



SELECCIÓN DE LOS SISTEMAS DE FILTRACIÓN EN ESTACIONES CITY GATE

WILMER GIOVANNY DÍAZ LEÓN

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA DEL GAS
BUCARAMANGA

AÑO 2018

SELECCIONAR LOS SISTEMAS DE FILTRACION EN ESTACIONES CITY GATE

WILMER GIOVANNY DÍAZ LEÓN

MONOGRAFIA PARA OPTAR EL TÍTULO DE ESPECIALISTA EN INGENIERÍA
DEL GAS

DIRECTOR

Ph.D. EMILIANO ARIZA LEÓN

DOCTOR EN INGENIERÍA QUÍMICA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA DEL GAS

BUCARAMANGA

AÑO 2018

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	14
1. GENERALIDADES SOBRE NORMATIVIDAD PARA EL DISEÑO DE CITY GATE	16
1.1 OBJETIVOS	16
1.1.1 Objetivo general.....	16
1.1.2 Objetivos específicos	16
1.2 ALCANCE DEL TRABAJO.....	16
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	16
1.4 CALIDAD DEL GAS NATURAL.....	17
1.5 CONSIDERACIONES EN EL DISEÑO DE UN CITY GATE	19
2. MARCO TEÓRICO	22
2.1 GENERALIDADES DEL GAS NATURAL	22
2.2 CLASIFICACIÓN DEL GAS NATURAL.....	25
2.2.1 De acuerdo a su localización en el subsuelo.....	26
2.3 RESERVAS DE GAS NATURAL.....	27
2.4 PROCESAMIENTO Y TRATAMIENTO DEL GAS NATURAL	28
2.4.1 Operaciones generales para el procesamiento del gas natural	29
2.5 CALIDAD DEL GAS NATURAL.....	32
3. ESTACIONES CITY GATE	34
3.1 RECEPCIÓN	36
3.2 SISTEMA DE FILTRACIÓN	37
3.3 SISTEMA DE MEDICIÓN	37
3.4 SISTEMA DE CALENTAMIENTO DEL GAS	39
3.5 SISTEMA DE REGULACIÓN	41

3.6 SISTEMA DE ODORIZACIÓN	43
3.7 PROCESO DEL GAS NATURAL EN UN CITY GATE	45
3.8 PARÁMETROS DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN	47
4. SISTEMAS DE FILTRACIÓN PARA ESTACIONES CITY GATE.....	48
4.1 FILTROS SEPARADORES.....	49
4.1.1 Principios de Funcionamiento de Los Filtros Separadores.	52
4.1.2 Parámetros Técnicos.	53
4.2 FILTROS CICLÓNICOS	53
4.2.1 Principio de Funcionamiento.	55
4.2.2 Eficiencia.....	55
4.2.3 Pérdida de presión	56
4.3. FILTROS DE RETENCIÓN DE PARTICULAS FINAS	56
4.3.1 Eficiencia.....	58
4.3.2 Pérdida de Presión	59
4.3.3 Materiales de Construcción del Elemento Filtrante.....	59
4.4 FILTROS COALESCENTES	59
4.4.1 Principio de Coalescencia	61
4.4.2 Materiales del recipiente	62
4.4.3 Elementos filtrantes:	62
4.4.4 Pérdida de carga en los filtros	67
4.5 ANALISIS COMPARATIVO DE LOS FILTROS PARA GAS NATURAL.....	68
5. METODOLOGIA PARA LA SELECCION DEL FILTRO	71
5.1 CRITERIOS TÉCNICOS EN LA SELECCIÓN DE LOS SISTEMAS DE FILTRACIÓN.....	72
6. CONCLUSIONES.....	74
7. RECOMENDACIONES.....	76
BIBLIOGRAFIA	77

LISTA DE TABLAS

	Pág.
TABLA 1. ESPECIFICACIONES DE CALIDAD DEL GAS NATURAL.....	18
TABLA 2. COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL GAS NATURAL.....	23
TABLA 3. RESERVAS MUNDIALES DE GAS NATURAL.....	27
TABLA 4. INSTRUMENTACIÓN DE SISTEMA DE MEDICIÓN.....	38
TABLA 5. CARACTERÍSTICAS DEL GAS QUE INGRESA A UN CITY GATE.....	47
TABLA 6. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL FILTRO.....	53
TABLA 7. ESPECIFICACIONES DEL FILTRO DE CICLÓN:.....	56
TABLA 8. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL FILTRO DE CARTUCHO.....	58
TABLA 9. EFICIENCIA DE FILTROS PARA CORRIENTES DE GAS.....	67

