

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**CARRERA DE INGENIERÍA PETROLERA**



**DISEÑO DE CITY GATE PARA EL SUMINISTRO DE GAS NATURAL PARA LA  
POBLACIÓN DE VILLAZÓN POTOSÍ MEDIANTE EL GASODUCTO REGIONAL  
“LA QUIACA ARGENTINA”**

**Proyecto de Grado para Obtener el Título de Licenciatura en Ingeniería Petrolera**

POSTULANTE: Iver Callata Apaza

TUTOR: M. Sc. Ing. Pedro Reynaldo Marín Domínguez

LA PAZ – BOLIVIA

2024



**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS  
FACULTAD DE INGENIERIA**



**LA FACULTAD DE INGENIERIA DE LA UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS AUTORIZA EL USO DE LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO SI LOS PROPÓSITOS SON ESTRICTAMENTE ACADÉMICOS.**

**LICENCIA DE USO**

El usuario está autorizado a:

- a) Visualizar el documento mediante el uso de un ordenador o dispositivo móvil.
- b) Copiar, almacenar o imprimir si ha de ser de uso exclusivamente personal y privado.
- c) Copiar textualmente parte(s) de su contenido mencionando la fuente y/o haciendo la cita o referencia correspondiente en apego a las normas de redacción e investigación.

El usuario no puede publicar, distribuir o realizar emisión o exhibición alguna de este material, sin la autorización correspondiente.

**TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS. EL USO NO AUTORIZADO DE LOS CONTENIDOS PUBLICADOS EN ESTE SITIO DERIVARA EN EL INICIO DE ACCIONES LEGALES CONTEMPLADAS EN LA LEY DE DERECHOS DE AUTOR.**

## AGRADECIMIENTO

Antes que todo, agradezco a Dios Padre y Madre Celestiales, por darme la sabiduría para mejorar día a día en cada una de las pruebas y actividades de hacer con mucha voluntad y entusiasmo en mi carrera Profesional.

Agradecer a la Universidad Mayor de San Andrés, carrera de Ingeniería de Petróleo por la información académica y a todos los docentes de Ingeniería de Petrolera que me brindaron conocimiento y apoyo todos los días y lo más importante cambiaron mi forma de ver el mundo.

A mi tutor Ing. Pedro Reinaldo Marín, por apoyarme durante todo el proceso, dándome la oportunidad de utilizar sus habilidades y conocimientos, que fueron de gran utilidad en mi formación profesional, y por tener paciencia conmigo en el desarrollo de mi proyecto.

Mi más sincero agradecimiento al ingeniero Mario Mamani Limachi, quien me guío en la elaboración de mi proyecto durante mis pasantías profesionales gracias a su experiencia, conocimiento y motivación me brindó mucho apoyo durante todo el proceso de elaboración de esta investigación. Siempre respondió a mis preguntas y preocupaciones y dedicó su valioso tiempo a brindarme asesoramiento oportuno y preciso, lo que me ayudó a completar con éxito mi proyecto.

Finalmente, me gustaría agradecer a todos mis compañeros, amigos y a todos los que conocí en mi trayectoria universitaria y que me ayudaron a alcanzar mis metas en la vida.

## **DEDICATORIA**

A mi querida madre Rufina Apaza Massi, quiero dedicarle un profundo agradecimiento por su amor incondicional, y su incansable apoyo durante mi proceso universitario y dio su gran parte de su vida a mi formación y ser una mejor persona, y por ser mi orgullo inmenso.

A mi querido padre Angel Callata Huanca, por brindarme el apoyo inquebrantable en cada paso de esta travesía académica y por la motivación constante para alcanzar mis anhelos.

A mis hermanas Mónica, Claudia y Betty; hermano Hugo que creyeron en mí, fueron un pilar fundamental de mi vida, por ser parte de una familia unida, sus palabras y apoyo de aliento me han impulsado a alcanzar mis metas.

**DISEÑO DE CITY GATE PARA EL SUMINISTRO DE GAS NATURAL PARA LA  
POBLACIÓN DE VILLAZÓN POTOSÍ MEDIANTE EL GASODUCTO REGIONAL  
“LA QUIACA ARGENTINA”**

**ÍNDICE DE CONTENIDO**

<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>ii</b>
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>iii</b>
<b>RESUMEN EJECUTIVO .....</b>	<b>xvii</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>xviii</b>
<b>CAPITULO 1. GENERALIDADES.....</b>	<b>1</b>
1.1 Aspectos Generales.....	1
1.2 Antecedentes.....	2
1.3 Planteamiento del Problema .....	3
1.3.1. Identificación del problema .....	3
1.3.2. Formulación del problema .....	4
1.4. Objetivos.....	4
1.4.1. Objetivo General.....	4
1.4.2. Objetivo Específico.....	4
1.5. Justificación .....	5
1.5.1. Justificación Técnica.....	6
1.5.2. Justificación Económica .....	6
1.5.3. Justificación Social .....	7
1.5.4. Justificación Ambiental .....	7
1.6. Alcance .....	8

1.6.1. Alcance Temático .....	8
1.6.2. Alcance Geográfico .....	8
1.6.3. Alcance Temporal.....	9
1.6.4. Alcance Legal .....	10
<b>CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>11</b>
2.1. Generalidades del gas natural .....	11
2.1.1. Producción de gas natural .....	12
2.1.2. Componentes del gas natural .....	13
2.2. Gas Natural .....	15
2.2.1. Características de composición y parámetros de gas natural.....	16
2.2.1.1. Combustión.....	16
2.2.1.2. Límites de inflamabilidad .....	17
2.2.1.3. Deflagración.....	18
2.2.1.4. Poder calorífico .....	18
2.2.1.5. Poder comburivoro o “aire teórico” .....	19
2.3. Utilidades y aplicaciones del gas natural en la distribución por red primaria y secundaria. ....	19
2.3.1. Uso domestico .....	19
2.3.2. Uso comercial .....	20
2.3.3. Uso industrial .....	20
2.3.4. Uso como combustible para vehículos .....	20
2.4. Ventajas de gas natural. ....	21
2.5. Métodos de transporte de gas natural.....	22
2.5.1. Gasoductos .....	23

2.5.1.1.	Gasoducto de Integración Juana Azurduy.....	25
2.5.1.2.	Gasoducto del Noreste Argentino.....	27
2.5.1.3.	Gasoducto Regional La Quiaca – Argentina.....	28
2.5.2.	Transporte de gas natural licuado (GNL) .....	30
2.5.2.1.	Licuefacción .....	30
2.5.2.2.	Almacenamiento y transporte .....	31
2.5.2.3.	Regasificación .....	33
2.5.2.4.	Distribución y consumo.....	35
2.6.	Punto de transferencia de custodia.....	36
2.7.	Sistema de distribución de gas natural.....	37
2.7.1.	Estación de despacho (City Gates) .....	38
2.7.2.	Red primaria.....	39
2.7.3.	Puente de regulación y medición (PRM) .....	40
2.7.4.	Estación distrital de regulación (EDR) .....	41
2.7.5.	Redes secundarias y gabinetes de medición – regulación .....	41
2.8.	Aspectos técnicos de operación .....	42
2.8.1.	Control de calidad del gas natural. - Artículo 24.....	42
2.8.2.	Presión de operación. - Artículo 25 .....	43
2.9.	Suministro de gas natural por redes .....	43
2.9.1.	Capacidad de redes. - Artículo 26.....	43
2.9.2.	Odorización. – (Artículo 27).....	44
2.9.3.	Transferencia del gas natural. – (Artículo 27) .....	44
2.10.	Medición y equipos de medición .....	44
2.10.1.	Sistema de medición. - (Artículo 48).....	44

2.10.2.	Verificación de la medición. – (Artículo 50).....	45
<b>CAPÍTULO 3: MARCO METODOLOGICO DE CITY GATE .....</b>		<b>46</b>
3.1.	Introducción .....	46
3.2.	Diseño de City Gate .....	47
3.3.	Parámetros para la distribución.....	49
3.4.	Plan de contingencias City Gate .....	51
3.4.	Estaciones de entrega de City Gates .....	51
3.5.	Componentes.....	55
3.5.1.	Etapas de filtración .....	55
3.5.2.	Etapas de calentamiento .....	57
3.5.2.1.	Coeficiente de intercambio de calor. ....	58
3.5.2.2.	Cambio de calor .....	60
3.5.3.	Contadores .....	61
3.5.4.	Registradores de presión y temperatura .....	61
3.5.5.	Etapas de regulación.....	61
3.5.5.1.	Válvula de seguridad (Slam Shut-off): .....	62
3.5.5.2.	Reguladores Piloto tipo Z .....	69
3.5.5.3.	Reguladores Pilotados.....	71
3.5.5.4.	Regulador Auto – Operador .....	72
3.5.5.5.	Reguladores .....	72
3.5.5.6.	Reductores, reguladores de presión .....	73
3.5.6.	Etapas de medición.....	74
3.5.6.1.	Medidores de flujo Volumétrico .....	76
3.5.6.2.	Medidores de Diafragma .....	77



3.5.6.3. Medidores Rotatorios .....	78
3.5.6.4. Medidores de Turbina.....	79
3.5.6.5. Ecuaciones para la etapa de Medición.....	81
3.5.6.6. Determinación del Factor de súper compresibilidad. ....	84
3.5.7. Etapa de odorización.....	84
3.5.7.1. Odorización Mediante Inyección.....	88
3.5.7.2. Odorización por Arrastre.....	89
3.5.7.3. Odorización por Goteo .....	90
3.5.7.4. Odorización por Mecha o Contacto .....	91
3.5.7.5. Historia de Odorización.....	92
3.5.7.6. Compuesto organosulfurosos .....	92
3.6. Estaciones de regulación de distrito (EDR) .....	94
3.6.1. Generalidades.....	94
3.6.2. Componentes de un sistema de distribución de gas.....	95
3.6.3. Composición de una estación de regulación distrital (EDR).....	95
3.6.4. Parámetro básico de diseño.....	96
3.6.5. Requisitos para la instalación de redes de distribución. ....	97
3.7. Reglamento de Diseño, Construcción, Operación de Redes de Gas Natural.....	97
3.8. Identificación del proyecto .....	98
<b>CAPITULO 4: APLICACION PRACTICA .....</b>	<b>99</b>
4.1. Introducción .....	99
4.2. Descripción de la aplicación práctica de la derivación.....	100
4.3. Características técnicas del proyecto .....	101
4.3.1. Ubicación de la derivación del Gasoducto La Quiaca al City Gate Villazón.....	102

4.3.2.	Características del Gasoducto La Quiaca .....	103
4.3.3.	Características del City Gate Villazón .....	104
4.3.3.1.	Esquema de la secuencia de operación del City Gate Villazón .....	106
4.3.3.2.	Elaboración de City Gate en AutoCAD.....	107
4.3.3.3.	Esquema de City Gate .....	107
4.3.3.4.	Isometría de City Gate.....	109
4.4.	Determinación de diámetro para varias presiones en el punto de inicio.....	109
4.5.	Diseño de la derivación del Gasoducto al City Gate .....	111
<b>CAPITULO 5. ANALISIS TECNICO ECONOMICO .....</b>		<b>112</b>
5.1.	Introducción. ....	112
5.2.	Análisis económico a la distribución de Gas Natural .....	112
5.2.1.	Cantidad de usuarios. ....	113
5.2.1.1.	Cantidad de usuarios en la población de Villazón. ....	113
5.2.1.2.	Cantidad de usuarios en la población de Uyuni. ....	114
5.2.1.3.	Cantidad de usuarios en la población de Tupiza .....	115
5.2.2.	Volúmenes comercializados .....	116
5.2.2.1.	Volumen comercializado en Villazón .....	116
5.2.2.2.	Volumen comercializado en Uyuni.....	117
5.2.2.3.	Volumen comercializado en Tupiza.....	118
5.2.3.	Volúmenes transferidos de YPFB transportes a estación satelital de regasificación ubicado en la población de Villazón.....	119
5.2.4.	Consumo de gas natural en la ciudad de Potosí.....	120
5.3.	Propuestas del diseño mecánico.....	121
5.3.1.	Capacidad del diseño .....	121

5.3.2. Criterios del diseño .....	122
5.3.3. Condiciones de operación .....	122
5.3.3.1. Presión de operación .....	123
5.3.3.2. Caudales de operación .....	123
5.3.3.3. Temperatura de operación .....	124
5.3.4. Calculo de velocidad de erosión .....	125
5.3.5. Velocidad de operación.....	128
5.3.6. Calculo de tubería .....	129
5.3.6.1. Tubería de alta presión .....	130
5.3.6.2. Tubería de media presión .....	131
5.3.7. Arreglo general de la instalación .....	132
5.3.8. Revisión hidráulica (escenarios) .....	133
5.3.9. Equipamiento .....	133
5.3.9.1. Calentadores de gas .....	133
5.3.9.2. Calentador a gas.....	134
5.3.9.3. Instrumentación.....	135
5.3.9.4. Filtros de separadores.....	136
5.3.9.5. Tambor de condensado .....	137
5.4. Diseño de equipamiento eléctrico .....	138
5.4.1. Diseño del sistema de puesta a tierra .....	138
5.4.1.1. Características del terreno .....	138
5.4.1.2. Parámetro del diseño.....	138
5.5. Cálculos de la disminución de precio en la compra de materiales .....	139
5.5.1. Costo de materiales para una tubería de SCH 80.....	139

5.5.2. Costo de materiales para una tubería SCH 40. ....	140
5.6. Cálculo de la disminución de precios en los trabajos de obras civiles y mecánicas. 142	
5.7. Cálculo de la disminución total.....	143
5.8. Cálculo de los ingresos anuales .....	143
5.9. Cálculo de flujo de caja.....	143
5.10. Cálculo y análisis de resultado del TIR y VAN.....	145
5.10.1. Cálculo del valor actual neto (VAN).....	145
5.10.2. Cálculo de la tasa de interés de retorno (TIR).....	145
<b>CAPITULO 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>147</b>
6.1. Conclusiones.....	147
6.2. Recomendaciones .....	148
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>149</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>152</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Composición general del gas natural _____	14
Tabla 2: Estimación de demanda de gas natural: Villazón, Uyuni y Tupiza _____	32
Tabla 3: Esquema de distribución de gas natural _____	37
Tabla 4: Aspectos técnicos de city gate _____	51
Tabla 5: Coeficiente típico de transferencia de calor _____	59
Tabla 6: Comparativa de medidores Volumétricos (Cortesía Itron / Actaris) _____	76
Tabla 7: Identificación del proyecto _____	98
Tabla 8: Componentes del City Gate Villazónponentes del City Gate Villazón _____	105
Tabla 9: Descripción de City Gate _____	108
Tabla 10: Caída de presión en diferentes diámetros para Q=848 MPCD _____	110
Tabla 11: Cantidad de usuarios con gas natural suministradas mediante la ESR en Villazón. _____	113
Tabla 12: Cantidad de usuarios con gas natural suministradas mediante la ESR en Uyuni.	114
Tabla 13: Cantidad de usuarios con gas natural suministradas mediante la ESR en Tupiza	115
Tabla 14: Volumen de gas natural comercializado en Villazón _____	116
Tabla 15: Volumen de gas natural comercializado en Uyuni _____	117
Tabla 16: Volumen de gas natural comercializado en Tupiza _____	118
Tabla 17: Total de volúmenes comercializados de gas natural y suministrados mediante las ESR _____	119
Tabla 18: Consumo de gas natural en la 4 categoría en la Ciudad de Potosí _____	120
Tabla 19: Condiciones de presión _____	123
Tabla 20: Caudales de Operación _____	123

Tabla 21: Temperatura de Operación _____	124
Tabla 22: Datos para el cálculo de la velocidad _____	126
Tabla 23: Constante para el cálculo de la velocidad erosional _____	126
Tabla 24: Velocidad Erosional y velocidad máxima _____	127
Tabla 25: Primera aproximación del diámetro _____	129
Tabla 26: Calculo de los diámetros de tuberías _____	130
Tabla 27: Resultados del cálculo de diámetro de alta presión _____	131
Tabla 28: Datos para el cálculo de diámetro de media presión (red de acero) _____	131
Tabla 29: Resultados del cálculo de diámetros de media presión (red de acero) _____	132
Tabla 30: Ficha técnica calentadores de gas _____	133
Tabla 31: Ficha técnica calentadores a gas _____	134
Tabla 32: Condiciones de diseño sistema de Odorizacion _____	135
Tabla 33. Ficha técnica filtros separadores _____	136
Tabla 34: Ficha técnica tambor de condensados _____	137
Tabla 35: Costo de materiales para una tubería de SCH 80. _____	139
Tabla 36: Costo de, Materiales SCH 40. _____	140
Tabla 37: Diferencia de Costos de la Tubería en Uso _____	141
Tabla 38: Costo de Obras Civiles y Mecánicas. _____	142
Tabla 39: Calculo de flujo de caja _____	143

## ÍNDICE DE FIGURA

Figura 1 Villazón - Potosí _____	8
Figura 2: Lugar del Proyecto _____	9
Figura 3: Esquema básica de Extracción de gas natural _____	13
Figura 4: Combustión de metano _____	17
Figura 5: Usos de gas natural _____	21
Figura 6: Cadena de gas natural _____	22
Figura 7: Mapa Energético de Bolivia _____	24
Figura 8: Exportación de Gas boliviano a Argentina _____	25
Figura 9: Estación de Compresión Campo Grande _____	26
Figura 10: Turbocompresores de Estación de Compresión Campo Grande _____	26
Figura 11: El Gasoducto del Noreste Argentino _____	28
Figura 12: Transporte y Distribución de Gas - Prov. de Jujuy, Argentina. _____	29
Figura 13: Cadena de distribución de GNL _____	30
Figura 14: La Planta de Separación de Líquidos de Rio Grande _____	31
Figura 15: Cisternas criogénicas de gas natural _____	32
Figura 16: Estación de Regasificación – ER’s Duración _____	34
Figura 17: ESR – Villazón _____	34
Figura 18: ESR – Tupiza _____	34
Figura 19: ESR – Villazón _____	35
Figura 20: Distribución de gas natural _____	38
Figura 21: City Gate Betanzos – Potosí _____	39
Figura 22: Tuberías de red primaria SCH 40 de 6” DN. _____	40

Figura 23: Estación Distrital de Regulación _____	41
Figura 24: Tendido de red secundaria _____	42
Figura 25: Derivación de red secundaria a la acometida _____	42
Figura 26: Línea de Bypass _____	48
Figura 27: Etapas de un City Gate _____	52
Figura 28: City Gate del Municipio de Chaqui – Potosí _____	53
Figura 29: Filtros para gas natural _____	57
Figura 30: Válvula de seguridad _____	62
Figura 31: Manga y jaula ensambladas juntas con un simple perno _____	66
Figura 32: Posición cerrada _____	66
Figura 33: Posición semi abierta o de estrangulamiento _____	67
Figura 34: Posición abierta _____	68
Figura 35: Regulador piloto tipo Z _____	69
Figura 36: Tipos de sistema de regulación _____	71
Figura 37: Elementos que compone un regulador _____	73
Figura 38: Regulador francel _____	74
Figura 39: Factores que determina la medición del gas natural _____	75
Figura 40: Medidor de Diafragma _____	77
Figura 41: Medidor de tipo Rotativo, Cuatro (4) ciclos completan una revolución _____	78
Figura 42: Medidor de Orificio _____	79
Figura 43: Medidor de Turbina _____	80
Figura 44: Sistema de odorización _____	85
Figura 45: Etapa de odorización _____	88



Figura 46: Sistema de odorización por inyección para redes de gas natural _____	89
Figura 47: Sistema de odorización por arrastre _____	90
Figura 48: Odorizador de goteo _____	90
Figura 49: Sistema de Odorización por mecha o contacto _____	91
Figura 50: Perfil de la derivación. _____	100
Figura 51: Ubicación del lugar de la derivación. _____	102
Figura 52: Componentes del City Gate Villazón _____	105
Figura 53: Etapas del City Gate Villazón. _____	106
Figura 54: City Gate en AutoCAD _____	107
Figura 55: Esquema de City Gate _____	107
Figura 56: Isometría de City Gate _____	109
Figura 57: Curva de presión para caudal demandada _____	110
Figura 58: Diseño de derivación. _____	111

## RESUMEN EJECUTIVO

El presente proyecto consiste, en buscar un intercambio de volúmenes de gas natural con Argentina para suministrar gas al sur de boliviano, a ser entregado en Yacuiba y recibido en Villazón. Para ello se realizó el diseño de City Gate para el suministro de gas natural a la población de Villazón Potosí, a través del gasoducto regional La Quiaca Argentina, implica la creación de una estación de recepción y distribución de gas natural que garantiza la calidad, seguridad y continuidad de suministro en la ciudad de Villazón.

Así disminuir las pérdidas generadas por la venta de Gas Natural actualmente mediante el sistema de GNL, la cual se distribuye por el gasoducto virtual ESR (Estación Satelital de regasificación) en la Poblacion de Villazón y el objetivo del proyecto es reemplazándola a través de la alternativa de Suministro de Gas Natural por el sistema convencional.

El City Gate es el punto de entrada del gasoducto donde se realiza la recepción, medición y regulación del gas natural proveniente de La Quiaca. En este punto, se lleva a cabo el proceso de despresurización, filtrado y tratamiento del gas, garantizando su calidad y seguridad. Una vez que el gas natural ha sido procesado en el City Gate, se distribuye a través de una red de tuberías a los usuarios finales de Villazón y sus alrededores. Esta red de distribución se encarga de llevar el gas natural a los hogares, comercios e industrias, asegurando un suministro confiable y continuo.

A través de la alternativa de conexión al sistema de distribución da gas natural al Gasoducto regional La Quiaca Argentina se adicionará por parte del Estado Plurinacional de Bolivia en la venta del Gas Natural para la República Argentina un aporte adicional de volúmenes destinados para la población de Villazón. Así para cubrir la demanda de gas natural en el sector industrial y GNV.

## INTRODUCCIÓN

El uso de gas natural como fuente de energía es más limpio y menos contaminante en comparación con otras fuentes de energía convencionales. Al cubrir la demanda de gas natural a través del Gasoducto Regional del Norte Argentino, se promoverá la transición hacia una matriz energética más sostenible. Este gasoducto permitirá provisión del energético a sectores industriales y GNV, esto incluye la generación de empleo, el impulso al desarrollo económico local y la atracción de inversiones en sectores que dependen de gas natural.

Los gasoductos por donde exportamos gas natural hacia Argentina, son la principal vía para el transportar y garantizar el suministro de gas natural a la población de Villazón, es por esta razón que se vuelve de gran importancia la optimización de las derivaciones que se realiza en el gasoducto La Quiaca Argentina. Y para ello se deberá llegar a un intercambio (swap) de energético con energía Argentina S.A (ENARSA) y acuerdos de la parte política, financiera y técnica.

Con este estudio propuesto se pretende realizar la construcción de la derivación del Gasoducto Integración La Quiaca al City Gate Villazón que se encuentra ubicado en la ciudad de Potosí – Bolivia, con una tubería de diámetro nominal 6 plg, cuya presión es de 100 kg/cm<sup>2</sup> y una longitud aproximado de 5000 metros. La derivación debe Cumplir con los Reglamentos Técnicos, lineamientos y procedimientos legales para el Suministro de Gas Natural desde el gasoducto Regional de la Quiaca Argentina.

Así disminuir las pérdidas generadas por la venta de Gas Natural actualmente mediante el sistema de GNL, la cual se distribuye por el gasoducto virtual ESR (Estación Satelital de regasificación) en la Población de Villazón y el objetivo del proyecto es reemplazándola a través de la alternativa de Suministro de Gas Natural por el sistema convencional.

## CAPITULO 1. GENERALIDADES

### 1.1 Aspectos Generales

En este documento se desglosa el tema de Diseño de City Gate, las cuales son estaciones encargados de recibir el gas de los sistemas de transporte, filtrarlo, medirlo, odorizarlo y regularlo, para posteriormente dirigir al sistema de distribución, red de gas domiciliario. Además, se explicará los instrumentos que conforman una estación de distribución como lo son cajas de inspección, válvulas y sistemas de control, tuberías, y además accesorios con objetivo de regular el gas natural. Asimismo, se nombrará las normas más importantes que se debe tener en cuenta en todo el proceso encargada por YPFB. Se realiza un estudio del sistema de estación de City Gate como ingresa a las redes de gas.

Realizar un estudio en una derivación es muy importante antes de ejecutar el proyecto, debido a que nos permitirá realizar el diseño adecuado y con todos los requerimientos de seguridad, ya que un buen diseño dependerá de tomar en cuenta todas las características, propiedades y la factibilidad de obtener en el mercado las herramientas y accesorios a utilizar. (Castillo, 2020, pág. 1)

El presente trabajo consiste en el Diseño de City Gate, para suministrar gas natural a la población de Villazón - Potosí, mediante el Gasoducto Regional La Quiaca Argentina, donde el presente proyecto nos permitirá la reducción de pérdidas generadas por la venta de gas natural actualmente por medio del sistema GNL, así remplazándola a través del suministro de gas natural por el sistema convencional.

## 1.2 Antecedentes

El Gasoducto de Integración Juana Azurduy (GIJA) permite el transporte de gas Mercado de Exportación desde Campo Grande hasta Madrejones en territorio boliviano, y en el lado argentino hasta Campo Durán. Tiene una longitud total de 48km, 13 en territorio boliviano y 35 en Argentina, con una tubería de 32 pulgadas de diámetro. El objetivo inicial del proyecto fue la incrementación de los envíos de gas natural desde Bolivia hacia Argentina. El gasoducto es una operación conjunta de Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos (YPFB) y Enarsa Argentina S.A.

En la actualidad Bolivia está teniendo un alto nivel de crecimiento en el ámbito de gasoductos junto en el número de usuarios de gas natural, de tal forma YPFB empresa petrolera estatal, tiene el derecho de cumplir con las necesidades de hidrocarburos que tenga la población Boliviana, como establece la Ley de Hidrocarburos 3058 del 18 de mayo del 2005 en su Artículo N°6, el D.S. N°1996 Reglamento de Distribución de Gas Natural por Redes del 14 de mayo del 2014 en su Artículo N°7, y el Reglamento de Transporte de Hidrocarburos por Ductos D.S. N°29018 del 31 de enero del 2007 en su Artículo N°3, cumplir con el objetivo de suministrar el combustible; este mismo debe buscar los mecanismos técnicos, financieros y legales para concretar el suministro.

En el marco de la Política de Gobierno, relacionada con la ampliación del uso y consumo masivo de gas natural en el mercado interno, Yacimiento Petrolíferos Fiscales Bolivianos tiene la responsabilidad de construir sistemas de distribución de Gas Natural en todo el territorio Nacional.

Actualmente la Población de Villazón cuenta con una Estación Satelital de Regasificación (GNL) con 7559 usuarios domésticos y 6 usuarios comerciales, y la proyección del emplazamiento de una Estación de Gas Natural Vehicular.

## 1.3 Planteamiento del Problema

### 1.3.1. Identificación del problema

Actualmente la Población de Villazón cuenta con una Estación Satelital de Regasificación (GNL) con 7879 usuarios domésticos, 13 usuarios comerciales, 1 Estación de servicio Antofagasta de GNV y la proyección del emplazamiento de una Estación de Gas Natural Vehicular.

Según los montos estimados en el Informe de Ventas y Costo de Ventas de Gas Natural del Distrito de Redes de Gas Potosí, registra para la población de Villazón, hubo una pérdida de 10.669.187,33 (Diez millones seiscientos sesenta y nueve mil cientos ochenta y siete 33/100 bolivianos), por venta de Gas Natural mediante con el gasoducto virtual ESR (Estación Satelital de Regasificación)

Las pérdidas económicas son debido a la licuefacción es donde que se hace el cambio de estado ocurre cuando una sustancia pasa de estado gaseoso al líquido, y otro factor es por el sistema de transporte es cuando se traslada el combustible en cisternas especiales de la planta de GNL que está en Rio Grande en Santa Cruz hasta Villazón y también por la regasificación de gas natural donde que el GNL vuelve a su estado gaseoso.

La demanda de gas natural en la población de Villazón y su área de influencia ha crecido considerablemente en los últimos años como consecuencia al crecimiento de la población y el incremento de las actividades industriales, transporte, comercio, turismo, y el consumo de gas natural domiciliario. Por lo cual se realiza el diseño de City Gates, para cumplir con las demandas de gas natural a la población de Villazón, mediante el gasoducto regional La Quiaca Argentina. Así poder reducir las pérdidas económicas por sistema virtual cambiando la línea de transporte a sistema convencional.

### **1.3.2. Formulación del problema**

¿De qué manera será el diseño de City Gate para el suministro de gas natural para la población de Villazón Potosí, mediante el gasoducto regional “la Quiaca Argentina”?

## **1.4. Objetivos**

### **1.4.1. Objetivo General**

Implementar un diseño de City Gate para el suministro de gas natural para la población de Villazón Potosí, mediante el gasoducto regional “la Quiaca Argentina”

### **1.4.2. Objetivo Específico**

- Disminuir las pérdidas generadas por la venta de Gas Natural actualmente mediante el sistema de GNL reemplazándola a través de la alternativa de Suministro de Gas Natural por el sistema convencional.
- Presentar una descripción clara y precisa acerca del proceso al que se somete el gas natural para realizar la transferencia de custodia, regulación de presión y posterior distribución.
- Realizar el análisis para la evaluación del diseño del City Gate, para la red secundaria de la población de Villazón.
- Determinar la ubicación, el tamaño, los aspectos técnicos y la tecnología requerida para el funcionamiento eficiente del proyecto.
- Cumplir con los Reglamentos Técnicos, lineamientos y procedimientos legales para el Suministro de Gas Natural desde el gasoducto Regional de la Quiaca Argentina.
- Cuantificar los costos de inversión de cada diseño y realizar una comparación de costos y beneficio y la factibilidad para la implementación del proyecto.

### 1.5. Justificación

Se escoge la ciudad de Potosí, específicamente las poblacion de Villazón, por contar la misma con redes de distribución de gas natural en su totalidad mediante Estación Satelital de Regasificación (ESR).

Mediante los montos estimados en el informe presentado por la Unidad Distrital de Administración y Finanzas del Distrito de Redes de Gas Potosí, se observan pérdidas por la venta de Gas Natural en las poblaciones que cuentan con Estaciones Satelitales de Regasificación (Villazón). Las pérdidas registradas en las poblacion de Villazón suman un total de: 10.669.187,33 (Diez millones seiscientos sesenta y nueve mil ciento ochenta y siete 33/100 bolivianos)

Con la implementación de este proyecto se pretende disminuir las pérdidas generadas por la venta de Gas Natural actualmente mediante el sistema de GNL reemplazándola a través de la alternativa de Suministro de Gas Natural por el sistema convencional.

Por tanto, se busca un intercambio de gas natural con Argentina para suministrar al sur boliviano, por medio de los gasoductos de exportación, en donde Bolivia solo gastaría en los costos de alquiler de los Gasoductos de Norte Argentino. En donde el gas natural se adicionaría por parte del Estado Plurinacional en la venta del Gas Natural para la Republica Argentina un aporte adicional de volúmenes destinados para la población de Villazón.

Con la finalidad de garantizar el suministro de gas natural a las poblaciones de Villazón, Tupiza, Atocha y Uyuni, Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos (YPFB) busca llegar a un acuerdo de intercambio (swap) del energético con Energía Argentina SA (Enarsa), asegura el informe del ministro de Hidrocarburos, Fernando Vincenti, a Diputados. (Nacional, 2010)



### **1.5.1. Justificación Técnica**

La demanda de gas natural en nuestro país, por diversos usuarios, abarca desde termoeléctricas, cementeras, estaciones de servicio (GNV), comercial y de uso domiciliario, ha crecido considerablemente. Esta diversidad de usuarios y la magnitud de incremento de requerimiento de gas natural para consumo interno, crea la necesidad de detallar un diseño de City Gate para suministrar el gas natural desde el Gasoducto Norte Argentino.

La realización del presente trabajo es posible porque se cuenta con la disponibilidad de los datos necesarios y el acceso permanente a la infraestructura para realizar un estudio minucioso y detallado. Además, se cuenta con la seguridad de que el proyecto es aplicable ya que se puede diseñar el City Gate para poder mejorar la distribución de gas natural en la población de Villazón.

El proyecto es importante debido a que busca la factibilidad social y económica a través de mejorar la distribución de Gas Natural, creando un sistema de codificación de tuberías, líneas eléctricas y equipos, además del diseño de un plan de implementación de la propuesta y un análisis del costo beneficio de la implementación del proyecto.

### **1.5.2. Justificación Económica**

El presente proyecto de diseño de un City Gate tiene la finalidad de maximizar la disponibilidad del gasoducto, en donde YPFB pueda buscar un intercambio de gas natural con Argentina para suministrar al Sur boliviano, con el propósito de aumentar la venta de gas y así mismo aumentar el sistema productivo económico de la población permitiendo tener un gran avance económico.

Como es conocimiento de todos los bolivianos y bolivianas, la comercialización de gas natural genera regalías en beneficio del país, en este sentido remplazando suministro de gas natural a través por el sistema convencional generaría más regalías.

Por otra parte, todos los usuarios tienen el derecho de cancelar por un servicio de calidad y que el volumen de gas natural suministrado sea el correcto.

### **1.5.3. Justificación Social**

La distribución de gas natural por redes primarios y secundarias, en el mercado interno es un derecho de todo los bolivianos y bolivianas, y como tal, tenemos la obligación de proporcionarles un servicio que garantice el suministro de este hidrocarburo de manera ininterrumpida y a un precio justo, a través de un sistema moderno de medición y operación.

Debido a la expansión demográfica, y el aumento de la demanda de Gas Natural en el departamento, es muy importante proyectar un City Gate de Gas Natural optimizado para las poblaciones y las empresas industriales, como ser la fábrica cementera, un Estación de servicio Antofagasta de (GNV) y la proyección del emplazamiento de una Estación de Gas Natural Vehicular, con ello satisfacer las necesidades del sur de Potosí.

Este proyecto busca potencializar a los pobladores del área urbana y a las empresas del departamento que utilizan el Gas Natural como generación de energía, con el fin contribuir en desarrollo económico y energético del departamento, con disponibilidad de energías limpias o con un bajo impacto ambiental.

### **1.5.4. Justificación Ambiental**

El proyecto es importante debido que al tener una configuración más eficiente para la distribución de Gas Natural reducirá significativamente la emisión de gases contaminantes al medio ambiente, por otra parte, no será necesario la construcción de una nueva red de tuberías City Gate evitando los contaminantes medio ambientales que estas generan, de esta manera se cuidara

el medio ambiente de la zona donde se desarrollara el proyecto, lo cual permitirá la reacción e intervención inmediata del personal responsable, previniendo de esta manera daños ambientales.

## 1.6. Alcance

### 1.6.1. Alcance Temático

El tema de la investigación está destinado a la configuración eficiente del City Gate para la distribución del gas, también así pueda servir para futuras configuraciones.

Dentro del estudio se analizará la demanda actual de Gas Natural en el departamento, y su uso, la codificación de tuberías y equipos del City Gate, además de su configuración optimizada, plan de implementación, análisis de costos, y análisis de beneficios.

### 1.6.2. Alcance Geográfico

El estudio se realizará en la localidad de Villazón capital de la provincia de Modesto Omiste del departamento de Potosí municipio fronterizo del sur de Bolivia, su población se estima en 50.004 habitantes (2020). La ciudad se encuentra sobre la orilla norte del río, en territorio argentino, se encuentra la ciudad de La Quiaca, provincia de Jujuy.

*Figura 1 Villazón - Potosí*



*Fuente: Villazón - AMDEPO*

Villazón se encuentra en la parte sur de la meseta árida del Altiplano boliviano y a una distancia de 347 km de la ciudad de Potosí, y a una altura de 3.400 msnm. Debido a la ubicación interior, el clima es fresco y seco con una temperatura es de montaña, con un promedio de 12 °C y pocas precipitaciones al año y se caracteriza por un clima diurno típico en el que las fluctuaciones de temperatura entre el día y la noche suelen ser significativamente mayores que las fluctuaciones estacionales.

El proyecto de investigación se desarrollará en el departamento de Potosí.

*Figura 2: Lugar del Proyecto*



*Fuente: Sacado de Google Eart, 5/10/2023*

### **1.6.3. Alcance Temporal**

El estudio técnico para la implementación del proyecto de un City Gate en la Población de Villazón, se llevará a cabo durante los meses de febrero, marzo y abril del año 2024, según el calendario académico de la universidad, tendrá un periodo de valides de 1 año, y un tiempo de puesta en marcha de 3 meses. Así mismo el proyecto tendrá una proyección de 10 años según la demanda que tenga la zona en cuestión.

