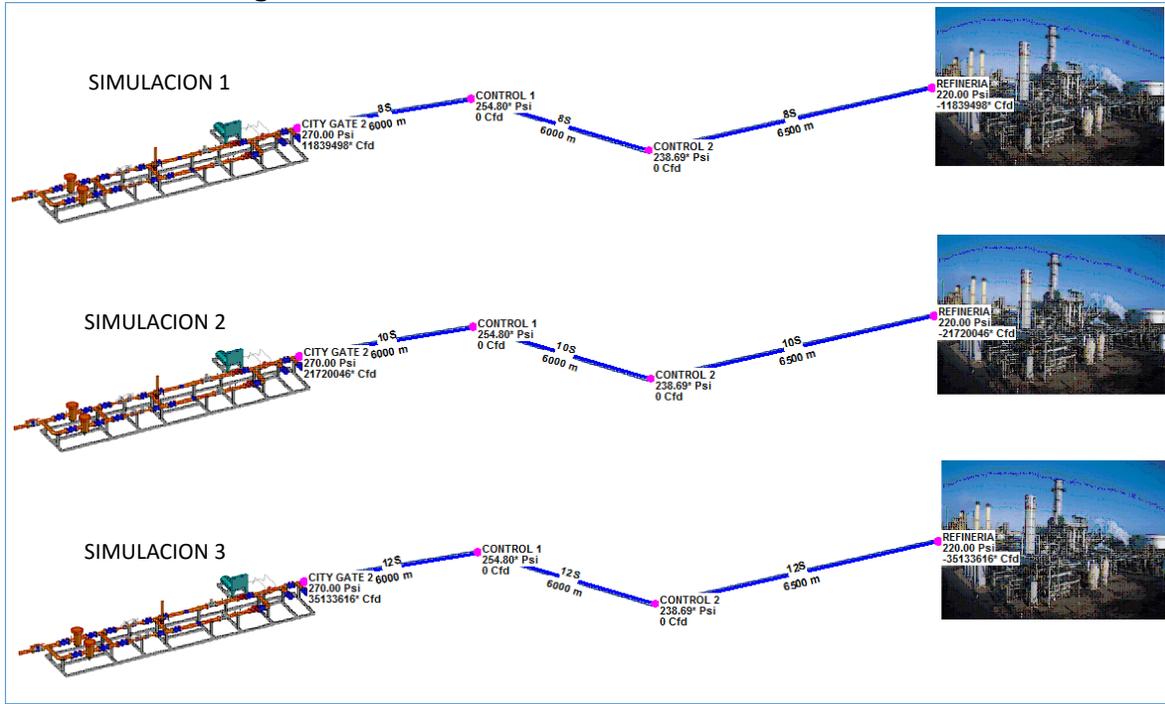
Una vez ingresadas las variables y corrido el programa de diseño, los datos obtenidos para el cálculo de los diámetros del gasoducto son los siguientes:

**Tabla N° 3 Características del diseño – Gasoducto para la refinería**

VARIABLE	GASODUCTO A REFINERIA		
	TUBERIA DE 8"	TUBERIA DE 10"	TUBERIA DE 12"
PRESION DE ENTRADA	270 PSI	270 PSI	270 PSI
PRESION MINIMA A LA SALIDA	220 PSI	220 PSI	220 PSI
CAUDAL MAXIMO	<b>11,84 MMPCD</b>	<b>21,72 MMPCD</b>	<b>35,13 MMPCD</b>

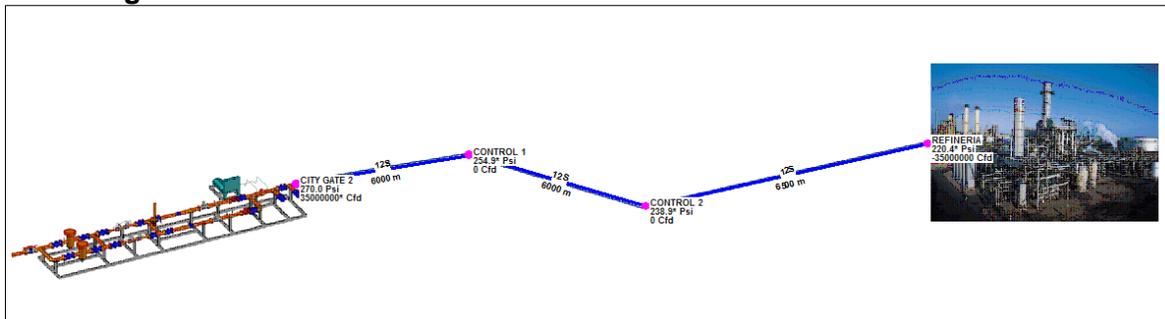
Título de Documento:	Proyecto N°:	Código del Documento:	Revisión:
VALORIZACIÓN DE UNA ESTACIÓN DE REGULACIÓN Y EL MODELAMIENTO HIDRÁULICO DE UN DUCTO	I0116	I - 001	0

**Figura N° 3 Análisis hidráulico – Gasoducto refinería**



De acuerdo con las simulaciones anteriores, vemos que solo usando la tubería de acero de 12" de diámetro, podemos garantizar el volumen necesario para atender la demanda de la Refinería en el año de máximo consumo. Se hace el cálculo de las presiones de llegada con un volumen de 35 MMPCD y se obtiene lo siguiente:

**Figura N° 4 Selección de la simulación hidráulica – Gasoducto refinería**



<b>Título de Documento:</b>	<b>Proyecto N°:</b>	<b>Código del Documento:</b>	<b>Revisión:</b>
VALORIZACIÓN DE UNA ESTACIÓN DE REGULACIÓN Y EL MODELAMIENTO HIDRÁULICO DE UN DUCTO	I0116	I - 001	0

**Figura N° 5 Resultados hidráulicos**

The figure consists of two screenshots from a hydraulic design software. The top screenshot is titled 'Node Data Report...' and displays a table of node characteristics. The bottom screenshot is titled 'Pipe Data Report...' and displays a table of pipe characteristics.

Rec #	Node Name	Pressure	Pressure Units	Base Load	Load Units	Elevation, m	Atm Pressure, Psi	Temperatu, F	Specific Gravity	Viscosity, Lbm/Ft-sec	Heating Value, Btu/cf	Specific Heat
7*	CITY GATE 2	270,00	Psi	35000000	Cfd	20	14,66	104,00	0,596	0,0000071	1052	1,31
8	REFINERIA	220,38	Psi	-35000000	Cfd	20	14,66	104,00	0,596	0,0000071	1052	1,31
10	CONTROL 1	254,91	Psi	0	Cfd	20	14,66	104,00	0,596	0,0000071	1052	1,31
11	CONTROL 2	238,92	Psi	0	Cfd	20	14,66	104,00	0,596	0,0000071	1052	1,31

Hydraulic										Attribute		
Rec #	From Node	To Node	Equation	Size/Type	Length	Length Units	Efficiency Decimal	Flow Rate	Flow Units	Inlet Pressure	Outlet Pressure	Pressure Units
4	CITY GATE 2	CONTROL 1	IGT-Impro	12S	6000	m	0,95	35000000,0	Cfd	270,00	254,91	Psi
5	CONTROL 1	CONTROL 2	IGT-Impro	12S	6000	m	0,95	35000000,0	Cfd	254,91	238,92	Psi
6	CONTROL 2	REFINERIA	IGT-Impro	12S	6500	m	0,95	35000000,0	Cfd	238,92	220,38	Psi

De acuerdo con los cálculos obtenidos en el Software de Diseño, se determina que una tubería de **12"** estaría en capacidad de llevar el gas requerido por la Refinería, con una presión de entrega no inferior a 220 PSI.