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA 1. RESERVAS PROBADAS DE GAS NATURAL EN SUR AMÉRICA.....	28
FIGURA 2. CADENA DE TRATAMIENTO Y PROCESAMIENTO DEL GAS NATURAL.....	29
FIGURA 3. CADENA DEL GAS NATURAL.....	32
FIGURA 4. ESTACIÓN CITY GATE	35
FIGURA 5. VÁLVULAS BY-PASS.....	36
FIGURA 6. SISTEMA DE MEDICIÓN.....	38
FIGURA 7. INTERCAMBIADOR DE CALOR.	40
FIGURA 8. SISTEMA DE CALENTAMIENTO.....	41
FIGURA 9. SISTEMA DE REGULACIÓN	42
FIGURA 10. DIAGRAMA DE FLUJO DEL SISTEMA DE ODORIZACIÓN.	44
FIGURA 11. DIAGRAMA DE FLUJO EN UN CITY GATE.....	46
FIGURA 12. FILTRO SEPARADOR HORIZONTAL.	50
FIGURA 13. FILTRO SEPARADOR VERTICAL.....	51
FIGURA 14. FILTRO CICLÓN PARTES Y FUNCIONAMIENTO.....	54
FIGURA 15. FILTRO DE PARTÍCULAS.....	58
FIGURA 16. FILTRO COALESCENTES.	60
FIGURA 17. COALESCENCIA DEL GAS.	62
FIGURA 18. FILTRO DE CARTUCHO	64
FIGURA 19. DEFLECTORES DE GAS	65
FIGURA 20. DEMISTER	66
FIGURA 21. METODOLOGÍA PARA LA SELECCIÓN DEL FILTRO	71

GLOSARIO

ANH: Acrónimo de Agencia Nacional de Hidrocarburos.

ASME: Es el acrónimo de American Society of Mechanical Engineers. Es una asociación de profesionales.

COALESCENCIA DENTRO DEL GAS: Las partículas de líquido contenidas en el gas son muy pequeñas. Debido al proceso de estrangulación estas partículas se ponen en contacto unas con otras, aumentando su tamaño y se inicia la formación de pequeñas gotas. Las pequeñas gotas a través de sucesivos estrangulamientos del elemento filtrante chocan entre sí aumentando su tamaño hasta que se desprenden del elemento filtrante y caen por gravedad.

CREG: Comisión Reguladora de Energía y Gas.

DESHIDRATACIÓN: La separación del agua del gas.

ENDULZAMIENTO: Es el proceso de eliminación de H₂S y/o CO₂ del gas.

ESTACIONES CITY GATE: Son estaciones que reciben el gas de una red de tubería a alta presión, y pasa por un proceso de filtración, calentamiento, medición, regulación, odorización y despacho de gas natural, para luego ser enviado a la ciudad o industrias para su venta.

FILTRO: Dispositivo que tiene como finalidad la retención de suciedad contenida en el gas.

GAS ÁCIDO: Contiene impurezas como son el H₂S y el CO₂.

GAS DULCE: Es aquel gas que no contiene H₂S y CO₂.

GAS POBRE: Se le conoce como gas seco, en su mayoría está compuesto de metano.

GAS RICO: Es aquel gas natural del cual se puede obtener apreciables cantidades de hidrocarburos líquidos.

HIDRATOS: Es la formación de cristales que contiene agua con gases atrapados que se forman en las tuberías de transporte de gas, debido a altas presión y bajas temperatura.

NTC: Normativa Técnica Colombiana.

ODORIZACIÓN: Dar olor al gas para poder identificarlo en caso de fuga.

RUT:Reglamento Único de Transporte de Gas Natural.

SISTEMA DE FILTRACIÓN: Se encarga de la eliminación de residuos que pueden arrastrar las corrientes de gas.

SISTEMA DE MEDICIÓN: Está constituido por las válvulas de entrada y salida, la unidad de medición será encargada de la medición de gas distribuido.

SISTEMA DE REGULACIÓN DE PRESIÓN: Este sistema tiene como finalidad reducir la presión del gas natural.