#### 1.6.4. Alcance Legal

Para este proyecto se tomará en cuenta la ley de hidrocarburos que es la reguladora del uso de los recursos hidrocarburíferos, también dentro de esa ley se debe fomentar y desarrollar nuevas y mejores técnicas del aprovechamiento de estos recursos.

Como indica el decreto supremo 1996 en sus reglamentos, el gas natural es un derecho y la distribuidora en este caso la gerencia de YPF – Redes de Gas y Ductos tiene la obligación de garantizar un servicio de calidad e ininterrumpido.



## CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Generalidades del gas natural

El gas natural es una mezcla combustible de gases de gran poder calorífico, formado en las entrañas de la tierra en el curso de un proceso evolutivo de centenares de miles de años. Este es una mezcla de fluidos principalmente Metano (aprox. 98 %) y en proporciones menores etano y propano en estado libre o asociado. Los demás componentes, en muy pequeñas cantidades, son otros gases tales como óxidos de nitrógenos, dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), o vapor de agua.

El gas natural es una mezcla de gases entre los que se encuentra en mayor proporción el metano. La proporción en la que se encuentra este compuesto es del 75% al 95% del volumen total de la mezcla. El resto de los componentes son etano, propano, butano, nitrógeno, dióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno, helio y argón. (Blanco, 2008, pág. 18)

El desarrollo del empleo del gas natural se ha realizado con posterioridad al uso del petróleo. El gas natural que aparecía en casi todos los yacimientos petrolíferos se quemaba como un residuo más. A pesar de su enorme poder calorífico no se podía aprovechar, por los grandes problemas que planteaban su almacenamiento y transporte. (Blanco, 2008, pág. 25)

Además de metano, el gas natural puede contener dióxido de carbono, etano, propano, butano y nitrógeno, entre otros gases. Estos componentes hacen que el uso del gas natural sea contaminante. (Blanco, 2008, pág. 29)

Además de su presencia en yacimientos fósiles, el gas natural puede obtenerse a partir de la descomposición de los restos orgánicos. Este proceso es promovido en plantas de tratamiento especializadas que producen el denominado biogás. (Blanco, 2008, pág. 33)



Cuando las reservas de gas se encuentran en lugares apartados donde no resulta rentable la construcción de gasoductos para llevar el gas a los hogares e industrias, es posible procesar el gas natural para convertirlo en gas natural licuado (GNL). Así, en forma líquida, se facilita su transporte. El GNL suele trasladarse a  $-161^{\circ}\text{C}$ , ya que la licuefacción puede reducir el volumen de gas hasta en 600 veces. (Blanco, 2008, pág. 33)

El gas natural almacenado a altas presiones (entre 200 y 250 bar), se transforma en gas natural comprimido (GNC), un combustible que se utiliza en vehículos ya que resulta económico en comparación a la gasolina. (Blanco, 2008, pág. 42)

Encontrar yacimientos de gas natural, extraerlo, tratarlo, transportarlo y distribuirlo hasta los centros de consumo, es un proceso muy complejo. Exige un largo tiempo de investigación, diseño, preparación, y avanzados recursos tecnológicos para garantizar su utilización segura. El gas natural se obtiene directamente de la naturaleza en los depósitos del subsuelo y es transportado a través de los sistemas de gasoductos hacia cada uno de los puntos de regulación (City Gate).

### **2.1.1. Producción de gas natural**

El procesamiento de gas natural es un complejo proceso industrial diseñado para separar las impurezas y los diversos hidrocarburos no metálicos y fluidos con el objetivo de producir lo que se conoce como gas natural. (Tapia, 2014, pág. 15)

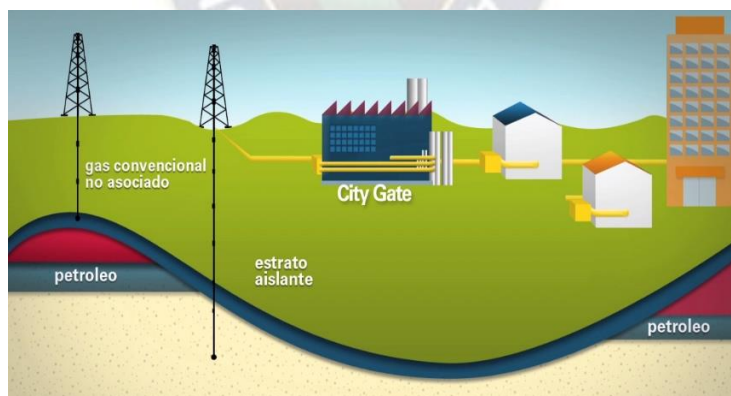
Por lo general, el gas natural está formado principalmente por metano ( $\text{CH}_4$ ), la molécula de hidrocarburo más pequeña y ligera. También contiene cantidades variables de hidrocarburos gaseosos más pesados, gases ácidos y otros gases como: nitrógeno y helio, agua, hidrocarburos líquidos y, en algunos casos, mercurio. (Tapia, 2014, pág. 22)

La práctica actual de procesamiento de gas natural hasta conseguir los estándares de calidad para su transporte mediante gasoductos puede ser bastante compleja, pero por lo general incluye cuatro procesos principales para eliminar las diversas impurezas: (Tapia, 2014, pág. 26)

- Eliminación de petróleo y condensados
- Eliminación de agua
- Separación de líquidos de gas natural
- Eliminación de azufre y dióxido de carbono

Existen muchas maneras de configurar los diversos procesos unitarios utilizados en el procesamiento del gas natural. El siguiente diagrama de flujo por bloques incluye una configuración típica y generalizada de procesamiento de gas natural de pozos de gas no asociados. Explica cómo se procesa el gas natural hasta convertirlo en gas para el consumo y transportarlo por medio de gasoductos hasta los mercados de usuarios finales. (Tapia, 2014, pág. 55)

*Figura 3: Esquema básica de Extracción de gas natural*



*Fuente: Aprende sobre Gas Natural (extracción de gas natural)*

### **2.1.2. Componentes del gas natural**

El gas natural es una mezcla de hidrocarburos gaseosos de origen fósil, que se extrae de yacimientos subterráneos. Su composición original varía según las características de cada



yacimiento, en general el metano representa más del 80%, además contiene etano, propano, butano, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, trazas de hidrocarburos más pesados y agua. Luego de extraído el gas es tratado en diversos procesos y llevado a condiciones de ser transportado (ver especificación de calidad). (Galarza, 2019, pág. 26)

Tabla 1: Composición general del gas natural

<b>RESULTADO DE ENSAYO CROMATÓGRAFO</b>		
<b>COMPONENTE</b>	<b>UNIDADES</b>	<b>21-mar-2022</b>
C1	% Mol	88,8006
C2	% Mol	5,8435
C3	% Mol	2,1394
iC4	% Mol	0,3952
nC4	% Mol	0,5979
iC5	% Mol	0,1915
nC5	% Mol	0,1368
nC6	% Mol	0,079
nC7	% Mol	0,0284
nC8	% Mol	0,0091
nC9+	% Mol	0
N <sub>2</sub>	% Mol	0,7418
CO <sub>2</sub>	% Mol	1,0368
TOTAL	% Mol	100
<b>MÉTODO DE ENSAYO: ASTM D 1945</b>		

Fuente: Cromatografía de gas natural según Agencia Nacional de Hidrocarburos

Todos estos esfuerzos e inversiones se justifican al considerar las ventajas que el gas natural presenta respecto a otros combustibles, entre las cuales vale la pena resaltar las siguientes:

- **Costos:** La utilización del gas natural como combustible para fines domésticos o industriales es menos costosa (una quinta parte) que la energía hidroeléctrica.
- **Limpieza:** La combustión de gas natural produce cantidades muchísimo menor de desechos (humo, hollín, compuestos volátiles tóxicos) que otros combustibles (fuel oil, gasolina, leña, carbón, etc.). En grandes zonas industriales, la utilización masiva del gas natural significa mejorar notablemente la calidad del aire en el ambiente.

- Conservación ambiental: El gas natural es un combustible limpio, no contaminante. El CO<sub>2</sub> expulsado a la atmósfera en la combustión del gas contribuye decisivamente al denominado calentamiento global del planeta, puesto que es un gas que produce el denominado efecto invernadero.

## 2.2. Gas Natural

El gas natural recibe este nombre porque se extrae directamente de la naturaleza y llega a su punto de consumo sin haber experimentado prácticamente ninguna transformación química.

Es la energía fósil menos contaminante y su rendimiento energético es superior al de cualquier otra fuente combustible. Este hecho, añadido a la expansión de su comercio y la extensión de las redes y sistemas de distribución, hace que su utilización este aumentando en todo el mundo.

El gas natural es una fuente de energía fósil que, con el carbón o petróleo, está constituida por una mezcla de hidrocarburos, unas moléculas formadas por átomos de carbono e hidrogeno. Complejos estudios de geología y física permiten encontrar y explorar los yacimientos de gas que centenares de miles de años de acción bacteriana han generado bajo tierra.

El gas natural es un compuesto no toxico, incoloro e inodoro, constituido por una mezcla de hidrocarburos en la que su principal componente es el metano (CH<sub>4</sub>), una molécula sencilla formada por 1 átomo de carbono y 4 átomos de hidrogeno.

Su composición química, no obstante, varia sensiblemente según su procedencia, ya que acostumbra a ir asociada a otra molécula o elementos como el ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S), el anhídrido carbónico (CO<sub>2</sub>), el nitrógeno (N<sub>2</sub>) o el helio (He) que extrae cuando el gas natural se destina a usos industriales y domésticos. (YPFB, 2018)

El origen del gas natural, como el del petróleo, lo debemos buscar en los procesos de descomposición del material orgánico, que tuvieron lugar entre 240 y 70 millones de años atrás, durante la época en la que los grandes reptiles y los dinosaurios habitaban el planeta (Era del Mesozoico). Esta materia orgánica provenía de organismos planctónicos que se fueron acumulando en el fondo marino de plataforma costera o en las cuencas poco profundas de estanques y que fueron enterradas bajo sucesivas capas de tierra por la acción de los fenómenos naturales.

Así, sus compuestos fundamentales, grasas y proteínas se descompusieron muy lentamente en ausencia de oxígeno por la actuación bacteriana. Los gases generados, por diferencia de presiones, ascendiendo por las rocas porosas de la corteza terrestre hasta llegar a capas de terreno impermeable, bajo las que quedaron atrapadas originando las grandes bolsas o yacimientos de los que hoy en día sacamos provecho los humanos.

Este proceso es, salvando las distancias, parecido al que tiene lugar en los vertederos donde tiramos las basuras. El material orgánico que proviene de los restos de fruta, verdura o carne, por ejemplo, cuando se descompone, produce un gas de características similares al gas natural, que debe ser evacuado del vertedero a la atmósfera, mediante una red de tubos de drenaje para evitar que las emanaciones puedan provocar alguna explosión, o bien almacenarse y aprovecharse como combustible: es el denominado biogás. (YPFB, 2020)

## **2.2.1. Características de composición y parámetros de gas natural**

### **2.2.1.1. Combustión**

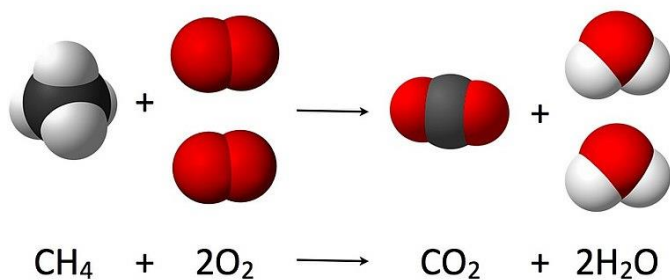
La combustión del gas natural, al ser un combustible fósil, produce un aporte neto de CO<sub>2</sub> a la atmósfera. Esto lo diferencia de otros combustibles más sostenibles como la biomasa, donde la tasa de carbono orgánico producido por unidad de carbono inorgánico emitido durante su

combustión es casi igual a uno. Sin embargo, el gas natural produce mucho menos CO<sub>2</sub> que otros combustibles como los derivados del petróleo, y sobre todo el carbón. Además, es un combustible que se quema más limpia y eficazmente. (Aguilera, 2022, pág. 24)

Para que la combustión pueda iniciarse y propagarse, es necesario que se cumplan dos condiciones de forma simultánea:

- El combustible y el comburente deben ser mezclados en una determinada proporción.
- La temperatura de ignición es la temperatura mínima a la que debe ser llevado, un punto de la mezcla inflamable aire y gas, para que la combustión pueda iniciarse y propagarse.
- El comburente, es el que hace entrar en combustión al combustible, generalmente se suele utilizar el oxígeno del aire.

Figura 4: Combustión de metano



(Fuente: Carpeta didáctica empresa Gas Natural Chile)

### 2.2.1.2. Límites de inflamabilidad

Son aquellos límites, entre los cuales la composición de la mezcla aire – gas es tal; que la combustión puede iniciarse y propagarse. La mezcla, se expresa en porcentaje de gas combustible,

por debajo del límite inferior la mezcla es pobre en combustible; y por encima del límite superior la mezcla es pobre en comburente. En ambos casos la combustión no se propaga.

### **2.2.1.3. Deflagración**

Una deflagración es una combustión subida, cuando la mezcla aire-gas, se encuentra dentro de los límites de inflamabilidad. La llama se propagará con una cierta velocidad.

El mecanismo fundamental de la propagación es la conducción, entre el tramo en curso de combustión y el tramo vecino; el primero lleva al segundo a la temperatura de ignición.

La combustión se realiza mediante una llama que avanza de forma acelerada, pero a una velocidad subsónica. En los gases combustibles más usados, la velocidad de propagación se mantiene por debajo del metro por segundo, para el gas natural es 0.53 y es igual a 0.4 para el butano y propano.

La estabilidad de la llama de un quemador de gas, está en función a la proporción del gas mezclado con aire, de acuerdo a la velocidad de propagación de la llama y de la velocidad de salida del gas. Si la velocidad de salida es inferior a la de propagación, se produce un retroceso de la llama hacia el interior del quemador y es superior tenemos un desprendimiento de la misma, que generalmente traerá consigo su extinción.

### **2.2.1.4. Poder calorífico**

En la cantidad de calor que desprende en la combustión completa de la unidad de volumen. Para medir la cantidad de calor se definió la caloría (cal) como la cantidad de calor que se precisa para aumentar un grado centígrado la temperatura de un gramo de agua.

En la práctica, se utiliza los múltiplos de la caloría, así la kilocaloría (kcal) = 1000 cal y la termia (Te) = 1000 Kcal = 1.000.000 cal.

Hay que distinguir entre el poder calorífico superior (PCS) y el poder calorífico inferior (PCI), en el PCS se tiene en cuenta la energía gastada en condensar el vapor del agua resultante de la combustión y en el PCI no se tiene contemplado la equivalencia aproximada para todo tipo de gases que vienen a ser  $PCI = 0.0 PCS$ . El PCS del gas natural oscila, según la procedencia, alrededor de  $10 \text{ Te/Nm}^3$ .

#### **2.2.1.5. Poder comburivoro o “aire teórico”**

Es la cantidad de aire necesaria y suficiente para asegurar la combustión completa de un metro cubico de gas natural, (es útil para los estudios de ventilación y evacuación de los gases quemados). Se expresa por la relación de metro cubico de aire por metro cubico de gas.

### **2.3. Utilidades y aplicaciones del gas natural en la distribución por red primaria y secundaria.**

El gas natural es un combustible cuyo uso ha sido masificado en la industria, en los sistemas de transporte y en los hogares, gracias a su “amabilidad” con el medio ambiente y a las ventajas que representa para quien lo utiliza. Existen diferentes tipos de puentes de regulación y medición ya sean domiciliarios, comerciales, industriales y GNVs. Ya sea cualquiera de estos modelos todos se rigen bajo el mismo reglamento de diseño y construcción.

A continuación, se detalla los usos actuales del gas natural en el país:

#### **2.3.1 Uso domestico**

En este caso su uso se ha masificado, siendo de mucha utilidad para cocinar, lavar, secar, alentar agua, calentar una casa o climatizarla. Además, los electrodomésticos se mejoran día a día, con el fin de utilizar gas natural de forma más económica y segura.



Son millones de hogares bolivianos que usan Gas Natural en nuestro país, permitiéndoles cocinar, calentar agua de piscina y duchas, de forma cómoda y accesible. (YPFB, 2011)

### **2.3.2. Uso comercial**

Muchos negocios como hoteles, saunas, restaurantes hacen uso de esta eficiente fuente de energía. Los principales usuarios comerciales, de gas natural son aquellos proveedores de alimento, dentro de restaurants, pensiones, hoteles, de igual manera en equipamientos de servicios médicos y los edificios de oficina, entre otros. (YPFB, 2011)

### **2.3.3. Uso industrial**

El sector industrial es uno de los consumidores de gas natural más grandes del país. Lo utilizan para dar energía y alimentar importantes sistemas de maquinaria de diversos tipos. El gas natural es un input para fabricación de casi todo tipo de material, como, por ejemplo: papel, ciertos metales, productos químicos, piedras, vidrios y en la transformación de ciertos alimentos. (YPFB, 2011)

### **2.3.4. Uso como combustible para vehículos**

El gas natural es utilizado por los vehículos, como combustible, Gas Natural Comprimido (GNC), por el parque automotriz tanto público y como privado, siendo este sistema de combustión promocionado desde el gobierno. Es uno de los combustibles más usados en nuestro país (después de la gasolina) debido a su excelente rendimiento y bajo costo. (YPFB, 2011)

Figura 5: Usos de gas natural



Fuente: Chacón – Oblitas Gas

#### 2.4. Ventajas de gas natural.

El gas natural tiene varias ventajas, las mismas son:

- Tiene combustión muy limpia, no emite cenizas ni partículas sólidas a la atmosfera; genera una reducida emisión de óxido de nitrógeno (NO), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e hidrocarburos reactivos y virtuales no genera dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), características que le dan una mayor ventaja respecto de otro combustible fósiles.
- Es seguro de transportar.
- Al ser más ligero que el aire se evita la concentración y reduce el riesgo de explosiones por fugas.
- Reduce la eficiencia de los procesos de generación y cogeneración de energía.
- Incrementa la eficiencia de los procesos de generación y cogeneración de energía.

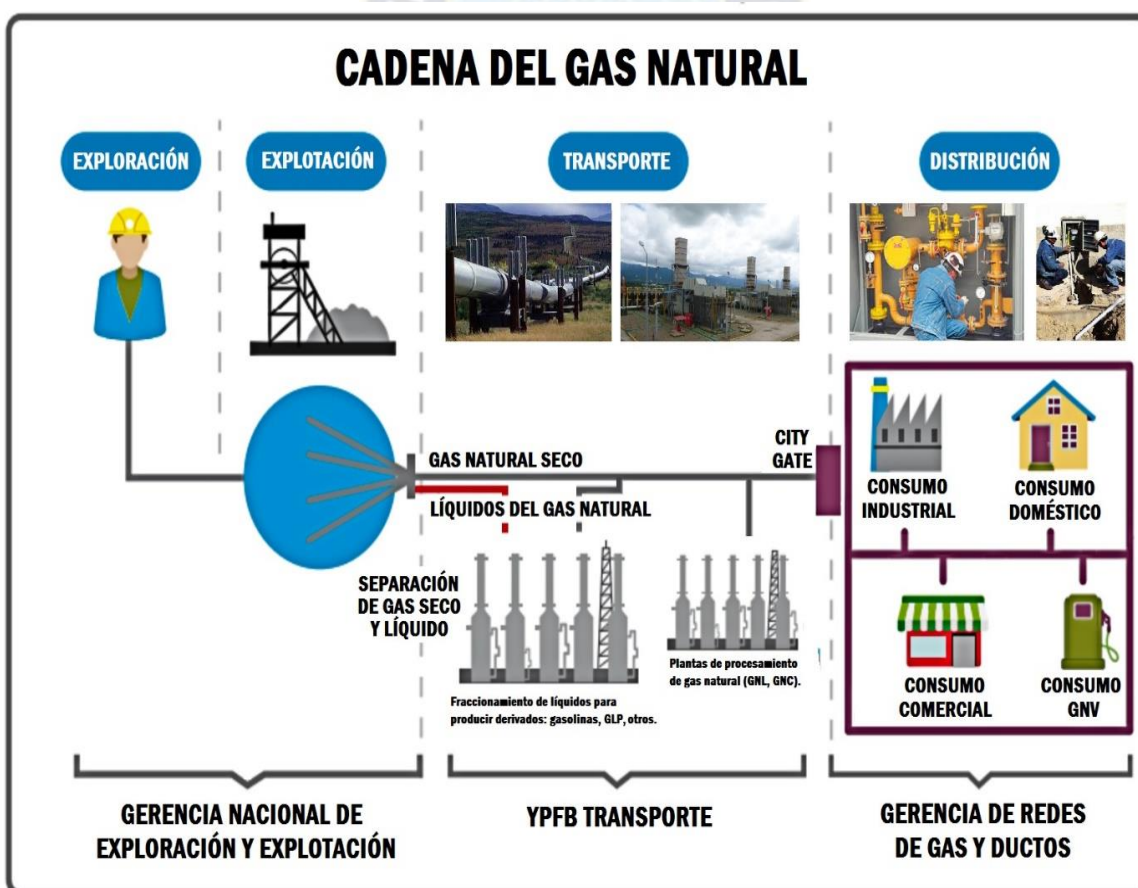


- En las memorias de la Gerencia Nacional de Redes de Gas y Ductos de YPFB, se demuestra gráficamente que el precio de gas natural es hasta 2.12 veces más económico que el GLP.

## 2.5. Métodos de transporte de gas natural

Un sistema de transporte está compuesto por uno o varios segmentos de gasoducto, usualmente interconectados para conformar una red, transporta gas natural de un sistema de recolección, desde la salida de una planta de procesamiento o un campo de almacenamiento, hacia un sistema de distribución de alta o baja presión, cliente que compra gran volumen, u otro campo de almacenamiento.

Figura 6: Cadena de gas natural



Fuente: Distrito de Redes de Gas Potosí

Para realizar el transporte de gas natural existe varios métodos y tipos de transporte. Siendo los principales para la distribución en el mercado interno por gasoductos, redes primarias y redes secundaria. La cantidad de gas natural que puede circular por una tubería, está en función a las magnitudes del diámetro de la tubería y la pérdida de carga entre los puntos de distribución de la red.

Con una buena capacidad de distribución se puede atender la creciente demanda de gas natural, manteniendo la presión e incrementando el diámetro de las tuberías, o bien incrementando la presión. Desde el punto de vista económico urbanístico la mejor solución ha sido incrementar la presión a los ductos de transporte y distribución.

Los gasoductos y redes de gas natural se proyectan a mediano y largo plazo con el objetivo de atender el consumo de gas natural, basadas en el análisis de los consumos anuales, mensuales, diarias y horarios. (YPFB Transporte S.A., 2011)

### **2.5.1. Gasoductos**

El transporte del gas natural se realiza a través de una compleja red de tuberías, compresores y estaciones de control. El traslado del gas natural entre los países “productores” y los países “consumidores” se realiza mediante kilométricos gasoductos y con la intervención de grandes buques metaneros. En este artículo haremos un recorrido para conocer un poco más sobre este complejo proceso

Un gasoducto está compuesto por todas las partes físicas, a través de las cuales es posible el transporte del gas, conteniendo tuberías, válvulas, accesorios, bridas, reguladores, recipientes a presión, amortiguadores de pulsación, válvulas de desfogue y otros accesorios instalados en la tubería, estaciones de medición, estaciones de regulación y conjuntos fabricados. Se incluyen en

esta definición las líneas de transporte de recolección de gas, además de sus complementos o accesorios que se hallan instalado.

- a. El sistema de transporte para el Mercado Interno Sur abastece a las ciudades de Sucre, Potosí y Tarija y otras poblaciones que se encuentran a lo largo del ducto, mediante los gasoductos: Gasoducto Taquiperenda-Cochabamba (GTC), Gasoducto Tarabuco-Sucre (GTS), Gasoducto Sucre-Potosí (GSP), Gasoducto Villamontes-Tarija (GVT).
- b. El sistema Mercado Interno Occidente abastece a las ciudades de Cochabamba, Oruro y La Paz y poblaciones que se encuentran cerca al Gasoducto al Altiplano (GAA).
- c. El sistema Mercado interno Norte abastece a las poblaciones intermedias que se encuentran a lo largo del Gasoducto Carrasco-Yapacaní-Colpa-Río Grande (GCY) y el Gasoducto Carrasco-Cochabamba (GCC).
- d. El sistema de transporte de gas para el Mercado de Exportación cubre los volúmenes contratados para Brasil y Argentina y también atiende la demanda interna de la ciudad de Santa Cruz y otras poblaciones a lo largo de los ductos de este sistema que son el Gasoducto Río Grande Yacuiba (GSCY) y el Gasoducto Integración Juana Azurduy (GIJA)

*Figura 7: Mapa Energético de Bolivia*



*Fuente: Gas Natural on WordPress.com*

### 2.5.1.1. Gasoducto de Integración Juana Azurduy.

El gasoducto de Juana Azurduy permite el transporte de gas natural desde Campo Grande hasta Madrejones en Territorio boliviano, y en el lado argentino hasta Campo Duran. Tiene una longitud total de 48 km, 13 en territorio boliviano y 35 en Argentina, con una tubería de 32 pulgadas de diámetro. El objetivo inicial del proyecto fue la incrementación de los envíos de gas natural desde Bolivia hacia Argentina. El gasoducto es una operación conjunta de Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos (YPFB) y Enarsa Argentina S.A. (Franco Alexander, pág. 24)

A partir desde un punto de conexión con el Gasoducto Yabog en Campo Grande (cerca de Yacuiba, departamento de Tarija, Bolivia), el Gasoducto Juana Azurduy (GIJA) recorre 15 km hacia el este sobre el lado boliviano de la frontera hacia el yacimiento de gas Madrejones. En Madrejones cruza hacia el sur, en dirección a Argentina, y sigue 37 km hacia la refinería Refinor en Campo Durán, Argentina, donde se proyecta una conexión con el Gasoducto del Noreste Argentino Gas Pipeline. En Yacuiba, el gasoducto GIJA también se conecta con el Gasoducto Yacuiba - Río Grande de Bolivia. (Pacari Cordero , pág. 4)

*Figura 8: Exportación de Gas boliviano a Argentina*



Fuente: EJE.TV



## Estación de Compresión Campo Grande

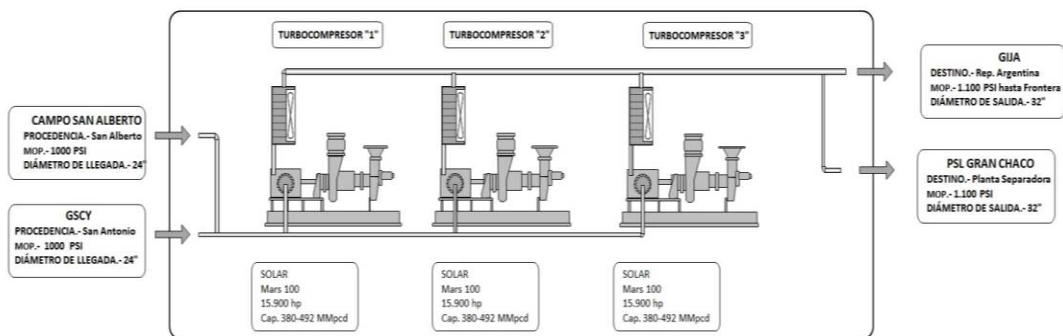
- Inicio de Operación: 2012
- Vías de Acceso Terrestre: Carretera Yacuiba-Campo Grande
- Producto que Transporta: Gas Natural
- Procedencia del Producto: Campo San Alberto, Campo San Antonio, Campo La Vertiente
- Destino del Producto: Exportación a la Argentina
- Capacidad de entrega: 989 MMpcsd [28MMcd]
- N° de Unidades: 3
- Potencia instalada: 47.700 hp

*Figura 9: Estación de Compresión Campo Grande*



*Fuente: YPFB Transportes S.A.*

*Figura 10: Turbocompresores de Estación de Compresión Campo Grande*



Fuente: YPFB Transportes S.A.

### 2.5.1.2. Gasoducto del Noreste Argentino.

El Gasoducto del Noreste Argentino (GNEA) tiene como principal objetivo saldar la histórica deuda con una de las regiones más postergadas del país: llevar gas natural a las provincias de Chaco, Corrientes, Formosa, Misiones y al norte de Santa Fe. Esta obra será posible gracias a la finalización del Gasoducto de Integración Juana Azurduy, que permite vincular el GNEA con el gas proveniente de Bolivia. De esta manera, se incorpora al Sistema de Transporte de Gas Natural a más de 3.400.000 personas que hoy en día deben abastecerse de gas en garrafa.

Los 4.131 kilómetros de cañerías (1.448 km gasoductos de 24" + 2.683 km gasoductos de derivación) permitirán que el gas natural llegue a los hogares de 6 provincias diferentes, utilizando como punto de partida la Planta Compresora de Campo Durán, en la provincia de Salta, el mismo lugar donde nace el Gasoducto Juana Azurduy.

La estratégica obra que representa la construcción de esta primera etapa del GNEA permitirá que 1,3 millones de ciudadanos de 103 localidades de las provincias de Formosa, Chaco y Santa Fe puedan acceder por primera vez al gas natural por redes. La primera etapa comprenderá el tendido de caños troncales y de derivación que beneficiarán a localidades de Salta, Formosa y

Santa Fe, mientras que la segunda hará lo mismo con localidades de Formosa, Chaco y Santa Fe. (Bernal, Inversiones en transporte y distribución de gas antural por redes, 2014, pág. 12)

Figura 11: El Gasoducto del Noreste Argentino



Fuente: Gas Natural – WordPress.com

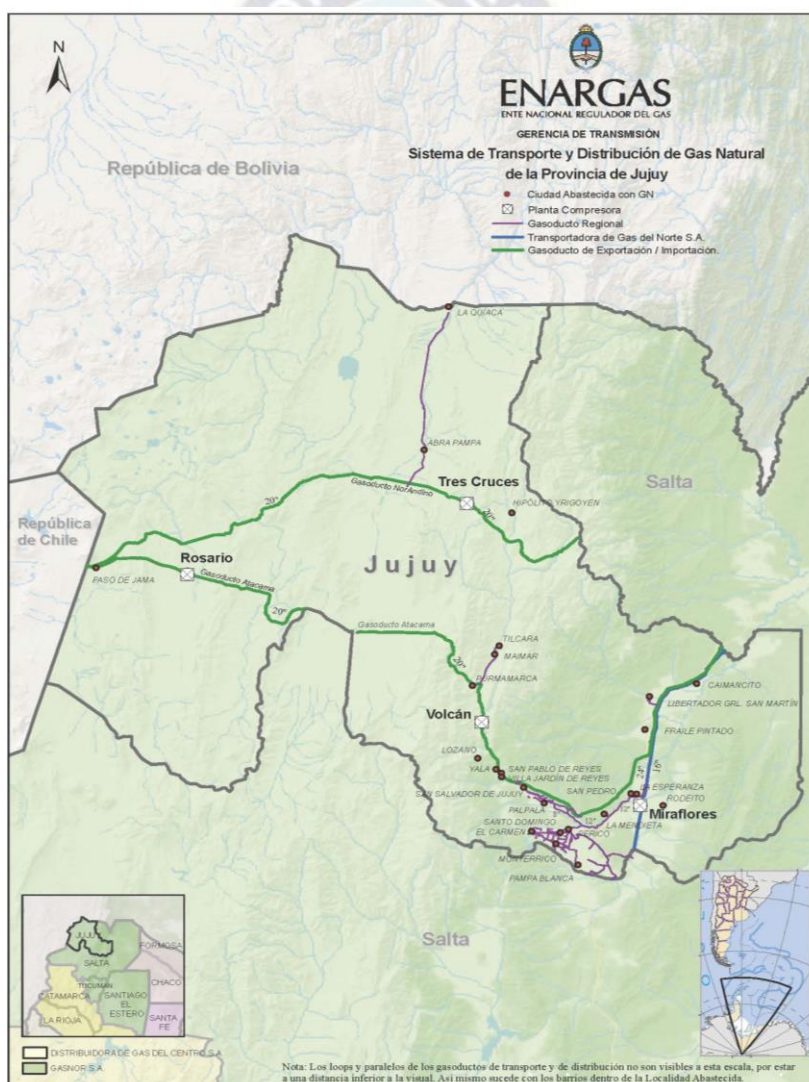
### 2.5.1.3. Gasoducto Regional La Quiaca – Argentina

En la ciudad de La Quiaca, en la frontera con Bolivia, comenzaron las obras de construcción de la red troncal de gas domiciliario e industrial, que tendrá una extensión de 27 mil metros lineales, obra que beneficiará a más de los 20.000 habitantes en una región en la que los habitantes suelen padecer fríos extremos.

El intendente local, Ernesto Daniel Suárez, dijo a Télam que "es la obra de infraestructura más importante de la historia de la ciudad y de la zona sur-oeste de Bolivia porque, traerá calidad de vida y las posibilidades de desarrollo industrial". El jefe comunal destacó que "sin energía no hay desarrollo" y dijo que la llegada del gas a la ciudad, es consecuencia de la construcción de la primera etapa de 90 kilómetros de extensión del gasoducto binacional.

La llegada del gas a La Quiaca se produce merced a la construcción del también denominado gasoducto Miraflores-La Quiaca, que abastecerá también a las localidades de Tres Cruces, Abra Pampa, donde ya se está instalando la red troncal. Este emprendimiento supera los límites nacionales ya que el proyecto general tiene establecido la provisión de gas a las ciudades de Villazón, Tupiza, Atocha y la Región de Uyuni, donde se establecerá una planta de producción de Litio. (Los Tiempos Digital, 2010)

Figura 12: Transporte y Distribución de Gas - Prov. de Jujuy, Argentina.



Fuente: ENARGAS (Ente Nacional regulador de Gas)



### 2.5.2. Transporte de gas natural licuado (GNL)

Cada etapa de la cadena de GNL en Bolivia requiere infraestructura especializada y tecnología avanzada para garantizar la seguridad y eficiencia en la producción y distribución del gas natural licuado. El proyecto GNL cuenta con la construcción de la Planta de Licuefacción de Gas Natural, un Sistema Virtual de Transporte (cisternas) y Estaciones Satélites de Regasificación en cada una de las 27 poblaciones donde llegará el energético, lo cual coadyuvará en el desarrollo de las poblaciones donde no llegan los gasoductos convencionales y promoverá el uso del gas natural.

Figura 13: Cadena de distribución de GNL



Fuente: Agencia Nacional de Hidrocarburos

En la cadena de GNL en Bolivia, se llevan a cabo varios procesos. A continuación, te mencionaré los principales:

#### 2.5.2.1. Licuefacción

El gas natural se enfría a temperaturas extremadamente bajas, alrededor de  $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$ , para convertirlo en estado líquido. Este proceso se realiza en plantas de licuefacción que utilizan

tecnología criogénica. La Planta de GNL, construida en la comunidad de Río Grande, municipio de Cabezas de Santa Cruz, enviará gas natural licuado en cisternas criogénicas hasta las Estaciones Satelitales de Regasificación, donde el energético retoma nuevamente al estado gaseoso y es entregado a las redes de distribución de domicilios, comercios, industrias y las estaciones de servicio a GNV (gas natural vehicular).

La Planta de Separación de Líquidos de Río Grande, se encuentra ubicada en el Departamento de Santa Cruz, provincia Cordillera, en la localidad de Cabezas. Tiene una capacidad de proceso de 200 millones de pies cúbicos de Gas Natural por día. Con una capacidad de producción de 360 Toneladas diarias de GLP, 540 Barriles por día de Gasolina Estabilizada y 195 Barriles por día de Gasolina Rica en Isopentano, todo destinado para su uso como combustible y abastecimiento del mercado interno. (Agencia Nacional de Hidrocarburos, 2017)

*Figura 14: La Planta de Separación de Líquidos de Río Grande*



*Fuente: Agencia Nacional de Hidrocarburos*

#### **2.5.2.2. Almacenamiento y transporte**

El gas natural licuado se almacena en tanques criogénicos especiales para mantenerlo en estado líquido. Luego, se transporta en cisternas criogénicas de gas natural, especialmente diseñados que

pueden llevar grandes volúmenes de GNL. Trasladamos el combustible en cisternas especiales de la planta de GNL, que está en Rio Grande en Santa Cruz hasta Villazón.