## 2.2 MODELAMIENTO HIDRÁULICO DEL GASODUCTO HACIA LA CENTRAL TÉRMICA

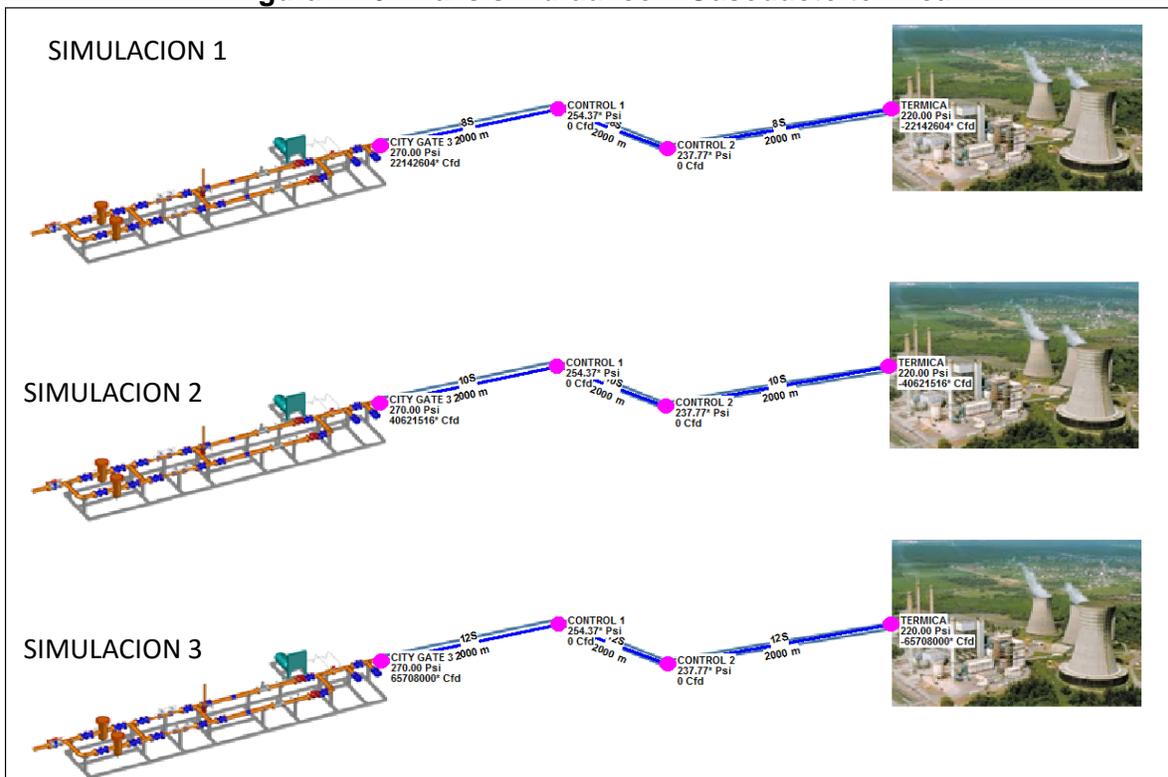
Para el cálculo de este diámetro se sigue el mismo procedimiento del caso anterior, con los siguientes resultados:

<b>Título de Documento:</b>	<b>Proyecto N°:</b>	<b>Código del Documento:</b>	<b>Revisión:</b>
VALORIZACIÓN DE UNA ESTACIÓN DE REGULACIÓN Y EL MODELAMIENTO HIDRÁULICO DE UN DUCTO	I0116	I - 001	0

**Tabla N° 4 Características del diseño – Gasoducto para la térmica**

VARIABLE	GASODUCTO A TERMICA		
	TUBERIA DE 8"	TUBERIA DE 10"	TUBERIA DE 12"
PRESION DE ENTRADA	270 PSI	270 PSI	270 PSI
PRESION MINIMA A LA SALIDA	220 PSI	220 PSI	220 PSI
LONGITUD DEL TUBO	6,000 MTS	6,000 MTS	6,000 MTS
CAUDAL MAXIMO	<b>22,14 MMPCD</b>	<b>40,62 MMPCD</b>	<b>65,71 MMPCD</b>

**Figura N° 6 Análisis hidráulico – Gasoducto térmica**

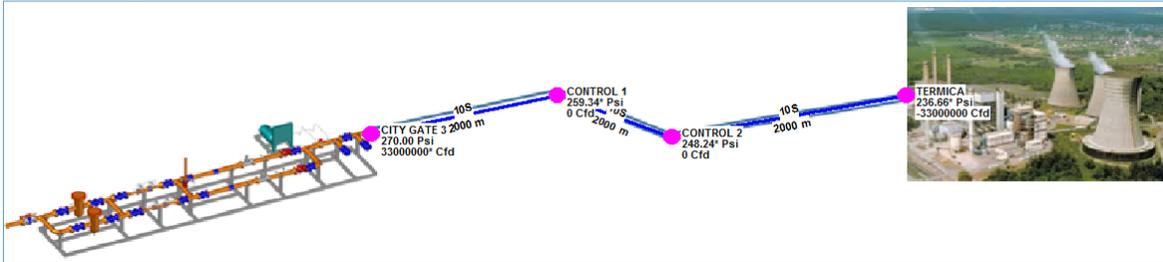


De acuerdo con las simulaciones anteriores, vemos la tubería de acero de 10" de diámetro puede garantizar el volumen necesario para atender la demanda de la Térmica en el año de máximo consumo. Definiendo el diámetro del tubo que puede

<b>Título de Documento:</b>	<b>Proyecto N°:</b>	<b>Código del Documento:</b>	<b>Revisión:</b>
VALORIZACIÓN DE UNA ESTACIÓN DE REGULACIÓN Y EL MODELAMIENTO HIDRÁULICO DE UN DUCTO	I0116	I - 001	0

movilizar el caudal de gas necesario para atender la demanda de la Térmica, se realiza el cálculo de cuáles serían las presiones de entrega con el caudal requerido:

**Figura N° 7 Selección de la simulación hidráulica – Gasoducto térmica**



**Figura N° 8 Resultados hidráulicos**

Pipe Data Report...

Hydraulic										Attribute			
Rec #	From Node	To Node	Equation	Size/Type	Length	Length Units	Efficiency Decimal	Flow Rate	Flow Units	Velocity, Feet/sec	Inlet Pressure	Outlet Pressure	Pressure Units
1	CITY GATE 3	CONTROL 1	IGT-Impro	10S	2000 m		0,95	33000000,0	Cfd	40	270,00	259,34	Psi
2	CONTROL 1	CONTROL 2	IGT-Impro	10S	2000 m		0,95	33000000,0	Cfd	42	259,34	248,24	Psi
3	CONTROL 2	TERMICA	IGT-Impro	10S	2000 m		0,95	33000000,0	Cfd	44	248,24	236,66	Psi

Node Data Report...