VÁLVULA DE SEGURIDAD: Es una válvula que se encarga de reducir la presión, se abre y expulsa el exceso de gas cuando la presión es mayor a cierto nivel.

RESUMEN

TÍTULO: SELECCIONAR LOS SISTEMAS DE FILTRACIÓN EN ESTACIONES CITY GATE*

AUTOR: WILMER GIOVANNY DIAZ LEÓN**

PALABRAS CLAVE: CITY GATE, SISTEMAS DE FILTRACIÓN.

DESCRIPCIÓN:

La presente monografía tiene como objetivo seleccionar los sistemas de filtración en las estaciones City Gate, para que el proceso de regulación sea el más óptimo posible, mostrando la importancia que tienen los filtros en las estaciones para evitar daños aguas abajo, ya sea por taponamiento o formación de hidratos.

Muchos de los inconvenientes que se pueden presentar para la selección de los sistemas de filtración en las estaciones City Gate, puede ser el desconocimiento de los diferentes tipos de filtros, que deben ser utilizados teniendo en cuenta los diferentes tipos de desechos que se encuentran en las corrientes de gas que se reciben en las estaciones City Gate, para poder determinar cuál sistema de filtración es el más adecuado, el objetivo principal de esta monografía es seleccionar los sistemas de filtración en estaciones City Gate.

Para tener un proceso de filtrado eficiente, se determinaron los filtros que se usan en las estaciones City Gate, teniendo en cuenta el tipo y los componentes que puedan ser arrastrados por las corrientes de gas, y conociendo esto se planteó una metodología donde se analizó en qué casos son más efectivos los filtros para tener una óptima filtración en la estación City Gate.

* Monografía de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Director: Ph.D Emiliano Ariza León, Doctor en Ingeniería Química.

ABSTRACT

TITLE: SELECT FILTRATION SYSTEMS AT CITY GATE STATIONS*

AUTHOR: WILMER GIOVANNY DIAZ LEON**

KEYWORDS: CITY GATE, THE FILTRATION SYSTEMS.

DESCRIPTION:

The objective of this monograph is to select the filtration systems in the City Gate stations, so that the regulation process is as optimal as possible, showing the importance of the filters in the stations to either avoid damages downstream by plugging or hydrate formation.

Many of the disadvantages that can arise for the selection of the filtration systems in the City Gate station, may be the lack of knowledge of the different types of filters, which must be used taking into account the different types of waste found in the gas streams that are received at City Gate stations, in order to determine which filtration system is the most appropriate, the main objective of this monograph is to select filtration systems at City Gate stations.

In order to have an efficient filtering process, the filters used in the City Gate stations were determined, taking into account the type and components that can be dragged by the gas stream, and knowing this, a methodology was presented where it was analyzed in which cases are more effective filters to have an optimal filtration in the City Gate station.

* Thesis

** Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Advisor: Ph.D Emiliano Ariza León, Doctor in Chemical Engineering.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de monografía presentara una selección de los diferentes sistemas de filtración en estaciones City Gate, teniendo en cuenta las características de cada uno de ellos.

Muchos de los inconvenientes que se pueden presentar para la selección de los sistemas de filtración en las estaciones City Gate, puede ser el desconocimiento de los diferentes tipos de filtros, que deben ser utilizados teniendo en cuenta los diferentes tipos de desechos que se encuentran en las corrientes de gas que se reciben en las estaciones City Gate, para poder determinar cuál sistema de filtración es el más adecuado, el objetivo principal de esta monografía es seleccionar los sistemas de filtración en estaciones City Gate.

”Generalidades del gas”. En el capítulo se explica las generalidades del gas, sus componentes, todos los procesos que tiene que pasar desde la extracción, tratamiento hasta llegar a venta.

“Describir el funcionamiento de una estación City Gate”. En este capítulo se describe como está compuesto un City Gate, para que sirve y todas las etapas por las que por las que el gas tiene que pasar a través de la estación, para salir en óptimas condiciones para cumplir con la norma NTC 3838 que establece las presiones de operación permisibles en los sistemas que se utilicen para transporte, distribución y suministro de gas combustible.

“Realizar un análisis comparativo de los diferentes sistemas de filtración”. En este capítulo se identifican los 4 filtros que se utilizan en las estaciones City Gate,

determinando para que tipo de gas fueron diseñados cada uno de ellos, su funcionamiento y se describe la capacidad de retención y su eficiencia.