Figura 15: Cisternas criogénicas de gas natural



Fuente: Distrito redes de gas Potosí

Tabla 2: Estimación de demanda de gas natural: Villazón, Uyuni y Tupiza

VOLUMEN DE GN COMERCIALIZADO 2020								
POBLACIÓN	USUARIOS			VOLUMEN COMERCIALIZADO DE G.N.				FRECUENCIA DE VIAJES DE CISTENA POR MES
	DOM.	COM.	IND/ GNV	MPCSD	MCSH	MMPCSD	PC ANUAL	
Villazón	7559	6	0	121,92	143,85	0,12	44.499.458,00	4 VIAJES
Tupiza	6068	10	0	103,82	122,49	0,10	37.893.557,00	4 VIAJES
Uyuni	3260	6	0	60,93	71,89	0,06	22.237.721,00	3 VIAJES

PROYECTADO AÑO 2021:								
POBLACIÓN	USUARIOS			DEMANDA DE G.N.				FRECUENCIA DE VIAJES DE CISTENA POR MES ESTIMADO
	DOM.	COM.	IND/ GNV	MPCSD	MCSH	MMPCSD	PC ANUAL	
Villazón	7559	6	1	141,64	167,12	0,14	51.699.458,00	5 VIAJES
Tupiza	6068	10	1	120,26	141,89	0,12	43.893.557,00	4 VIAJES
Uyuni	3260	6	1	77,20	91,09	0,08	28.177.721,00	3 VIAJES

Fuente: Elaboración Propia

### 2.5.2.3. Regasificación

En el destino final, el GNL se regasifica, es decir, se calienta para volver a su estado gaseoso original. Este proceso se realiza en terminales de regasificación, donde se utilizan calentadores y sistemas de presurización. La regasificación es el proceso de calentar el GNL nuevamente para convertirlo en gas y permitir su distribución a través de redes de gasoductos o su uso directo en aplicaciones industriales, comerciales o residenciales. La estación satelital de regasificación utiliza la tecnología satelital para recibir señales de los buques metaneros y controlar el proceso de regasificación de manera eficiente y segura

Una estación satelital de regasificación es una instalación que utiliza tecnología satelital para recibir y regasificar el Gas Natural Licuado (GNL) transportado en cisternas criogénicas de gas natural. El GNL es gas natural que se enfría a temperaturas extremadamente bajas para convertirlo en estado líquido, lo que facilita su transporte y almacenamiento.

Este tipo de instalaciones son importantes para expandir la capacidad de distribución y uso del gas natural en áreas que no cuentan con infraestructura de gasoductos convencionales. Permiten el suministro de gas natural a lugares remotos o a países que no tienen acceso directo a las fuentes de gas natural, facilitando así la diversificación energética y reduciendo la dependencia de otros combustibles más contaminantes.

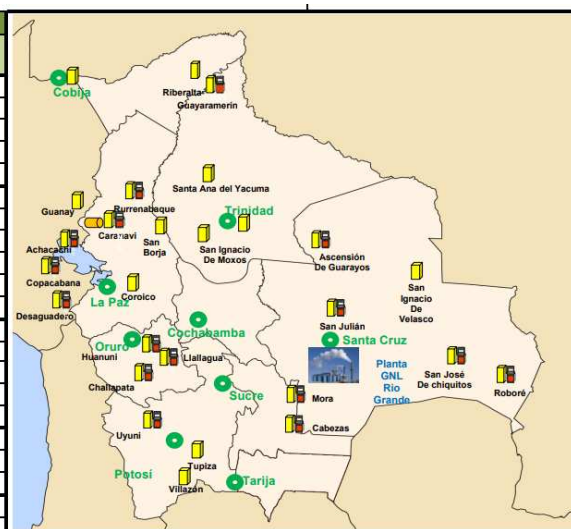


Figura 16: Estación de Regasificación – ER's Duración

ESR's (20/05/2016)							
Nº	Zona	ESR	Capacidad	GN	GNV	GNL	ESTADO ACTUAL
1	0	Cabezas	80	1	1		En Operación
2	0	Acencion de Guarayos	80	1	1		En Operación
3	0	Tupiza	160	1	-		En Operación
4	0	San Julian	80	1	1		En Operación
5	0	San Jose de Chiquitos	80	1	1		En Operación
6	1	Achacachi	160	1	1		En Construcción
7	1	Caranavi	240	1	1	1	En Construcción
8	1	Copacabana	100	1	1		En Construcción
9	1	Coroico	80	1	-		En Construcción
10	1	Desaguadero	100	1	1		En Construcción
11	1	Guanay	80	1	-		En Construcción
12	2	Challapata	160	1	1		En Construcción
13	2	Huanuni	80	1	1		En Construcción
14	2	Llallagua	160	1	1		En Construcción
15	2	Uyuni	100	1	1		En Construcción
16	2	Villazon	80	1	-		En Construcción
17	3	Cobija	240	1	-		En Construcción
18	3	Guayaramerin	240	1	1		En Construcción
19	3	Riberalta	240	1	-		En Construcción
20	4	Rurrenabaque	80	1	1		En Construcción
21	4	San Borja	80	1	-		En Construcción
22	4	San Ignacio de Moxos	80	1	-		En Construcción
23	4	Santa Ana de Yacuma	160	1	-		En Construcción
24	4	Trinidad	240	1	-		En Construcción
25	5	Mora	80	1	1		En Construcción
26	5	Robore	80	1	-		En Construcción
27	5	San Ignacio de Velasco	80	1	-		En Construcción

PLANTAS Y TRANSPORTE	CAP. ALMACENAJE GNL	CANTIDAD
Planta de GNL Rio Grande	3000 m3 - Total	1
Estaciones Satelitales de Regasificación	3420 m3 - Total	27
15 Estaciones con GN y GNV		
11 Estaciones con GN		
1 Estacion Madre (ESR - Caranavi)		



Fuente: Agencia Nacional de Hidrocarburos

Figura 17: ESR – Villazón



Fuente: Distrito Redes de gas Potosí

Figura 18: ESR – Tupiza



*Fuente: Distrito Redes de gas Potosí*

*Figura 19: ESR – Villazón*



*Fuente: Distrito Redes de gas Potosí*

#### **2.5.2.4. Distribución y consumo**

Una vez regasificado, el gas natural se distribuye a través de redes de gasoductos y se suministra a diversos sectores, como la industria, el comercio y los hogares, para su uso como combustible o fuente de energía. Actualmente la Población de Villazón cuenta con una Estación Satelital de Regasificación (GNL) con:

- 7879 usuarios domésticos
- 13 usuarios comerciales
- 1 Estación de servicio Antofagasta de GNV y la proyección del emplazamiento de una Estación de Gas Natural Vehicular.

## **2.6. Punto de transferencia de custodia**

Los productos petroleros se originan al borde del pozo, para después ser transportados, procesados y almacenados un número de veces desde la boca de pozo hasta el cliente, el propietario del producto puede cambiar.

Sin embargo, en ciertas situaciones de transporte y almacenamiento, el propietario del producto sigue siendo el mismo: solo cambia la responsabilidad por el producto. Se dice que la (custodia) de ese producto quien quiera que sea propietario o responsable de dicho producto. (YPFB Transporte S.A., 2011)

La transferencia de custodia sucede cuando la custodia del producto pas de una entidad a otra. La transferencia de custodia se da en varios puntos de la trayectoria del producto desde la boca de pozo hasta el usuario final. Algunos de los puntos de transferencia de custodia son:

- Inyección de gas natural al gasoducto (de propiedad de transportador) por el producto (despachador).
- Recepción del gas natural en City Gate de la empresa distribuidora.
- Distribución de gas natural mediante redes primarias a usuarios industriales, GNV y Estaciones de regulación. Siendo el punto de transferencia de custodia el Regulación y Medición.

- Distribución del gas natural mediante redes secundarias a usuarios comerciales y domicilios. Siendo el punto de transferencia de custodia el gabinete de regulación y medición.

## 2.7. Sistema de distribución de gas natural

YPFB Redes de Gas y Ductos como parte del brazo operativo de YPFB Corporación realiza la distribución de gas natural en Bolivia mediante tuberías de acero y polietileno de alta densidad con presiones de operación que varían entre 20 – 40 Bar y 4 – 7 Bar respectivamente. Su operación se encuentra regulada de acuerdo al Reglamento de Diseño, Construcción, Operación y Mantenimiento de Redes de Gas Natural e Instalación Interna aprobado mediante Decreto supremo 1996 del 14 de mayo del 2014.

*Tabla 3: Esquema de distribución de gas natural*

PRESIÓN DE DISTRIBUCIÓN	
RED DE TRANSPORTE	Gasoducto de alta presión (P>40 bar)
RED PRIMARIA	4 bar < alta presión <42 bar
RED SECUNDARIA	0,4 bar < media presión < 4 bar
	Baja presión < 50 mmbar

*Fuente: Elaboración propia con datos del decreto supremo 1996 del 14 de mayo del 2014*

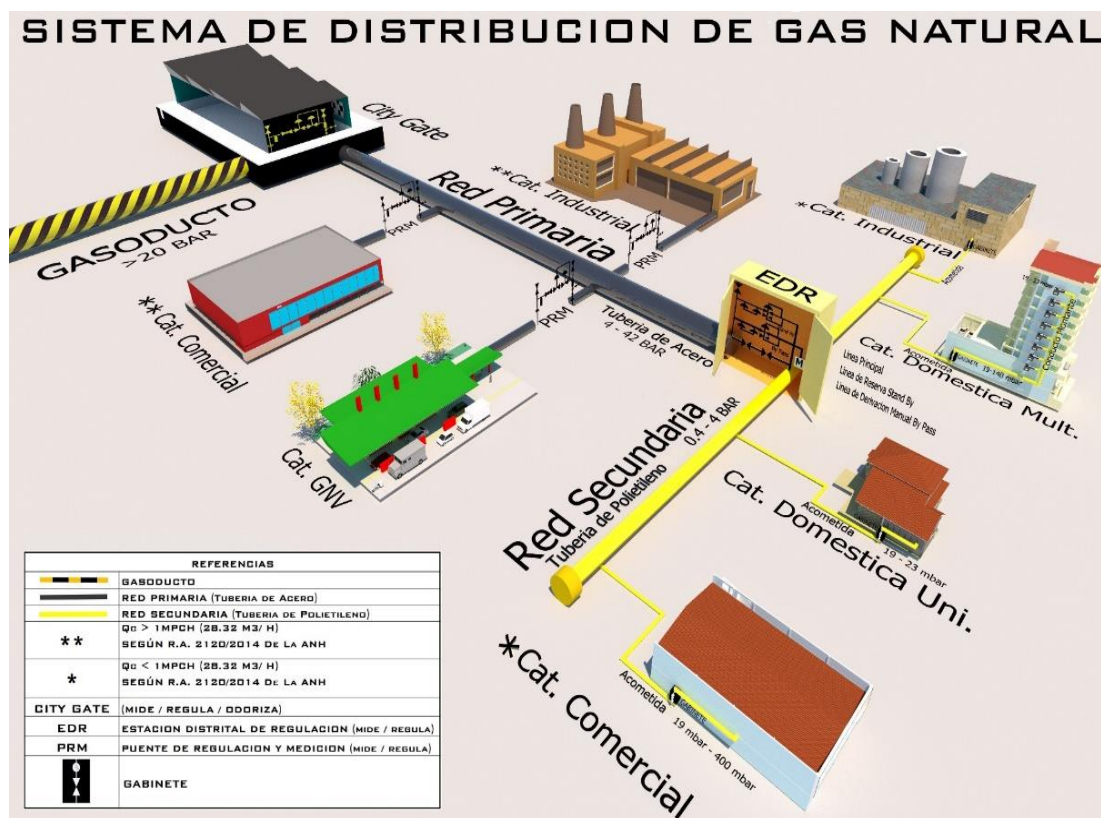
Los sistemas de distribución de gas natural se encuentran conformado por los siguientes equipos e instalaciones:

- 1) Acometidas especiales
- 2) City Gate (CGS).
- 3) Red Primaria (RP).
- 4) Puente de Regulación de Medición (Industrial)
- 5) Estación Distrital de Regulación (EDR).



- 6) Red Secundaria (RS).
- 7) Gabinetes de Regulación y Medición (Domésticos y Comerciales).

Figura 20: Distribución de gas natural



Fuente: Distrito Redes de Gas Potosí

### 2.7.1. Estación de despacho (City Gates)

Los City Gates son instalaciones don YPFB Transporte realiza la transferencia de custodia del gas a YPFB Redes de Gas y Ductos para su distribución, en este punto se realiza la medición de volúmenes entregados/recibidos, verificación de la calidad, instalaciones destinadas a la recepción, filtrado, medición, odorización y despacho del Gas Natural, en bloque a ser distribuido a través de los sistemas correspondientes. Es el punto que separa el sistema de transporte con el sistema de distribución.

Figura 21: City Gate Betanzos – Potosí



Fuente: Fotografía propia

Dichas instalaciones se encuentran generalmente cerca los lugares por donde pasan los gasoductos; el suministro de gas a los City Gates se los realiza mediante una acometida de derivación de acero del gasoducto principal al City Gate, tal acometida cuenta con un sistema de seguridad o bloqueo que corta el suministro de gas cuando existe presiones y caudales anormales.

### 2.7.2. Red primaria

Este sistema es el conjunto de tuberías que conducen el gas natural, desde los puntos de transferencia de custodia (City Gate) hasta los puntos de consumo.

Las redes primarias están diseñadas para conducir grandes caudales de gas natural a grandes distancias. De diferentes puntos de los ductos parten arterias que conducen el gas natural a los Puentes Regulación y Medición (PRM) y Estaciones Distritales de Regulación (EDR), las mismas abastecen a industrias, comercios y domicilios respectivamente

Es un conjunto de tuberías de acero por las cuales YPFB Redes de Gas y Ductos suministra el servicio de gas natural a usuarios industriales y estaciones distritales de regulación, estas se

instalan a partir de la salida de los City Gates cuyo trazado se encuentra por las calzadas a profundidades de 1 a 2 metros dependiendo del tipo de clase de trazado por la que atraviesa. Los diámetros de las redes primaria existentes van de 2" a 8" DN.

*Figura 22: Tuberías de red primaria SCH 40 de 6" DN.*



*Fuente: fotografía propia*

### **2.7.3. Puente de regulación y medición (PRM)**

Son instalaciones donde YPFB Redes de Gas y Ductos realiza la entrega y/o venta de gas natural a los usuarios industriales además de realizar la regulación de presión de suministro, dichos puentes se encuentran instalados sobre le limite municipal de las propiedades de las industrias.

De manera similar a los city gates, el gas es suministrado a través de acometidas de acero de las redes primarias a los PRM's, con la diferencia de que el sistema de seguridad de bloque y/o alivio forma parte de la instrumentación de los PRM's y no así de las acometidas.

El mantenimiento de las acometidas de derivación (incluyendo a su cámara de derivación) y PRM se encuentra bajo responsabilidad de los propietarios de las industrias.

#### 2.7.4. Estación distrital de regulación (EDR)

Son instalaciones denominados centrales periféricas donde se realiza la regulación de presión y caudal de gas distribuidos a usuarios domésticos y comerciales a través de tuberías de polietileno. En casos especiales, también se realiza la odorización del gas además de poder realizarse el control de volúmenes distribuidos. Dichos EDR's se encuentran con una línea activa de trabajo otra en stand by y una tercera línea de by pass para casos de emergencia o trabajo programados.

*Figura 23: Estación Distrital de Regulación*



*Fuente: Fotografía propia*

#### 2.7.5. Redes secundarias y gabinetes de medición – regulación

Las redes secundarias son conjunto de tuberías de polietileno de alta densidad por las cuales se realiza la distribución de gas natural a los usuarios comerciales y domésticos. Los diámetros de tales redes varían de 40 a 125 mm, las acometidas de derivación de las redes secundarias a los gabinetes de medición y regulación de presión de gas de cada usuario tienen diámetros nominales iguales a 20 y 32 mm.



*Figura 24: Tendido de red secundaria*



*Fuente: Fotografía propia*

*Figura 25: Derivación de red secundaria a la acometida*



*Fuente: Fotografía propia*

## **2.8. Aspectos técnicos de operación**

### **2.8.1. Control de calidad del gas natural. - Artículo 24**

La Empresa Distribuidora, deberá recibir mensualmente de la empresa encargada del transporte de Gas Natural por Ductos, un certificado de la calidad del Gas Natural en base a muestras

obtenidas en cada Puerta de Ciudad (City Gate), de acuerdo a las especificaciones del Gas Natural establecidas para su transporte.

### **2.8.2. Presión de operación. - Artículo 25**

- I. La Empresa Distribuidora, entregará el Gas Natural al consumidor o Usuario final a una presión comprendida entre los límites mínimo y máximo acordados en los contratos correspondientes que deben enmarcarse en el Reglamento Técnico.
- II. La Empresa Distribuidora, deberá demostrar a requerimiento del Ente Regulador que el nivel de presión de suministro se ha mantenido dentro de los límites estipulados. La Empresa Distribuidora no será responsable si no ha podido mantener dicha presión dentro de esos límites por causa de imposibilidad sobrevenida.

## **2.9. Suministro de gas natural por redes**

### **2.9.1. Capacidad de redes. - Artículo 26**

- I. La Empresa Distribuidora deberá mantener la suficiente capacidad de suministro en sus Redes Primarias, Estaciones Distritales de Regulación y Redes Secundarias, para garantizar el suministro a los diferentes Usuarios en las condiciones normales de operación. Sin embargo, si esta condición no se cumple por causa de imposibilidad sobrevenida, la Empresa Distribuidora no será responsable.
- II. La Empresa Distribuidora, deberá efectuar un análisis y verificación cada cinco (5) años de la capacidad de sus Redes Primarias, Estaciones Distritales de Regulación y Redes Secundarias, con el objeto de determinar si las mismas están en condiciones de atender el requerimiento de suministro de Gas Natural en condiciones de demanda máxima (demanda pico), tanto a los actuales Usuarios como a los futuros que lo soliciten.

### **2.9.2. Odorización. – (Artículo 27)**

- I. El Gas Natural antes de ser suministrado a los Usuarios, deberá estar odorizado en Puerta de Ciudad (City Gate), y cuando sea necesario en las Estaciones Distritales de Regulación, mediante equipos adecuados en cumplimiento de lo señalado en el Reglamento Técnico.
- II. El sistema de odorización, deberá ser inspeccionado semestralmente por la Empresa Distribuidora, a fin de confirmar que el nivel de odorización cumpla con las especificaciones de calidad indicadas en Reglamento Técnico. La Empresa Distribuidora deberá remitir al Ente Regulador un informe de estas inspecciones que demuestren cualquier problema al respecto y las soluciones adoptadas.

### **2.9.3. Transferencia del gas natural. – (Artículo 27)**

- I. El punto de Custodia y Control del Gas Natural es el medidor instalado en las instalaciones domésticas, comerciales y en el PRM, de las Categorías Industrial y GNV.
- II. El Límite de Responsabilidades y Obligaciones de las instalaciones de Gas Natural entre la Empresa Distribuidora y el Usuario, constituyen el Punto de Interconexión a la Red Primaria en caso de instalaciones industriales y Estaciones de GNV y en el caso de las instalaciones domésticas y comerciales es la Válvula de Acometida.
- III. Será de responsabilidad de la Empresa Distribuidora, la operación y mantenimiento del sistema de regulación y/o medición de su propiedad. (YPFB Transporte S.A., 2011)

## **2.10. Medición y equipos de medición**

### **2.10.1. Sistema de medición. - (Artículo 48)**

- I. El volumen del Gas Natural que consuma el Usuario debe ser medido en el Punto de Transferencia y Control del Gas Natural. Las pérdidas de Gas Natural aguas abajo del punto

establecido en el Límite de Responsabilidades y Obligaciones serán asumidas por el Usuario.

- II. El Usuario deberá proporcionar y mantener un área adecuada para la instalación del equipo de medición y/o regulación, con acceso directo desde la vía pública. En caso que los equipos de medición de edificios multifamiliares se encuentren dentro del límite de propiedad, el libre acceso a los mismos debe ser garantizado por el Usuario.

### **2.10.2. Verificación de la medición. – (Artículo 50)**

- I. Los Usuarios podrán solicitar a la Empresa Distribuidora la verificación de sus equipos de medición en caso de duda sobre los valores que registra. En caso de discrepancia con el resultado de dicha verificación podrán acudir al Instituto Boliviano de Metrología IBMETRO o aquellas entidades acreditadas en materia de medición volumétrica.
- II. En caso que los resultados de la verificación demuestren que el equipo no presenta una medición volumétrica dentro de los márgenes de tolerancia del equipo, la Empresa Distribuidora procederá a realizar la calibración y ajuste, o en su defecto, si el equipo de medición es de su propiedad, procederá al reemplazo del mismo.
- III. La Empresa Distribuidora compensará al Usuario por los volúmenes registrados en demasía o el Usuario cancelará a la Empresa Distribuidora por los volúmenes no registrados, por el periodo máximo de los seis (6) últimos meses de consumo. (Infocal Pando, 2023).



## CAPÍTULO 3: MARCO METODOLOGICO DE CITY GATE

### 3.1. Introducción

Estación de Recepción y Despacho (City Gate) son instalaciones destinadas a la recepción, filtrado, medición, odorización y despacho del Gas Natural, en bloque a ser distribuido a través de los sistemas correspondientes. Es el punto que separa el sistema de transporte con el sistema de distribución. (Newman, 2015, pág. 15)

Una estación de entrega o City Gate es un punto donde el gas pasa de un sistema de transmisión principal Gasoducto Troncal o Ramal a un sistema de distribución local, Red Domiciliaria o Industrial. El City Gate es la primera instalación de un Sistema de Distribución, es la “puerta de entrada” del gas natural a la ciudad. (Newman, 2015, pág. 22)

La función principal del City Gate es reducir la presión del gas natural que recibe a la presión de operación del gasoducto troncal en el sistema de distribución. En este punto el gas es sometido por procesos de filtración, calentamiento, regulación, medición y odorización. El Gas Natural llega a los City Gates a una presión entre 300 psig a 1200 psig. (Newman, 2015, pág. 22)

Una vez que el gas entra a la estación, se hace pasar por un filtro, para retirar las partículas sólidas y la humedad del gas, si es necesario se calienta para evitar la formación de hidratos, seguidamente se baja la presión de operación al nivel contractual deseado que oscila entre 60 y 400 psig, pasa por la etapa de medición, para finalmente odorizarlo y entregarlo al respectivo remitente. (Newman, 2015, pág. 29)

El gas natural se transporta primero a través de gasoductos o terminales de importación de GNL a las llamadas “City Gates” (puertas de la ciudad), antes de ser suministrado a las redes de

distribución locales. En las “City Gates” se odoriza el gas y se reduce su presión antes de transferirlo a los consumidores. (Newman, 2015, pág. 32)

El contador de gas ultrasónico FLOWSIC500 es ideal para mediciones de transferencia de custodia en redes de distribución destinadas al suministro de clientes industriales. Debido a su diseño particular, este contador de gas funciona prácticamente sin mantenimiento y se puede instalar en casi cualquier configuración de línea. (Newman, 2015, pág. 36)

### **3.2. Diseño de City Gate**

El City Gate o Puerta de Ciudad son instalaciones que se encargan de la recepción, filtrado, control de calidad del gas natural, además de la regulación de la presión, medición, odorización y despacho.

Es el punto de enlace entre el Sistema de Transporte y el Sistema de Distribución, consiste en instalaciones dónde se aplican diferentes procesos al GN para adecuarlo a las exigencias que las entidades reguladoras y las normas técnicas establecen como requisito para que este combustible se pueda distribuir como energético domiciliario.

En el City Gate se debe:

- Reducir la presión proveniente del sistema de transporte, a los niveles permitidos.
- Medir la cantidad de gas volumen.
- Controlar las condiciones de flujo, como la presión, temperatura, calidad del gas, etc.
- Realizar la odorización mediante la introducción de mercaptanos para identificar posibles fugas.
- Calentamiento de gas

Características técnicas:

- ✓ Presión de entrada: 1200 – 1000 psig
- ✓ Presión reguladora de salida: 250 psig
- ✓ Temperatura de trabajo: 20 °C a 60 °C
- ✓ Nivel sonoro: < 70 Db

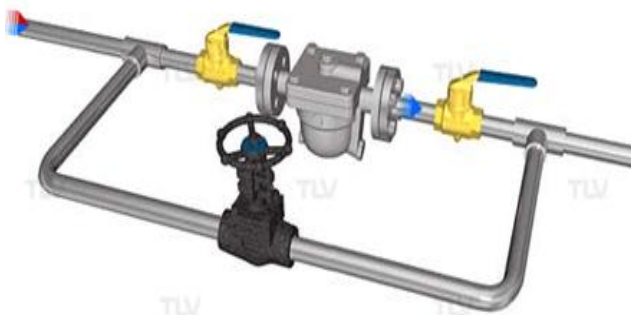
## **BYPASS**

El City Gate debe contar con una línea de Bypass, que actúa como una línea de respaldo, y permita que la operación sea continua en caso que el equipo este dañado o se encuentre en mantenimiento.

El término “válvula de Bypass” se refiere a cualquier válvula instalada en una línea de bypass, y no es utilizada para indicar una forma o configuración en particular.

- ✓ La tubería de bypass que actúa como una línea de respaldo para permitir que la operación continúe mientras equipo dañado como válvula reductora de presión y trampas de vapor sean aisladas y paradas durante la reparación o en reemplazo.
- ✓ Tubería de bypass cuyo propósito es el suplementar el desempeño de las válvulas reductoras de presión y las trampas de vapor.

*Figura 26: Línea de Bypass*



*Fuente: Válvulas de Bypass TLV*

### 3.3. Parámetros para la distribución

Estación de regulación de Recibo de (City Gate) y de Distrito.

La estación de regulación se debe instalar superficiales, subterráneas o semi - subterráneas, en sitios que cumplan con las siguientes condiciones:

- Ambientes no corrosivos, protegida contra daños causados por agente externo, por ejemplo, impacto de vehículos, derrumbes, inundaciones, tránsito de personas.
- A una distancia mayor de tres metros de cualquier fuente de ignición.
- Estar protegido contra el acceso de las personas no autorizadas.
- Ser accesible directamente desde la vía pública con objeto de que el distribuidor pueda realizar sus tareas de operación y mantenimiento.

#### CONSTRUCCIÓN

No está permitido instalar en estaciones de regulación en los siguientes lugares:

- a. Baja línea de transmisión o transformadores de energía eléctrica. Como mínimo debe estar a una distancia de tres metros de la vertical de dichas líneas; si esta distancia no se puede cumplir se debe proteger la estación.
- b. En lugares donde el gas pueda migrar al interior del edificio, por ejemplo: baja alguna ventana de la planta baja o toma de aire de ventilación o acondicionamiento de aire o en cubos de luz, de escaleras, de servicios de edificios. Como mínimo debe estar a un metro al lado de puertas de ventanas.

Las estaciones de regulación deben estar compuestas al menos por una línea de regulación y una línea de "bypass". Estas líneas deben cumplir con los siguientes:

- a. La línea de regulación debe contar con el regulador de presión y válvulas a la entrada y salida para aislar dicha línea.
- b. El distribuidor es responsable de determinar los elementos de protección contra sobrepresión y baja presión de dicha línea: estos elementos pueden ser, entre otros, válvulas de alivio o regulador de monitor.
- c. La línea de “bypass” debe contar con una válvula de bloqueo o de regulación manual.

La estación de regulación debe tener válvulas de bloqueo de entrada, localizadas en lugares que permiten su mantenimiento y operación en caso de emergencia.

Las estaciones de regulación deben contar con un dispositivo de desfogue que cumpla los siguientes.

- a. Estar construido en sus interiores con materiales anticorrosivos
- b. Estar diseñado e instalado de manera que se pueda comprobar que la válvula no está obstruida
- c. Tener válvula con asiento que estén diseñadas para no obstaculizar la operación del dispositivo.
- d. Contar con tubería de salida con un diámetro no menor al diámetro de la salida del dispositivo de desfogue

La instalación de la estación debe estar protegido con recubrimiento anticorrosivo de acuerdo al entorno

La estación debe estar aislada eléctricamente de tuberías entrada y salida, si estas cuentan con protección catódica.

Las tuberías de estación deben estar sometido a pruebas de hermeticidad.

### 3.4. Plan de contingencias City Gate

Describe los principales procedimientos y medidas para adoptar frente a eventos que pudieran acontecer durante las etapas de construcción y operación de la Adecuación del City Gate, a fin de obtener una respuesta, rápida, adecuada y oportuna que pueda mitigar el accidente, incidente o estado de emergencia.

#### ASPECTOS TECNICOS CITY GATE: Cogua y Usme

Tabla 4: Aspectos técnicos de city gate

CARACTERISTICA	USME	COGUA
Capacidad m3/día	500.00	4.700.000
Ramas de Regulación	Doble tre	Un solo tren
Tipo de regulación	Monitor - trabajador	Válvula de control de flujo
Filtro – capacidad de retención (micras)	5	5
Separador	Tipo ciclón	No aplica
Odorización	Proporcional al flujo	Proporcional al flujo
Cromatógrafo	En línea	En línea
Medidor	Placa orificio	Turbina
Sistema de seguridad	Válvula de alivio	Válvula de alivio

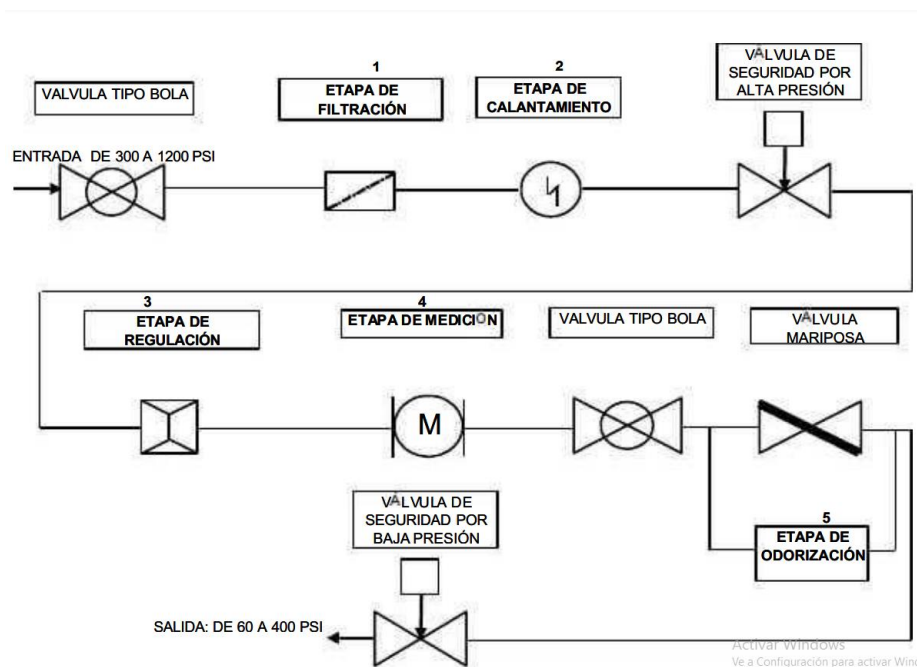
Fuente: Aspecto técnico de City Gate YPFB

### 3.4. Estaciones de entrega de City Gates

Una estación de entrega o City Gate es un punto donde el gas pasa de un sistema de transmisión principal de un Gasoducto Troncal o Ramal a un sistema de distribución local - Red Domiciliaria o Industrial. En este punto el gas es sometido por procesos de filtración, calentamiento, regulación, medición y odorización.



Figura 27: Etapas de un City Gate



Fuente: Elaboración propia

El Gas Natural llega a los City Gates a una presión entre 300 psig a 1200 psig. Una vez que el gas entra a la estación, se hace pasar por un filtro, para retirar las partículas sólidas y la humedad del gas, si es necesario se calienta para evitar la formación de hidratos, seguidamente se baja la presión de operación al nivel contractual deseado que oscila entre 60 y 400 psig, pasa por la etapa de medición, para finalmente odorizarlo y entregarlo al respectivo remitente.

Otros elementos asociados a un City Gate son:

- Transmisores e indicadores de Temperatura: Son utilizados para sensar la presión y medir la temperatura dentro del City Gate, los cuales pueden ser digitales o análogos.

Válvula de seguridad: Son utilizadas para protección del sistema de medición y ajustan a valores cercano contra la máxima presión típica de operación para que por encima de este valor la válvula cierre protegiendo la red urbana.

Trampa recolectora de líquidos y condensados: Consiste en tanques para recoger los líquidos y condensados que vienen en el gas, que posteriormente son vaciados y tirados. Estos líquidos son necesarios retirarlos para que el sistema de regulación no se dañe.

Computadores de flujo: Son como su nombre lo dice, computadores especializados para realizar la corrección de volumen después de la etapa de medición, que están en la capacidad de realizar cálculos matemáticos muy exactos de flujo y volumen que serán facturados al cliente. (YPFB Transporte S.A., 2011)

*Figura 28: City Gate del Municipio de Chaqui – Potosí*



*Fuente: City Gate del Municipio Chaqui*

Las ciudades y los municipios en general, son uno de los más importantes clientes de las redes de transporte de gas natural del país y constituyen el sentido social con el que son construidos los gasoductos, en tal sentido, dichos clientes deben recibir el gas natural en ciertas condiciones de presión y temperatura; función de entrega que cumplen los denominados CITY GATES.

Los City Gates o estaciones de entrega a ciudad tienen entonces varias funciones específicas, ellas son:



- Medir el gas que es entregado al distribuidor local.
- Ajustar el flujo a las condiciones de presión y temperaturas requeridas por el distribuidor local, las cuales están reglamentadas por el Reglamento de Transporte.
- Odorizar el GN (gas natural) para que pueda ser detectado fácilmente por los distribuidores locales y/o los usuarios

En el desarrollo de estas funciones, el CG (City Gate) debe generalmente poseer dos funciones adicionales que tienen objetivos operativos, ellos son:

- Filtración
- Calentamiento

Estas dos funciones adicionales, como se explica más adelante, suelen ser requeridas: la (filtración) para la protección de los equipos y el (calentamiento) preparar el gas en la etapa de regulación. Los City Gates, normalmente contemplan en su diseño dos válvulas de bloqueo, una previa a todas las etapas y sirve para evitar la entrada de gas a toda la estación, la segunda válvula generalmente contemplada en el sistema corresponde a la válvula general de bloqueo de la salida de estación, accionándose automáticamente, esta última actúa en ciertas condiciones anormales de:

- Alta presión de salida
- Baja presión de salida

Ya en el diseño de CG encontramos cinco etapas importantes que son:

- Filtración
- Calentamiento
- Regulación

- Medición
- Odorización

### 3.5. Componentes

#### 3.5.1. Etapas de filtración

El filtrado del gas tiene por objeto eliminar las partículas extrañas de tipo sólido o líquido, que este arrastra, debido a la presencia de contaminantes que vienen a través de la tubería tales como aceite (eventualmente), corrosión, suciedad y polvo; dichas impurezas provocan un efecto de erosión en las válvulas, reguladores y sistema de medición. Es necesario mediante esta etapa, proteger los equipos instalados dentro de la estación y demás accesorios que componen el CG.

Normalmente estos residuos conocidos como polvo negro, se originan internamente debido a la corrosión de la tubería y depende del alta-velocidad del flujo y presión en el transporte del gas. El polvo negro es una definición genérica para el material encontrado en las tuberías durante el transporte de gas natural. También es muy común que este polvo venga humedecido, presentando olor fuerte de hidrocarburos, glicol (utilizado en las plantas de deshidratación, para prevenir la formación de hidratos) y azufre.

El polvo negro se genera por los procesos de corrosión de varias naturalezas, con el origen unido a las presencias de CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, agua, bacterias anaeróbicas y ph de tipo ácidos. Por consiguiente, las sustancias normalmente encontradas en el polvo negro son los óxidos de hierro, principalmente FE<sub>3</sub>O<sub>4</sub> (la magnetita) y FE<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (la siderita).

Como en la práctica es imposible eliminar todas las causas de la corrosión en las tuberías de gas, la formación de polvo negro es un proceso continuo que simplemente podría variar de intensidad. La cantidad de polvo negro generada será directamente proporcional a la presencia y

el potencial de los agentes corrosivos, además del área expuesta a la corrosión (el perímetro y la longitud del interior del conducto).