Rec #	Node Name	Pressure	Pressure Units	Base Load	Load Units	Elevation, m	Atm Pressure, Psi	Temperatu, F	Specific Gravity	Viscosity, Lbm/Ft-sec	Heating Value, Btu/cf	Specific Heat
1	CITY GATE 3	270,00	Psi	33000000	Cfd	20	14,66	104,00	0,596	0,0000071	1052	1,31
2	CONTROL 1	259,34	Psi	0	Cfd	20	14,66	104,00	0,596	0,0000071	1052	1,31
3	CONTROL 2	248,24	Psi	0	Cfd	20	14,66	104,00	0,596	0,0000071	1052	1,31
4	TERMICA	236,66	Psi	-33000000	Cfd	20	14,66	104,00	0,596	0,0000071	1052	1,31

De acuerdo con los cálculos obtenidos en el Software de Diseño, se determina que una tubería de 10" estaría en capacidad de llevar el gas requerido por la Refinería, con una presión de entrega no inferior a 220 PSI.

Título de Documento:	Proyecto N°:	Código del Documento:	Revisión:
VALORIZACIÓN DE UNA ESTACIÓN DE REGULACIÓN Y EL MODELAMIENTO HIDRÁULICO DE UN DUCTO	I0116	I - 001	0

### 3 ESPESOR DE PARED DE TUBERÍA

Para el cálculo del espesor de pared de la tubería de gas se utiliza lo descrito en el código ANSI ASME B31.8 capítulo IV “*Design, Installation, and Testing*”. Para esto usamos las siguientes consideraciones:

Condiciones de operación del gasoducto, de acuerdo con lo descrito en el capítulo anterior:

- a. Presión Máxima de operación: 270 psi.
- b. Diámetro nominal de tubería: Refinería: 12” y Térmica: 10”.
- c. Caudal: Refinería: 35 MMPCD y Térmica: 33 MMPCD.

El espesor de pared de la tubería, es calculado para que resistan los esfuerzos a que serán sometidas y los factores externos e internos que puedan afectarla. El valor final del espesor calculado se comparara con los espesores comerciales de tuberías para determinar el Schedule de la misma.

#### FORMULA BASE PARA CÁLCULO DEL ESPESOR

$$P = \frac{2000St}{D} FET$$

Dónde:

- D: Diámetro exterior de la tubería (mm).
- E: Factor de junta longitudinal de la tubería (adimensional).
- F: Factor de diseño por clase de localidad (adimensional).
- P: Presión de diseño (KPa).
- S: Resistencia mínima especificada a la fluencia (MPa).
- t: Espesor de pared de la tubería (mm).

Título de Documento:	Proyecto N°:	Código del Documento:	Revisión:
VALORIZACIÓN DE UNA ESTACIÓN DE REGULACIÓN Y EL MODELAMIENTO HIDRÁULICO DE UN DUCTO	I0116	I - 001	0

T: Factor de reducción por temperatura.

**FACTOR DE JUNTA LONGITUDINAL DE LA TUBERÍA (E):** Valor adimensional que depende del tipo de tubería a utilizar. Para el caso de construcción de gasoductos las más utilizadas son las tuberías API 5L, Grado B o Grado X42 con o sin costura (ERW o seamless), en donde el factor E= 1.0 de acuerdo con la tabla 1.

**Tabla N° 5 Factor de Junta Longitudinal de la Tubería (E)**

Spec. No.	Pipe Class	E Factor
ASTM A 53	Seamiess	1.00
	Electric – Resistance – Welded	1.00
	Furnace – Butt Welded, Continuous Weld	0.60
ASTM A 106	Seamless	1.00
ASTM A 134	Electric – Fusion Arc-Welded	0.80
ASTM A 135	Electric – Resistance-Welded	1.00
ASTM A 139	Electric – Fusion Arc-Welded	0.80
ASTM A 333	Seamless	1.00
	Electric – Resistance-Welded	1.00
ASTM A 381	Submerged – Arc – Welded	1.00
ASTM A 671	Electric – Fusion – Welded	
	Classes 13,23,33,43,53	0.80
	Classes 12,22,32,42,52	1.00
ASTM A 672	Electric – Fusion –Welded	
	Classes 13,23,33,43,53	0.80
	Classes 12,22,32,42,52	1.00
ASTM BA 691	Electric – Fusion –Welded	
	Classes 13,23,33,43,53	0.80
	Classes 12,22,32,42,52	1.00
ASTM A 984	Electric – Resistance – Welded	1.00
ASTM A 1005	Double Submerged-Arc-Welded	1.00
ASTM A 1006	Laser Beam Welded	1.00
API 5L	Electric Welded	1.00
	Seamless	1.00
	Submerged Arc Welded (Longitudinal Sea mor Helical Seam)	1.00
	Furnace Butt Welded, Continuous Weld	0.60

**FACTOR DE DISEÑO POR CLASE DE LOCALIDAD (F):** Este factor depende de la clase de localidad por donde se construya el gasoducto, que depende del número de

Título de Documento:	Proyecto N°:	Código del Documento:	Revisión:
VALORIZACIÓN DE UNA ESTACIÓN DE REGULACIÓN Y EL MODELAMIENTO HIDRÁULICO DE UN DUCTO	I0116	I - 001	0

viviendas ubicadas en un área de un cuarto de milla alrededor del tubo y en una sección de una milla de longitud, conforme a la siguiente descripción:

- Localidad clase 1**, es cualquier sección de 1,609 m (1 milla) de longitud que tiene 10 o menos edificios destinados a la ocupación humana. Se tiene la intención de que una localidad clase 1, refleje áreas tales como las tierras estériles, desiertos, montañas, tierra de pastoreo, tierras agrícolas, y áreas escasamente pobladas

Clase 1, división 1. El ducto ha sido probado hidrostáticamente a 1.25 veces la máxima presión de operación.

Clase 1, división 2. El ducto ha sido probado a 1.1 veces la máxima presión admisible de operación.
- Localidad clase 2**, es cualquier sección de 1,609 m (1 milla) que tiene más de 10 pero menos de 46 edificios destinados a la ocupación humana. Con una localidad de clase 2 se tiene la intención de reflejar áreas donde el grado de población es intermedio entre la localidad de clase 1 y la localidad de clase 3, tales como las zonas periféricas de las ciudades y pueblos, zonas industriales, ranchos o quintas campestres, etc.
- Localidad clase 3**, es cualquier sección de 1,609 m (1 milla) que tiene 46 o más edificios destinados a la ocupación humana, excepto cuando prevalece una localidad de clase 4. Se tiene la intención de que una localidad clase 3 refleje áreas tales como los desarrollos de viviendas suburbanas, centros de compras, áreas residenciales, áreas industriales y otras áreas pobladas que no cumplen con los requerimientos de una localidad de clase 4.
- Localidad clase 4**, incluye áreas donde prevalecen los edificios de varios pisos, donde el tráfico es pesado o denso, y donde pudiera haber numerosas construcciones o servicios subterráneos. De varios pisos quiere decir cuatro o más pisos por encima del suelo, incluyendo el primer piso o planta baja. La profundidad o número de los sótanos o subsuelos no se toma en cuenta.