“Plantear una metodología para seleccionar el sistema de filtración de la estación City Gate de acuerdo al escenario.” se diseñó un diagrama de flujo que describe el tipo de gas posible que puede entrar en las estaciones City Gate y cuáles son los filtros más adecuados para cada situación, teniendo en cuenta la capacidad de retención y la eficiencia del filtro.

1. GENERALIDADES SOBRE NORMATIVIDAD PARA EL DISEÑO DE CITY GATE

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo general

Seleccionar los sistemas de filtración en estaciones City Gate.

1.1.2 Objetivos específicos

- Describir el funcionamiento de una estación City Gate.
- Realizar un análisis comparativo de los diferentes métodos de la filtración existentes para garantizar la calidad que se distribuye a partir del City Gate.
- Plantear una metodología para seleccionar el sistema de filtración de la estación City Gate de acuerdo a diferentes escenarios.

1.2 ALCANCE DEL TRABAJO

El presente trabajo de monografía presentara una selección de los diferentes sistemas de filtración en estaciones City Gate, teniendo en cuenta las características de cada uno de ellos.

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la industria de los hidrocarburos, el gas representa una parte importante de los recursos energéticos, para el desarrollo económico y social de un país. Por esta razón, es importante tener un monitoreo, control y estudio de las operaciones que

allí se realizan, que permitan evaluar constantemente los diferentes procesos que se ejecutan.

Muchos de los inconvenientes que se pueden presentar para la selección de los sistemas de filtración en las estaciones City Gate, puede ser el desconocimiento de los diferentes tipos de filtros, que deben ser utilizados teniendo en cuenta los diferentes tipos de desechos que se encuentran en las corrientes de gas que se reciben en las estaciones City Gate, para poder determinar cuál sistema de filtración es el más adecuado.

1.4 CALIDAD DEL GAS NATURAL

Para que el gas cumpla con las especificaciones requeridas de transporte, es necesario que tenga con la calidad requerida por el reglamento único de transporte de gas natural (RUT).

Las especificaciones de calidad del gas natural a ser transportado en los gasoductos del Sistema Nacional de Transporte de Gas, establecidas en el (RUT), se resumen en la Tabla 1:

Tabla 1. Especificaciones de calidad del gas natural

ESPECIFICACIONES	Sistema Internacional	Sistema Inglés
Máximo poder calorífico bruto (GHV) <i>(Nota 1)</i>	42.8 MJ/m ³	1.150 BTU/ft ³
Mínimo poder calorífico bruto (GHV) <i>(Nota 1)</i>	35.4 MJ/m ³	950 BTU/ft ³
Contenido líquido <i>(Nota 2)</i>	Libre de líquidos	Libre de líquidos
Contenido total de H ₂ S máximo	6 mg/m ³	0.25 grano/100PCS
Contenido total de azufre máximo	23 mg/m ³	1.0 grano/100PCS
Contenido CO ₂ , máximo en % volumen	2%	2%
Contenido de N ₂ , máximo en % volumen	3	3
Contenido de inertes máximo en % volumen <i>(Nota 3)</i>	5%	5%
Contenido de oxígeno máximo en % volumen	0.1%	0.1%
Contenido de agua máximo	97 mg/m ³	6.0 Lb/MPCS
Temperatura de entrega máximo	49 °C	120°F
Temperatura de entrega mínimo	4.5 °C	40 °F
Contenido máximo de polvos y material en suspensión <i>(Nota 4)</i>	1.6 mg/m ³	0.7 grano/1000 pc

Fuente: Comisión de Regulación de Energía y Gas. Resolución CREG 071/88 [en línea]. Disponible en internet:<http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/216d73e5d623a9c40525785a007a6334?OpenDocument&Highlight=0,NoResolucionreg071-99>

Nota 1. Todos los datos sobre metro cubico o pie cúbico de gas están referidos a condiciones estándar.

Nota 2. Los líquidos pueden ser: hidrocarburos, agua y otros contaminantes en estado líquido.

Nota 3. Se considera como contenido de interés la suma de los contenidos de CO₂, nitrógeno y oxígeno.

Nota 4. El máximo tamaño de las partículas debe ser 15 micrones.