Para evitar daños a los medidores y elementos dentro del city gate se utilizan elementos de protección como filtros secos, normalmente de cartuchos, y los filtros inerciales o centrifugo; también existen los filtros del contacto con el aceite (los "limpiadores"), el precipitador electrostático y aglomeradores de atracción magnética o ultrasónica.

Debe preverse la colocación de filtros o separadores de polvo, aguas arriba de la regulación con el fin de evitar inconvenientes que se originarían por la presencia de partículas. Los filtros podrán ser verticales u horizontales a escuadra con el diseño apropiado, de cartucho, siendo el diámetro de las conexiones principales del mismo tamaño que el diámetro de la línea de alta presión en que se encuentran instalados. Los filtros deben estar equipados con válvula de purga.

- Los filtros no deben permitir el paso de partículas mayores de 5 micras.
- Los filtros deben cumplir con los requisitos de velocidad y ser del tamaño adecuado para el flujo máximo en la presión mínima.
- Todos los sistemas de filtración deben tener conexiones de drenaje y toma de presiones diferenciales.
- El elemento filtrante debe ser tal que, en el caso de una ruptura de los elementos filtrantes, el cuerpo del filtro tenga la capacidad suficiente para retener los desechos resultantes.
- Un indicador de colmatado con testigo de límite máximo, en cada uno de los filtros.

Los Filtros son usados para eliminación de partículas sólidas en líneas de gas natural, construidos según especificaciones de código ASME VIII en series 150 #, 300 #, 600 #, etc. Son

suministrados con conexiones bridadas, manómetro y purga Pueden incluir indicadores de presión diferencial, transmisores de presión diferencial, etc.

*Figura 29: Filtros para gas natural*



*Fuente: Capacitación integral en gas natural*

### **3.5.2. Etapa de calentamiento**

El gas natural contiene cierta cantidad de HUMEDAD y en el caso de gas rico, tiene ciertas cantidades de hidrocarburos condensables, estos dos componentes pueden cambiar a su fase líquida, como consecuencia de la fuerte reducción de presión que ocurrirá en las válvulas reguladoras, lo cual por el efecto Joules-Thomson originará una importante disminución de temperatura, haciendo que estas fases líquidas se congelen dando origen a la formación de hidratos, los que se cristalizan formando hielo o una especie de "nieve" al interior de las tuberías, las cuales indudablemente representan un fenómeno no deseable por los daños a equipos que pueden llegar a causar y por supuesto las fallas en el flujo de gas que se presentarán a raíz de dicho taponamiento. Por dicho motivo, es necesario en instalaciones donde se produzcan fuertes caídas de presión, adoptar medidas tendientes a evitar este problema, y prevenir que dichos hidratos afecten el normal funcionamiento de la instalación.

El método más utilizado para evitar las consecuencias del fenómeno J-T es el de calentamiento, que evita la condensación del gas ocurrida por el descenso de presión en la etapa de regulación

gracias a que el gas entra a la etapa de regulación a una temperatura tal, que mantendrá la temperatura de salida dentro de unos límites permisibles para el proceso, es así que en sistemas que operan con gas a baja presión (city gates), se pueden utilizar tubos especiales que llevan adaptados tiras metálicas helicoidales o cilindros metálicos soldados, dejando pequeños espacios para el paso de gas; generalmente el coeficiente filmico del gas es basado, en el área extendida que puede estar entre 1.5 y 4.0 Btu hr /pie F (el BTU es unidad del sistema inglés y es la cantidad de calor que se debe suministrar a 1 libra de agua para elevar su temperatura en 1° F.)

Se supone que el calor se transfiere del fluido más caliente al más frío y en la misma cantidad de calor que se transfiere cuando se produce un cambio en la temperatura del fluido sin producirse cambio de fase, es decir:

$$\text{calor transferido} = (\text{peso})(\text{cambio de temperatura})(\text{capacidad calorífica})$$

Peso en Kg./Hr. (Lb./hr)

$$\text{cambio de temperatura} = \text{temp de entrada} - \text{temp de salida} \quad \text{Ec. (1)}$$

La capacidad calorífica del agua es 4.19 KJ/Kg., los hidrocarburos líquidos gaseosos son de cerca de 2.1 KJ/Kg. C, en unidades inglesas para el agua es 1 BTU/lb. °F y para los hidrocarburos aproximadamente 0.5 BTU/lb. °F

### 3.5.2.1. Coeficiente de intercambio de calor.

En un intercambiador, el calor debe pasar del seno del fluido caliente al del frío, pero haciendo el siguiente recorrido.

- Pasar el fluido caliente hasta la pared del tubo.

- Atravesar la pared del tubo.
- Pasar de la pared del tubo al fluido frío.

La velocidad a la cual se mueve depende de las propiedades de los fluidos (además del  $\Delta t$  y de la velocidad de los mismos). Esta velocidad es muy alta en el metal, relativamente alta en el agua, baja en hidrocarburos líquidos y mucho más baja en gases.

El coeficiente es una medida de la cantidad de calor que se transfiere en una hora a través de un pie cuadrado de área del intercambiador, por grado centígrado de diferencia de temperatura existente entre el fluido caliente y el frío. (YPFB Transporte S.A., 2011)

Tabla 5: Coeficiente típico de transferencia de calor

<b>COEFICIENTE TÍPICO DE TRANSFERENCIA DE CALOR U</b>		
<b>Enfriamiento con agua</b>	<b>Unidades SI</b>	<b>Unidades inglesas</b>
	<b>KJ/hr m °C</b>	<b>Btu / hr pie<sup>2</sup> °F</b>
Gas a 700 K pa (1000 psi)	815	40
A 3500 Kpa (500 psi)	1120	55
A 7000 Kpa (1000 psi)	1635	80
C2, C3, C4	1845	90
Gasolina natural	1635	80
Nafta	1635	80
Kerosene	1730	85
Crudo	1225	60
Amina	2850	140
aire	420	20
Agua	3870	190

Fuente: Estación y entrega de City Gate

En resumen, el calor transferido en un intercambiador depende de tres factores:

- Diferencia de temperatura
- Coeficiente de intercambio de calor
- Área externa de los tubos o placas

Por lo tanto, la ecuación básica que puede emplearse en todos los casos de transferencia de calor por convección es:

$$Q = U \times A \times \Delta T_m \quad \text{Ec. (2)}$$

Donde

$Q =$  Es el calor transferido  $\frac{KJ}{hr} \left( \frac{Btu}{hr} \right)$

$U =$  coeficiente de transferencia de calor  $\frac{KJ}{hr \text{ pies}^2 \text{ } ^\circ F}$

$A =$  Area exterior de transferencia de calor

$\Delta T_m =$  Diferencia de temperatura corregida.

### 3.5.2.2. Cambio de calor

Las estaciones receptoras deberían ir provistas de un sistema de calentamiento de gas de forma que este, después del enfriamiento producido por el regulador, no tenga a la salida del mismo una temperatura a 5 °C.

Para el gas natural cada reducción de la presión de 1kg/cm<sup>2</sup> provoca un enfriamiento de 0,5 °C en el gas.

Los dispositivos de calentamiento del gas pueden estar constituidos por:



- Por un intercambiador de calor situado en la línea de regulación y antes de regulador, esta alimentado por agua caliente procedente de una caldera independiente o de una fuente de calor existente en la industria.

### **3.5.3. Contadores**

Sirve para medir el caudal de gas que ha pasado en un determinado tiempo, tanto para, su función es el control y verificación del caudal que maneja el regulador.

### **3.5.4. Registradores de presión y temperatura**

Permiten controlar las condiciones de trabajo del regulador y del cambiador de calor (cuando sea necesario), siendo imprescindibles para las correcciones de los volúmenes totalizados por los contadores.

### **3.5.5. Etapa de regulación**

Es la operación más importante dentro de un City Gate, y consiste en utilización de reguladores para lograr la uniformidad de la presión de la red de suministro interno, a pesar de la variabilidad de las presiones de las redes de distribución o gasoductos. Además, debe contemplar la discontinuidad de los niveles de consumos internos.

Esta operación se cumple por medio de válvulas reguladoras de funcionamiento automático. Cuando resulte impracticable la interrupción del suministro de gas se prevea la instalación de un sistema de regulación adicional de reserva (instalado en by- pass).

Para aquellas instalaciones en las que el caudal varía notablemente, es aconsejable prever de un regulador para los periodos en que los consumos resulten mínimos. Para la selección de reguladores, deben tenerse en cuenta los siguientes factores:

- Presión de suministro a la entrada (mínima, normal, máxima)

- Presión regulada deseada
- Caudal (máximo, mínimo y normal)

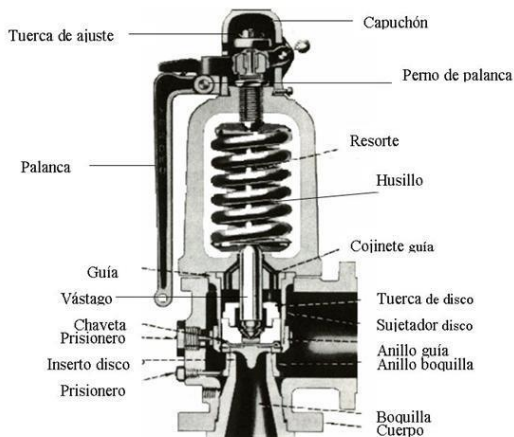
Es decir, en esta etapa se reduce la alta presión de línea que está en el gasoducto y que puede oscilar entre 1000 a 500 psi, para reducirla entre 250 o 60 psig, según las condiciones que requiera la empresa local encargada de suministrar y entregar el gas a las residencias o industrias.

En esta etapa encontramos válvulas de seguridad Slam - Shut-Off, reguladores de tipo axial y tipo piloto entre las más utilizadas:

### 3.5.5.1. Válvula de seguridad (Slam Shut-off):

Este tipo de válvula se coloca antes de iniciar la etapa de regulación y se usa para proteger el sistema en caso de sobre - presión. Véase figura 30

*Figura 30: Válvula de seguridad*



*Fuente: Válvulas, selección, uso y mantenimiento. Richard Greene*

La instalación de regulación debe contar en todos los casos con válvulas de seguridad, destinadas a proteger a la misma de eventuales elevaciones de presión, provenientes de posibles

desperfectos de los reguladores. Los reguladores pueden trabarse por fallas mecánicas, originando en tal caso, presiones elevadas en la red de consumo.

Se utilizan dos tipos de válvulas de seguridad:

- Por bloqueo (bloquean el paso de gas en caso de sobrepresión)
- Por alivio (en caso de sobrepresión ventean gas a la atmósfera)

La tendencia actual es, por cuestiones de seguridad y de cuidado ambiental, reducir al mínimo la utilización de válvulas de seguridad por alivio.

- Cálculo del flujo en las válvulas de seguridad. Inicialmente se debe determinar si se está en flujo crítico o subcrítico. El flujo crítico se detiene cuando la velocidad del gas a través del orificio de la válvula es igual a la velocidad del sonido en el gas es:

$$V_c = 68.1 \sqrt{\frac{K P_x}{\rho_x}} \quad \text{Ec. (3)}$$

Donde:

$V_c =$  velocidad crítica

$K =$  relación de calores específicos  $\frac{C_p}{C_v}$  a condiciones de entrada.

$P_x =$  presión en la restricción al flujo crítico (psia) o presión crítica de flujo

$\rho_x =$  densidad a las condiciones críticas temperatura y presión,  $\frac{\text{lb}}{\text{pie}^3}$

$P_1 =$  presión antes de la válvula (psia)

$P_2 =$  presión después de la válvula (psia)

$P_2 > P_1$  Se tiene flujo subcrítico y la velocidad es función de  $P_1$  y  $P_2$

$P_2 < P_1$  Se tiene flujo crítico y la velocidad es función de  $P_1$  y  $P_x$

Para utilizar la ecuación (1) se debe conocer  $P_x$  que se calcula así:

$$\frac{P_x}{P_1} = \left( \frac{2}{K+1} \right)^{\frac{K}{K-1}} \quad \text{Ec. (4)}$$

Por lo tanto, para calcular la rata para flujo crítico es:

$$W = 520 \times K_d \times K_b \times A \times P_1 \sqrt{\frac{M}{\mu T_1} \times K \left( \frac{2}{K+1} \right)^{\frac{K}{K-1}}} \quad \text{Ec. (5)}$$

Donde:

$W$  = rata de flujo,  $\frac{lb}{hr}$

$K_d$  = coeficiente del orificio de descarga dada por los fabricantes, generalmente (0.953 para aire, vapor de agua y gases) y (0.64 para líquidos)

$K_b$  = factor de corrección por contrapresión (dados por los fabricantes)

$A$  = área del orificio en pulgadas cuadradas.

$M$  = peso molecular

$\mu$  = factor de compresibilidad

$T_1$  = temperatura de entrada

Y para calcular la rata para flujo subcrítico es:

$$W = 2404 \times K_d \times K_b \times A \sqrt{\frac{P_1}{V_1} \frac{k}{k-1} \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{2}{k}} \left[1 - \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}}\right]} \quad \text{Ec. (6)}$$

Donde:

$V_1$  = volumen específico

3.3.2 Válvulas de Flujo Axial. Se utilizan en esta etapa y se laman de flujo axial, porque a través de estas válvulas generalmente el gas puede fluir en cualquier dirección siguiendo una trayectoria no recta, curva, en espiral o de cualquier tipo. Véase figura 35 y 36

Normalmente estas válvulas poseen cuatro elementos principales que son:

- Una membrana flexible de tipo toroidal
- Una Jaula de flujo para entrada del gas
- Una Jaula de flujo para salida del gas
- Un cuerpo adjunto

Esta clase de válvula puede ser instalada en cualquier posición, reduciendo las sobredimensiones en la estación reguladora de gas. Debido a que sus componentes son totalmente intercambiables y reversibles, se asegura, que la válvula de flujo axial es de fácil instalación y mantenimiento. Por ser tan flexibles se pueden obtener presiones desde 0.1 bar hasta 100 bares (14.5 a 1450 psi).

- **Funcionamiento de la válvula de flujo axial:** El corazón de la válvula de flujo axial es la manga o acoplador único flexible en forma de 'V'. El estrangulamiento y control del gas, es realizado por la expansión y contracción de la manga con respecto a la entrada o salida de las jaulas dentadas, las cuales se ajustan en conjunto con el cuerpo de la misma. Un cuerpo

cilíndrico rodea a la jaula y a la manga ensambladas formando la forma de 'V', todas las cuatro partes se sostienen junto con un solo perno a través del centro de las jaulas. El control se logra variando la presión en la cavidad a la parte de atrás de la manga.

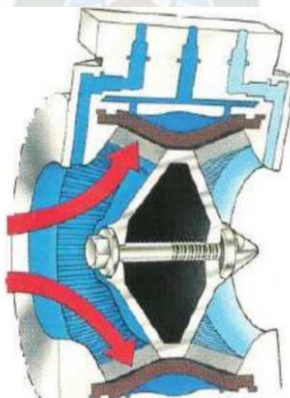
*Figura 31: Manga y jaula ensambladas juntas con un simple perno*



*Fuente: Manual Técnico IGA, Internacional Gas Apparatus*

- Posición Cerrada: Se observa que cuando la presión de suministro de gas en la parte de atrás de la manga es igual a la presión de la entrada de la jaula de flujo para la entrada de gas, esta permanece cerrada. La presión diferencial sobre la parte de la manga en el lado aguas arriba es cero (0) psi, pero la precarga de la manga ejerce una fuerza de cierre. El diferencial a través de la porción en el lado aguas abajo de la manga es la diferencia entre las presiones aguas arriba y aguas abajo.

*Figura 32: Posición cerrada*

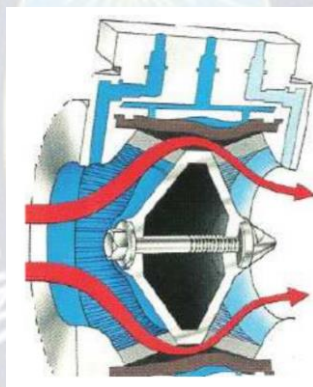


*Fuente: Manual Técnico IGA, Internacional Gas Apparatus*



- Posición de estrangulamiento: Se observa que, reduciendo la presión a la parte de atrás de la manga, esta crea un desequilibrio de presión, que será una presión de la entrada que es mucho mayor. Para que la válvula se abra, la presión de control debe reducirse. Un ligero descenso en la presión de control le permite a la presión de entrada levantar la manga. A medida que la presión continúa descendiendo la presión de control, la precarga de la manga central se desequilibra (se vence su fuerza) y se separa ésta, en forma progresiva de la jaula en el lado aguas arriba, al final se inicia el flujo a través de la válvula cuando las aperturas crónicas de la jaula en el lado de la salida quedan al descubierto. Véase figura 13

*Figura 33: Posición semi abierta o de estrangulamiento*

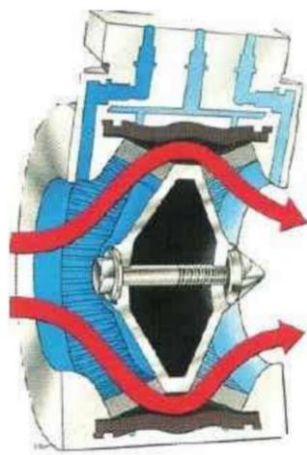


*Fuente: Manual Técnico IGA. Internacional Gas Apparatus*

- Posición Abierta: Se observa que la válvula opera completamente abierta cuando la carga de presión de control es suficiente para dejar a las ranuras en la jaula por el lado aguas abajo expuestas al flujo y la manga está completamente expandida apoyada en el contomo interno del cuerpo de la válvula. Es decir, reduciendo la presión de control e incrementando el diferencial a través de la manga se permite expandirla hasta lograr que se llene el cuerpo

de la válvula para un 100% de capacidad. La posición de la manga y por consiguiente el flujo, es controlado por la presión a la parte de atrás de la manga. Véase figura 40

Figura 34: Posición abierta



Fuente: Manual Técnico IGA. Internacional Gas Apparatus

Ecuación para el cálculo flujo: Para calcular el flujo que va a pasar a través de la válvula y seleccionar el dimensionamiento de la misma se deben utilizar las siguientes ecuaciones:

Flujo sub. Critico

$$P_2 > \frac{P_1}{2} \quad \text{Ec. (7)}$$

Flujo Critico

$$P_2 \leq \frac{P_1}{2} \quad \text{Ec. (8)}$$

$$Q = 25 C_g \times \sqrt{P_2 \Delta P} \times \frac{1}{\sqrt{G}} \times F \quad \text{Ec. (9)} \quad Q = 12.5 C_g \times P_1 \times \frac{1}{\sqrt{G}} \times F \quad \text{Ec. (10)}$$

Donde:

Q = Flujo en m<sup>3</sup> (st)/h (15°C/1.013bar)

$C_g$  = Coeficiente de la válvula (de las cartas)

$P_1$  = Presión de entrada (bar absoluto)

$P_2$  = Presión de salida (bar absoluto)

$\Delta P$  = Delta de presión diferencial ( $P_1 - P_2$ )

G = Gravedad específica del gas

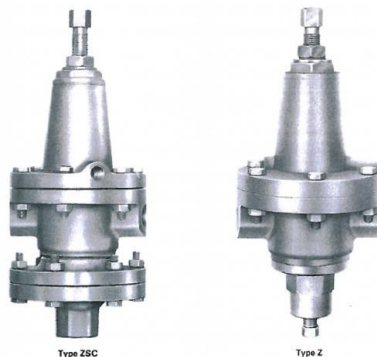
F = Factor de dimensionamiento (de la característica de la manga)

### 3.5.5.2. Reguladores Piloto tipo Z

Este tipo de regulador, se usa para presionar el equilibrio del diafragma para el posicionamiento positivo de la válvula de la línea principal con respecto al flujo. Este regulador proporcionará rápidamente, la regulación con presión exacta, estable y se recomienda sobre todo para instalaciones dónde ocurren grandes cambios de carga y dónde se requieren reducciones de presión grandes, también donde exista una variación considerable en la presión de la entrada.

También se usa donde la presión de la salida, excede los límites prácticos del resorte o carga de peso. La válvula está provista con un resorte de equilibrio para asegurar un cierre firme y para proporcionar una gama amplia de ajuste de presión de salida.

*Figura 35: Regulador piloto tipo Z*



*Fuente: Manual Técnico IGA. Internacional Gas Apparatus*

- Ecuación para el cálculo de flujo del regulador tipo z: Para el cálculo de flujo del regulador se utilizan dos ecuaciones importantes, una para cuando existe un flujo sub. Crítico y la otra cuando hay flujo crítico.

### Flujo sub. Crítico

La presión de salida  $> 0.53$  x presión de entrada en psi

$$Q = C_x \sqrt{P_2 h} \times F_g \quad \text{Ec. (11)}$$

### Flujo Crítico

$$Q = 0.5 C_x \times P_1 \times F \quad \text{Ec. (11)}$$

Donde:

$Q$  = Flujo en pies cúbicos por hora a 30 pulgadas de Hg. Y 60° F (SCFH)

$P_1$  = Presión de entrada en psi

$P_2$  = Presión de salida en psi

$h$  = presión diferencial ( $P_1 - P_2$ )

$C$  = Coeficiente que indica la constante de orificio

1/16" = 5.5

3/32" = 11.0

1/8" = 20.7

$F_g$  = Factor de gravedad específica =  $\sqrt{\frac{1}{s_p * G_r}}$

### 3.5.5.3. Reguladores Pilotados

Los reguladores pilotados están conformados por un pequeño regulador, o piloto, que es utilizado como control del regulador principal. El piloto, amplificador o multiplicador tiene la habilidad de traducir los pequeños cambios en la presión aguas abajo, en grandes cambios aplicados sobre el instrumento de medida (diafragma).

El incremento en la sensibilidad del piloto y la reducción del decaimiento de presión es una ventaja relativa. La ganancia del piloto incrementa sensibilidad, causando el incremento de la ganancia de todo el sistema. Esto puede causar inestabilidad en lazos de regulación o regulaciones en serie. Para garantizar una correcta operación, el piloto debe ser configurado y seleccionado acorde con el regulador principal. El piloto, por lo general, es un regulador pequeño y económico, comparado con el regulador principal.

#### **Tipos de sistemas de regulación.**

- ✓ Regulador de una sola etapa.
- ✓ Regulador de doble etapa o en cascada
- ✓ Regulador activo/monitor
- ✓ Regulador con sistema de bloqueo por sobre presión incluido

*Figura 36: Tipos de sistema de regulación*



*Fuente: Capacitación integral en gas natural*

#### **3.5.5.4. Regulador Auto – Operador**

Los reguladores auto-operados disponen de menos partes móviles. La particularidad de contar con un resorte como único ajuste en la presión de entrega le confiere una ventaja en las labores de operación y mantenimiento, sin embargo, esta simplicidad presenta desventajas operativas:

- Desbalance: Al incrementar la fuerza del resorte se aumenta el nivel de presión a la salida.
- Un cambio en la presión de entrada también afecta la presión de salida.
- Error de medición: De acuerdo a las características internas del regulador, existe una determinada caída de presión a lo largo del recorrido del fluido por los ductos internos del equipo.

#### **3.5.5.5. Reguladores**

Un regulador de gas es un instrumento conectado a la tubería de conducción, que sirve para controlar el flujo de gas y mantenerlo a una presión adecuada y uniforme. Sin este dispositivo sería imposible utilizar los equipos de gas, ya que la presión de origen es muy alta. Existen reguladores de uso doméstico, comercial e industrial, la capacidad de un regulador dependerá directamente del caudal que puede suministrar y la presión tanto de entrada como la regulada.

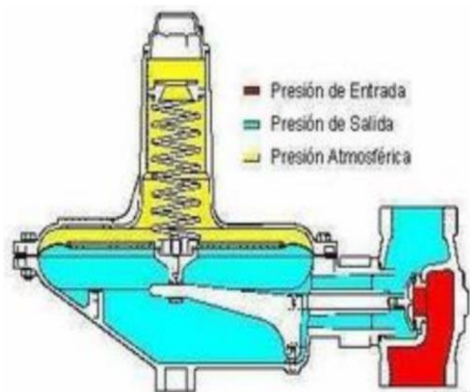
- Se debe tener en cuenta la información sobre la curva de comportamiento, curva de operación, capacidad, presión de operación, presiones diferenciales máximas y mínimas de operación y rangeabilidad, suministradas por el fabricante.
- Adicionalmente, los reguladores deben seleccionarse para los máximos volúmenes de gas esperados a la mínima presión de entrada prevista.
- Los reguladores deberán contar con una certificación de funcionamiento a caudal máximo y caudal mínimo manteniendo la presión regulada.



### Elementos que componen un regulador:

- Restrictor: orificio de la válvula y tapón.
- Sensor: diafragma y conductos.
- Elemento de Carga: resorte, gas comprimido o gas regulado suministrado por un piloto.

Figura 37: Elementos que compone un regulador



Fuente: Capacitación integral en gas natural

### 3.5.5.6. Reductores, reguladores de presión

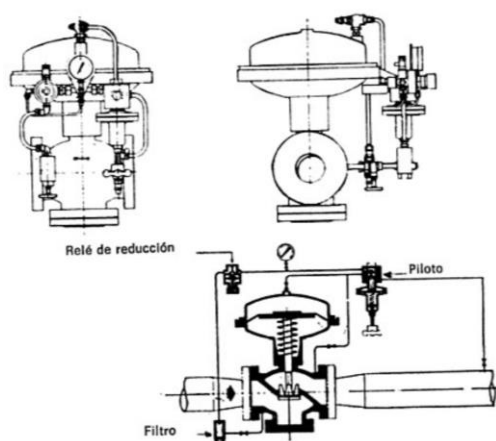
Regula y reduce la presión, cada reductor está concebido para proporcionar cierta gama de presiones de salida, tienen una presión máxima de servicio y presión mínima.

- Debe ser de acero, fundición o aleaciones especiales, de acuerdo con las presiones nominales de trabajo.
- El cierre de la válvula de regulación debe ser perfectamente estanco a caudal nulo.
- Para saltos elevados de presión, se recomienda el uso de reguladores de cascada.

La regulación de la presión, sobre todo cuando la reducción de presión es elevada, produce, en algunos casos, un silbido que, según el nivel sonoro, pueda molestar y crear perturbaciones al personal o a los vecinos. La elección de regulador se hará teniendo en cuenta este inconveniente. Si el nivel sonoro es elevado, será previsto prever un aislamiento acústico.

En la reducción de presión del gas natural, este se enfría puesto que obedece menos las leyes de los gases perfectos. Para el GN la disminución de temperatura es del orden  $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  por cada  $\text{kg}/\text{cm}^2$ .

Figura 38: Regulador francel



Fuente: Manual Técnico IGA. Internacional Gas Apparatus

### 3.5.6. Etapa de medición

El medidor es la caja registradora de la compañía y el flujo de gas natural, o de cualquier otro fluido, se traduce inmediatamente en flujo de dinero. Es por esto, que alrededor de este elemento se centra gran parte de la atención de las compañías distribuidoras o transportadoras de gas natural. Para asegurar una correcta medición del flujo de gas natural, deben recurrirse a conceptos estadísticos, variables de presión, temperatura, cromatografía, densidad, etc., es decir, diversos aspectos que nos llevan a preguntarnos: ¿Cuál es el medidor más adecuado para mi aplicación?

Un medidor es un equipo que permite conocer directamente el caudal de flujo en un tiempo dado. Existen dos posibles formas para obtener el dato directamente y es lo que diferencia a los medidores lineales y los diferenciales. Otra clasificación de medidores es utilizada por el sector industrial como medidores volumétricos y no volumétricos. Los equipos para la medición de gas

natural son instrumentos de alta tecnología, precisos y de diferente configuración. La selección del instrumento de medición se establece en función de las siguientes pautas como: consumo de gas, variabilidad del consumo interno y condiciones de presión regulada interna.

Figura 39: Factores que determina la medición del gas natural



Fuente: Elaboración Propia

Se utilizan distintos tipos de medidores, entre los que se pueden mencionar.

- Medidores de flujo Volumétrico
- Medidores de Diafragma
- Medidores de Desplazamiento positivo-Rotación
- Medidores de Orificio
- Medidores de Turbina

### 3.5.6.1. Medidores de flujo Volumétrico

Los medidores de gas natural de flujo volumétrico son los más usados en la industria, comercio y domicilios, por su combinación única de especificaciones técnicas, precio y duración. Entre sus características tenemos:

- Los medidores de este tipo utilizan un principio de medición volumétrica para determinar el caudal de gas natural que pasa el medidor.
- Se pueden dividir en tres (3) grandes grupos:
  - ❖ Desplazamiento Positivo (Rotativo)
  - ❖ Velocidad (Turbina)
  - ❖ Inferenciales (Diafragma)

La tabla Relaciona las características principales de los medidores de flujo volumétrico y los ubica de manera comparativa frente a ellos mismos, siendo uno (1) el nivel máximo y tres (3) el nivel mínimo.

Tabla 6: comparativa de medidores Volumétricos (Cortesía Itron / Actaris)

CRITERIO DE COMPARACIÓN	DIAFRAGMA	ROTATORIO	TURBINA
PRECISIÓN	2	1	1
CAUDAL DE ARRANQUE	1	2	3
RANGUEABILIDAD	1	2	3
POCA SENSIBILIDAD AL FLUJO VARIABLE	1	1	2
SENSIBILIDAD A CARGA PULSANTE	1	1	2
AVISO AUTOMÁTICO DE FALLA	2	1	3
BY-PASS EN CASO DE FALLA	2	3	1
METROLOGÍA FÁCIL DE VERIFICAR	1	2	2
TAMAÑO	2	1	1
MONTAJE DIRECTO	2	1	1
EMISOR DE PULSOS DE BAJA FRECUENCIA	3	2	1

EMISOR DE PULSOS DE ALTA FRECUENCIA	0	2	1
COSTO DE INSTALACIÓN	2	1	1
COSTO DE MANTENIMIENTO Y REGULACIÓN	1	3	2

*Fuente: Capacitación Integral en Gas Natural*

### 3.5.6.2. Medidores de Diafragma

Los medidores de diafragma, son utilizados para muy bajas capacidades, máximo 100 m<sup>3</sup>/hr. Para mayores flujos y altas presiones son demasiado costosos y voluminosos. Son medidores de desplazamiento positivo, amplia rangeabilidad 1:150, bajos costos de mantenimiento. Su principal desventaja está en la limitación de uso a altas presiones y alta carga de presión a través del medidor. Están disponibles en el mercado a capacidad desde 2.5 m/h. Son ampliamente utilizados en el sector domiciliario.

*Figura 40: Medidor de Diafragma*

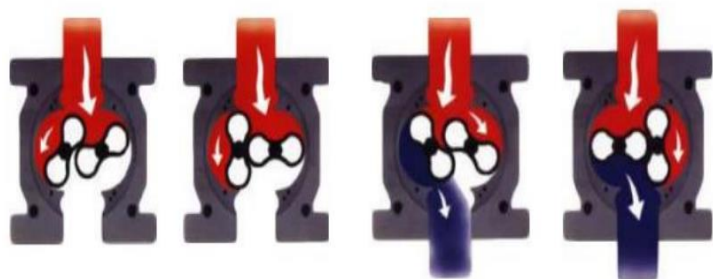


*Figura: Energias*

### 3.5.6.3. Medidores Rotatorios

Son altamente mecanizados instrumentos de precisión capaces de manejar mayores volúmenes y presiones que medidores de diafragma. Dentro del medidor, hay "8" lóbulos o a laves. Con cada vuelta, se mueve una cantidad específica de gas a través del medidor. Un movimiento de rotación del cigüeñal sirve como un elemento de flujo primario y puede producir impulsos eléctricos para un ordenador de flujo o puede conducir un odómetro como contador.

*Figura 41: Medidor de tipo Rotativo, Cuatro (4) ciclos completan una revolución*



*Fuente: Capacitación Integral en Gas natural*

### Medidores con platina de Orificio

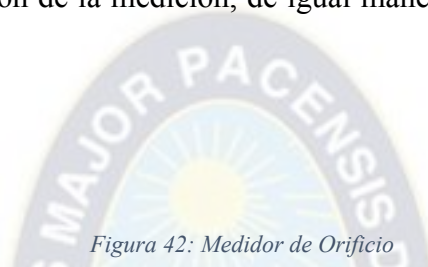
Los medidores con platina de orificio, son los más comunes para la medición de flujo de gas, se basan en el principio de que al pasar el flujo por una restricción se incrementa la velocidad y se reduce la presión. De acuerdo con el principio de Bernoulli la velocidad del flujo es proporcional a la raíz cuadrada del diferencial de presión en la restricción. La presión diferencial a través del orificio está determinada, por el diámetro del orificio, el diámetro de la tubería y la densidad del fluido sobre la cual influyen las condiciones de presión y temperatura.

Los medidores de orificio son simples de hacer y de instalar, sin embargo, presentan una importante desventaja porque causan la mayor caída de presión que los otros tipos de medidores. Los medidores de orificio requieren constante chequeo y calibración del instrumento que mide la



diferencial de presión, principio en el cual se fundamenta este tipo de medidores. Su rangeabilidad no se ve afectada por el incremento de presión en el sistema que, para un determinado diámetro de orificio, posee baja rangeabilidad,

La precisión del medidor de orificio es afectada si las condiciones se exceden del rango bajo el cual fue especificado. Cualquier cambio en concentración del orificio, diámetro, bordes y espesor de platina inciden en la precisión de la medición, de igual manera el arrastre de impurezas en el gas natural.



*Figura 42: Medidor de Orificio*



*Fuente: Catalogo Emerson Process DANIEL*

#### **3.5.6.4. Medidores de Turbina.**

Los medidores de turbina son muy utilizados en las estaciones de entrega del gas natural (City-Gate). Su funcionamiento es muy sencillo, el flujo hace que las cuchillas internas de la turbina roten sobre su eje y la velocidad angular del rotor sea directamente proporcional a la velocidad del fluido. La salida del medidor es un generador de pulsos eléctricos de amplitud variante que se amplifica por preamplificador montado sobre el medidor y cuya frecuencia es proporcional al

flujo; la salida del preamplificador se transmite aun totalizador de flujo, que corrige los pulsos generados en el medidor con un factor de medición que puede compensar los efectos de la temperatura y presión para entregar un volumen total corregido.

Su rangeabilidad se incrementa con la raíz cuadrada de la presión (1:200 a altas presiones). Su máxima presión de trabajo puede llegar a 1500 psia, y vienen en diámetros desde 2 hasta 30". Sus principales ventajas radican en su facilidad de instalación en el arreglo de la estación sin necesidad de soportes, su amplitud de rango que es de 10 a 1 contra 4 a 1 de la platina de orificio con excelente precisión dentro del rango, libre de orientación, de diseño compacto y en caso de falla del medidor no existe obstrucción de flujo. Sus desventajas están en que no indica fallas en su operación, bajo flujos pulsantes incrementa su desviación de medición, requiere cierta longitud de tubería recta antes del medidor y poseen baja rangeabilidad si se comparan con los rotatorios, y no deben ser utilizados para flujos on-off.

*Figura 43: Medidor de Turbina*



*Fuente: AliExpress*

### 3.5.6.5. Ecuaciones para la etapa de Medición.

El medidor de orificio es más utilizado en la medición de gas, para esto es necesario tener en cuenta los datos de presión estática y diferencial, temperatura y si es posible gravedad específica.

Para calcular la cantidad medida se determina por la fórmula:

$$Q_h = C' \sqrt{h_w P_f} \quad \text{Ec. (12)}$$

Donde:

$Q_h$  = Flujo de gas a condiciones base en pies cúbicos hora (pch)

$C'$  = Constante de flujo del orificio. Es igual al flujo en pies cúbicos por hora a las condiciones base cuando  $\sqrt{h_w P_f} = 1000$

$h_w$  = diferencial en pulgadas de agua

$P_f$  = presión estática en psia

- Constante de flujo del orificio  $C'$ : También es llamada constante del orificio. Su valor se obtiene multiplicando varios factores como se expresa en la siguiente formula:

$$C' = F_b \times F_{pb} \times F_{tb} \times F_g \times F_{tf} \times F_r \times Y \times F_{pv} \times F_m \quad \text{Ec. (13)}$$

Donde:

- $F_b$  = factor básico de flujo del orificio o factor del orificio que está basada de acuerdo a las siguientes condiciones:
- Presión base  $P_b = 14.73$  psia
- Temperatura base  $t_b = 60^\circ\text{F}$
- Gravedad específica  $G = 1000$

- Temperatura de flujo  $T_f = 60$  °F
- Número de Reynolds infinito
- Factor de expansión igual a 1

El valor del factor depende de la localización de la toma (entrada de gas), del diámetro del orificio  $d$  y el de la tubería  $D$  donde:

$$F_b = 338.17 K_0 d^2 \quad Ec. (14)$$

338.17 = constante medida acorde con las condiciones básicas estipuladas anteriormente.