<b>Título de Documento:</b>	<b>Proyecto N°:</b>	<b>Código del Documento:</b>	<b>Revisión:</b>
VALORIZACIÓN DE UNA ESTACIÓN DE REGULACIÓN Y EL MODELAMIENTO HIDRÁULICO DE UN DUCTO	I0116	I - 001	0

Los valores usados en la fórmula para F se definen de acuerdo a la tabla 2.

**Tabla N° 6 Clase de localización**

<b>BASIC DESIGN FACTOR, F</b>	
<b>LOCATION CLASS</b>	<b>DESIGN FACTOR, F</b>
LOCATION CLASS 1, Division 1	<b>0,80</b>
LOCATION CLASS 1, Division 2	<b>0,72</b>
LOCATION CLASS 2	<b>0,60</b>
LOCATION CLASS 3	<b>0,50</b>
LOCATION CLASS 4	<b>0,40</b>

Para efectos de este cálculo y teniendo en cuenta que los gasoductos de Distribución se construirán por una zona despoblada, similar a la Clase 1, se tomara un  $F = 0.80$ , en donde se debe garantizar que la presión de prueba será 1,25 veces la MPOP.

**RESISTENCIA MÍNIMA ESPECIFICADA A LA FLUENCIA (S):** Factor que depende del tipo de material con que fue fabricada la tubería, teniendo en cuenta que se usará tubería API 5L Grado B o X42, se realizará el cálculo con el valor más crítico, donde  $S = 241.3$  MPa (35,000 psi).

<b>Título de Documento:</b>	<b>Proyecto N°:</b>	<b>Código del Documento:</b>	<b>Revisión:</b>
VALORIZACIÓN DE UNA ESTACIÓN DE REGULACIÓN Y EL MODELAMIENTO HIDRÁULICO DE UN DUCTO	I0116	I - 001	0

**Tabla N° 7 Resistencia Mínima Especificada a la Fluencia (S)**

SPEC. No.	GRADE	TYPE ( NOTE 1 )	SMYS, psi	(Mpa)
API 5L ( Note 2 )	A25	BW, ERW, S	25.000	(172)
API 5L ( Note 2 )	A25	ERW, S, DSA	30.000	(207)
API 5L ( Note 2 )	B	ERW, S, DSA	35.000	(241)
API 5L ( Note 2 )	x42	ERW, S, DSA	42.000	(290)
API 5L ( Note 2 )	x46	ERW, S, DSA	46.000	(317)
API 5L ( Note 2 )	x52	ERW, S, DSA	52.000	(359)
API 5L ( Note 2 )	x56	ERW, S, DSA	56.000	(386)
API 5L ( Note 2 )	x60	ERW, S, DSA	60.000	(414)
API 5L ( Note 2 )	x65	ERW, S, DSA	65.000	(448)
API 5L ( Note 2 )	x70	ERW, S, DSA	70.000	(483)
API 5L ( Note 2 )	x80	ERW, S, DSA	80.000	(552)
ASTM A 53	Type F	BW	25.000	(172)
ASTM A 53	A	ERW, S	30.000	(207)
ASTM A 53	B	ERW, S	35.000	(241)

**FACTOR DE REDUCCIÓN POR TEMPERATURA (T):** Este factor depende de las temperaturas operacionales previstas en el sistema del gasoducto, según lo estipulado en la tabla 4. Teniendo en cuenta que no se van a encontrar tuberías operando a temperaturas mayores a 121 °C (250 °F), el factor es T= 1.0.

**Tabla N° 8 Factor de Reducción por Temperatura (T)**

Temperature Derating Factor , T, Steel Pipe	
Temperature, °F (°C)	Temperature Derating Factor , T
250 (121) or less	<b>1,000</b>
300 (149)	<b>0,967</b>
350 (177)	<b>0,933</b>
400 (204)	<b>0,900</b>
450 (232)	<b>0,867</b>

GENERAL NOTE: For intermediate temperatures, interpolate for derating factor

<b>Título de Documento:</b>	<b>Proyecto N°:</b>	<b>Código del Documento:</b>	<b>Revisión:</b>
VALORIZACIÓN DE UNA ESTACIÓN DE REGULACIÓN Y EL MODELAMIENTO HIDRÁULICO DE UN DUCTO	I0116	I - 001	0

**CALCULO DEL ESPESOR DE PARED DE LA TUBERÍA (t):** Despejando de la formula general, la variable t (espesor de pared) se tiene:

$$t = \frac{P * D}{2000 * S * F * E * T}$$

**Tabla N° 9 Espesor de pared calculado**

VARIABLE	TUBERIA API 5L GRADO B	
	GASODUCTO REFINERIA	GASODUCTO TERMICA
P: PRESION DE OPERACIÓN (Kpa)	1.861,58	1.861,58
DIAMETRO NOMINAL TUBO	12"	10"
D: DIAMETRO EXTERIOR (mm)	323,85	273,05
E: FACTOR DE JUNTA	1,00	1,00
F: FACTOR DE DISEÑO	0,80	0,80
S: RESISTENCIA MINIMA A LA FLUENCIA (Mpa)	241,31	241,31
T: FACTOR POR TEMPERATURA	1,00	1,00
<b>t: ESPESOR MINIMO DE PARED (mm)</b>	<b>1,561</b>	<b>1,317</b>

Algunos diseñadores recomiendan aumentar al cálculo del espesor de pared de la tubería 3.175 mm (1/8") como protección a los efectos de la corrosión, lo que nos daría un espesor mínimo de **4,736** mm (0.186") para la tubería del gasoducto a la Refinería y de **4,492** mm (0,177") para la tubería de la Térmica.

Comercialmente las tuberías se fabrican de acuerdo a unos espesores de pared, los cuales se referencian según la cédula (SCH) de la misma:

<b>Título de Documento:</b>	<b>Proyecto N°:</b>	<b>Código del Documento:</b>	<b>Revisión:</b>
<b>VALORIZACIÓN DE UNA ESTACIÓN DE REGULACIÓN Y EL MODELAMIENTO HIDRÁULICO DE UN DUCTO</b>	I0116	I - 001	0

**Tabla N° 10 Especificaciones comerciales de tuberías de acero**

DIAMETRO NOMINAL	CEDULA (SCH)	DIAMETRO EXTERNO		DIAMETRO INTERNO		ESPESOR PARED	
		PULG.	mm	PULG.	mm	PULG.	mm
10"	20	10,750	273,05	10,250	260,35	0,250	6,35
	30	10,750	273,05	10,136	257,45	0,307	7,80
	40	10,750	273,05	10,020	254,51	0,365	9,27
	60	10,750	273,05	9,750	247,65	0,500	12,70
12"	20	12,750	323,85	12,250	311,15	0,250	6,35
	30	12,750	323,85	12,090	307,09	0,330	8,38
	40	12,750	323,85	11,938	303,23	0,406	10,31
	60	12,750	323,85	11,626	295,30	0,562	14,27

De acuerdo a los cálculos realizados, la utilización de una tubería API 5L Grado B SCH 20, permitiría garantizar las condiciones de operación, sin embargo una decisión como esta limitaría modificar las condiciones de operación futuras, impidiendo aumentar la capacidad del gasoducto de Distribución. Acogiendo la observación anterior, se recomienda el uso de una **tubería API 5L Grado B/X42 SCH 40**, tanto para el gasoducto a la Refinería como al de la Térmica, con espesores de pared 10,31 mm y 9,27 mm respectivamente, lo cual nos garantizaría el espesor adicional para protección de la corrosión y nos permitiría tener una mayor presión de operación posible en un futuro.