1.5 CONSIDERACIONES EN EL DISEÑO DE UN CITY GATE

Según la norma NTC 3949 en el diseño general de la estación de regulación se deben considerar como mínimo los siguientes aspectos:¹

- Garantizar las condiciones normales de operación en el suministro de gas a todos los usuarios de acuerdo con las presiones de operación definidas en la NTC 3838.
- Cuando se requiera, se instalarán filtros o mallas finas para garantizar que el gas no contenga partículas que afecten la operación normal de los equipos, bien sea por su calidad o por “eventualidades de operación”.
- Prever la instalación de dispositivos de regulación y de protección con capacidad total para el control de sobrepresión.
- Deben existir válvulas que permitan aislar la estación del sistema al cual están conectadas.
- Niveles permisibles de ruido.
- Facilidad de mantenimiento.

¹ COLOMBIA. INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN (ICONTEC). NTC 3949 (13, diciembre, 2002). GASODUCTOS. ESTACIONES DE REGULACION DE PRESION PARA LINEAS DE TRANSPORTE Y REDES DE DISTRIBUCION DE GAS COMBUSTIBLE. PDF. [en línea]. Página Oficial ICONTEC, Tienda. Bogotá D.C. 22, ENERO, 2003. Disponible en internet: <https://tienda.icontec.org/wp-content/uploads/pdfs/NTC3949.pdf>

- En la estación debe existir un número de tomas de presión suficiente para control de los elementos de la misma.
- Si se utiliza, la válvula de seguridad de corte por sobrepresión, incorporada al regulador, todos sus elementos móviles deben ser independientes de los del regulador.
- Se debe garantizar que el elemento de seguridad no quede fuera de servicio por error de maniobra en sus elementos de control o por “by-pass”.
- Debe señalizarse la prohibición de fumar o de tener puntos de ignición no controlados dentro del recinto de una estación reguladora.
- La salida de venteo, cuando este existe, debe estar ubicada mínimo a la distancia establecida en la norma.
- La estación debe estar eléctricamente aislada de las tuberías de entrada y salida, si estas estuvieran protegidas catódicamente.
- En caso que habitualmente se presenten condensaciones, se debe prever los sistemas para su almacenamiento y extracción.
- Cuando por las características del sistema atendido se requiera servicio continuo, debe contar con un “by-pass” que permita regulación manual.

- Si se utiliza regulador monitor, este puede estar montado en el mismo cuerpo del regulador principal.
- Los elementos metálicos de la estación eléctricamente. Deben estar puestos a tierra.

En la Norma Técnica Colombiana NTC 3949, creada por el ICONTEC, se establecen los requisitos mínimos que deben cumplir las estaciones de regulación de presión abastecidas de líneas de transporte y líneas primarias de redes de distribución de gas combustible en cuanto al diseño, construcción, ensayo, operación y mantenimiento.

De acuerdo a la normativa mencionada anteriormente, se deberán tener en cuenta para el diseño los siguientes sistemas:

- Sistema de filtración.
- Sistema de aislamiento o shut-down.
- Sistemas de alivio por sobrepresión.
- Sistemas de recolección de drenajes.
- Sistema de regulación de presión.
- Sistema de calentamiento de gas (si requiere).
- Sistema de medición.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 GENERALIDADES DEL GAS NATURAL

El gas natural es una mezcla de hidrocarburos livianos que se encuentran en un estado gaseoso, su composición en su gran mayoría es de metano y etano, y en un menor porcentaje por propano, butanos, pentanos e hidrocarburos más pesados.²

La composición del gas natural incluye diversos hidrocarburos gaseosos, con predominio del metano, por sobre el 80%, y en proporciones menores etano, propano, butano, pentano y pequeñas proporciones de gases inertes como dióxido de carbono y nitrógeno como se observa en la Tabla 2.³

El gas natural se puede encontrar localizado, en yacimientos en el subsuelo en uno de los siguientes estados: asociado, cuando el yacimiento ésta en solución con el crudo y Libre o no Asociado, cuando se encuentra en un yacimiento que sólo contiene gas.⁴

² SUÁREZ N., Alex J. Determinación de la Instrumentación Requerida para el Sistema de Medición de la Variables Presión y Caudal de Gas Natural en Cada Una de las “Casa Máquinas” de la Planta Monterrey – Casanare. p. 29.

³ ORDOÑEZ, César. “Evaluación Técnico-Financiera de las diferentes Tecnologías de Tratamiento y Procesamiento en Superficie para el Acondicionamiento del Gas Natural en el Bloque Guama, Operado por PACIFIC STRATUS ENERGY”. Universidad Industrial de Santander. 2014. p. 29.