$K_0$  = Coeficiente de descarga cuando el número Reynolds es infinito.

$d$  = diámetro del orificio en pulgadas.

Normalmente se dispone de tablas para  $F_b$ , según donde las tomas estén en las bridas o en la tubería.

$F_{pb}$  = factor de presión base, puede encontrarse mediante la fórmula:

$$F_{pb} = \frac{14.73}{P_b} \quad Ec. (16)$$

$P_b$  = presión base de acuerdo al sitio, en psia

$F_{tb}$  = factor de temperatura base, viene dado en tablas para cuando la temperatura base no es de 60 F y además se puede obtener mediante la siguiente formula:

$$F_{tb} = \frac{t_b}{520} \quad Ec. (17)$$

$t_b$  = temperatura absoluta, de acuerdo a las condiciones de operación (460+ "F)

$F_g$  = factor de gravedad específica, existen tablas para cuando la gravedad específica es distinta de 1 y además se puede encontrar mediante la siguiente formula:

$$F_g = \sqrt{\frac{1}{G}} \quad Ec. (18)$$

$G$  = gravedad específica del gas fluyendo aire y es igual 1

$F_{tf}$  = factor de temperatura de flujo; cuando la temperatura de flujo es distinta de 60 °F se debe aplicar este factor. Se encuentra en tablas y también mediante esta fórmula:

$$F_{tf} = \sqrt{\frac{520}{T_f}} \quad Ec. (19)$$

$T_f$  = temperatura actual del flujo

$F_r$  = factor del número de Reynolds, el cual se debe obtener mediante la fórmula:

$$F_r = 1 + \frac{b}{\sqrt{h_w P_f}} \quad Ec. (20)$$

El factor  $b$  viene tabulado para diámetros distintos de tubería y diámetros de orificio que varían en 1/8 de pulgada. Cuando el diámetro del orificio no es exacto, existen otras tablas en que se utiliza igual a  $d/D$  y el diámetro de la tubería.

$Y$  = factor de expansión, se dispone de varias tablas de acuerdo a si se tienen tomas en las bridas o en la tubería y además si la presión estática se tomó antes o después del orificio o es una expresión media

$F_{pv}$  = factor de supercompresibilidad, puede determinarse a partir de una muestra del gas y/o evaluarse de las tablas disponibles.

$F_m$  = factor manométrico, se emplea para medidores de mercurio en los que el gas está en contacto con el mercurio. Actualmente estos medidores se emplean muy poco sin embargo se disponen de tablas y de ecuación para calcularlo donde:

$$F_m = \sqrt{1 - \left( \frac{\text{peso. especif. gas}}{\text{peso. espec. mercurio}} \right)} \quad \text{Ec. (21)}$$

### 3.5.6.6. Determinación del Factor de súper compresibilidad.

Este valor se toma generalmente por tablas, sin embargo, a continuación, un método para determinar este factor, cuando no se halle en tablas.

La presión es aceptable para los propósitos de liquidación mientras no se excedan la gravedad específica de 0.75, el contenido de N<sub>2</sub> de 12% y el dióxido de carbono de 5%.

Existen dos métodos, el de gravedad específica que requiere el conocimiento de dicha propiedad y del contenido de nitrógeno (X<sub>n</sub>) y del dióxido de carbono (X<sub>c</sub>) como fracciones volumétricas.

El segundo método es el del poder calorífico, en el cual se requiere el conocimiento de este valor, de la gravedad específica y del contenido de dióxido de carbono.

Hay sistemas menos complicados que estos que se basan en la siguiente ecuación

$$F_{pv} = \sqrt{1 + \frac{pf \times 9.16 \times 10^5 \times 10^{1.188G}}{T_f \cdot 3.285}} \quad \text{Ec. (22)}$$

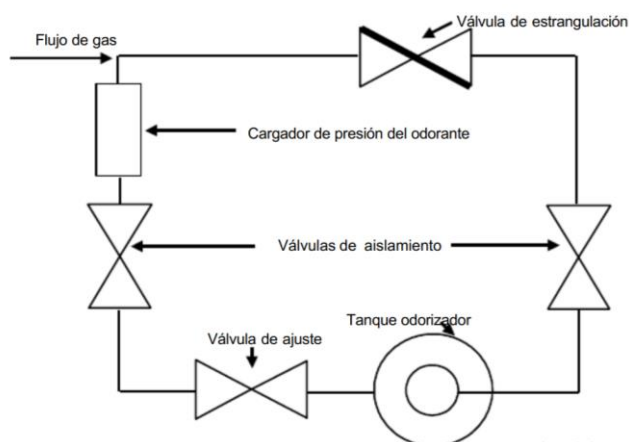
Este método fue desarrollado por la California Natural Gasoline Association, pero no es seguro para altas presiones y temperaturas, tiene además factores de corrección para cuando están presentes N<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>

### 3.5.7. Etapa de odorización



Como el gas natural que alimenta a los gasoductos carece prácticamente de olor, se exige añadirle un odorizante para poder detectar su presencia con facilidad en caso de accidentes y fugas. Esta odorización se logra añadiéndole al gas, antes que llegue al consumidor, rastros de algunos compuestos orgánicos de azufre.

Figura 44: Sistema de odorización



Fuente: *Catálogo Emerson Process DANIEL*

La odorización se acostumbra para darle olor de identificación al gas, especialmente cuando el gas está libre de compuestos de azufre, los más empleados son disulfuros, tioteres compuestos anillados con enlace carbón-azufre y mercaptanos.

La concentración de odorizante se puede determinar por su presión de vapor mediante la relación:

$$Y = \frac{p}{P} \quad \text{Ec. (23)}$$

Donde:

$Y$  = Fracción Molar

$P$  = Presión De vapor a la temperatura de adición

$\rho$  = Presión total del sistema

El límite de explosividad del gas natural en aire es de aproximadamente 5 % Vol. Esto proporciona la base de resoluciones gubernamentales que fijan la concentración del odorante en valor tal para que un individuo normal detecte la concentración de gas en aire al 1% en Vol. Odorización excesiva debe evitarse porque trae consigo alarmas y reportes anormales de escapes.

La concentración de odorizante en el gas natural debe ser tal que el gas sea detectado por olfato cuando su concentración en la mezcla con aire sea de 1% en volumen, esto es la quinta parte del límite Inferior de explosividad (LIE), que es el 5% (cinco por ciento) en volumen de gas en aire y un límite superior de explosividad (LSE) que es un valor superior de la concentración de gas natural disperso en el aire, arriba del cual no se presenta una mezcla explosiva. Para el gas natural el límite superior de explosividad es del 15% (quince por ciento) en volumen de gas en aire.

El odorizante más utilizado se llama mercaptano, que es un compuesto orgánico sulfurado de olor característico desagradable, tóxico e irritante en altas concentraciones; también conocidos como Tioles.

El odorizante debe cumplir, como mínimo, con los requisitos siguientes:

- Contar con un grado de pureza que permita alcanzar el nivel de odorización mínimo.
- Ser compatible con los materiales de fabricación del equipo utilizado para la odorización del gas.
- Ser estable física y químicamente para asegurar su presencia
- No ser tóxico ni nocivo para las personas y equipos en la concentración requerida
- Ser de fácil combustión dentro del rango recomendado por el fabricante.

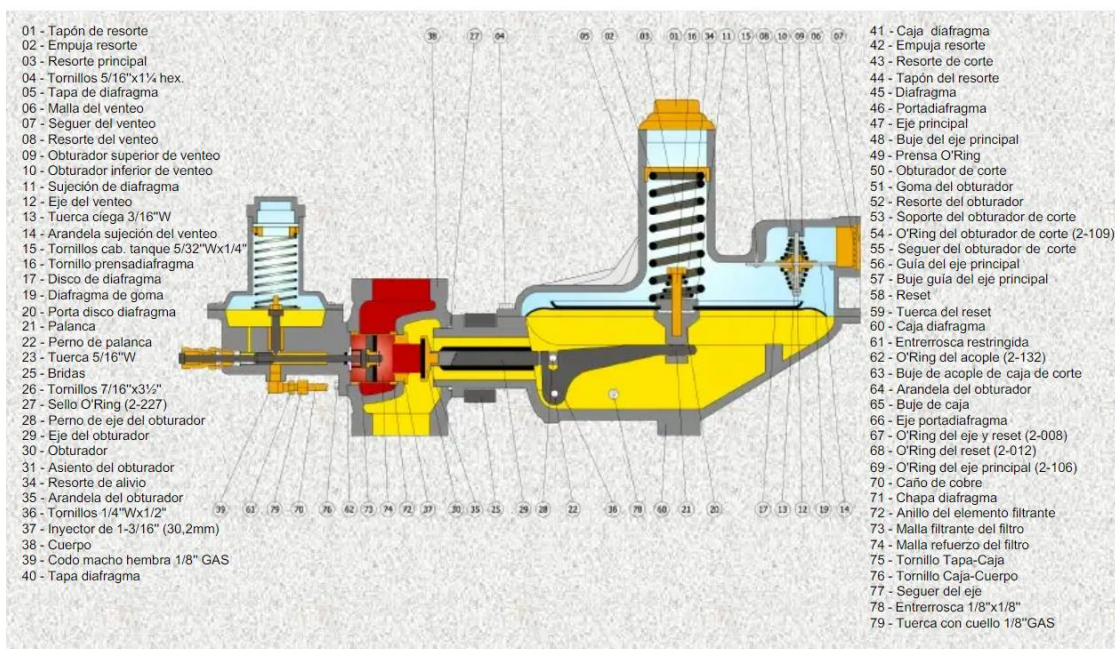
- Contar con un grado de penetrabilidad que permita detectar las fugas de gas de una tubería enterrada por medio de la mancha que deja en el suelo y así prevenir a la población en el área circundante del peligro.
- Tener una solubilidad en agua menor a 2,5% en masa. Contar con un olor que proporcione al gas natural el aroma característico y persistente.
- Ser manejable para facilitar su adición al gas natural
- Los productos de la combustión del odorizante no deben ser corrosivos a los materiales expuestos ni ser nocivos para la salud de la población.

El olor del gas natural debe monitorearse en puntos determinados de la red de distribución para verificar que la concentración del odorizante sea estable y se perciba cuando la proporción de gas natural en aire sea del 1% (uno por ciento) o una quinta parte del límite inferior de explosividad.

El control del proceso de odorización puede efectuarse en forma indirecta por el consumo de odorizante, o de forma directa mediante el análisis del contenido de odorizante en el gas natural.

La distribución del gas exige la existencia de una empresa distribuidora con soporte de ingeniería, construcción y técnica adecuada de mantenimiento.

Figura 45: Etapa de odorización



Fuente: *Catalogo Emerson Process DANIEL*

### 3.5.7.1. Odorización Mediante Inyección

Este sistema de odorización es el más preciso ya que la dosificación de odorante es realizada de manera automática mediante un controlador microprocesador o computador de flujo en función al volumen demandado y las especificaciones programadas, tal característica permite odorizar grandes volúmenes de gas a elevadas presiones.

Entre los elementos básicos que lo conforman se encuentran los siguientes:

- Recipientes de almacenamiento de odorante con bureta de nivel
- Filtro secador
- Regulador de presión.
- Solenoide.
- Bomba inyectora.
- Difusor de inyección.

- Fuente de energía eléctrica.

*Figura 46: Sistema de odorización por inyección para redes de gas natural*



*Fuente: Premac energy*

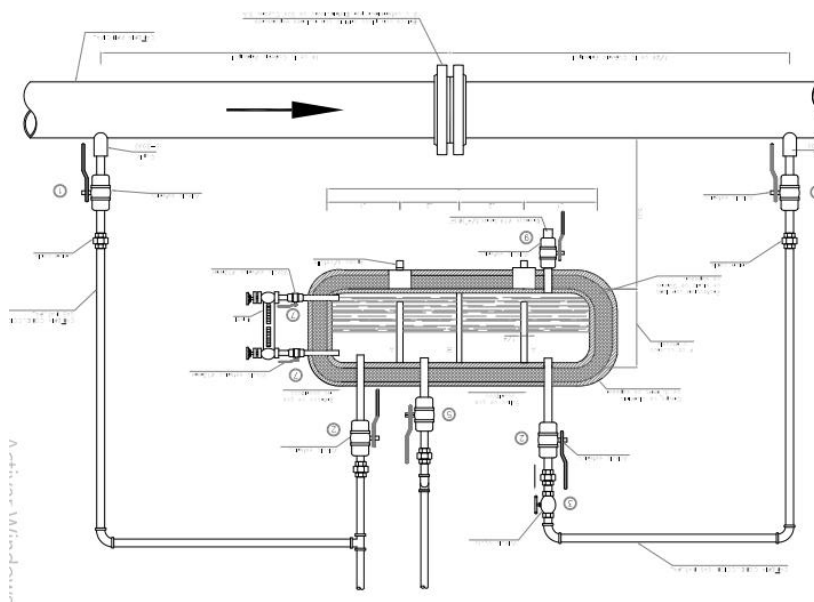
### **3.5.7.2. Odorización por Arrastre**

En comparación a la odorización por inyección, este sistema no requiere de energía eléctrica ya que utiliza la presión del gas como fuente de energía debido a su principio de funcionamiento se basa en generar un diferencial de presiones entre el recipiente que contiene el odorante y el punto de dosificación haciendo uso de una placa de orificio.

La cantidad de dosificación de odorante es controlada en función a la apertura y cierre de la válvula de aguja que se encuentra a la salida del recipiente o punto de dosificación.

El recipiente que contiene el líquido odorante debe ser instalado por encima del nivel de la tubería que distribuye el gas.

Figura 47: Sistema de odorización por arrastre



Fuente: Ecogas (plano de odorización por arrastre)

### 3.5.7.3. Odorización por Goteo

es aplicable en caudales relativamente estables, utiliza la presión diferencial del gas a través de una platina de orificio y/o válvulas restrictora para obligar al líquido odorante entra al flujo del gas.

Figura 48: Odorizador de goteo



Fuente: Mirbla S.A. – Sistema de Dosificación



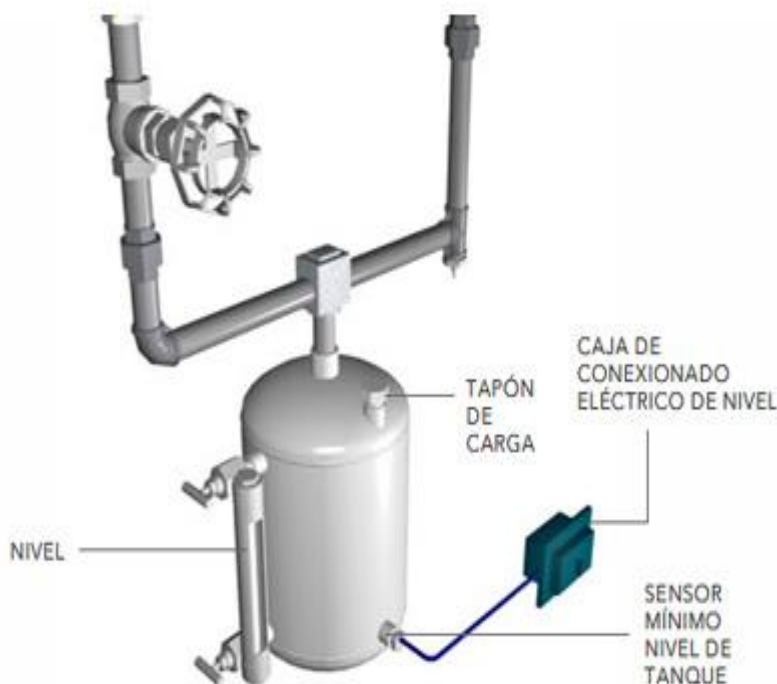
### 3.5.7.4. Odorización por Mecha o Contacto

A diferencia de los sistemas de odorización por inyección o arrastre, los sistemas por mecha o contacto solo se pueden ser aplicables para muy bajos caudales de gas (1 a 200 mts<sup>3</sup>/hs) a bajas presiones (hasta 4 o 5 Kg/cm<sup>2</sup>). Su instalación es sencilla, pueden ser colocados sobre el gasoducto o por debajo de este dependiendo la instalación existente. Al ser un equipo económico el material de construcción del tanque y las conexiones es Acero al Carbono (con revestimiento EPOXI)

Su funcionamiento se basa en dejar pasar el gas a través de recipiente que contiene el odorante donde se pone en contacto y satura con metil-mercaptano, este una vez saturado se dirige a la línea de distribución debido a la diferencial de presión que se genera con una placa de orificio.

La instalación del sistema se la realiza por debajo del nivel de la línea de distribución.

*Figura 49: Sisteam de Odorización por mecha o contacto*



*Fuente: Sistema de Odorización (Empresa Mirbla)*

### 3.5.7.5. Historia de Odorización

A finales de 1880 se inició de odorización en Alemania y Austria

El 18 de marzo de 1937 en una escuela de New London en TX, se presentó una llama que se propago por debajo del recinto, ocasionado por escape de gas natural como consecuencia de una fuga de gas no odorizado donde mueren más de 200 personas.

Testigos dijeron que el techo se levantó del edificio y posteriormente cayó sobre el mismo colapsando el edificio. (Considerado el 3er peor desastre ocurrido en Texas).

¿POR QUÉ ODORIZAMOS?

CREG RUT Resolución 100 de 2003 “Todo gas combustible en una línea de distribución debe contener odorante natural o ser odorizado así que la concentración en aire sea 1/5 del (LEL), y sea detectado por una persona con sentido normal del olfato”

ODORANTE

Debido a la variedad de suministro de gas, a las configuraciones del sistema de gas, y métodos de operación, no hay un odorante específico que pueda ser recomendado para todos los sistemas o para el mismo sistema todo el tiempo.

### 3.5.7.6. Compuesto organosulfurosos

ALQUIL MERCAPTANOS

Terbutil Mercaptano TBM

- Umbral de olor bajo.
- Mejor penetrabilidad del suelo.

- Un olor característico a gas.
- Punto de congelamiento alto (34 °F).
- Es el mercaptano más resistente a oxidación debido a su configuración molecular.

## ALQUIL SULFUROS

### Metil Etil Sulfuro MES

El más reciente de todos de los componentes usados como odorante para gas 20 – 50%

Altamente resistente a la oxidación en tuberías.

Punto de congelación (-156 °F)

Umbral de olor alto.

Agente anticongelante para TBM.

## SULFUROS CICLICOS

Tetrahydrothioplene THT:

- ✓ El más usado en Europa.
- ✓ Se puede usar componente único.
- ✓ El más resistente a la oxidación.
- ✓ Posee un olor “dulce” olor de poco impacto.

Por que una mecla?

Ningún compuesto organosulfuroso es 100% efectivo para odorizar en su forma pura, a excepción de THT. Así que se utilizan mezclas de los odorantes mencionados.

Factores a considerarse:

- ✓ Características del gas
- ✓ Tipo de equipo usado para odorizar suelo

Composición: Vaporización.

75% - 80% TBM

18% - 25% MES

- ✓ Presión de vapor: 5.6 psia a 100 °F
- ✓ Densidad a 60 °F: 6.76 Lb/gal
- ✓ Rango de ebullición: 145 °F a 151 °F
- ✓ Equipo recomendado: Inyección líquida y

### **3.6. Estaciones de regulación de distrito (EDR)**

Instalación que está dirigida a la regulación del caudal y la presión del gas natural, proveniente del sistema primario para suministra gas natural a media presión a un sistema secundario.

#### **3.6.1. Generalidades**

- Acometida de EDR: Conjunto de tuberías y accesorios que conforman la derivación de servicio.
- Línea Principal de Regulación: Trabaja en forma regular y continua, regulado de presión y el caudal de gas.
- Línea Reserva de Regulación: Es la línea de regulación de reserva de EDR o stand-by, evitando de esta forma de corte de la distribución de gas a los usuarios o en su caso, necesarias para realizar mantenimiento de Línea Principal de Regulación.

- Línea de Derivación Manual: Línea de habilitación o By-pass, se hace uso de esta en el mantenimiento simultaneo de ambas líneas de regulación y permitir la continuidad del servicio.
- Redes: Conjunto de ductos interconectados entre sí que conforman los sistemas de distribución.
- Red Primaria: Sistema de Distribución de Gas Natural que opera del sistema de distribución a partir de la Puerta de Ciudad de City Gate.
- Red Secundaria: Sistema de distribución de Gas Natural que opera a partir de la Estación Distrital de Regulación.

### **3.6.2. Componentes de un sistema de distribución de gas.**

- Red de distribución de alta presión (promedio 250 psig max. 275 psig)
- Tubería de acero (diámetro de 4 plg – 20 plg)
- Transporte de gas a través de la ciudad, hasta la estación reguladora del distrito.
- Incluye la facilidad de operación: válvulas de corte, monitoreo de corrosión, actuadores, Etc.

### **3.6.3. Composición de una estación de regulación distrital (EDR)**

- Se interconecta al sistema primario de Distribución de Gas Natural a la entrada y al sistema secundario de distribución de Gas Natural a la Salida.
- La interconexión a la red primaria se realiza mediante una tubería de acometida desde la Válvula de Derivación hasta la junta aislante de Entrada en la brida de ingreso y en la cual inicia la Estación Distrital de Regulación.

- Concluye en la junta aislante de salida de la brida de salida, que se interconecta a la red secundaria, cuyo inicio de tramo es la línea de transición de acero que conecta a la tubería de Polietileno.
- Debe estar compuesta de tres líneas: Línea Principal de regulación, línea de reserva de regulación (stand- by) y una Línea de Derivación Manual (By-pass).
- Cuando la capacidad de estación de regulación Distrital sea menor o igual a 1.000 MCH esta podrá contar únicamente con la Principal de Regulación y Línea de Derivación Manual o by-pass.
- Las EDR podrán a criterio de la Distribuidora contar con un sistema de medición con tecnología apropiada a las condiciones de funcionamiento y así también contar con un sistema de corrección electrónica.
- Las EDR podrán a criterio de la distribuidora contar con un sistema de odorización, el mismo que deberá cumplir con lo establecido (calidad de gas natural).

#### **3.6.4. Parámetro básico de diseño**

1. Disponibilidad del gas: Primero se debe determinar las fuentes de suministro de gas, su capacidad y reserva.
2. Definición del sistema: El sistema contempla el suministro de gas a la ciudad mediante estaciones de recibo, dotada con medición, regulación, filtración y monitorización. A través de acá se derivan las redes troncales que distribuyen el gas natural a través de la ciudad hasta las estaciones de distrito, de acá se lleva por medio de distribución secundaria a las viviendas.
3. Características de la ciudad:



- Localización, altura sobre nivel del mar, presión atmosférica, temperatura, precipitación y área territorial.
- Población, número de viviendas y estratificación.
- Programas de expansión urbana, desarrollo de servicios públicos.

#### 4. Demanda de máxima prevista:

- Identificación de las zonas con diferentes usos.
- Determinación de posibles gasodomesticos a utilizar.
- Calculo de demanda a nivel comercial e industrial
- Determinación de la curva de consumo.

#### **3.6.5. Requisitos para la instalación de redes de distribución.**

- Continuidad y alineamiento de las redes por zona de uso.
- Simplicidad en los trazados de línea de distribución.
- Menor impacto urbano en la zona de trabajo.
- Menos número de cruces de ríos, canalizaciones y vías principales.
- Menor número de interferencias con redes de otro servicio público.
- Minimizar riesgos en caso de falla.
- Facilidades de acceso para la rápida y segura atención de emergencias.
- Facilidad de supervisión de las redes.
- Construcción económica y natural.

#### **3.7. Reglamento de Diseño, Construcción, Operación de Redes de Gas Natural**

El D.S. 1996 fue aprobado el 14 de mayo de 2014, el cual se divide en 2 reglamentos:

- Reglamento de Distribución de Gas Natural por Redes en sus ochenta y tres (83) Artículos y tres (3) Disposiciones Transitorias.

- Reglamento de Diseño, Construcción, Operación de Redes de Gas Natural e Instalaciones Internas en sus veintiocho (28) Artículos y una (1) Disposición Transitoria; el cual cuenta con 7 anexos que son los siguientes:
- ANEXO 1: Diseño de redes
- ANEXO 2: Construcción de redes de gas natural
- ANEXO 3: Operación y mantenimiento de redes de gas natural
- ANEXO 4: Calidad del gas natural
- ANEXO 5: Instalaciones de categorías doméstica y comercial de gas natural
- ANEXO 6: Instalaciones industriales de gas natural
- ANEXO 7: Estaciones distritales de regulación

### 3.8. Identificación del proyecto

*Tabla 7: Identificación del proyecto*

IDENTIFICACIÓN DEL PROYECTO	
<b>NOMBRE DEL PROYECTO</b>	Diseño de City Gate para el suministro de gas natural para la Población de Villazón potosí mediante el gasoducto regional “La Quiaca Argentina”
<b>LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO</b>	País: Bolivia Departamento: Potosí Provincia: Villazón
<b>NOMBRE DE LA INSTITUCIÓN</b>	Universidad Mayor de San Andrés
<b>CÓDIGO DEL PROYECTO</b>	CGV (City Gate Villazón)
<b>AUTOR</b>	Licenciatura en Ingeniería Petrolera Iver Callata Apaza

Fuente: Elaboración propia

## CAPITULO 4: APLICACION PRACTICA

### 4.1. Introducción

Debido al aumento anual de la población en Bolivia, varios municipios y comunidades de la ciudad de Potosí, incluyendo Villazón, están experimentando un aumento constante de su población, llegando a 49,500 habitantes en 2012 según el censo del INE. La razón es que el comercio es la principal fuente de ingresos de los residentes de la zona urbana, y esto se debe a la cercanía de la zona con la ciudad fronteriza de la Quiaca a la República Argentina.

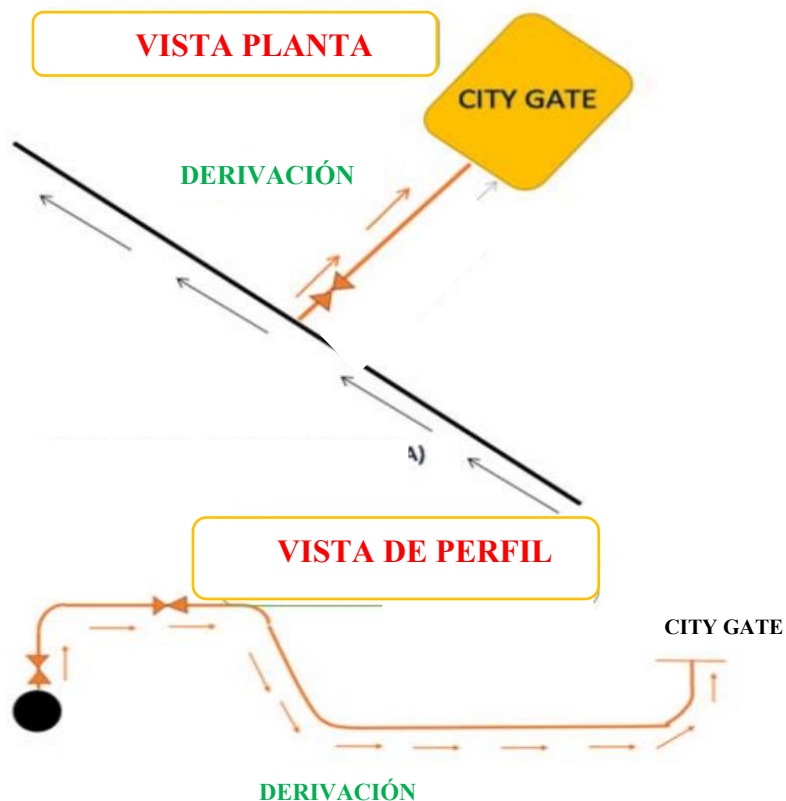
Debido al aumento de la población, se necesita más gas natural para uso doméstico, y debido a que se encuentra en la frontera de Quiaca y Villazón, existe un mercado para GNV. La derivación nos permitirá abastecer esta región de gas natural y luego abastecer a los habitantes y a las estaciones de servicio de gas natural domiciliario. Esto permitirá satisfacer las demandas de los habitantes de esta zona.

El desarrollo de la aplicación práctica de la derivación del Gasoducto Regional La Quiaca Argentina al City Gate de Villazón será un aspecto crucial en su diseño, ya que nos permitirá alimentar con gas natural desde la línea del Gasoducto La Quiaca hasta llegar al City Gate de Villazón, luego pasar por la estación distrital de regulación y finalmente abastecer con gas natural domiciliario a la población.

En esta población se han instalado todas las redes de distribución. Las redes principales incluyen un tendido de red principal de 8.420 metros que conecta la estación distrital de regulación (EDR - Villazón, con una capacidad de 5.000 m<sup>3</sup>/h), y un tendido de red secundaria de alrededor de 23,700 metros. El objetivo del proyecto es construir 7.879 hogares en Villazón para 2026, por lo que se

requiere la conexión principal que va desde el gasoducto hasta el City Gate, como se muestra en el siguiente plano.

*Figura 50: Perfil de la derivación.*



*Fuente: Elaboración propia*

Para lograr esto, realizaremos un análisis desde el punto de partida desde el gasoducto hasta el City Gate, incluyendo todos los trabajos y elementos necesarios para completar cada tarea en esta zona.

#### **4.2.Descripción de la aplicación práctica de la derivación.**

La aplicación práctica de la derivación del Gasoducto La Quiaca al City Gate comienza con las características principales de los diferentes puntos de conexión; en nuestro caso, utilizamos el

Gasoducto La Quiaca como punto de partida hasta llegar al City Gate de Villazón, que es nuestro punto final de conexión.

Se realizará el diseño correspondiente utilizando los parámetros obtenidos en el Gasoducto La Quiaca una vez conocidas estas características que se muestran en la derivación. Este diseño representará la forma y dirección que se obtendrá entre el punto inicial y final de la conexión. Debido a que el proceso de licitación será muy lento si se requiere otra marca de tubería, este diseño se basará en la existencia de tuberías en el mercado boliviano.

En este diseño encontraremos los cálculos que nos permitan determinar el diámetro y espesor necesarios para que la tubería cumpla con todas las especificaciones técnicas requeridas. También encontraremos los criterios para elegir la tubería adecuada y una comparación con el diseño YPF utilizado. Este diseño ha demostrado los requisitos para la instalación de una válvula bola con su correspondiente actuador. Esto nos permitirá cerrar automáticamente y evitar el flujo cuando se presenten problemas de presión alta o baja.

Al finalizar el diseño, se llevarán a cabo todas las obras mecánicas y civiles necesarias para llevar a cabo la derivación. Las dimensiones de la zanja serán planificadas para las obras civiles y comparadas al finalizar el trabajo, mientras que para las obras mecánicas se considerarán varios aspectos como la soldadura, el curvado de las tuberías y los ensayos no destructivos después de la soldadura, entre otros.

Después de completar y colocar en el terreno, seguimos con la realización de la prueba hidrostática, que muestra los cálculos y el procedimiento correspondientes. En el punto final de la aplicación práctica, se diseñará y calculará la protección catódica que se aplicará en la derivación.

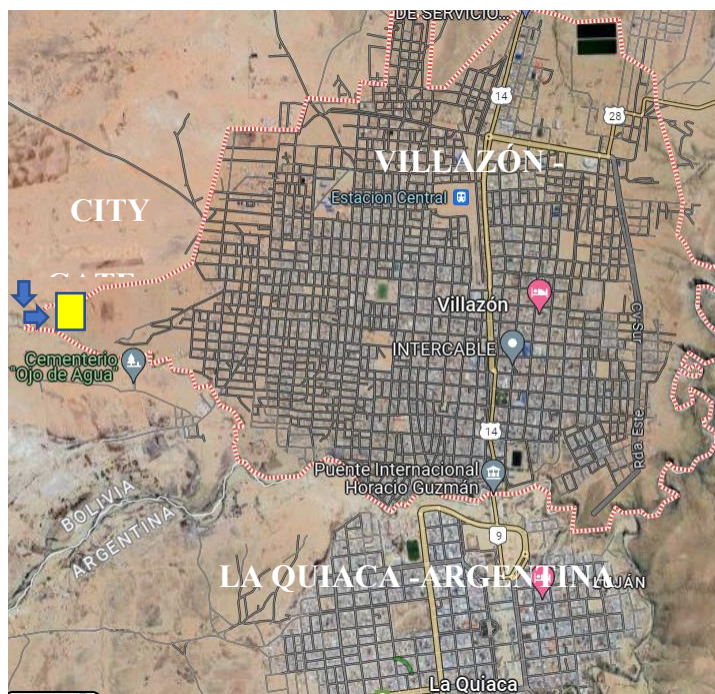
#### **4.3. Características técnicas del proyecto**

#### 4.3.1. Ubicación de la derivación del Gasoducto La Quiaca al City Gate Villazón.

La derivación se encuentra ubicada en La Quiaca es una ciudad del norte de Argentina, ubicada al norte de la provincia de Jujuy. Es cabecera del departamento de Yavi y sirve de paso fronterizo con Bolivia, a través de la ciudad de Villazón en el departamento de Potosí con la cual conforma actualmente una conurbación de más de 50.000 habitantes.

Villazón es una ciudad y municipio fronterizo del sur de Bolivia, capital de la provincia de Modesto Omiste en el departamento de Potosí. La ciudad se encuentra sobre la orilla norte del río del mismo nombre. Al otro lado del río, en territorio argentino, se encuentra la ciudad de La Quiaca, provincia de Jujuy. Villazón se encuentra a una distancia de 347 km de la ciudad de Potosí, y a una altura de 3.400 msnm. Fue fundada el 20 de mayo de 1910, durante el gobierno de Eliodoro Villazón, del cual obtuvo su nombre.

Figura 51: Ubicación del lugar de la derivación.



Fuente: Elaboración propia



#### 4.3.2. Características del Gasoducto La Quiaca

El gasoducto La Quiaca en Argentina es una infraestructura que transporta gas natural a lo largo de varias provincias del país. El gasoducto que abarca de Miraflores – La Quiaca es de 95 km troncales habilitados, 61.000 metros de redes en ejecución, 1.440 usuarios beneficiados (adicionales). Algunas características importantes del gasoducto La Quiaca son:

- **Longitud:** El gasoducto La Quiaca tiene una longitud aproximada de 2.600 kilómetros, desde la ciudad de La Quiaca en la provincia de Jujuy hasta la ciudad de Buenos Aires.
- **Capacidad de transporte:** El gasoducto tiene la capacidad de transportar grandes volúmenes de gas natural, lo que permite abastecer a numerosas localidades y consumidores industriales en su recorrido.
- **Presión de operación:** El gasoducto opera a una presión alta para garantizar el flujo constante del gas a lo largo de su recorrido.
- **Tecnología:** El gasoducto La Quiaca utiliza tecnología de última generación para garantizar la seguridad y eficiencia en el transporte del gas natural.
- **Interconexiones:** A lo largo de su recorrido, el gasoducto se interconecta con otros gasoductos y redes de distribución, permitiendo así la integración de diferentes sistemas de transporte y distribución de gas en Argentina.
- **Importancia económica:** El gasoducto La Quiaca tiene una gran importancia económica para Argentina, ya que permite abastecer de gas natural a diferentes sectores productivos, como la industria, el comercio y el transporte.
- **Seguridad:** El gasoducto cuenta con sistemas de seguridad y monitoreo para prevenir y detectar posibles fugas o fallas en la infraestructura.

Estas características hacen del gasoducto La Quiaca una infraestructura fundamental para el suministro de gas natural en Argentina, contribuyendo al desarrollo económico y social del país. Por tanto, este emprendimiento supera los límites nacionales ya que el proyecto general tiene establecido la provisión de gas natural a las ciudades de Villazón, Tupiza y Uyuni, donde se establecerá una planta de producción de Litio.