Título de Documento:	Proyecto N°:	Código del Documento:	Revisión:
VALORIZACIÓN DE UNA ESTACIÓN DE REGULACIÓN Y EL MODELAMIENTO HIDRÁULICO DE UN DUCTO	I0116	I - 001	0

## 4 ESTACIONES CITY GATE

Una Estación City Gate o Estación de Regulación y Medición (ERM) es aquel conjunto de elementos que permiten verificar, controlar y modificar algunas propiedades físico químicas del gas natural como son la Presión, la temperatura, el Flujo de gas, la limpieza y la Odorización, entre otras. Sus componentes pueden variar en cuanto a la rangeabilidad de presión y caudal, al número de elementos que hacen parte del sistema y sus diámetros. Para el sistema que se está trabajando tendremos en cuenta dos (2) modelos de ERM:

- MODELO 1: Una (1) ERM ubicada a la salida de la planta Productora que maneje 11 MMPCD.
- MODELO 2: Dos (2) ERM que igualmente se conectarán a la salida de la planta Productora y que manejarán 35 MMPCD y 33 MMPCD. En este caso se definirá un solo modelo que tendrá capacidad para la máxima demanda, es decir 35 MMPCD.

Teniendo en cuenta que las ERM trabajarán a una presión de entrada de 270 PSI, todos los componentes de dichas Estaciones se podrían usar en un ANSI 150, los cuales garantizan una máxima presión de operación de 340 PSI. Sin embargo se recomienda que se utilicen equipos y accesorios ANSI 300, los cuales permitirían a las ERM operar hasta 720 PSI, dejando una mayor holgura para futuros cambios en las condiciones de Operación del Sistema. Igualmente, dada la criticidad de los procesos para los cuales es usado el Gas Natural, se recomienda montar ERM con sistemas redundantes en todos sus componentes.

Las tuberías y los elementos de la ERM, serán capaces de resistir las presiones estáticas a que serán sometidas y que puedan conducir el gas sin abatir excesivamente su presión y no causar alto ruido. El ruido causa contaminación sonora y vibraciones

Título de Documento:	Proyecto N°:	Código del Documento:	Revisión:
VALORIZACIÓN DE UNA ESTACIÓN DE REGULACIÓN Y EL MODELAMIENTO HIDRÁULICO DE UN DUCTO	I0116	I - 001	0

que reducen la vida de los equipos y materiales de la estación. En las estaciones se empleará tubería de acero carbón, sin costura, acordes con el ANSI B31.8, con resistencia mínima a fluencia (SMYS) no menor de 42,000 psi, en espesores de pared equivalentes a cédula 40 para tramos soldados y 80 para los roscados. Los accesorios de tubería de acero serán para soldadura a tope, biselados, tipo estándar. Se emplearían bridas de tuberías clase ANSI 300 (720 psig).

Los principales componentes que hacen parte de las ERM son:

**SISTEMA CONTROL DE SOBREPRESION:** se contará con al menos dos (2) dispositivos independientes que sirvan de mecanismo para la protección en caso de una sobrepresión del sistema. La Estación estará protegida por una válvula de seguridad, del tipo de alivio y un actuador neumático de corte por sobrepresión.

El actuador maximiza la seguridad, opera autónomamente empleando la presión del gas. Puede instalarse para censar la presión de salida de la estación, calibrándose para cerrar el servicio si ésta excede el valor a limitar por los reguladores, abriéndose nuevamente cuando la presión descienda. El máximo valor no debe, en ninguna manera, exceder el 110% de la presión máxima de operación de la red.

La válvula de seguridad se dimensiona para evacuar la capacidad total de flujo, en caso que las presiones de operación superen el 10% de la Máxima Presión de Operación Permitida, MPOP. Se recomienda el uso de válvula de seguridad de tipo axial pilotada, en disposición de control "*back pressure*".

**SISTEMA DE FILTRACIÓN:** Se utilizarán filtros Coalescentes y de filtración de partículas sólidas suspendidas en el gas, con elemento filtrante de mínimo 5 micrones, el cual contará con mecanismos que permitan determinar el estado real del elemento,

Título de Documento:	Proyecto N°:	Código del Documento:	Revisión:
VALORIZACIÓN DE UNA ESTACIÓN DE REGULACIÓN Y EL MODELAMIENTO HIDRÁULICO DE UN DUCTO	I0116	I - 001	0

mediante el control y monitoreo de su desempeño (presión diferencial) y capacidad de drenaje de eventuales líquidos en forma manual.

**SISTEMA DE REGULACIÓN:** Un sistema de regulación, busca abatir las presiones de operación aguas debajo de la ERM, son usados para garantizar una presión de salida relativamente constante y mucho menor a la presión de entrada a la ERM. De acuerdo con las condiciones de operación del sistema objeto del estudio, las presiones de entrega de la planta de producción serán iguales a la máxima presión de operación permisible tanto de las ERM como de los sistemas de Distribución de gas. Bajo esta premisa, se recomienda no instalar sistemas de regulación en las ERM, ya que estos elementos lo único que harían es disminuir las presiones de salida de las ERM y por tanto afectando las condiciones mínimas bajo las cuales se calcularon los diámetros de las tuberías de gas. Sin embargo, se recomienda que en la fabricación de las ERM se dejen habilitados los Spool, para que en un futuro si se llegara a incrementar la presión de entrega de la planta de producción y se requiere adicionar un sistema de Regulación los cambios en la ERM no afecten la operación normal de todo el sistema.

**SISTEMA DE MEDICIÓN:** Garantiza el registro del volumen de gas que es entregado por una ERM, estará instalado después del Spool de regulación. La definición del tipo de medidor se realizará teniendo en cuenta el caudal máximo que maneja cada una de las ERM, 11 MMPCD y 35MMPCD. Para este caso se utilizarán medidores de Turbina que cumplen los lineamientos normativos en cuanto a Ubicación y operatividad descritos en las Normas AGA 7. Para la calibración de estos sistemas se dejará previstos en las ERM las facilidades que permitirán el uso de medidores de transferencia patronados (*Master Meter Prover*) en sitio, sin afectar la normal operación del sistema.

Para su instalación se deben utilizar enderezadores de flujo, que permiten que aguas arriba del medidor el perfil de flujo tenga una distribución uniforme, sin Perturbaciones

Título de Documento:	Proyecto N°:	Código del Documento:	Revisión:
VALORIZACIÓN DE UNA ESTACIÓN DE REGULACIÓN Y EL MODELAMIENTO HIDRÁULICO DE UN DUCTO	I0116	I - 001	0

ya que afectan el desempeño del medidor. Se debe instalar sobre una longitud de tubería recta de diez (10) diámetros nominales, aguas arriba, con la salida de los enderezadores de flujo localizada a cinco (5) diámetros nominales de la entrada al medidor. Aguas abajo del medidor se recomienda contar con un tramo de tubería recta de longitud de cinco (5) diámetros nominales. La tubería de entrada y de salida debe tener el mismo diámetro nominal del medidor. Cuando se tiene sistemas de regulación se recomienda dejar tramos rectos de diez y ocho (18) diámetros nominales aguas arriba y de siete (7) diámetros nominales aguas abajo, respecto al medidor.