⁴ ECOPETROL. En: GAS NATURAL S.A. ESP Y FILIALES, “¿Qué es el gas natural?”. [en línea] Página Oficial. [Revisado 28 de octubre de 2018]. Disponible en internet: <http://www.gasnaturalfenosa.com.co/co/1285085318259/inicio.html>

El gas natural es obtenido directamente de la naturaleza en los depósitos del subsuelo y una vez en superficie después de darle calidad es transportado a través de tuberías de acero de alta presión que se les conoce como gasoductos que se encarga de llevar este gas hasta cada uno de los puntos de regulación para distribución a usuarios (City Gate).⁵

El gas natural que se encuentra en los yacimientos, tiene que pasar por varios procesos: primero ocurre la extracción, luego es tratado, transportado y tiene que ser distribuido hacia los diferentes centros de consumo, por lo cual requiere realizar investigación, diseño, preparación y contar con avanzados recursos tecnológicos para garantizar la utilización de manera segura de este valioso recurso energético.

Tabla 2. Composición química del gas natural.

Constituyente	Fórmula química	Composición por volumen (%)
Metano	CH ₄	81.86
Etano	C ₂ H ₆	11.61
Propano	C ₃ H ₈	1.92
I-Butano	C ₄ H ₁₀	0.23
N-Butano	C ₄ H ₁₀	0.22
Nitrógeno	N ₂	0.90
Dióxido de carbono	CO ₂	3.18

Fuente: Gas Natural S.A. ESP y filiales. Disponible en internet: <http://www.gasnaturalfenosa.com.co/co/1285085318259/inicio.html>

⁵ CUADROS, Juan. "Diseño de una Estación Reductora de Presión (CITY GATE) de Gas Natural Procedente de Camisea". Universidad Católica de Santa María. 2014. p. 25.

La calidad del gas natural que puede ser comercializada en Colombia está definida por el Reglamento Único de transporte de Gas Natural, RUT. Este reglamento fue expedido por la Comisión Reguladora de Energía y Gas (CREG), adscrita al Ministerio de Minas y Energías en 1999. Las especificaciones de calidad definidas por el RUT para que el gas natural pueda ser comercializado (gas de venta) se muestran en la Tabla 1.⁶

Para dar cumplimiento al RUT, el gas producido desde los yacimientos debe ser tratado mediante procesos de separación, endulzamiento (remoción de gas ácido), deshidratación (control del punto de rocío de agua), control de punto de rocío por hidrocarburo (recobro de líquidos del gas natural, LGN) y fraccionamiento o procesamiento. Estas actividades son desarrolladas en una planta de proceso o de tratamiento del gas.⁷

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 (aproximadamente una quinta parte) que la energía hidroeléctrica.

⁶ COLOMBIA. Reglamento Único de Transporte (RUT). TOMADO DE: RESOLUCION 054 de 2017. COMPLEMENTO DE LA (CREG 071 DE 1999).

⁷ ORDOÑEZ, César. Op. cit., p. 31.

- **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, con baja contaminación. El CO₂ 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, pero con menor incidencia que otros combustibles.⁸

2.2 CLASIFICACIÓN DEL GAS NATURAL

En general, el gas natural puede ser clasificado como:

- **Gas rico (húmedo):** Es aquel gas natural del cual se puede obtener apreciables cantidades de hidrocarburos líquidos (C₃+) debido a que contiene alta proporción de componentes pesados. Es utilizado en la petroquímica y en la elaboración de la gasolina natural.

⁸ CUADROS, Juan. Op. cit., p. 25.

- **Gas pobre (seco):** También llamado gas seco, es aquel gas que está formado en su mayoría por metano (85-90%). Se utiliza directamente como combustible o en proyectos de mantenimiento de presión de yacimientos, también se aplica en la producción de hidrógeno.
- **Gas ácido:** Contiene impurezas como son el H₂S y el CO₂ los cuales son altamente corrosivos sobre todo el primero.
- **Gas dulce:** es aquel que no contiene o contiene muy poco (trazas) de H₂S y CO₂.