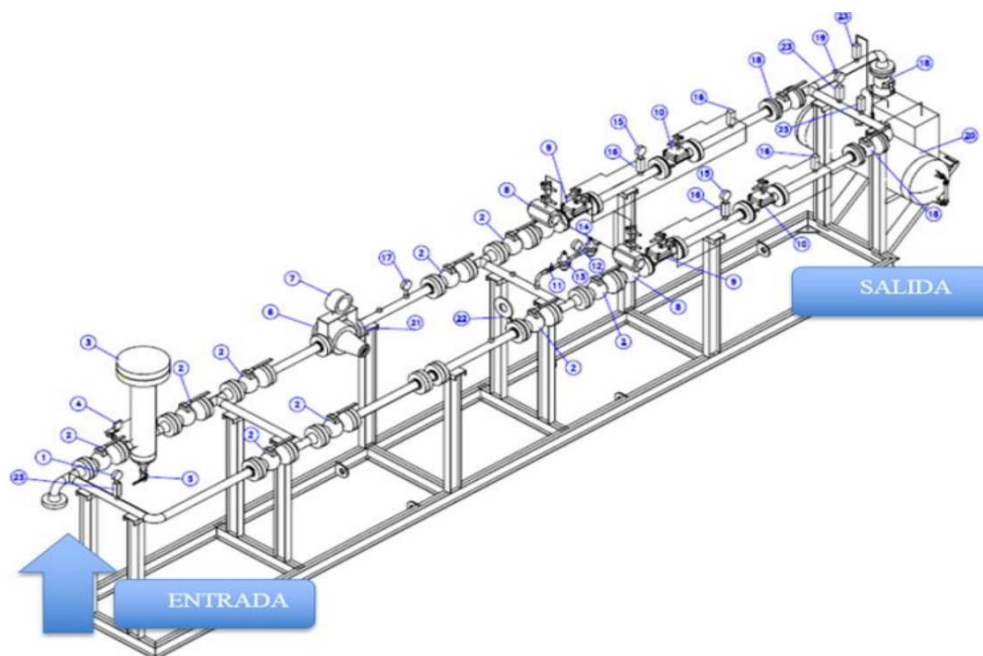
#### **4.3.3. Características del City Gate Villazón**

El proyecto de diseño de City Gate para la población de Villazón, se realizó para transportar Gas Natural desde Bolivia, por medio de los gasoductos que se exportan Gas Natural a la Argentina. Adicionando una Alícuota de Gas Natural, del volumen requerido por la Población de Villazón, así abastecer con gas natural domiciliario a las distintas poblaciones.

El City Gate Villazón contará con una capacidad de transporte de 5000 m<sup>3</sup>/hr. Y todo el conjunto de elementos que existe en el City Gate tiene el objetivo de realizar la reducción de la presión de transporte de 1480 psi a una presión que circulara en la red primaria que varía de 20 bar a 42 bar, esta presión dependerá de la demanda que exista en el lugar en cuanto las industrias, comercios entre otros, considerando una línea de alta presión cuyo rol consiste en distribuir gas a todos los clientes de los tres sectores: doméstico, comercial e industrial.

Este sistema del City Gate también nos permite eliminar cualquier tipo de sólidos o residuos provenientes de la línea de transporte y además de la implementación de la Odorización para posterior distribución. También en algunas ocasiones una modificación en la temperatura cuando en el transporte de Gas Natural puedan generarse hidratos en el transcurso de su recorrido en el transporte.

Figura 52: Componentes del City Gate Villazón



Fuente: Elaboración Propia

Entre sus componentes tenemos los siguientes datos:

Tabla 8: componentes del City Gate Villazón

CITY GATE VILLAZON 5000 m <sup>3</sup> /hr		
IT EM	CA NT.	DESCRIPC ION
1	1	Manómetro conexión inferior ½ pulgada NPT 0 – 2000 Psig
2	9	Válvula bola de paso reducido 2 pulgadas ANSI 600
3	1	Filtro vertical ANSI 600
4	1	Manómetro diferencial de 0 – 20 Psig
5	1	Válvula de bola 1 pulgada 5000 Psig
6	1	Medidor de desplazamiento positivo ANSI 600
7	1	Computador de flujo, ESCANNER 2000
8	2	Válvula shut off actuada 2 pulgadas ANSI 600 piloto de corte de alta y baja
9	2	Regulador piloto activo – monitor 2 pulgadas ANSI 600
10	2	Regulador piloto activo 2 pulgadas ANSI 600
11	1	Válvula bola MNPT

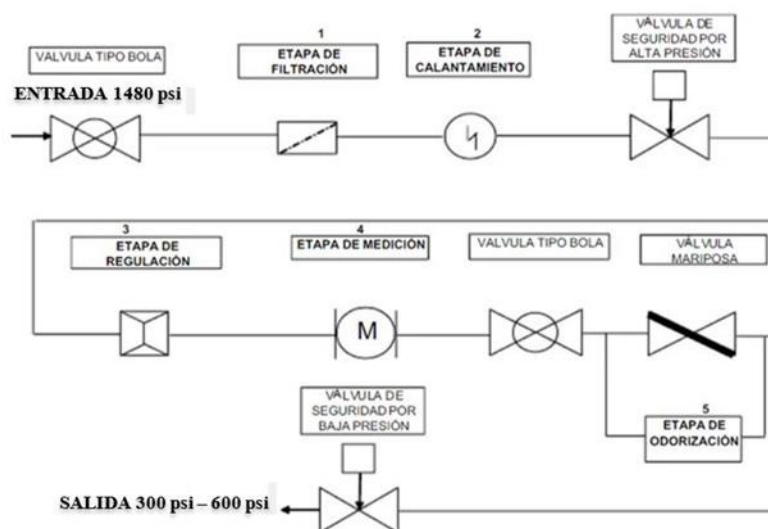
12	1	Manómetro conexión inferior 0 – 300 Psig
13	1	Regulador auto operado salida 0 – 250 Psig
14	1	Regulador auto operado salida 0 – 150 Psig
15	2	Manómetro conexión inferior NPT 0 – 1500 Psig
16	4	Válvula globo NPT 8000
17	1	Termómetro NPT 0 – 200 °F
18	3	Válvula de bola paso reducido 2 pulgadas ANSI 300
19	1	Manómetro conexión inferior 0- 5000 Psig
20	1	Odorizacion tipo inyección
21	1	Placa de orificio del medidor ANSI 600
22	1	Placa tipo ocho, BYPASS de medición ANSI 600
23	4	Válvula aguja NPT

Fuente: Elaboración Propia.

#### 4.3.3.1. Esquema de la secuencia de operación del City Gate Villazón

En la siguiente figura se muestra una secuencia de etapas por las que pasa el Gas Natural en el City Gate:

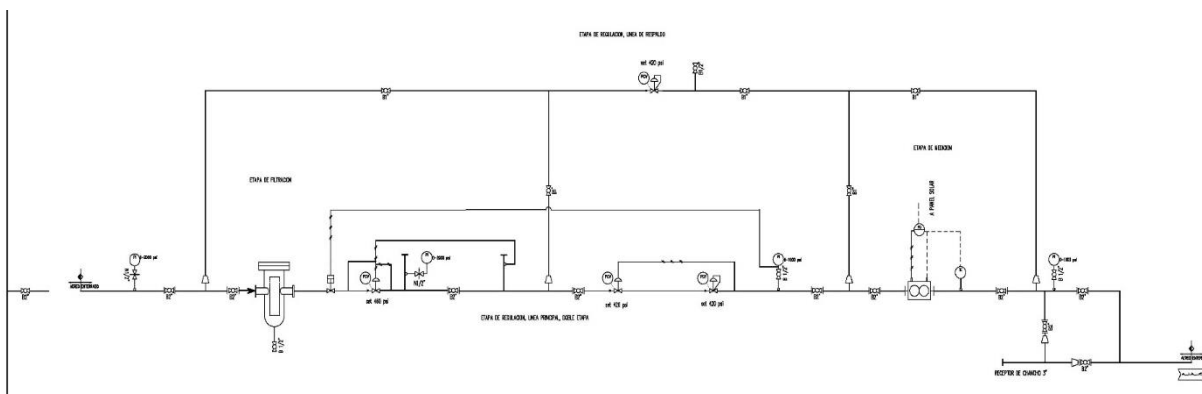
Figura 53: Etapas del City Gate Villazón.



Fuente: Elaboración Propia.

### 4.3.3.2. Elaboración de City Gate en AutoCAD

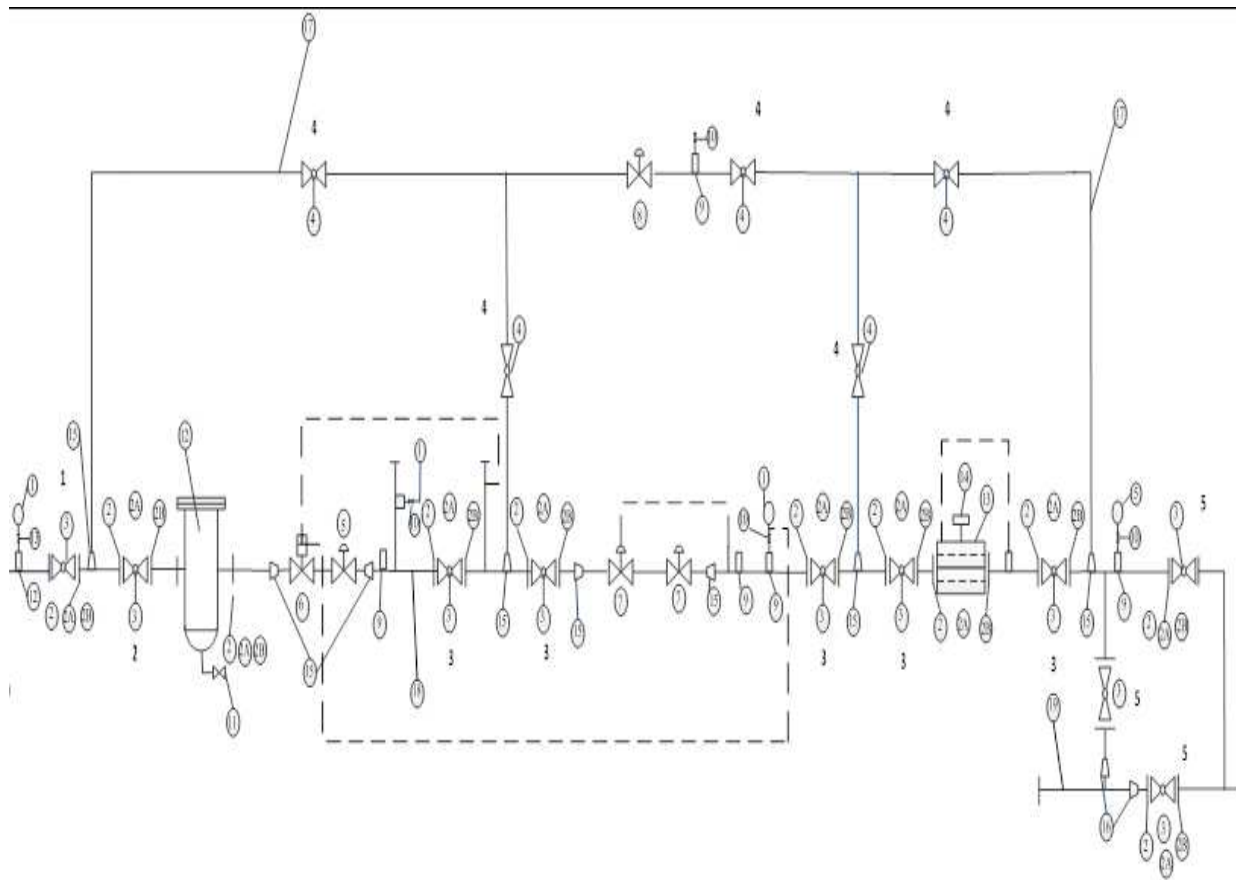
Figura 54: City Gate en AutoCAD



Fuente: Elaboración propia

### 4.3.3.3. Esquema de City Gate

Figura 55: Esquema de City Gate



Fuente: Elaboración propia

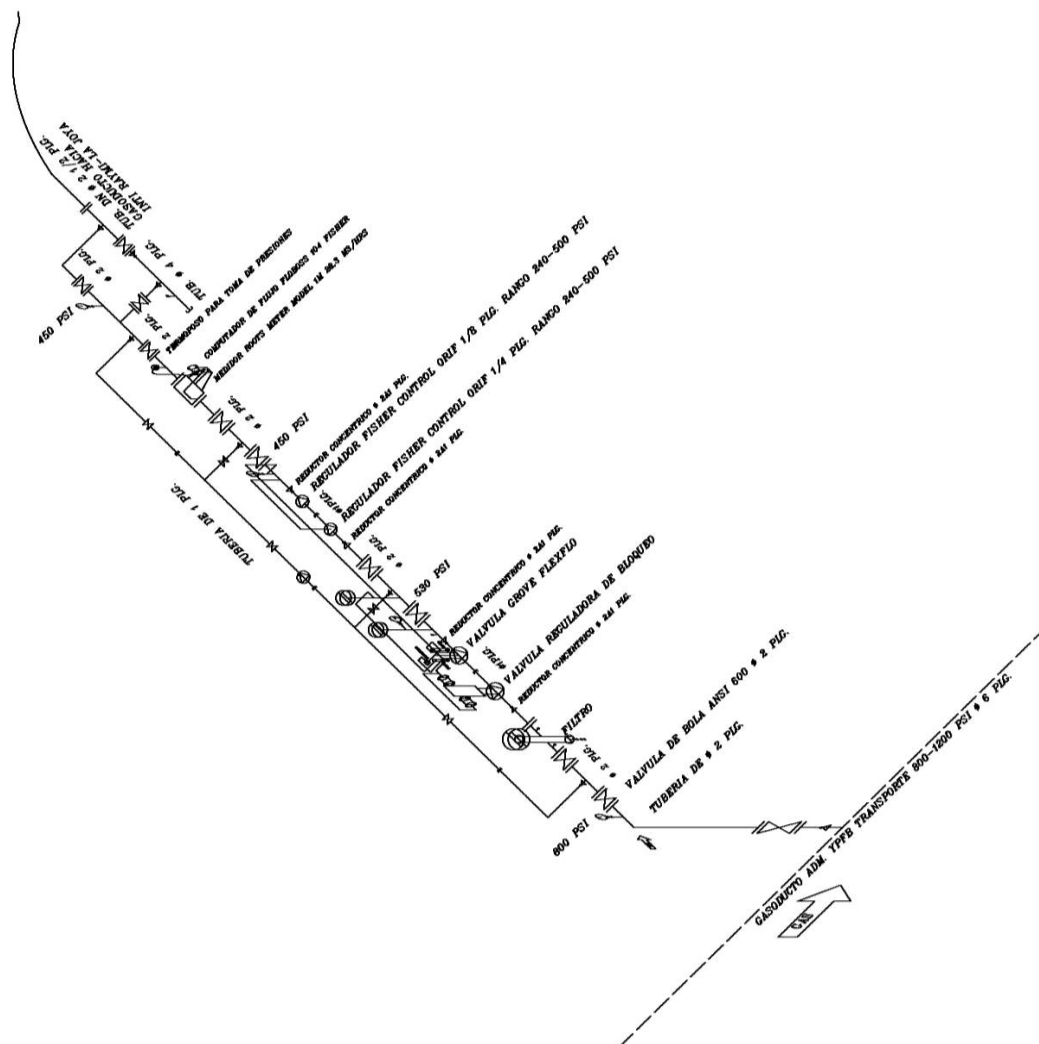
Tabla 9: Descripción de City Gate

ÍTEM	NOMINACIÓN	DESCRIPCIÓN
1	1	Manómetro Conexión inferior NPT
2	2	Brida W.N. 2 plg ANSI 600
3	2A	Bulones y Pernos
4	2B	Empaquetadura metálica 2 plg ANSI 600
5	3	Válvula tipo bola 2 plg ANSI 600
6	4	Válvula tipo bola 1 plg
7	5	Válvula reguladora GROVE FEXFLO R 573 J ANSI 600 Ø = 1 plg (primera etapa sistema working monitor)
8	6	Valvula Shut Off FISHER OSE Ø = 1 plg
9	7	Válvula reguladora FISHER 627 H Ø = 1 plg (segunda etapa sistema working monitor) c/Monitor
10	8	Válvula reguladora FISHER 627 H Ø = 1 plg (respaldo)
11	9	Threadolet
12	10	Válvula tipo aguja integral de doble vía NPT (bloqueo y purga) 6000 WOG
13	11	Válvula de bola para purga de filtro 3000 WOG Ø = 1/2 plg
14	12	Filtro vertical ANSI 600
15	13	Medidor de flujo ROOTS METER tipo rotativo 2 plg
16	14	Computador de flujo Floboss
17	15	Reductor de aceo 2 plg a 1 plg
18	16	Reductor de aceo 3 plg a 2 plg
19	17	Tubería de 1 plg SCH 40
20	18	Tubería de 2 plg SCH 40
21	19	Tubería de 3 plg SCH 40
22	.....	Tubing

Fuente: Elaboración propia

### 4.3.3.4. Isometría de City Gate

Figura 56: Isometría de City Gate



Fuente: Elaboración Propia

### 4.4. Determinación de diámetro para varias presiones en el punto de inicio

#### Descripción:

Localidad	Villazón a partir del gasoducto regional La Quiaca Argentina
Gasoducto	Gasoducto

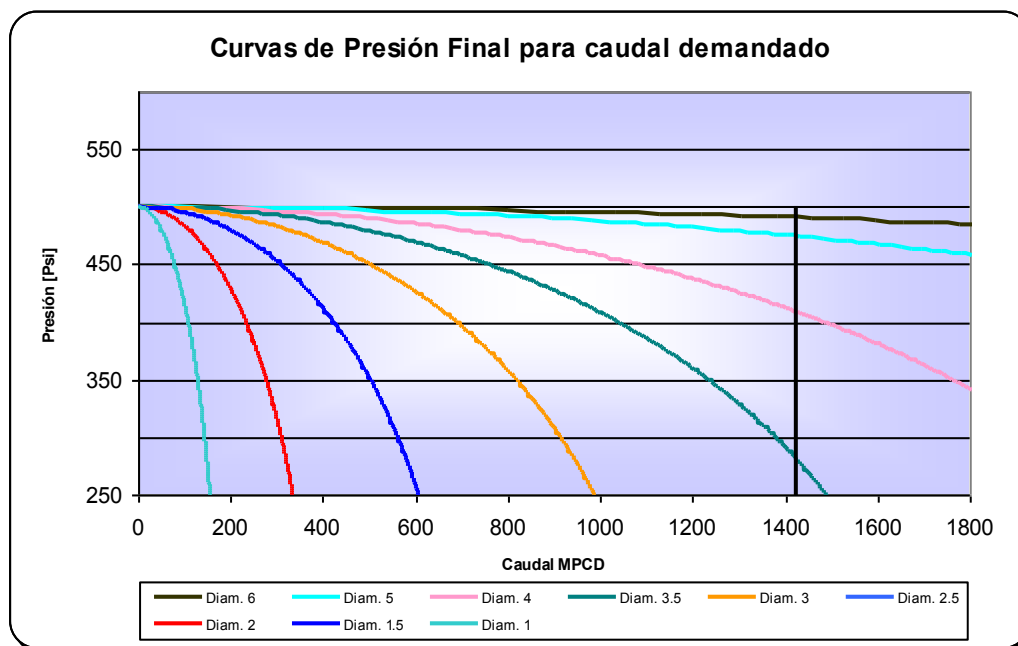
#### Datos para Calculo

Evacuación	Weymouth
------------	----------



Tipo de gas	Gas Natural
Longitud	98 km
GE	0,62
Caudal	848 MPCD
Presión base	14,7 psi
Temp. Base	520 °R
Temp. Gas	505 °R

Figura 57: Curva de presión para caudal demandada



Fuente: Elaboración propia

Tabla 10: Caída de presión en diferentes diámetros para  $Q=848$  MPCD

Diámetro [in]	Caudal [MPCD]	P <sub>1</sub> [psi]	P <sub>2</sub> [psi]	ΔP <sub>2</sub> [psi]
6,0	848,00	350,00	344,44	5,56
5,0	848,00	350,00	335,08	14,92
4,0	848,00	350,00	297,94	52,06
3,5	848,00	350,00	230,88	119,12

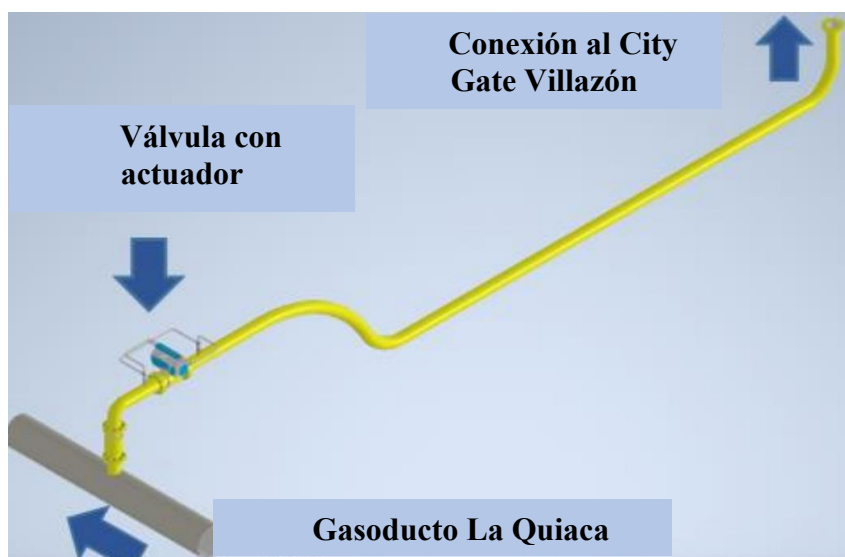
Fuente: Elaboración propia

#### 4.5. Diseño de la derivación del Gasoducto al City Gate

Tomando en cuenta que el Gasoducto La Quiaca no tiene un cuello para realizar la derivación de 4 pulgadas y también el City Gate ya diseñada con una entrada de 4 pulgadas, por tanto, la red primaria que se construirá será de 2 pulgadas hasta llegar a los EDRS.

La distancia de la tubería medida desde el cuello del gasoducto La Quiaca hasta llegar al City Gate es de 2 km, adema debe contar con una válvula de seguridad de tipo bola con su respectivo actuador para prevenir cualquier tipo de emergencias. El diseño llegara a ser como se muestra en la figura.

Figura 58: Diseño de derivación.



Fuente: Elaboración propia

## **CAPITULO 5. ANALISIS TECNICO ECONOMICO**

### **5.1. Introducción.**

Para llevar a cabo el análisis económico, se llevará a cabo una comparación y evaluación económica basada en los proyectos diseñados y llevados a cabo por el Distrito de Redes de Gas Potosí de YPFB. Además, se llevará a cabo un análisis costo-beneficio para determinar si el proyecto es factible.

El objetivo principal del proyecto es diseñar y construir la puerta de la ciudad, comenzando en el punto donde se realiza la derivación del gasoducto La Quiaca hasta llegar a la puerta de Villazón y conectando con el consumo de la población. El proyecto tiene un costo total de 28.779.395,00 Bs. El costo de este proyecto incluirá todo lo relacionado con la construcción de la derivación, City Gate, las redes primarias, las redes secundarias, la EDR y las instalaciones internas para 7.879 hogares beneficiarios del proyecto. La duración prevista de este proyecto es de 10 años después de la puesta en marcha del sistema de distribución de gas natural. El reglamento de diseño para la construcción de redes de gas natural instalaciones internas, establecido en el Capítulo III del D.S. N° 1996, fue la base para su creación.

Con este proyecto que se realiza es reducir los costos de inversión en la etapa de construcción de la derivación al comprar materiales y realizar trabajos mecánicos y civiles. El personal de YPFB (Distrito de Redes de Gas Potosí) debía realizar estos trabajos.

### **5.2. Análisis económico a la distribución de Gas Natural**

Se realizará un análisis en la Población de Villazón del Departamento de Potosí para determinar los beneficios económicos que representaría la implementación de un sistema virtual. Para este análisis, se utilizaron los informes del Distrito de Redes de Gas Potosí.

Por lo tanto, los elementos a examinar son los siguientes:

- Cantidad de usuarios.
- Volúmenes comercializados en la Población de Villazón.
- Volúmenes transferidos de YPFB Transportes a Estación Satelital de Regasificación ubicado en la población de Villazón.

### 5.2.1. Cantidad de usuarios.

El Reglamento de Distribución de Gas Natural por Redes, aprobado por el D.S. en 1996, establece que los usuarios se dividen en las cuatro categorías en la distribución de gas por redes.

- Categoría Domiciliario
- Categoría Comercial
- Categoría Industrial
- Categoría GNV

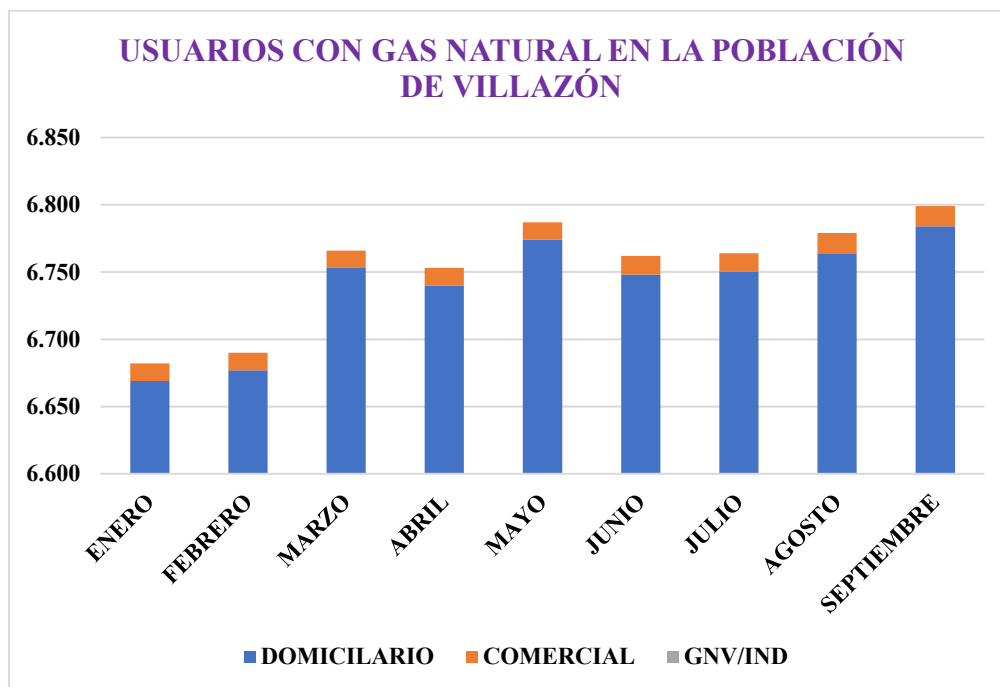
#### 5.2.1.1. Cantidad de usuarios en la población de Villazón.

*Tabla 11: Cantidad de usuarios con gas natural suministradas mediante la ESR en Villazón.*

<b>CANTIDAD DE USUARIOS CON GAS NATURAL EN LA POBLACIÓN DE VILLAZÓN</b>			
<b>AÑO 2023</b>	<b>DOMICILIARIO</b>	<b>COMERCIAL</b>	<b>GNV/IND</b>
ENERO	6.669	13	0
FEBRERO	6.677	13	0
MARZO	6.753	13	0
ABRIL	6.740	13	0
MAYO	6.774	13	0
JUNIO	6.748	14	0
JULIO	6.750	14	0
AGOSTO	6.764	15	0
SEPTIEMBRE	6.784	15	0

*Fuente: Elaboración propia con base a datos recogidos*

*Gráfica 1: Usuarios con gas natural en la población de Villazón*



*Fuente: Elaboración propia con base a datos recogidos*

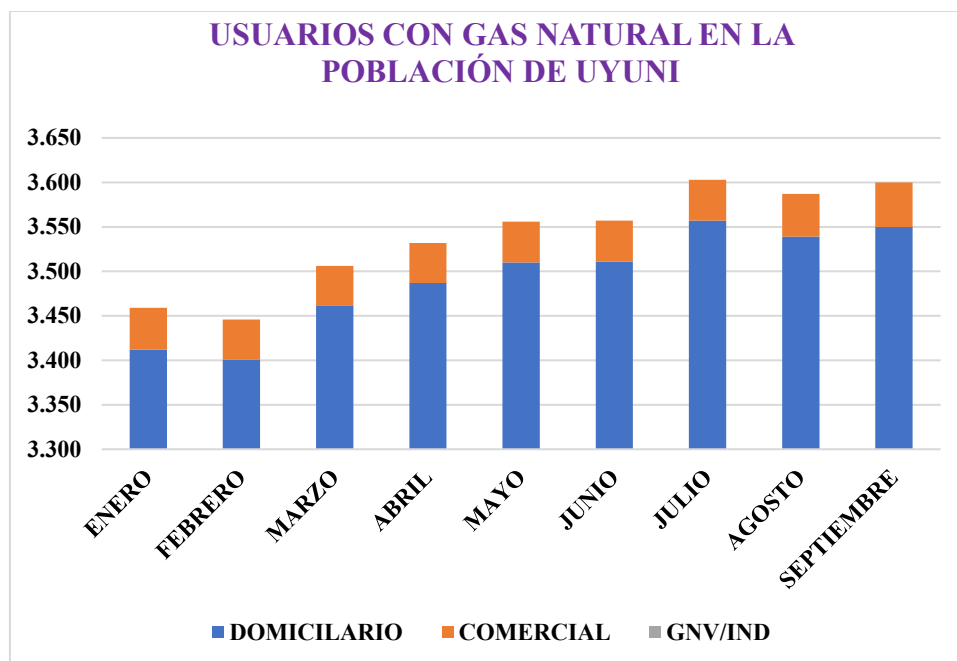
### 5.2.1.2. Cantidad de usuarios en la población de Uyuni.

*Tabla 12: Cantidad de usuarios con gas natural suministradas mediante la ESR en Uyuni.*

CANTIDAD DE USUARIOS CON GAS NATURAL EN LA POBLACIÓN DE UYUNI			
AÑO 2023	DOMICILIARIO	COMERCIAL	GNV/IND
ENERO	3.412	47	0
FEBRERO	3.401	45	0
MARZO	3.461	45	0
ABRIL	3.487	45	0
MAYO	3.510	46	0
JUNIO	3.511	46	0
JULIO	3.557	46	0
AGOSTO	3.539	48	0
SEPTIEMBRE	3.550	50	0

*Fuente: Elaboración propia con base a datos recogidos*

*Gráfica 2: Usuarios con gas natural en la población de Villazón*



*Fuente: Elaboración propia con base a datos recogidos*

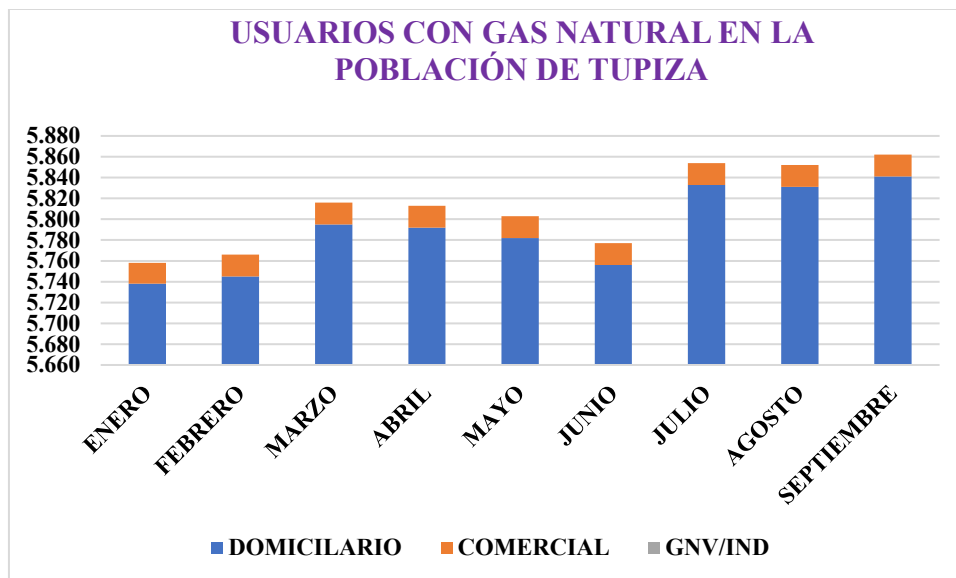
### 5.2.1.3. Cantidad de usuarios en la población de Tupiza

*Tabla 13: Cantidad de usuarios con gas natural suministradas mediante la ESR en Tupiza*

<b>CANTIDAD DE USUARIOS CON GAS NATURAL EN LA POBLACIÓN DE TUPIZA</b>			
<b>AÑO 2023</b>	<b>DOMICILIARIO</b>	<b>COMERCIAL</b>	<b>GNV/IND</b>
ENERO	5.738	20	0
FEBRERO	5.745	21	0
MARZO	5.795	21	0
ABRIL	5.792	21	0
MAYO	5.782	21	0
JUNIO	5.756	21	0
JULIO	5.833	21	0
AGOSTO	5.831	21	0
SEPTIEMBRE	5.841	21	0

*Fuentes: Elaboración propia con base de datos recogidos*

*Gráfica 3: Usuarios con gas natural en la población de Villazón*



*Fuente: Elaboración propia con base a datos recogidos.*

## 5.2.2. Volúmenes comercializados

Los volúmenes comercializados mediante gasoducto virtual (ESR) en la población Villazón, son contabilizados de manera mensual, los mismos al igual que la cantidad de usuarios son clasificados por categorías, así como cada categoría tiene un precio diferente en el mercado interno.