**SISTEMA DE ODORIZACION:** el gas que se recibe por parte de la Planta Productora no se encuentra Odorizado, es necesario instalar un sistema de Odorización antes de ser entregado a las tuberías de Distribución o al sistema de Compresión. Los niveles de Odorización deben garantizar que para una concentración en el aire de un quinto del límite inferior de explosividad, el gas sea fácilmente detectado, por un ser humano. Se usará un Sistema por Inyección, el cual permiten tener un mayor control de volumen de odorante que se está inyectando al gas, ya que estos pueden programarse para que se inyecte un volumen de odorante por unidad de tiempo para sistemas en donde el flujo de gas es relativamente constante por unidad de tiempo.

**CROMATÓGRAFO EN LÍNEA:** Con el fin de tener un control adecuado de la energía entregada por parte de cada ERM, este sistema permite determinar las propiedades Físico Químicas del gas y pueden alimentar permanentemente los sistemas de Electrocorrección que ajustan los volúmenes medidos y que son entregados a los sistemas de Distribución y compresión. Teniendo en cuenta que para todo el sistema se tiene una sola fuente de suministro de gas, Planta de Producción, se recomienda que este equipo sea instalado en una sola ERM y los datos que se recogen, sean llevados a las RTU de cada ERM vía GPRS o conexión directa si están en la misma locación.

Título de Documento:	Proyecto N°:	Código del Documento:	Revisión:
VALORIZACIÓN DE UNA ESTACIÓN DE REGULACIÓN Y EL MODELAMIENTO HIDRÁULICO DE UN DUCTO	I0116	I - 001	0

**RTU:** Esta unidad permite el manejo y control de todas las variables censadas en la ERM, igualmente hace la Autocorrección de los volúmenes medidos y los reporta a condiciones estándar. Junto a la RTU están incorporados los Transductores de Presión y Temperatura y las conexiones GPRS que permiten enviar información hasta el Centro de Control, en donde se procesa toda la información de las diferentes ERM y se controla el funcionamiento del Sistema y el balance energético del mismo.

### CONDICIONES DE OPERACIÓN

Las condiciones básicas de operación de las ERM son las descritas a continuación:

Caudal a Manejar: 35 MMPCD y 11 MMPCD.

Presión de Entrada: 270 PSI.

Presión de salida: 270 PSI.

Con estas condiciones básicas de operación se definen los componentes de cada una de las ERM de la siguiente forma.

<b>Título de Documento:</b>	<b>Proyecto N°:</b>	<b>Código del Documento:</b>	<b>Revisión:</b>
VALORIZACIÓN DE UNA ESTACIÓN DE REGULACIÓN Y EL MODELAMIENTO HIDRÁULICO DE UN DUCTO	I0116	I - 001	0

**Tabla N° 11 Análisis de los City Gate requeridos**

COMPONENTE	CITY GATE PARA REFINERIA Y TERMICA	CITY GATE PARA UNIDAD DE COMPRESION
CAUDAL REQUERIDO	35 MPCD	11 MPCD
CAUDAL MAXIMO	HASTA 42 MMPCD	HASTA 12,7 MMPCD
SISTEMAS DE CONTROL DE SOBREPRESION	Slam-Shut tipo Deltaflux de Pietro Fiorentini de 8" ANSI 300	Slam-Shut tipo Deltaflux de Pietro Fiorentini de 4" ANSI 300
SISTEMA DE FILTRACION	Filtro de 18" con conexiones de 8" ANSI 300	Filtro de 16" con conexiones de 4" ANSI 300
SISTEMA DE REGULACION	4 Válvulas tipo Axial Flow de 4" ANSI 300	4 Válvulas tipo Axial Flow de 3" ANSI 300
SISTEMA DE MEDICION	2 Medidor tipo Turbina de 8" ANSI 150	2 Medidor tipo Turbina de 4" ANSI 150
SISTEMA DE ODORIZACION	Odorizador de Inyección con Tanque Almacenamiento de 2.000gal	Odorizador de Inyección con Tanque Almacenamiento de 500gal
CROMATOGRAFO EN LINEA	Cromatógrafo en línea tipo Siemens referencia SINTRANS CV	Cromatógrafo en línea tipo Siemens referencia SINTRANS CV
RTU	Sistema de Electrocorreccion de Flujo y Manejo de Variable 4PLC. Electrocorrector marca Eagle, serie XARTU/1 – LDV	Sistema de Electrocorreccion de Flujo y Manejo de Variable 4PLC. Electrocorrector marca Eagle, serie XARTU/1 – LDV
TUBERIAS Y ACCESORIOS	Tuberias, Valvulas y Accesorios en 8" ANSI 300 Y 150	Tuberias, Valvulas y Accesorios en 4" ANSI 300 Y 150

Según la descripción de los elementos que conforman cada una de las ERM, se encuentra una Equivalencia en los Equipos necesarios en cada Estación con Activos ya definidos en el BAREMO.

#### REFERENTES O EQUIVALENTES:

De acuerdo a las condiciones de operación de las ERM, estas podrían asimilarse a estaciones definidas según **BAREMO, Perú:**

- City Gate de 50-19 – 40.000SM3-H para el caso de las ERM para la Refinería y la Térmica.
- City Gate de 50-19 – 20.000 SM3-H para el caso de la ERM que entrega al Compresor.

<b>Título de Documento:</b>	<b>Proyecto N°:</b>	<b>Código del Documento:</b>	<b>Revisión:</b>
VALORIZACIÓN DE UNA ESTACIÓN DE REGULACIÓN Y EL MODELAMIENTO HIDRÁULICO DE UN DUCTO	I0116	I - 001	0

Los valores del BAREMO se ajustan con el 30% de costos Indirectos y se convierten a dólares, ya que están en soles.

**Tabla N° 12 Inversión de los City Gates requeridos**

		<b>CITY GTE PARA REFINERÍA Y TÉRMICA</b>	<b>CITY GATE PARA UNIDAD DE COMPRESIÓN</b>
EQUIVALENTE BAREMO-PERÚ	DESCRIPCIÓN	CITY GATE DE 50-19 40.000 SM <sup>3</sup> -H	CITY GATE DE 50-19 20.000 SM <sup>3</sup> -H
	VALOR(USD)	556.948	461.833

Título de Documento:	Proyecto N°:	Código del Documento:	Revisión:
VALORIZACIÓN DE UNA ESTACIÓN DE REGULACIÓN Y EL MODELAMIENTO HIDRÁULICO DE UN DUCTO	I0116	I - 001	0

## 5 SISTEMA DE COMPRESIÓN EN LÍNEA

La Estación City Gate, entregará el gas a una presión promedio de 270 PSI, este gas para ser llevados a los sitios de consumo, debe pasar previamente por una unidad de compresión en donde se le incrementará la presión de operación a 650 PSI, presión necesaria para que los sistemas de Distribución operen adecuadamente.

### CONDICIONES DE OPERACIÓN

Presión de Succión: 270 PSI

Presión de Descarga: 650 PSI

Caudal: 11 MMPCD

Tipo de Compresor: Compresor Centrifugo accionado por Turbina a gas.