### 5.2.2.1. Volumen comercializado en Villazón

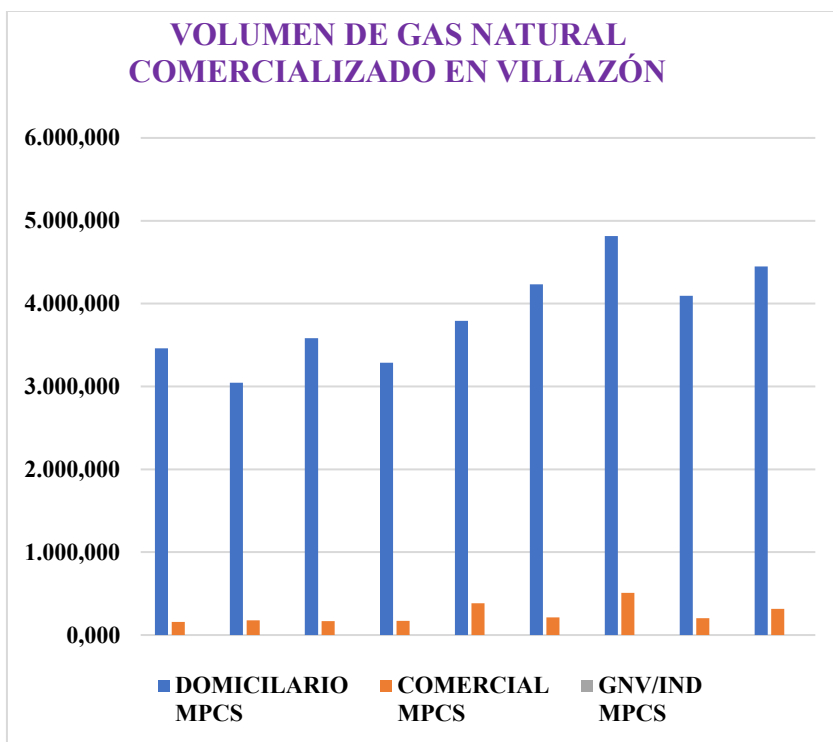
*Tabla 14: Volumen de gas natural comercializado en Villazón*

<b>VOLUMEN COMERCIALIZADO DE GAS NATURAL EN VILLAZÓN</b>			
<b>AÑO 2023</b>	<b>DOMICILARIO MPCs</b>	<b>COMERCIAL MPCs</b>	<b>GNV/IND MPCs</b>
ENERO	3.459,465	158,141	0,000
FEBRERO	3.044,587	178,454	0,000
MARZO	3.582,197	168,959	0,000
ABRIL	3.286,479	171,473	0,000
MAYO	3.791,464	384,912	0,000
JUNIO	4.232,432	212,394	0,000
JULIO	4.816,754	508,533	0,000
AGOSTO	4.095,748	203,504	0,000
SEPTIEMBRE	4.450,254	317,422	0,000

*Fuente: Elaboración propia con base a datos recogidos*

*Gráfica 4: Volumen de gas natural comercializado en Villazón, suministrado mediante la ESR*





*Fuente: Elaboración propia con base a datos recogidos*

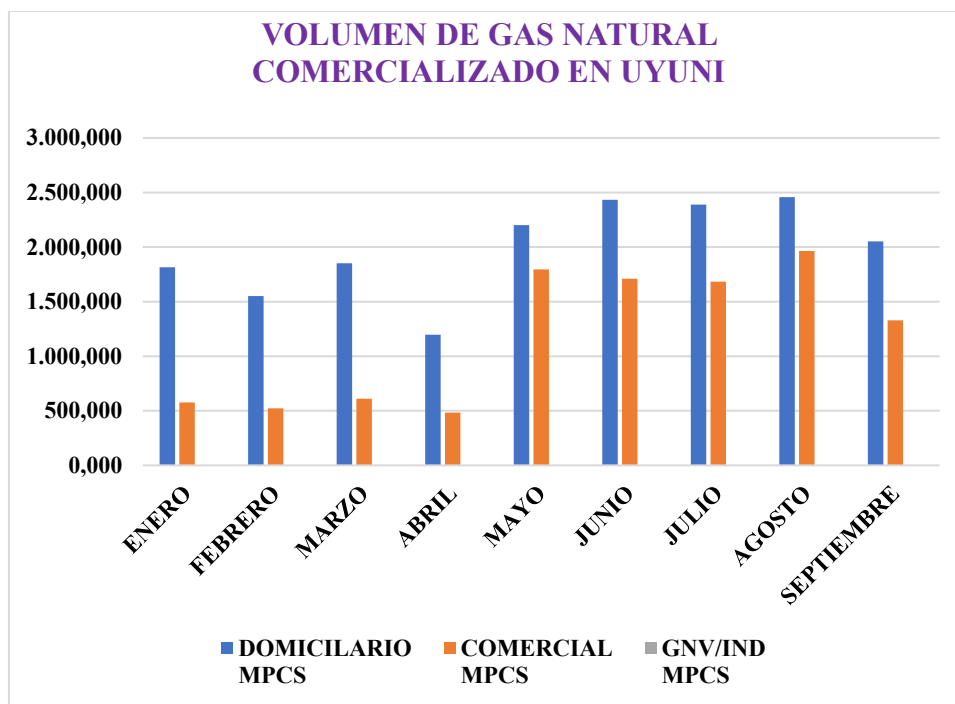
### 5.2.2.2. Volumen comercializado en Uyuni

*Tabla 15: Volumen de gas natural comercializado en Uyuni*

<b>VOLUMEN COMERCIALIZADO DE GAS NATURAL EN UYUNI</b>			
AÑO 2023	DOMICILIARIO MPCs	COMERCIAL MPCs	GNV/IND MPCs
ENERO	1.815,907	577,550	0,000
FEBRERO	1.550,382	523,768	0,000
MARZO	1.852,400	609,625	0,000
ABRIL	1.196,837	483,849	0,000
MAYO	2.200,687	1.794,683	0,000
JUNIO	2.434,065	1.710,979	0,000
JULIO	2.388,453	1.682,200	0,000
AGOSTO	2.456,693	1.964,907	0,000
SEPTIEMBRE	2.051,103	1.329,453	0,000

*Fuente: Elaboración propia con base a datos recogidos*

*Gráfica 5: Volumen de gas natural comercializado en Uyuni, suministrado mediante la ESR.*



*Fuente: Elaboración propia con base a datos recogidos*

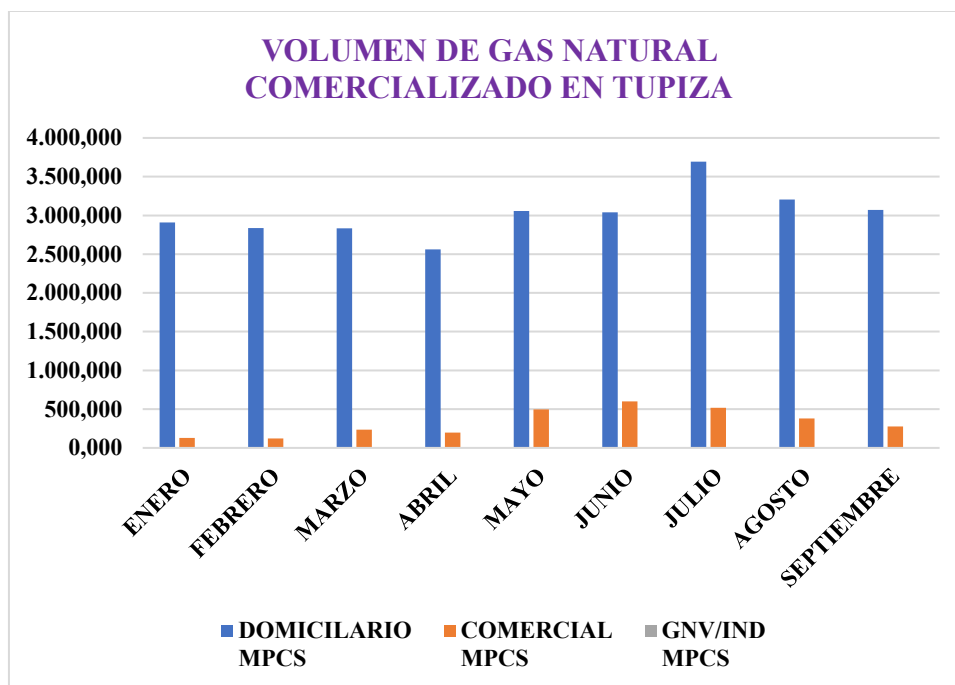
### 5.2.2.3. Volumen comercializado en Tupiza

*Tabla 16: Volumen de gas natural comercializado en Tupiza*

<b>VOLUMEN COMERCIALIZADO DE GAS NATURAL EN TUPIZA</b>			
AÑO 2023	DOMICILIARIO MPCs	COMERCIAL MPCs	GNV/IND MPCs
ENERO	2.910,539	127,178	0,000
FEBRERO	2.837,872	122,962	0,000
MARZO	2.832,419	235,186	0,000
ABRIL	2.563,032	198,844	0,000
MAYO	3.058,035	496,573	0,000
JUNIO	3.040,929	601,625	0,000
JULIO	3.693,527	517,343	0,000
AGOSTO	3.205,105	379,741	0,000
SEPTIEMBRE	3.071,049	277,615	0,000

*Fuente: Elaboración propia con base a datos recogidos*

*Gráfica 6: Volumen de gas natural comercializado en Tupiza, suministrado mediante la ESR.*



*Fuente: Elaboración propia con base a datos recogidos*

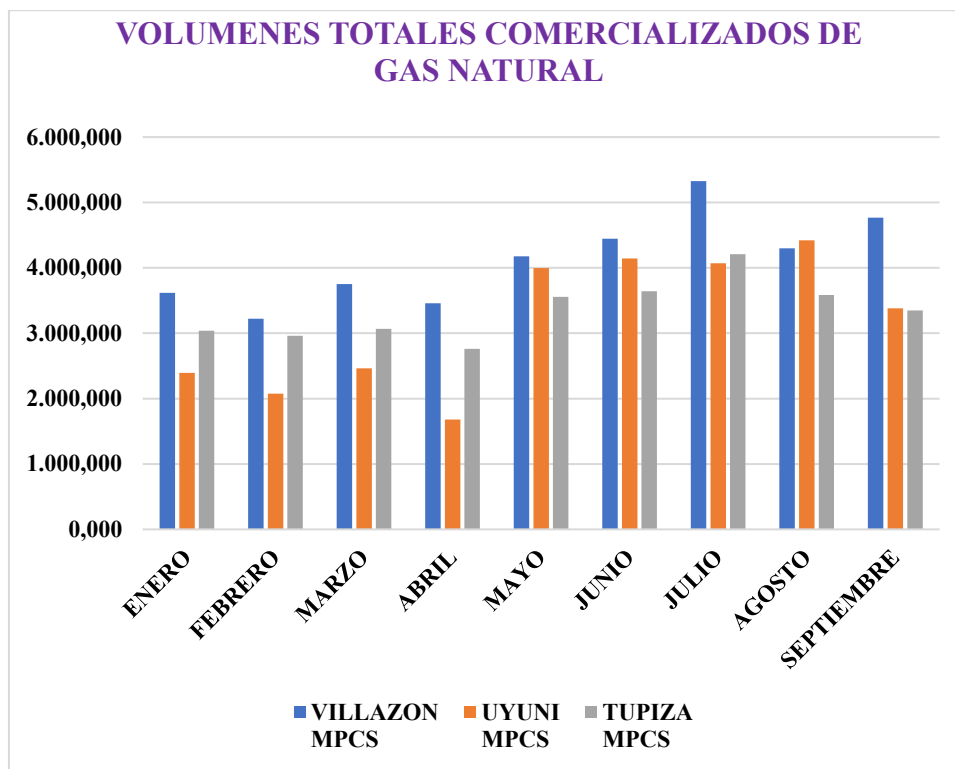
### 5.2.3. Volúmenes transferidos de YPFB transportes a estación satelital de regasificación ubicado en la población de Villazón.

*Tabla 17: Total de volúmenes comercializados de gas natural y suministrados mediante las ESR*

<b>TOTAL VOLÚMENES COMERCIALIZADOS DE GAS NATURAL</b>			
<b>AÑO 2023</b>	<b>VILLAZON MPCs</b>	<b>UYUNI MPCs</b>	<b>TUPIZA MPCs</b>
ENERO	3.617,606	2.393,457	3.037,717
FEBRERO	3.223,041	2.074,150	2.960,834
MARZO	3.751,156	2.462,025	3.067,605
ABRIL	3.457,952	1.680,686	2.761,876
MAYO	4.176,376	3.995,370	3.554,608
JUNIO	4.444,826	4.145,044	3.642,554
JULIO	5.325,287	4.070,653	4.210,870
AGOSTO	4.299,252	4.421,600	3.584,846
SEPTIEMBRE	4.767,676	3.380,556	3.348,664

*Fuentes: Elaboración propia con base de datos recogidos*

Gráfica 7: Volúmenes totales comercializados de gas natural, suministrados mediante las ESR.



Fuente: Elaboración propia con base a datos recogidos

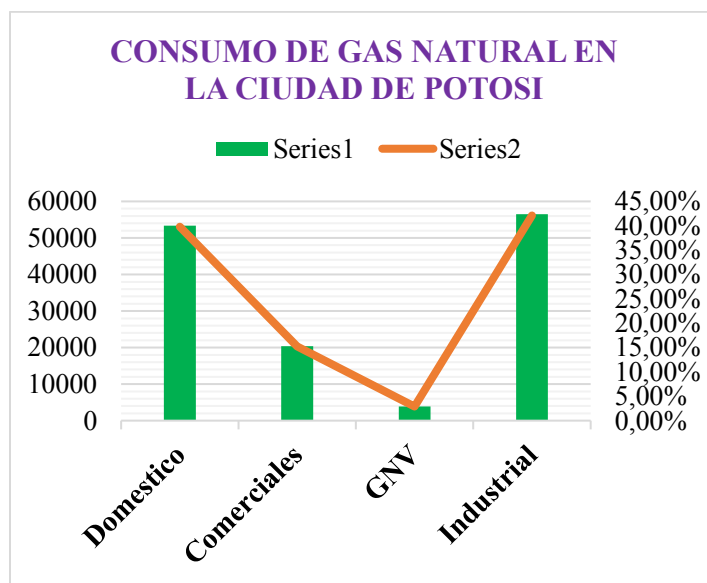
#### 5.2.4. Consumo de gas natural en la ciudad de Potosí

Tabla 18: Consumo de gas natural en la 4 categoría en la Ciudad de Potosí

CATEGORIA	TOTAL MPCs MES	% RELACION
<b>Domestico</b>	53385,171	39,79%
<b>Comerciales</b>	20402,093	15,21%
<b>GNV</b>	3871,052	2,89%
<b>Industrial</b>	56497,451	42,11%
<b>TOTAL</b>	134155,767	100,00%

Fuente: Elaboración propia con base a datos recogidos

Grafica 8: Consumo de gas natural en la ciudad de Potosí



Fuente: Elaboración propia con base a datos recogidos

### 5.3. Propuestas del diseño mecánico

#### 5.3.1. Capacidad del diseño

El sistema de transporte de Gas Natural en la región de Ica deberá tener la capacidad suficiente para satisfacer la demanda de gas de las grandes industrias locales, así como los consumos regulados (domiciliarios) a través de los Centro Operacionales o City Gates proyectados en sus diferentes localidades.

En la siguiente tabla se muestra un resumen de los consumos proyectados de gas natural por la empresa Congas S.A. actualizados al año 2012. El cuadro muestra los consumos que grandes empresas ubicadas en la localidad de Ica han solicitado. Además de estas grandes empresas se ha proyectado la construcción de varios City Gates en las principales ciudades del departamento con la finalidad de abastecer a los clientes regulados y además a empresas cuyo consumo individual

no es muy elevado pero el conjunto de todas ellas y una proyección de ampliación de dicho consumo hacen factible la construcción de City Gates en cada ciudad.

De acuerdo con los datos proporcionados por Congas S.A. el consumo que se destina a la ciudad de Chincha es de 42.02 MMSCFD para consumo industrial en la zona y 1.68 MMSCFD para clientes regulados. Es en base a esta capacidad que se realizara este proyecto.

Se seleccionó esta opción por ser el mayor consumo entre los consumos que se proponen para las ciudades, y porque esta propuesta incluirá un sistema de bloqueo directo del concesionario (en este caso TGP), aspecto del cual otra instalación carecería por pertenecer el gasoducto y el City Gate a la misma empresa. (Padro, 2014, pág. 145)

### **5.3.2. Criterios del diseño**

Los criterios de diseño adoptados serán el concepto de velocidad del fluido, para conocer los diámetros de las tuberías, y el concepto de resistencia (máxima presión) para determinar las calidades (materiales) y los espesores de las tuberías. En este tipo de instalaciones donde las longitudes de las tuberías no son muy largas, se hace inadecuado el diseño por caída de presión por ser esta despreciable.

Por esta razón es fundamental realizar los análisis correspondientes desde el punto conceptual, con el fin de aplicar adecuadamente este criterio que de otra forma nos puede llevar a diseñar sistemas de tuberías con riesgos en su integridad o en caso contrario sobredimensionadas innecesariamente.

### **5.3.3. Condiciones de operación**

Las condiciones de operación del City Gate se refieren a las condiciones de más capacidad de operación en cuanto a consumo (MMSCDF), condiciones máximas, mínimas de presión a la

entrada del City Gate, condiciones determinadas de salida de presión del City Gate y las condiciones mínimas y máximas de temperatura asociadas a cada una de las presiones anteriores. Se tendrá en consideración para las temperaturas requeridas la normativa peruana sobre la distribución y suministro de gas natural, así como la mínima temperatura de formación de hidratos a las presiones establecidas.

### 5.3.3.1. Presión de operación

Las presiones de operación ya se han establecido según los datos brindados por TGP y los acuerdos tomados anteriormente.

*Tabla 19: Condiciones de presión*

	<b>MAXIMO</b>		<b>MINIMO</b>	
<b>ALTA PRESIÓN</b>	134	Barg	64	Barg
<b>MEDIA PRESIÓN</b>	19	Barg	19	Barg
<b>BAJA PRESIÓN</b>	4	Barg	4	Barg

*Fuente: Elaboración propia con bases a datos recogidos*

### 5.3.3.2. Caudales de operación

Los Caudales de operación para las diferentes presiones se muestra en la siguiente tabla.

*Tabla 20: Caudales de Operación*

<b>ALTA PRESIÓN</b>	<b>43.70</b>	<b>MMSCFD</b>
<b>MEDIA PRESIÓN</b>	<b>42.00</b>	<b>MMSCFD</b>
<b>BAJA PRESIÓN</b>	1.70	MMSCFD

*Fuente: Elaboración propia con bases a datos recogidos*



### 5.3.3.3. Temperatura de operación

Tabla 21: Temperatura de Operación

	MAX		MIN	
<b>ALTA PRESIÓN</b>	29	°C	8	°C
<b>MEDIA PRESIÓN</b>	-	-	7.45	°C
<b>BAJA PRESIÓN</b>	14	°C	-	-

Fuente: Elaboración propia en base a datos recopilados

La temperatura máxima requerida para alta presión se considera de 39 °C. Esto debido a que la temperatura de ingreso al City Gate es de 27°C, temperatura a la cual le hemos agregado un margen de seguridad de 2° en caso de radiaciones extremas. No se considera los 50°C, debido a que en la práctica sería sub dimensionar la instalación y podría llevarnos a cálculos térmicos que subestimarían la capacidad de los calentadores de gas. Desde el punto de vista térmico se considera 30°C y desde el punto de vista de resistencia para las tuberías se considera 50°C.

En cuanto a la mínima temperatura de operación en alta presión se consideran 9°C. esto se debe a que la mínima temperatura ambiental es 14°C, temperatura a la que se le ha restado 5°C debido a que en las noches la temperatura baja y la presencia de vientos podría hacer descender la temperatura por momentos por debajo de los 14°C.

La temperatura en media presión será de 7.48°C como mínimo. Esto se debe a que, según la gráfica de formación de hidratos, a 19 barg la temperatura de formación de hidratos es 2.48°C. Cuando se reduce la presión a un gas de forma drástica este se expande, cayendo su temperatura de la misma forma que la presión por lo que podríamos obtener temperatura incluso criogénica. Es por esto que le agregamos 5°C por seguridad a la temperatura de formación de hidratos y

establecemos que el gas en media presión deba salir a 7.48 °C como mínimo, pudiendo salir a más temperatura, aspecto que no altera el proceso.

#### 5.3.4. Cálculo de velocidad de erosión

Como se vio anteriormente la velocidad erosional será el criterio de diseño para las tuberías del City Gate. La velocidad erosional entonces viene dada por la siguiente expresión:

$$U_e = \frac{C}{\sqrt{\frac{29 * G * P}{Z * R + T}}} \quad Ec. 24$$

Donde:

C: Constante (adimensional), se encuentra entre 75 y 150.

$U_e$ : Velocidad erosional (Pies/Seg)

G: Gravedad Específica del Gas (adimensional)

P: Presión de gas (Psia)

Z: Factor de Compresibilidad (adimensional)

R: Constante de los gases (ft<sup>3</sup>\*psi/lbmol\*°R)

T: Temperatura del Gas (°R)

Como puede apreciarse en la fórmula de la velocidad erosional, esta es independiente del diámetro de la tubería, en razón a que es un concepto que es específico según las características propias del gas y de su condición de presión y temperatura.

Se realizarán los cálculos tomando los siguientes valores:

C: 100 (recomendado para gas)

G: 0.612 (cromatografía de Gas de )

Z: 0.8864 (Z según su composición Aspem Hysys)

R: 10.73 ft<sup>3</sup>\*psi/lbmol\*°R

Se realizarán los cálculos tomando las presiones extremas en las zonas de alta presión, mientras que para media presión y baja presión se tomarán las presiones setting de regulación. Para un mismo caudal y un mismo ducto, las mayores velocidades se dan en los puntos de menor presión que son los puntos finales de cada uno de los subsistemas de tuberías en alta presión, media presión y baja presión.

En la siguiente tabla se expresan las temperaturas y presiones sobre las cuales se realizará el cálculo.

*Tabla 22: Datos para el cálculo de la velocidad*

	Gra. Especif	Factor Comp.	Const. Gases
	G	Z	R
<b>ALTA PRESIÓN</b>	0.615	0.886	10.7
	0.615	0.884	10.7
<b>MEDIA PRESIÓN</b>	0.615	0.8866	10.7
<b>BAJA PRESIÓN</b>	0.615	0.886	10.7

*Fuente: Elaboración propia en base a datos recopilados*

A continuación, se presentan las constantes para el cálculo de la velocidad erosional

*Tabla 23: Constante para el cálculo de la velocidad erosional*

	Gra. Especif	Factor Comp.	Const. Gases
	G	Z	R
	0.615	0.886	10.7

<b>ALTA PRESIÓN</b>	0.615	0.886	10.7
<b>MEDIA PRESIÓN</b>	0.615	0.886	10.7
<b>BAJA PRESIÓN</b>	0.615	0.886	10.7

Finalmente se presentan los resultados obtenidos del cálculo de la velocidad erosional y la velocidad máxima a la que debe circular el gas dentro de las tuberías.

*Tabla 24: Velocidad Erosional y velocidad máxima*

	<b>VEL. EROSIONAL</b>		<b>VELOCIDAD MÁXIMA (60% VEL. ER)</b>
	<b>Psis/seg</b>	<b>m/seg</b>	<b>m/seg</b>
<b>ALTA PRESIÓN</b>	38.234	11.723	7.172
	55.234	16.454	10.175
<b>MEDIA PRESIÓN</b>	98.343	30.124	18.034
<b>BAJA PRESIÓN</b>	217.455	66.268	39.723

*Fuente: Elaboración propia en base a datos recopilados*

De acuerdo con el resultado las velocidades del gas no deben exceder el 60% de la velocidad erosional, es decir que para el caso crítico de alta presión, la velocidad del gas no debe exceder el rango entre 7.02 y 10.11 m/seg (dependiendo finalmente de la presión de entrega al City Gate), por lo que el criterio de 20 m/seg resulta inadecuado y atentaría contra la integridad del sistema por ser un parámetro muy elevado. Por otro lado, para la media presión (19 barg), la velocidad del gas debería ser no mayor a 18.00 m/seg, valor muy cercano a 20 m/seg por lo que este criterio es aceptado. Para el sistema de baja presión, la velocidad admisible del gas sería 39.76 m/seg, por lo que el criterio de 20 m/seg resulta siendo muy conservador y llevaría a sobredimensionar las

tuberías. Sin embargo, se sigue el criterio de velocidad adoptado en el Bolivia, ya que al inicio del proyecto se estableció que se tomaría el criterio con más seguridad.

### 5.3.5. Velocidad de operación

Una vez calculada la velocidad erosional y la máxima velocidad de operación, se debe calcular la velocidad del Gas en operación, de manera que este por debajo de la máxima velocidad y sea lo más cercana a esta, este cálculo se convierte entonces en un proceso iterativo que consiste probar con cada diámetro de tubería y escoger el que más se acerque. La velocidad viene dada entonces por la siguiente expresión:

$$U_s = \frac{365.35 * Q}{D^2 * P} \quad Ec. 25$$

Donde:

$U_s$ : Velocidad lineal (m/seg)

Q: Caudal Volumétrica (m<sup>3</sup>/hr)

D: Diámetro interior de la tubería (mm)

P: Presión de gas (Psia)

En base al cálculo anterior se tienen diámetros probables para elegir. Sin embargo, es necesario realizar una comprobación con el esfuerzo que soportara cada tubería con su respectivo espesor y comprobar la velocidad nuevamente empleando el diámetro interior de acuerdo al Schedule que se seleccione y al material a emplear.

Tabla 25: Primera aproximación del diámetro

D (pulg)	D (mm)	Q (pies <sup>3</sup> /hr)	Q (m <sup>3</sup> /hr)	P (bar)	P (kg/cm <sup>2</sup> )	V(m/se g)	V. Eroccional	Aceptación
10	253	1820833	51529.5739	135	137.6622	2.11974	Cumple	Aceptado
10	253	1820833	51529.5739	65	66.2818	4.40634	Cumple	Aceptado
8	203.4	1820833	51529.5739	135	137.6622	3.31210	Cumple	Aceptado
8	203.4	1820833	51529.5739	65	66.2818	6.87897	Cumple	Aceptado
6	152.6	1820833	51529.5739	135	137.6622	5.88819	Cumple	Aceptado
6	152.6	1820833	51529.5739	65	66.281	12.2292	No Cumple	No Aceptado
4	101.8	1820833	51529.5739	135	137.6622	3.24840	No Cumple	No Aceptado
4	101.8	1820833	51529.5739	65	66.2818	27.5159	No Cumple	No Aceptado
10	254	1750000	49525	19	19.37468	14.4758	Cumple	Aceptado
8	203.4	1750000	49525	19	19.37468	22.6174	No Cumple	No Aceptado
6	152.6	1750000	49525	19	19.37468	40.2093	No Cumple	No Aceptado
4	101.8	70833	2004.5739	4	4.07888	17.3942	Cumple	Aceptado
3	76.4	70833	2004.5739	4	4.07888	30.9223	Cumple	No Aceptado
2	50.10	70833	2004.5739	4	4.07888	69.5766	No Cumple	No Aceptado
4	101.8	70833	2004.5739	19	19.37468	3.66194	Cumple	Aceptado
2	50.10	70833	2004.5739	19	19.37468	14.6457	Cumple	Aceptado
1	25.6	70833	2004.5739	19	19.37468	585908	No Cumple	No Aceptado

Fuente: Elaboración propia en base a datos recopilados

### 5.3.6. Cálculo de tubería

Para facilitar su comprensión, la tabla número 33 se ha dividido en cuatro secciones. La primera parte abarca todo el tramo de tuberías que va desde la entrada del gas al City Gate hasta la entrada de la primera regulación (regulación industrial) a la que se somete el gas.

La segunda sección abarca el período que comienza con la salida de la primera regulación (regulación industrial) y continúa hasta la salida de la red de acero de chinchas.

La tercera sección describe el arreglo que se produce entre la salida de la segunda regulación (regulación doméstica) y la conexión a la red de polietileno de chincha. La cuarta parte corresponde al tramo entre la división de consumo T y la segunda regulación del gas (regulación doméstica).

Haremos el recalcu de los diámetros establecidos de acuerdo con los datos anteriores y seleccionaremos el cronograma adecuado para la línea. Debido a que el esfuerzo de esta tubería en cualquier diámetro supera la presión requerida y es muy comercial, se seleccionó un Sch 80 para las tuberías para altas presiones por la capacidad del material (135 barg).

Se seleccionó el Sch 40 para tuberías de baja y media presión porque cumple con los requerimientos de presión en todos los diámetros y es comercial.

### 5.3.6.1. Tubería de alta presión

En la Tabla N° 26 se presentan los datos requeridos para el cálculo de los diámetros para las líneas de alta presión.

Tabla 26: Calculo de los diámetros de tuberías

D (pulg)	Sch	D. int (pulg)	D. int (mm)	Q (pie <sup>3</sup> /hr)	Q (m <sup>3</sup> /hr)	P (bar)	P(Kg/cm <sup>2</sup> )
10	80	9.564	242,4656	1820833	51.529,5565	135	1.376.6343
10		9.554	242,8456	1820833	51.529,5565	65	66,3235
8		7.645	193,6346	1820833	51.529,5565	135	137,6546
8		7.665	193,6625	1820833	51.529,5565	65	66,2565
6		5.764	146,3657	1820833	51.529,5565	135	137,6534
6		5.776	146,3457	1820833	51.529,5565	64	66,6765
4		3.976	97,18896	1820833	51.529,5565	135	137,8957
4		3.563	97,46576	1820833	51.529,5565	65	66,2345

Fuente: Elaboración propia en base a datos recopilados



Los cálculos de esta presión se realizaron utilizando tuberías de 10, 8, 6 y 4 pulgadas. La tubería de 6 pulgadas se descartó porque no cumplía con los criterios de velocidad erosional para la mínima presión. Además, se descartó la tubería de 10 pulgadas porque requeriría una tubería de mayor tamaño. Las tuberías Sch 80 de 8 pulgadas son la opción final para líneas de alta presión.

Tabla 27: Resultados del cálculo de diámetro de alta presión

D (pulg)	V (m/seg)	V. EROSIONAL	CRITERIO BOLIVIANO	Aceptación
10	2.23223245	CUMPLE	CUMPLE	DESCARTADO
10	4.76878766	CUMPLE	CUMPLE	DESCARTADO
8	3.54526578	CUMPLE	CUMPLE	ACEPTADO
8	7.54353246	CUMPLE	CUMPLE	ACEPTADO
6	6.32435545	CUMPLE	CUMPLE	DESCARTADO
6	13.2143578	NO CUMPLE	CUMPLE	NO ACEPTADO
4	14.4564768	NO CUMPLE	CUMPLE	NO ACEPTADO
4	30.0755795	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO ACEPTADO

Fuente: Elaboración propia en base a datos recopilados

### 5.3.6.2. Tubería de media presión

En la Tabla N° 28 se presentan los datos requeridos para el cálculo de los diámetros para las líneas de media presión que van a la red de acero.

Tabla 28: Datos para el cálculo de diámetro de media presión (red de acero)

D (pulg)	Sch	D. int (pulg)	D. int (mm)	Q (pie <sup>3</sup> /hr)	Q (m <sup>3</sup> /hr)	P (bar)	P(Kg/cm <sup>2</sup> )
10		10.06	254.545	1750000	49525	19	1.93.443

8	40	7.956	202.7132	1750000	49525	19	1.93743
6		6.034	154.341	1750000	49525	19	1.93745

*Fuente: Elaboración propia en base a datos recopilados*

En la siguiente tabla se presentan los resultados del cálculo de tuberías.

*Tabla 29: Resultados del cálculo de diámetros de media presión (red de acero)*

D (pulg)	V (m/seg)	V. EROSIONAL	CRITERIO BOLIVIANO	Aceptación
10	14.3688957	CUMPLE	CUMPLE	ACEPTADO
8	22.5635724	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO ACEPTADO
6	39.1434254	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO ACEPTADO

*Fuente: Elaboración propia en base a datos recopilados*

Los cálculos para esta presión se realizaron utilizando tuberías de 10, 8 y 6 pulgadas. La tubería de 6 y 8 pulgadas fue descartada porque no cumplía con los criterios de velocidad erosional. Las tuberías Sch 40 de 10 pulgadas son la opción final para las líneas de alta presión. A continuación, se presentan los datos necesarios para calcular los diámetros de las líneas de media presión que se dirigen a la segunda regulación (regulación de la casa).

### **5.3.7. Arreglo general de la instalación**

Después de conocer los diámetros de las tuberías que se utilizarán, es necesario realizar un arreglo general de la instalación para estimar las dimensiones de las distancias y elevaciones de las tuberías para evaluarlas hidráulicamente. Para calcular las pérdidas de presión utilizando factores de longitud equivalentes, es necesario estimar el número de accesorios que se utilizarán en cada línea.

Los P&ID desarrollados en el capítulo anterior se utilizarán para realizar este arreglo general. Se colocaron todas las válvulas y accesorios y se tomaron distancias referenciales basándose en la distancia máxima que recorre el fluido. Por posibles errores en las mediciones y estimaciones realizadas, se tomó un 10% adicional de la longitud medida. Se ingresarán estas longitudes en el programa Aspem Hysys para la evaluación termohidráulica del City Gate.

Para realizar el arreglo general, se dividieron las líneas de proceso según su secuencia. Esto se hizo para identificar todos los componentes que participan en el flujo máximo de gas a través de las tuberías y para calcular la caída de presión que causan a lo largo del proceso. La Tabla N° 42 muestra la sectorización de la instalación, así como la longitud de la línea y la elevación. (Al final, las elevaciones se determinaron utilizando los planos isométricos de los arreglos de tuberías).

### 5.3.8. Revisión hidráulica (escenarios)

### 5.3.9. Equipamiento

El equipamiento del City Gate incluye todos los equipos de la instalación. Las fichas técnicas de cada equipo incluyen las características mínimas a cumplir.

#### 5.3.9.1. Calentadores de gas

Tabla 30: Ficha técnica calentadores de gas

FICHA TÉCNICA CALENTADORES DE GAS				
<b>UBICACIÓN: CITY GATE</b>		TAG: CGC		
<b>SERVICIO: CALEFONES DE GAS</b>		TIPO: FUEGO INDIRECTO/BAÑO AGUA/TIRO NATURAL		
DATOS OPERATIVOS				
<b>FLUIDO A CALENTAR</b>	<b>GAS</b>	<b>TEM. ENTRADA DE GAS</b>	8/30	°C

	<b>NATURAL</b>				
<b>CAUDAL</b>	43.6	MMSC FD	TEM. SALIDA DE GAS	29.20/54.60	°C
<b>PRESIÓN DE DISEÑO</b>	150.30	Barg	TEMPERATURA DE DISEÑO	60	°C
<b>PRESIÓN DE OPERACIÓN</b>	64- 134	Barg	CAPACIDAD TÉRMICA	5600000	Btu/hr

Fuente: Elaboración propia en base a datos recopilados

### 5.3.9.2. Calentador a gas

Tabla 31: Ficha técnica calentadores a gas

<b>FICHA TÉCNICA CALENTADORES DE GAS</b>					
<b>UBICACIÓN: CITY GATE</b>			<b>TAG: CGC</b>		
<b>SERVICIO: CALENTAMIENTO DE GAS A SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN</b>			<b>TIPO: CALDERA + INTERCAMBIADOR</b>		
<b>DATOS OPERATIVOS</b>					
<b>FLUIDO A CALENTAR</b>	<b>GAS NATURAL</b>		TEM. ENTRADA DE GAS	5.78/7.45	°C
<b>CAUDAL</b>	1.65	MMSC FD	TEM. SALIDA DE GAS	23.08/23.09	°C
<b>PRESIÓN DE DISEÑO</b>	19.18	Barg	TEMPERATURA DE DISEÑO	60	°C
<b>PRESIÓN DE OPERACIÓN</b>	19	Barg	CAPACIDAD TÉRMICA	60000	Btu/hr

Fuente: Elaboración propia en base a datos recopilados

### 5.3.9.3. Instrumentación

La unidad de paquete tendrá un controlador independiente que se encargará de controlar y proteger la unidad. Es necesario cablear todas las señales de instrumentación que deberá ser entregado a dicho controlador de manera que puedan ser llevadas al sistema de control correspondiente City Gate

El controlador del sistema de odorización detecta la señal enviada por el elemento de medición y, según la rapidez de inyección deseada y los parámetros de entrada establecidos por el operador, da un pulso. La salida puede ser una señal eléctrica o un impulso neumático. Un impulso electrónico puede abrir temporalmente un solenoide, liberando la presión necesaria para accionar la bomba, o puede controlar la velocidad del motor para regular la inyección de odorante.

Los sistemas de odorización de inyección tienen la capacidad de controlar señales analógicas de 4 a 20 mA, neumáticas, de comunicaciones por pulsos o Modbus RTU. Para cerrar los contactos eléctricos, el mismo aparato de inyección debe poder usarse con cualquier tipo de señal de medición disponible en el lugar de la instalación. En caso de falla en la bomba principal, los sistemas deben incorporar un interruptor automático que permita arrancar la bomba de reserva. El sistema debe tener un contacto seco libre de potencial disponible que se active en caso de alarma para que el controlador principal de la estación lo pueda ver.

*Tabla 32: Condiciones de diseño sistema de Odorizacion*

CONDICIONES DE DISEÑO		
<b>PRESIÓN AGUA</b>	<b>MÁXIMA</b>	<b>19.2</b>
<b>ARRIBA</b>		

<b>PRESIÓN AGUA ABAJO</b>	<b>MÁXIMA</b>	19.2
<b>TEMPERATURA</b>	50	°C
<b>CONDICIONES DE OPERACIÓN</b>		
<b>PRESIÓN AGUA ARRIBA</b>	<b>MÁXIMA</b>	19
<b>PRESIÓN AGUA ABAJO</b>	<b>MÁXIMA</b>	19
<b>TEMPERATURA</b>	7.50	°C
<b>FLUJO DE GAS</b>		
<b>MÁXIMA</b>	43.70	MMSCFD
<b>MÍNIMA</b>	1.60	MMSCFD

*Fuente: Elaboración propia en base a datos recopilados*

#### 5.3.9.4. Filtros de separadores

*Tabla 33. Ficha técnica filtros separadores*

<b>DATOS DE DISEÑO Y OPERACIÓN</b>		
<b>SERVICIO</b>	<b>SEPARACIÓN DE SOLIDOS</b>	
<b>VOLUMEN NOMINAL</b>	1	M3
<b>CONDICIONES DE DISEÑO</b>		
<b>PRESIÓN INTERNA</b>	150.40	barg
<b>TEMPERATURA</b>	50	°C
<b>CONDICIONES DE OPERACIÓN</b>		
<b>PRESIÓN INTERNA</b>	65 - 135	barg
<b>TEMPERATURA</b>	9 - 30	°C

<b>FLUIDO DE OPERACIÓN</b>	GAS NATURAL	
<b>CAÍDA DE PRESIÓN</b>	0.7	bar
<b>FLUJO MÁXIMO</b>	43.7	MMSCFD
<b>CONTAMINANTES</b>	Aceite lubricante	
	Condensador	
	Agua	
	Solidos	

Fuente: Elaboración propia en base a datos recopilados.