De acuerdo con las Solicitud del Distribuidor se piensa instalar un conjunto Integrado por un compresor y una turbina de Gas, buscando mantener eficiencias operativas y programas integrados de Operación y Mantenimiento Futuro, el Modelo propuesto es un SATURN 20 fabricado por la compañía Solar Turbines A Caterpillar Company. Independiente del Modelo o Tipo de compresor que se instale, los cálculos de los valores se realizan con modelos de sistemas de capacidad instalada, bajo una relación de Inversión vs Hp Instalado.

Para el cálculo de esta relación usaremos algunas publicaciones relacionadas con el tema como son:

**OIL AND GAS JOURNAL:** cifras promedio de costos de compresión en Estados Unidos de América, EUA, para el período 2003 a 2010, según publicaciones de OGJ Volume 8, November 1, 2010:

<b>Título de Documento:</b>	<b>Proyecto N°:</b>	<b>Código del Documento:</b>	<b>Revisión:</b>
VALORIZACIÓN DE UNA ESTACIÓN DE REGULACIÓN Y EL MODELAMIENTO HIDRÁULICO DE UN DUCTO	I0116	I - 001	0

**Tabla N° 13 Costos de compresión Estados Unidos**

<b>Anexo 25. Costos medios de compresión en Estados Unidos de América</b>			
<b>Año [1]</b>	<b>Nueva capacidad instalada total (HP)</b>	<b>USD/HP (corrientes)</b>	<b>USD/HP (cifras a dic. 2009) [2]</b>
2009 - 2010	239.681	2.178	2.178
2008 - 2009	295.156	1.107	1.107
2007 - 2008	196.117	1.676	1.748
2006 - 2007	96.193	1.935	2.049
2005 - 2006	105.812	1.198	1.297
2003 - 2004	467.690	1.222	1.371
2002 - 2003	490.397	1.296	1.466

Fuentes: - Oil&Gas Journal (OGJ) Volume 108, issue 41, November 1, 2010. "Natural gas pipelines continue growth despite lower earnings; oil profits grow"  
- OGJ Vol. 107, issue 34, September 14, 2009. "Special Report: Pipeline profits, capacity expansion plans grow despite increased costs"  
- OGJ Vol. 106, issue 33, September 1, 2008. "Natural gas pipeline profits surge; oil flat"  
- OGJ Vol. 105, issue 33, September 3, 2007. "Special Report: US oil carriers' 2006 net incomes rebound; labor increases push up construction costs"  
- OGJ Vol. 104, issue 34, September 11, 2006. "Special Report: US gas carriers' 2005 net income climb; construction costs plummet"  
- OGJ Vol. 102, issue 32, August 23, 2004. "US construction plans slide; pipeline companies experience flat 2003, continue mergers"  
- OGJ Vol. 101, issue 34, September 8, 2003. "US pipeline companies solidly profitable in 2002, scale back construction plans"

[1] Comprende el periodo julio 1 a junio 30 del siguiente año  
[2] Las cifras se actualizan con el PPI serie ID: WPSSOP3200 definido en la Res. CREG 126 de 2010  
NOTA: las cifras corresponden a promedio ponderado por cantidad de caballos instalados.

**SNC-LAVALIN Itansuca:** Estudio EIS-IN-X-010-A01, elaborado para la CREG, Circular 011 de 2012. Anexo 1 en donde en su numeral 2.1.6. Estima el Costo Unitario de Compresión en US\$/HP, tomando como base información de Proyectos instalados en Argentina:

<b>Título de Documento:</b>	<b>Proyecto N°:</b>	<b>Código del Documento:</b>	<b>Revisión:</b>
VALORIZACIÓN DE UNA ESTACIÓN DE REGULACIÓN Y EL MODELAMIENTO HIDRÁULICO DE UN DUCTO	I0116	I - 001	0

**Tabla N° 14 Costos unitarios de estación de compresión**

**2.1.6. COSTOS UNITARIOS DE LA ESTACIÓN DE COMPRESIÓN (US\$/HP)  
(MATERIALES E INSTALACIÓN)**

La Tabla 1 muestra un resumen de los costos unitarios totales correspondientes a plantas compresoras construidas y proyectadas en Argentina entre los años 2002 y 2005, actualizados al año 2010 utilizando la variación de precios internacionales del acero de la Figura 1 y la variación del costo de la mano de obra en la construcción en Argentina en dólares (datos del INDEC) mostrada en la Figura 4. A partir de datos en Argentina, para las estaciones de compresión se utiliza una ponderación del 80% de la variación de los precios internacionales del acero y un 20% de la variación de la mano de obra en la construcción. Esto es así en razón de la elevada proporción del costo de los compresores y otros equipos importados en relación con las tareas constructivas en una planta compresora.

El valor promedio obtenido para el costo unitario de estaciones de compresión, considerando materiales e instalación, es de **2763 US\$/HP** con un desvío estándar de 212 US\$/HP.

Tabla 1. Costos reales de plantas de compresión instaladas en Argentina

	Año	Potencia	Costo	Costo Unitario	
				U\$/HP	U\$/HP actualizado 2010
		HP	MMU\$	U\$/HP	U\$/HP
Pichanal	2002	15000	16.6	1109	2855
Expansiones TGN - G. Norte	2005	10000	18.5	1850	2799
Expansiones TGN - G. Norte	2005	17000	32.9	1935	2928
Expansiones TGN - G. Norte	2005	37000	69.8	1886	2854
Expansiones TGN - G. Norte	2005	57000	88.2	1547	2341
Expansiones TGN - C. Oeste	2005	10000	18.5	1850	2799

**COMISIÓN DE REGULACIÓN DE ENERGÍA Y GAS, CREG, COLOMBIA:** En su Resolución 160 de 2014, solicitud de revisión tarifaria, presentada por la empresa Transportadora de Gas Internacional S.A. E.S.P., TGI S.A. E.S.P. se aprueban las nuevas inversiones eficientes para aumento de capacidad en estaciones Compresoras:

<b>Título de Documento:</b>	<b>Proyecto N°:</b>	<b>Código del Documento:</b>	<b>Revisión:</b>
VALORIZACIÓN DE UNA ESTACIÓN DE REGULACIÓN Y EL MODELAMIENTO HIDRÁULICO DE UN DUCTO	I0116	I - 001	0

**Tabla N° 15 Inversiones eficientes por aumento de capacidad de estaciones compresoras**

**Anexo 3. Inversiones en Aumento de Capacidad**

El Anexo 6 de la Resolución CREG 110 de 2011 quedará así:

**“Anexo 6**

**Inversiones en Aumento de Capacidad**

Tramos o grupos de gasoductos	Longitud (km)	Diámetro (pulg.)	Potencia (HP)	mes y año de entrada en operación	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
					USD de diciembre 31 de 2009				
<b>Total</b>					<b>184.588.135</b>	<b>70.835.110</b>	<b>11.142.937</b>	-	-
<b>Vasconia - La Belleza</b>					<b>32.003.746</b>	-	-	-	-
Loop La Belleza - El Camilo	34,8	16,0	-	Sep. 2011	32.003.746	-	-	-	-
<b>La Belleza - El Porvenir</b>					<b>99.876.140</b>	<b>28.464.006</b>	-	-	-
Loop Porvenir - Miraflores	53,9	20,0	-	Feb. 2012	39.338.457	28.464.006	-	-	-
Loop Miraflores - Semacá	49,6	20,0	-	Sep. 2011	48.674.043	-	-	-	-
Loop Santa Sofía - Puente Guillermo	13,2	20,0	-	Sep. 2011	11.863.640	-	-	-	-
<b>Cusiana - El Porvenir</b>					<b>28.512.064</b>	-	-	-	-
Loop Cusiana - El Porvenir	32,4	20,0	-	Sep. 2011	28.512.064	-	-	-	-
<b>Mariquita - Gualanday</b>					<b>7.481.779</b>	-	-	-	-
Estación Compresora Mariquita	-	-	1.760	Sep. 2011	7.481.779	-	-	-	-
<b>Gasoducto de La Sabana</b>					<b>16.714.405</b>	<b>27.857.342</b>	<b>11.142.937</b>	-	-
Estación Compresora Chía [1]	-	-	18.840	Jul. 2013	16.714.405	27.857.342	11.142.937	-	-
<b>Grupo de gasoductos ramales</b>					-	<b>14.513.762</b>	-	-	-
Loop Armenia	37,0	8,0	-	Jun. Año 2	-	13.078.423	-	-	-
Loop Chinchiná - Santa Rosa - Dosquebradas	6,0	2,0	-	Jun. Año 2	-	1.435.339	-	-	-

[1] La inversión incluida aquí corresponde al valor eficiente para la estación de Chía en tecnología reciprocante.

Haciendo un resumen de los esquemas aquí mostrados, tenemos que para el caso de Estados Unidos el costo de inversión en compresión por HP instalado es el más bajo, unos \$2,178 US\$/HP, y obedece a que la gran mayoría de equipos instalados son fabricados en este país, y los costos de mano de obra para su instalación igualmente son menores por disponibilidad, movilidad y ubicación, se estima que los sobrecostos de instalación de sistemas de compresión por fuera de EE. UU estarían en un 30%.

Para el caso de diferentes Proyectos aprobados en Colombia, tenemos que los costos en US\$/HP tiene una varianza amplia, dependiendo de su ubicación y de la magnitud de cada proyecto:

<b>Título de Documento:</b>	<b>Proyecto N°:</b>	<b>Código del Documento:</b>	<b>Revisión:</b>
VALORIZACIÓN DE UNA ESTACIÓN DE REGULACIÓN Y EL MODELAMIENTO HIDRÁULICO DE UN DUCTO	I0116	I - 001	0

**Tabla N° 16 Ratio de estaciones compresoras**

DESCRIPCION	ESTACION CHIA	ESTACION MARIQUITA	ESTACION NOREAN	ESTACION VASCONIA	ESTACION MIRAFLOREZ
CAPACIDAD INSTALADA (HP)	18.840	1.760	15.545	8.550	6.670
TOTAL INVERSION US\$	\$ 55.714.684	\$ 7.481.779	\$ 47.196.997	\$ 17.510.724	\$ 13.089.007
RATIO (US\$/HP)	<b>\$ 2.957,3</b>	<b>\$ 4.251,0</b>	<b>\$ 3.036,2</b>	<b>\$ 2.048,0</b>	<b>\$ 1.962,4</b>
					<b>\$ 2.851,0</b>

Teniendo en cuenta los diferentes valores encontrados en modelos similares de sistemas de Compresión, se tiene que el valor medio por HP instalado está en unos \$2,815.12 US\$/HP.

**Tabla N° 17 Ratio medio de estaciones compresoras**

**COSTO PROMEDIO INVERSION US\$/HP INSTALADO**

MODELOS EN COLOMBIA	MODELOS EU	MODELOS ARGENTINA	PROMEDIO GENERAL
\$ 2.851,0	\$ 2.831,4	\$ 2.763,0	<b>\$ 2.815,12</b>

Título de Documento:	Proyecto N°:	Código del Documento:	Revisión:
VALORIZACIÓN DE UNA ESTACIÓN DE REGULACIÓN Y EL MODELAMIENTO HIDRÁULICO DE UN DUCTO	I0116	I - 001	0

## 6 RECOMENDACIONES

A continuación se presenta las recomendaciones resultado del análisis hidráulico y de valorización.

- Una vez realizados los diferentes cálculos para los dos gasoductos de distribución, se recomienda la instalación de tuberías de acero al carbón de 12” y 10” API 5L grado B/X42, para la refinería y la térmica respectivamente.
- Teniendo en cuenta que en el País se ha implementado una Metodología de valoración de activos de acuerdo a costos eficientes, y que en la evaluación de las diferentes estaciones City Gate, se encontró una similitud de acuerdo a la capacidad requerida por el Distribuidor, con un modelo existente en el BAREMO, autorizar las nuevas inversiones de acuerdo a estos costos eficientes.
- Para el Sistema de compresión, que se encargará de entregar gas a un sistema de Distribución del sector regulado, se recomienda no tener capacidad redundante en sistema de compresión, teniendo en cuenta que el equipo a instalar hace parte de sistemas muy eficientes que permiten esquemas de mantenimiento programado, en donde el mercado regulado podría prepararse y usar sistemas alternos durante dichos mantenimientos.
- Para la definición del costo promedio de inversión por HP instalado, y teniendo en cuenta que los cálculos propios pueden tener una desviación de más o menos un 10%, se recomienda ajustar la inversión solicitada por el Agente Distribuidor en su solicitud de Inversiones para el sistema de compresión, tomado el valor de Ratio promedio más el 10% de desviación, es decir **\$3,096,63 US\$/HP**
- Según lo descrito anteriormente se tendría:

<b>Título de Documento:</b>	<b>Proyecto N°:</b>	<b>Código del Documento:</b>	<b>Revisión:</b>
VALORIZACIÓN DE UNA ESTACIÓN DE REGULACIÓN Y EL MODELAMIENTO HIDRÁULICO DE UN DUCTO	I0116	I - 001	0

**Tabla N° 18 Valorización del sistema requerido**

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>VALOR (USD)</b>
ESTACIÓN CITY GATE – ENTREGA SISTEMA DE COMPRESIÓN – 11 MMPCD	461.833,00
ESTACIÓN CITY GATE – REFINERÍA – 35 MMPCD	556.948,00
ESTACIÓN CITY GATE – TERMOELÉCTRICA – 33 MMPCD	556.948,00
SISTEMA DE COMPRESIÓN INCLUYENDO REFRIGERACIÓN – CAPCIDAD INSTALADA DE 1,112 HP Y RATA DE COMPRESIÓN DE 11 MMPCD	3.443.452,56
<b>TOTAL INVERSIÓN (USD)</b>	<b>5.019.181,56</b>

Título de Documento:	Proyecto N°:	Código del Documento:	Revisión:
VALORIZACIÓN DE UNA ESTACIÓN DE REGULACIÓN Y EL MODELAMIENTO HIDRÁULICO DE UN DUCTO	I0116	I - 001	0

## 7 DOCUMENTOS DE REFERENCIA

- CAPEX OPEX Compresores Piura Opción 2 rev 1.
- CIRCULAR 011 DEL 2012 – ANEXO 1 DE LA CREG
- DOCUMENTO CREG 085
- MANUAL DE COMPRESORES SATURN 20 – SOLAR TURBINES
- RESOLUCION CREG 160 DEL 2014
- ARCHIVOS EXCEL BAREMO – ESTACIONES CITY GATE
- RESOLUCION CREG 202 del 2013