### 5.3.9.5. Tambor de condensado

Tabla 34: Ficha técnica tambor de condensados

DATOS DE DISEÑO DE OPERACIÓN		
<b>DIÁMETRO</b>	107	cm
<b>LONGITUD</b>	274	cm
<b>VOLUMEN</b>	720	GAL
CONDICIONES DE DISEÑO		
<b>PRESIÓN INTERNA</b>	4	barg
<b>TEMPERATURA</b>	50	°C
CONDICIONES DE OPERACIÓN		
PRESIÓN INTERNA	<b>atm</b>	<b>barg</b>
TEMPERATURA	<b>8 – 32</b>	°C
FLUIDO DE OPERACIÓN	<b>GAS NATURAL</b>	
CAÍDA DE PRESIÓN	<b>0.70</b>	<b>bar</b>
FLUIDO MÁXIMO	<b>43.70</b>	<b>MMSCFD</b>
CONTAMINANTES	<b>Agua</b>	

Fuente: Elaboración propia en base a datos recopilados.

## **5.4. Diseño de equipamiento eléctrico**

### **5.4.1. Diseño del sistema de puesta a tierra**

El cálculo se desarrolló utilizando una versión trial del programa Aspix de protección contra rayos láser de Spartan.

#### **5.4.1.1. Características del terreno**

Las áreas donde se planea establecer el City Gate son muy similares y comparten el siguiente perfil estratigráfico, según el estudio de suelos preliminar. Una capa superficial con la clasificación SP compuesta por mezclas de gravarena de acuerdo con el método unificado SUCS y arena de grano medio de color beige. Se encuentra en promedio a una profundidad de 1500 mm desde la superficie.

#### **5.4.1.2. Parámetro del diseño**

Las siguientes consideraciones se tomaron en cuenta al diseñar el sistema de puesta a tierra: De acuerdo con el CNE, la resistencia de puesta a tierra de la malla no debe ser mayor a 10 Ohms.

Debido al tipo de estratificación del suelo y a la profundidad en la que se instalará el cable del sistema de puesta a tierra, se consideró una sola capa homogénea del tipo SP en el modelamiento.

Se ha calculado una resistividad promedio para el tipo de terreno SP a partir de los valores máximos de los terrenos tipo SM y GC, ya que la clasificación del terreno tipo SP no se encuentra específicamente en la tabla A2-06 de uso de CNE. basado en 450 Ohm-m.

De acuerdo con el CNE, el nivel de profundidad generalmente debe ser superior a 600 mm, por lo que se ha considerado la distancia mínima de 750 mm, aunque puede ser mayor en casos especiales.



Se espera un tiempo de falla máximo de 0.5 segundos para que las protecciones del circuito se activen. Esto se debe a que el City Gate estaba siendo tratado como una Subestación Eléctrica debido a su naturaleza peligrosa.

## 5.5. Cálculos de la disminución de precio en la compra de materiales

### 5.5.1. Costo de materiales para una tubería de SCH 80.

La siguiente tabla muestra los materiales necesarios y utilizados por el distrito YPFB de redes de gas de Potosí para realizar con una tubería SCH 80.

Tabla 35: Costo de materiales para una tubería de SCH 80.

MATERIAL	CANT.	UNIDAD	P.U.	TOTAL BS
24 MTS. TUBERÍA SIN COSTURA DE 2", SCH80, ASTM A-53/106 GR B, EXTREMOS BISELADOS BUTT WELD, MARCA TPCO - CHINA	200	METROS	180,00	<b>36.000,00</b>
BRIDA CIEGA DE 2", CLASE 600, CARA CON RESALTE (RF), ASTM A-105, ASME B16.5	8	PIEZA	184,00	<b>1.472,00</b>
CODO 90° DE 2" EP, ASTM A-234 WPB ASME B16.9	3	PIEZA	36,00	<b>108,00</b>
EMPAQUE AISLANTE O JUNTA DIELECTRICA DE 2" S600	4	PIEZA	48,00	<b>192,00</b>
EMPAQUETADURA ESPIROMETALICA CON ANILLO EXTERIOR, 2", CLASE 3/600, ACERO INOXIDABLE AISI 316L, ASME B16.20	4	PIEZA	42,00	<b>168,00</b>
ESPARRAGO NEGRO, 5/8"X4 1/2", ASTM A-193 GR B7/ASTM A-194 GR 2H	64	PIEZA	29,00	<b>1.856,00</b>
VÁLVULA ESFÉRICA DE 1/2", S3000 PASO TOTAL NPTH	4	PIEZA	962,00	<b>3.848,00</b>
VÁLVULA AGUJA DE 1/2", 6000 PSI, NPTH - M INOXIDABLE	4	PIEZA	596,00	<b>2.384,00</b>
VÁLVULA TIPO BOLA ANSI 600 DIÁMETRO 2 PLG	2	PIEZA	1.200,00	<b>2.400,00</b>
MANÓMETRO DE 0 - 20 BAR (0 - 290 PSI), DIALI 4", CONEXIÓN EN BRONCE DE 1/2" NPT, CON GLICERINA, MARCA WIKA	1	PIEZA	534,00	<b>534,00</b>
TE NORMAL DE 1/2" S3000	4	PIEZA	72,20	<b>288,80</b>

CONECTOR CODO 90° 3/8" OD X 1/4" NPTM INOXIDABLE	4	PIEZA	166,00	<b>664,00</b>
ACTUADOR RUELCO	1	PIEZA	1.850,00	<b>1.850,00</b>
REGULADOR 0 – 140 PSI	1	PIEZA	163,07	<b>163,07</b>
TUBING DE 3/8" ESP. 1.24 MM INOXIDABLE	12	METROS	187,00	<b>2.244,00</b>
THREDOLET 1/2" X 3/4" – 2" – 36"S600 NPT	4	PIEZA	163,00	<b>652,00</b>
CONECTORES TUBING RECTO 3/8" OD POR 1/4" MNPT	12	PIEZA	150,00	<b>1.800,00</b>
			<b>TOTAL</b>	<b>56.623,87</b>

*Fuente: Elaboración propia con bases a datos recogidos*

Este llegaría ser el costo total de todos los materiales usados para la realización de la derivación por YPFB distrito de redes de gas Potosí.

#### **5.5.2. Costo de materiales para una tubería SCH 40.**

La derivación diseñada para una tubería SCH 40 utilizará los mismos accesorios que se utilizan para una tubería SCH 80, ya que son adecuados para su operación y montaje. Como se muestra en la siguiente tabla, la modificación que se realizó fue la modificación de la tubería a utilizar, lo que resultó en una variación en el costo de los materiales.

*Tabla 36: Costo de, Materiales SCH 40.*

<b>MATERIAL</b>	<b>CANT.</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>P.U.</b>	<b>TOTAL BS</b>
24 MTS. TUBERÍA SIN COSTURA DE 2", SCH80, ASTM A-53/106 GR B, EXTREMOS BISELADOS BUTT WELD, MARCA TPCO - CHINA	200	METROS	120,00	<b>24.000,00</b>
BRIDA CIEGA DE 2", CLASE 600, CARA CON RESALTE (RF), ASTM A-105, ASME B16.5	8	PIEZA	184,00	<b>1.472,00</b>
CODO 90° DE 2" EP, ASTM A-234 WPB ASME B16.9	3	PIEZA	36,00	<b>108,00</b>
EMPAQUE AISLANTE O JUNTA DIELECTRICA DE 2" S600	4	PIEZA	48,00	<b>192,00</b>
EMPAQUETADURA ESPIROMETALICA CON ANILLO EXTERIOR, 2", CLASE 3/600,	4		42,00	<b>168,00</b>

ACERO INOXIDABLE AISI 316L,ASME B16.20		PIEZA		
ESPARRAGO NEGRO, 5/8"X4 1/2",ASTM A-193 GR B7/ASTM A-194 GR 2H	64	PIEZA	29,00	<b>1.856,00</b>
VÁLVULA ESFÉRICA DE 1/2", S3000 PASO TOTAL NPTH	4	PIEZA	962,00	<b>3.848,00</b>
VÁLVULA AGUJA DE 1/2", 6000 PSI, NPTH – M INOXIDABLE	4	PIEZA	596,00	<b>2.384,00</b>
VÁLVULA TIPO BOLA ANSI 600 DIÁMETRO 2 PLG	2	PIEZA	1.200,00	<b>2.400,00</b>
MANÓMETRO DE 0 – 20 BAR (0 – 290 PSI), DIALI 4", CONEXIÓN EN BRONCE DE 1/2" NPT, CON GLICERINA, MARCA WIKA	1	PIEZA	534,00	<b>534,00</b>
TE NORMAL DE 1/2" S3000	4	PIEZA	72,20	<b>288,80</b>
CONECTOR CODO 90° 3/8" OD X 1/4" NPTM INOXIDABLE	4	PIEZA	166,00	<b>664,00</b>
ACTUADOR RUELCO	1	PIEZA	1.850,00	<b>1.850,00</b>
REGULADOR 0 – 140 PSI	1	PIEZA	163,07	<b>163,07</b>
TUBING DE 3/8" ESP. 1.24 MM INOXIDABLE	12	METROS	187,00	<b>2.244,00</b>
THREDOLET 1/2" X 3/4" – 2" – 36" S600 NPT	4	PIEZA	163,00	<b>652,00</b>
CONECTORES TUBING RECTO 3/8" OD POR 1/4" MNPT	12	PIEZA	150,00	<b>1.800,00</b>
			<b>TOTAL</b>	<b>44.623,87</b>

*Fuente: Elaboración propia con bases a datos recogidos*

Los precios varían según el tipo de tubería utilizada, lo que resulta en una reducción del 35% en el precio de la tubería SCH 80. Se trata de un proyecto de una derivación de solo 24 metros.

*Tabla 37: Diferencia de Costos de la Tubería en Uso*

<b>ANÁLISIS DE COSTOS (Bs)</b>	
TIPO DE TUBERÍA	PRECIO UNITARIO (Bs/mts.)
Tubería SCH 80	180.00
Tubería SCH 40	120.00
<b>DIFERENCIA TOTAL</b>	<b>12.000,00</b>
<b>Diferencia Porcentual</b>	<b>33%</b>

*Fuente: Elaboración propia con bases a datos recogidos*

### 5.6. Calculo de la disminución de precios en los trabajos de obras civiles y mecánicas.

Para calcular la disminución del precio en estos trabajos, se utilizarán los trabajos más comunes presentados en las obras, así como los precios unitarios tomados como promedio de los valores que utilizan YPFB.

Tabla 38: Costo de Obras Civiles y Mecánicas.

<b>OBRAS CIVILES</b>					
<b>Ítem</b>	<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio unitario</b>	<b>Precio total</b>
1	Movilización y desmovilización de equipo, material y personal	Gbl	1	29.400,00	29.400,00
2	Excavación de 0 – 2 mts. De suelo semiduro	m <sup>3</sup>	28	59,00	1.652,00
3	Relleno de zanja con tierra cernida	m <sup>3</sup>	8,4	84,22	707,45
4	Relleno y compactado de zanja con tierra común	m <sup>3</sup>	15,6	89,95	1.403,22
5	Limpieza y retiro de escombros	Gbl	1	12.005,87	12.005,87
<b>SUB TOTAL (BS)</b>					<b>45.168,54</b>
<b>OBRAS MECÁNICAS</b>					
1	Carga, transporte y descarga de tubería y accesorio de dn 2” sch 40	T	0,25	950,00	237,50
2	Soldadura de tubería y accesorios de dn 2” sch 40	Junta	8	580,00	4.640,00
3	Limpieza y revestimiento de junta c/ manta termocontraible 2” (sin provisión de manta)	Junta	2	98,00	196,00
4	Limpieza y revestimiento de tubería y accesorios de anc dn 3” c/cinta de revestimiento	m <sup>2</sup>	3	1.633,00	4.899,00
5	Venteo, prueba de resistencia y hermeticidad	m	35	210,00	7.350,00
<b>SUB TOTAL (BS)</b>					<b>17.322,50</b>
<b>TOTAL (BS)</b>					<b>62.491,04</b>

Fuente: Elaboración propia con bases a datos recogidos

### 5.7. Calculo de la disminución total.

$$Dif_{total} = 62.491,04 Bs + 12.000 Bs$$

$$Dif_{total} = 74.491,04 (Bs)$$

### Calculo de la inversión del proyecto con la optimización de la derivación

$$Inversion = 28.779.395,00 Bs - 74.491,04 Bs$$

$$Inversion = 28.704.903,96 (Bs) = 4.124.267,81 (\$us)$$

### 5.8. Calculo de los ingresos anuales

La estimación del consumo de gas natural por parte de la población de Villazón es de 79.146.600,00 m<sup>3</sup> por año. Esta estimación se basa exclusivamente en el consumo de gas natural en hogares de 7879 hogares durante un período de 10 años.

Considerando los precios establecidos por la ANH en todo el país. Un hogar que recibe gas natural domiciliario debe pagar 8.89 Bs si consume 16 metros cúbicos de gas natural. En este caso, consideramos las condiciones más críticas que podrían surgir después del inicio de la distribución de gas natural. Considerando que solo se considerarán los 7879 hogares beneficiarios, calculamos los ingresos anuales que se podrían obtener con estos datos.

$$Ingreso Anual = 79.146.600,00 \frac{m^3}{año} * \frac{8.89 Bs}{16 m^3}$$

$$Ingreso Anual = 43.975.829,63 \frac{Bs}{año} = 6.318.366,33 (\$us)$$

### 5.9. Calculo de flujo de caja.

Con base en los datos obtenidos, determinamos el flujo de caja que se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 39: Calculo de flujo de caja



## 5.10. Cálculo y análisis de resultado del TIR y VAN.

### 5.10.1. Cálculo del valor actual neto (VAN).

$$VAN_{(i)} = -I + \frac{F_1}{(1+i)^1} + \frac{F_2}{(1+i)^2} + \frac{F_3}{(1+i)^3} + \frac{F_4}{(1+i)^4} + \dots + \frac{F_n}{(1+i)^n}$$

Donde:

$i$  = Tasa de oportunidad

$F_1$  = Flujo de caja

$I$  = Inversión.

VAN = Valor actual neto.

Para la evaluación del valor actual neto el criterio que utilizaremos será el siguiente:

Proyecto factible y rentable  $VAN > 0$

Proyecto no factible ni rentable  $VAN < 0$

Proyecto indiferente  $VAN = 0$

$$VAN_{(10\%)} = -4.124.267,8 + \frac{3.326.619,9}{(1+0.1)^1} + \frac{3.326.619,9}{(1+0.1)^2} + \frac{3.326.619,9}{(1+0.1)^3} + \frac{3.326.619,9}{(1+0.1)^4} + \frac{3.326.619,9}{(1+0.1)^5} \\ + \frac{3.326.619,9}{(1+0.1)^6} + \frac{3.326.619,9}{(1+0.1)^7} + \frac{3.326.619,9}{(1+0.1)^8} + \frac{3.326.619,9}{(1+0.1)^9} + \frac{3.326.619,9}{(1+0.1)^{10}}$$

$$VAN_{(10\%)} = 16.316.371,22$$

Según nuestro resultado obtenido por cálculos matemáticos, podemos afirmar que nuestro proyecto es factible y rentable dado que nuestro VAN es mayor a cero.

### 5.10.2. Cálculo de la tasa de interés de retorno (TIR)

$$0 = -I + \frac{F_1}{(1+TIR)^1} + \frac{F_2}{(1+TIR)^2} + \frac{F_3}{(1+TIR)^3} + \frac{F_4}{(1+TIR)^4} + \dots + \frac{F_n}{(1+TIR)^n}$$

Donde:

$F_1$  = Flujo de caja

$I$  = Inversión.

TIR = Tasa de interés de retorno.

Para la evaluación de la tasa de interés de retorno el criterio que utilizaremos será el siguiente:

Proyecto factible y rentable  $TIR > i$

Proyecto no factible ni rentable  $TIR < i$

Proyecto indiferente  $TIR = i$

$$0 = -4.124.267,8 + \frac{3.326.619,9}{(1 + TIR)^1} + \frac{3.326.619,9}{(1 + TIR)^2} + \frac{3.326.619,9}{(1 + TIR)^3} + \frac{3.326.619,9}{(1 + TIR)^4} + \frac{3.326.619,9}{(1 + TIR)^5} + \frac{3.326.619,9}{(1 + TIR)^6} + \frac{3.326.619,9}{(1 + TIR)^7} + \frac{3.326.619,9}{(1 + TIR)^8} + \frac{3.326.619,9}{(1 + TIR)^9} + \frac{3.326.619,9}{(1 + TIR)^{10}}$$

$$\mathbf{TIR = 0,804}$$

$$\mathbf{0,804 > i}$$

Según el resultado obtenido, podemos decir que nuestro proyecto será rentable y factible.



## CAPITULO 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1. Conclusiones

La implementación del sistema de diseño de City Gate para suministro de gas natural a la Poblacion de Villazón en los lugares antes detallados debe ser realizada por fases de acuerdo a un análisis técnico económico de manera de ir incorporando los PRM y EDR de acuerdo a este análisis.

Con el diseño realizado de City Gate para el suministro de gas natural a la población de Villazón Potosí, a través del gasoducto regional La Quiaca Argentina, nos permite la creación de una estación de recepción y distribución de gas natural que garantiza la calidad, seguridad y continuidad de suministro en la ciudad de Villazón. Así disminuir las pérdidas generadas por la venta de Gas Natural actualmente mediante el sistema de GNL, la cual se distribuye por el gasoducto virtual ESR (Estación Satelital de regasificación) en la Poblacion de Villazón y el objetivo del proyecto es reemplazándola a través de la alternativa de Suministro de Gas Natural por el sistema convencional.

según el estudio realizado de la demanda actual y proyectada de gas natural nos indica construir una línea de red Primaria desde la ESR Villazón (red primaria) hasta el Gasoducto Regional de la Quiaca Argentina (tubería con diámetro de 6 plg. cuya presión es de 100 kg/cm<sup>2</sup>), una longitud aproximada de 5000 metros con tubería.

Según las fuentes de acuerdos políticos, financieros y técnicos que ya hubo por parte de YPFB en gestiones anteriores, en buscar un intercambio de energías de gas natural con Argentina para suministro al Sur boliviano. Y como ya llego el gasoducto hasta La Quiaca, esto permite que se pueda suministrar gas natural mediante los gasoductos de Norte Argentino.

## 6.2. Recomendaciones

Por lo expuesto anteriormente, se recomienda a su Autoridad que debido a las pérdidas generadas por la venta de gas natural en la población de Villazón realizar gestiones ante las instancias superiores a objeto de analizar la sugerencia de conexión al gasoducto regional de la Quiaca – Argentina, se recomienda coordinar con la Empresa Distribuidora de Gas Natural en el área de la Quiaca (GASNOR)

Para la adecuada implementación del proyecto se recomienda pedir para cada componente del sistema un certificado de calidad, que asegure que los materiales empleados cumplen con las normas que la especificación solicita.

Integración regional: Establecer una coordinación estrecha con las autoridades y empresas involucradas en el gasoducto regional La Quiaca Argentina, para garantizar una operación eficiente y sin interrupciones del suministro de gas natural. Esto implica establecer acuerdo de cooperación y protocolos de comunicación efectiva.

Seguridad y Normativa: Cumplir con toda las normativas y regulaciones de seguridad establecidas por las autoridades competentes. Esto incluye la implementación de medidas de seguridad en la infraestructura, capacitación del personal y cumplimiento de los estándares de calidad en la operación del City Gate.

Para la adecuada implementación del proyecto se recomienda pedir para cada componente del sistema un certificado de calidad, que asegure que los materiales empleados cumplen con las normas que la especificación solicita.

## BIBLIOGRAFÍA

- Agencia Nacional de Hidrocarburos. (27 de 03 de 2017). *La planta de rio grande fue inspeccionada con procedimientos actualizados.*: <https://www.anh.gob.bo> > contenido
- Aguilera, F. R. (2022). *Control y monitoreo de distribucion de gas natural*. Obtenido de <http://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/30992>
- Aragon, E. (2009). *Sistemas de distribucion para productoras en general*. Mexico.
- Arrazola, A. (2015). *Clasificacion de los sistemas de distribucion*. Mexico.
- Bernal, F. (2014). *Inversiones en transporte y distribucion de gas antural por redes*. Argentina.
- Bernal, F. (2014). *Inversiones en transporte y distribucion de gas natural por redes*. Buenos Aires: OETEC.
- Blanco, E. (2008). *Produccion de gas para vehiculos*. Ecuador.
- Castillo, F. E. (2020). *Estudio para la optimizacion de la derivacion del gasoducto al altiplano al City Gate Lahuchaca*. Obtenido de <http://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/32723>
- Chambi, J. (2017). *La industrialización del gas lidera la nacionalización*. La patria.
- Choque, J. (2013). *Historia de YPF*. Bolivia.
- Copa, H. (2022). *Instalaciones de gas domiciliario e inicia construcción del “City Gate” en Yacuiba*. La Paz, Bolivia.
- Cuellar, D. (2020). *El City Gate en La Paz*. La Pasz, Bolivia.
- Franco Alexander, K. G. (s.f.). *Gasoducto de Integracion Juana Azurduy*. Obtenido de Gasoducto de Integracion Juana Azurduy: <https://es.scribd.com/document/321411957/Gasoducto-de-Integracion-Juana-Azurduy-Gija-Informe>
- Galarza, D. (2019). *El petroleo y el gas, derivados*. El saber.

Gomez, J. (2021). *YPFB Transporte*. Bolivia.

Guariglia, A. (2010). *Gasoducto del Norte Argentino*. Argentina: I.I.R.S.A.

Los Tiempos. (01 de 08 de 2010). Inician la construcción de gran red de gas natural domiciliaria en La Quiaca fronteriza con Bolivia. *gas en La Quiaca*, pág. 2.

Los Tiempos Digital. (01 de Agosto de 2010). Inician construcción de gran red de gas domiciliario en La Quiaca fronteriza con Bolivia. *Inician construcción de gran red de gas domiciliario en La Quiaca fronteriza con Bolivia*, pág. 1.

Martinez, J. (2021). *Impacto ambiental de los hidrocarburos y recuperación de los ecosistemas*. España.

Moro, J. (2021). *YPFB instalará redes de gas en comunidades rurales del Gran Chaco*. Tarija, Bolivia.

Nacional, O. D. (06 de 09 de 2010). *YPFB busca un intercambio de gas con Argentina para suministro al sur boliviano*. Obtenido de <https://www.opinion.com.bo/articulo/el-pais/ypfb-busca-intercambio-gas-argentina-suministro-sur-boliviano/20100906200036352749.html>

Newman, A. (2015). *Diseño de un city gate para una red industrial de gas*. España.

Onsrton, M. (2021). *Instalacion de City Gate*. Mexico.

Pacari Cordero , D. (s.f.). *Gasoducto de Integracion Juana Azurduy*. Obtenido de Gasoducto de Integracion Juana Azurduy: <https://es.scribd.com/presentation/583419946/3-Gasoducto-de-Integracion-Juana-Azurduy-2>

Padro, J. F. (2014). *Diseño de una estacion de presion (City Gate ) de gas natural procedente de camisea*. Obtenido de <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/3009>

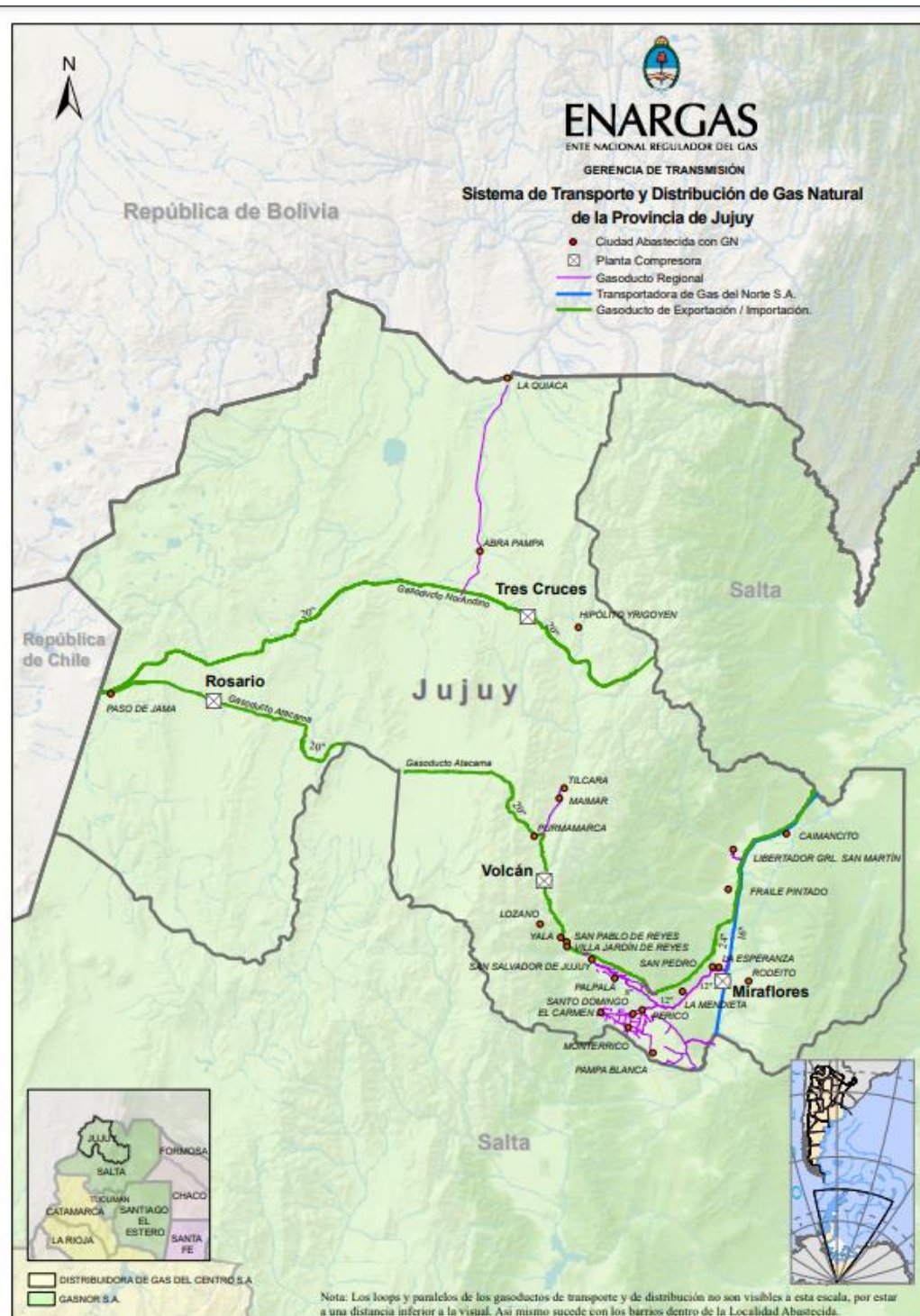
Pinto, J. (2010). *City Gate opera para regular presión de gas*. Cochabamba, Bolivia.

Rodriguez, Y. (2022). *Construcción del City Gate “La Aurora”*. Oruro, Bolivia.

Tapia, J. (2014). *Proceso de la producción de gas natural*. Ecuador .

## ANEXOS

### ANEXO 1: Gasoducto La Quiaca - Argentina





**ANEXO 2:** Mantenimiento de City Gate en la ciudad de Potosí, por el personal de YPFB Redes de Gas Potosí



**ANEXO 3:** Mantenimiento de EDR en la ciudad de La Paz





ANEXO 4: Soldadura de polietileno de red secundaria por el personal de YPFB Redes de Gas

Potosí.





**IVER CALLATA APAZA**

**iverumsa @gmail.com**

**Cel. 68059927**



ESTADO PLURINACIONAL DE  
**BOLIVIA**

MINISTERIO DE DESARROLLO  
PRODUCTIVO Y ECONOMÍA PLURAL



2024-TTES-785-D-1

**DIRECCIÓN DE DERECHO DE AUTOR  
Y DERECHOS CONEXOS  
RESOLUCIÓN ADMINISTRATIVA NRO. 1-1950/2024  
La Paz, 27 de junio de 2024**

**VISTOS:**

La solicitud de Inscripción de Derecho de Autor presentada en fecha **19 de junio de 2024**, por **IVER CALLATA APAZA** con **C.I. N° 9932288 LP**, con número de trámite **DA 1132/2024**, señala la pretensión de inscripción del Proyecto de Grado titulado: **"DISEÑO DE CITY GATE PARA EL SUMINISTRO DE GAS NATURAL PARA LA POBLACIÓN DE VILLAZÓN POTOSÍ MEDIANTE EL GASODUCTO REGIONAL "LA QUIACA ARGENTINA"**", cuyos datos y antecedentes se encuentran adjuntos y expresados en el Formulario de Declaración Jurada.

**CONSIDERANDO:**

Que, en observación al Artículo 4º del Decreto Supremo N° 27938 modificado parcialmente por el Decreto Supremo N° 28152 el *"Servicio Nacional de Propiedad Intelectual SENAPI, administra en forma desconcentrada e integral el régimen de la Propiedad Intelectual en todos sus componentes, mediante una estricta observancia de los regímenes legales de la Propiedad Intelectual, de la vigilancia de su cumplimiento y de una efectiva protección de los derechos de exclusiva referidos a la propiedad industrial, al derecho de autor y derechos conexos; constituyéndose en la oficina nacional competente respecto de los tratados internacionales y acuerdos regionales suscritos y adheridos por el país, así como de las normas y regímenes comunes que en materia de Propiedad Intelectual se han adoptado en el marco del proceso andino de integración"*.

Que, el Artículo 16º del Decreto Supremo N° 27938 establece *"Como núcleo técnico y operativo del SENAPI funcionan las Direcciones Técnicas que son las encargadas de la evaluación y procesamiento de las solicitudes de derechos de propiedad intelectual, de conformidad a los distintos regímenes legales aplicables a cada área de gestión"*. En ese marco, la Dirección de Derecho de Autor y Derechos Conexos otorga registros con carácter declarativo sobre las obras del ingenio cualquiera que sea el género o forma de expresión, sin importar el mérito literario o artístico a través de la inscripción y la difusión, en cumplimiento a la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina, Ley de Derecho de Autor N° 1322, Decreto Reglamentario N° 23907 y demás normativa vigente sobre la materia.

Que, la solicitud presentada cumple con: el Artículo 6º de la Ley N° 1322 de Derecho de Autor, el Artículo 26º inciso a) del Decreto Supremo N° 23907 Reglamento de la Ley de Derecho de Autor, y con el Artículo 4º de la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina.

Que, de conformidad al Artículo 18º de la Ley N° 1322 de Derecho de Autor en concordancia con el Artículo 18º de la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina, referentes a la duración de los Derechos Patrimoniales, los mismos establecen que: *"la duración de la protección concedida por la presente ley será para toda la vida del autor y por 50 años después de su muerte, a favor de sus herederos, legatarios y cesionarios"*

Que, se deja establecido en conformidad al Artículo 4º de la Ley N° 1322 de Derecho de Autor, y Artículo 7º de la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina que: *"...No son objeto de protección las ideas contenidas en las obras literarias, artísticas, o el contenido ideológico o técnico de las obras científicas ni su aprovechamiento industrial o comercial"*

Que, el artículo 4, inciso e) de la ley N° 2341 de Procedimiento Administrativo, instituye que: *"... en la relación de los particulares con la Administración Pública, se presume el principio de buena fe. La confianza, la cooperación y la lealtad en la actuación de los servidores públicos y de los*



Oficina Central - La Paz  
Av. Montes, N° 515,  
entre Esq. Uruguay y  
C. Batallón Illimani.  
Telfs.: 2115700  
2119276 - 2119251

Oficina - Santa Cruz  
Av. Uruguay, Calle  
prolongación Quijarro,  
N° 29, Edif. Bicentenario.  
Telfs.: 3121752 - 72042936

Oficina - Cochabamba  
Calle Bolívar, N° 737,  
entre 16 de Julio y Antezana.  
Telfs.: 4141403 - 72042957

Oficina - El Alto  
Av. Juan Pablo II, N° 2560  
Edif. Multicentro El Ceibo  
Ltda. Piso 2, Of. 5B,  
Zona 16 de Julio.  
Telfs.: 2141001 - 72043029

Oficina - Chuquisaca  
Calle Kilómetro 7, N° 366  
casi esq. Urrilagoitia,  
Zona Parque Bolívar.  
Telf.: 72005873

Oficina - Tarija  
Av. La Paz, entre  
Calles Ciro Trigo y Avaroa  
Edif. Santa Clara, N° 243.  
Telf.: 72015286

Oficina - Oruro  
Calle 6 de Octubre, N° 5837,  
entre Ayacucho  
y Junín, Galería Central,  
Of. 14.  
Telf.: 67201288

Oficina - Potosí  
Av. Villazón entre calles  
Wenceslao Alba y San Alberto,  
Edif. AM. Salinas N° 242,  
Primer Piso, Of. 17.  
Telf.: 72018160



ESTADO PLURINACIONAL DE BOLIVIA

MINISTERIO DE DESARROLLO PRODUCTIVO Y ECONOMÍA PLURAL

ciudadanos ...", por lo que se presume la buena fe de los administrados respecto a las solicitudes de registro y la declaración jurada respecto a la originalidad de la obra.

**POR TANTO:**

El Director de Derecho de Autor y Derechos Conexos sin ingresar en mayores consideraciones de orden legal, en ejercicio de las atribuciones conferidas.

**RESUELVE:**

**INSCRIBIR** en el Registro de Tesis, Proyectos de Grado, Monografías y Otras Similares de la Dirección de Derecho de Autor y Derechos Conexos, el Proyecto de Grado titulado: **"DISEÑO DE CITY GATE PARA EL SUMINISTRO DE GAS NATURAL PARA LA POBLACIÓN DE VILLAZÓN POTOSÍ MEDIANTE EL GASODUCTO REGIONAL "LA QUIACA ARGENTINA"** a favor del autor y titular: **IVER CALLATA APAZA** con **C.I. Nº 9932288 LP**, quedando amparado su derecho conforme a Ley, salvando el mejor derecho que terceras personas pudieren demostrar.

Regístrese, Comuníquese y Archívese.

CASA/im

Firmado Digitalmente por:

Servicio Nacional de Propiedad Intelectual - SENAPI  
**CARLOS ALBERTO SORUCO ARROYO**  
**DIRECTOR DE DERECHO DE AUTOR Y DERECHOS CONEXOS**  
LA PAZ - BOLIVIA

Firma:



PM2Er6Vq8Qs17K

PARA LA VALIDACIÓN DEL PRESENTE DOCUMENTO INGRESAR A LA PÁGINA WEB [www.senapi.gob.bo/verificacion](http://www.senapi.gob.bo/verificacion) Y COLOCAR CÓDIGO DE VERIFICACIÓN O ESCANEAR CÓDIGO QR.



Oficina Central - La Paz  
Av. Montes, Nº 515,  
entre Esq. Uruguay y  
C. Batallón Illimani.  
Telfs.: 2115700  
2119276 - 2119251

Oficina - Santa Cruz  
Av. Uruguay, Calle  
prolongación Quijarro,  
Nº 29, Edif. Bicentenario.  
Telfs.: 3121752 - 72042936

Oficina - Cochabamba  
Calle Bolívar, Nº 737,  
entre 16 de Julio y Antezana.  
Telfs.: 4141403 - 72042957

Oficina - El Alto  
Av. Juan Pablo II, Nº 2560  
Edif. Multicentro El Ceibo  
Ltda. Piso 2, Of. 5B,  
Zona 16 de Julio.  
Telfs.: 2141001 - 72043029

Oficina - Chuquisaca  
Calle Kilómetro 7, Nº 366  
casi esq. Urriolagoitia,  
Zona Parque Bolívar.  
Telf.: 72005873

Oficina - Tarija  
Av. La Paz, entre  
Calle Ciro Trigo y Araroa  
Edif. Santa Clara, Nº 243.  
Telf.: 72015286

Oficina - Oruro  
Calle 6 de Octubre, Nº 5837,  
entre Ayacucho  
y Junín, Galería Central,  
Of. 14.  
Telf.: 67201288

Oficina - Potosí  
Av. Villazón entre calles  
Wenceslao Alba y San Alberto,  
Edif. AM. Salinas Nº 242,  
Primer Piso, Of. 17.  
Telf.: 72018160