2.2.1 De acuerdo a su localización en el subsuelo.

- **Gas asociado:** Es el gas disuelto o separado del petróleo (capa de gas) en yacimientos petrolíferos. Este gas ocurre asociado al petróleo en yacimiento donde a causa de su segregación gravitacional constituye la capa superior de las fases (gas, petróleo, agua) que normalmente se presentan en un yacimiento.
- **Gas no asociado o libre:** Es aquel que se encuentra como gas seco en el yacimiento y esta en contacto con el agua.
- **Gas condensado:** Se encuentra en yacimientos de hidrocarburos en estado gaseoso, por características específicas de presión, temperatura y composición. El gas está mezclado con hidrocarburos líquidos; se dice que se halla en estado saturado. Durante la producción del yacimiento, la presión puede disminuir en el área de condensación retrógrada permitiendo que el gas condense a petróleo líquido, el cual al unirse en forma de película a las paredes de los poros queda atrapado y no puede ser extraído. Esto se evita inyectando gas a fin de mantener la presión del yacimiento.⁹

⁹ ORDOÑEZ, César. Op. cit., p. 32 - 33.

2.3 RESERVAS DE GAS NATURAL

Según “The World Factbook 2017” como se observa en la Tabla 3, los 10 países que poseen las mayores reservas de gas natural en el mundo, donde destacan Rusia, Irán y Qatar como los 3 naciones con más reservas.

Tabla 3. Reservas mundiales de gas natural

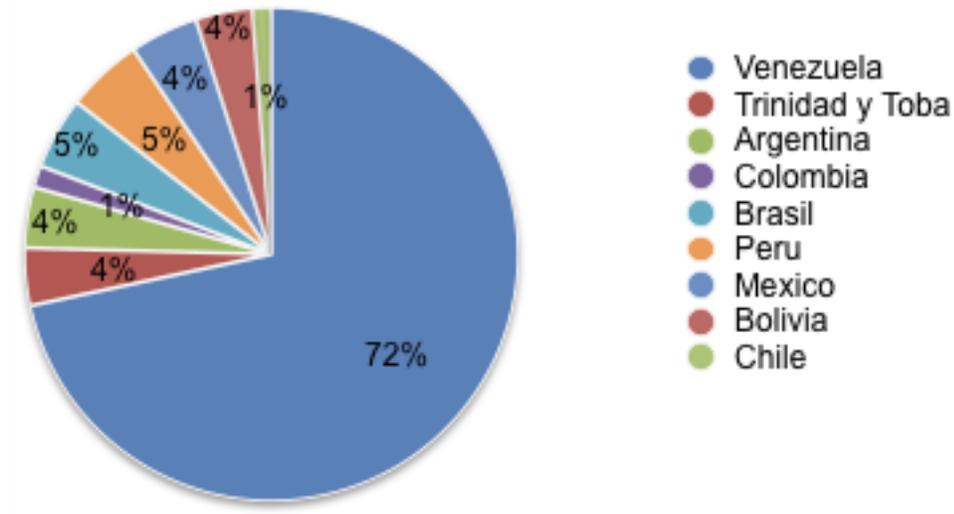
País	Gas natural - reservas comprobadas (metros cúbicos)	Año
Rusia	47,799,999,660,032	2017
Irán	33,500,000,419,840	2017
Qatar	24,300,000,116,736	2017
Estados Unidos	8,714,000,007,168	2016
Arabia Saudí	8,602,000,031,744	2017
Turkmenistán	7,503,999,926,272	2017
Emiratos Árabes Unidos	6,091,000,250,368	2017
Venezuela	5,701,000,232,960	2017
Nigeria	5,283,999,907,840	2017
China	5,194,000,105,472	2017
Argelia	4,503,999,873,024	2017
Iraq	3,158,000,009,216	2017
Mozambique	2,832,000,090,112	2017
Indonesia	2,775,000,023,040	2017
Kazajistán	2,406,999,916,544	2017

Fuente: Index Mundi. Disponible en internet: <https://www.indexmundi.com/>

En Sudamérica la reservas de gas natural probadas suman aproximadamente 4 - 5 % de las reserva mundial, siendo Venezuela la nación con mayor reservas como se muestra en la Figura 1. ¹⁰

¹⁰ CUADROS, Juan. Op. cit., p. 25.

Figura 1. Reservas Probadas de Gas Natural en Sur América.



Fuente: Tomado idea de <https://gasnatural.osinerg.gob.pe/contenidos/uploads/GFGN/presentacio-tecnica.pdf>

2.4 PROCESAMIENTO Y TRATAMIENTO DEL GAS NATURAL

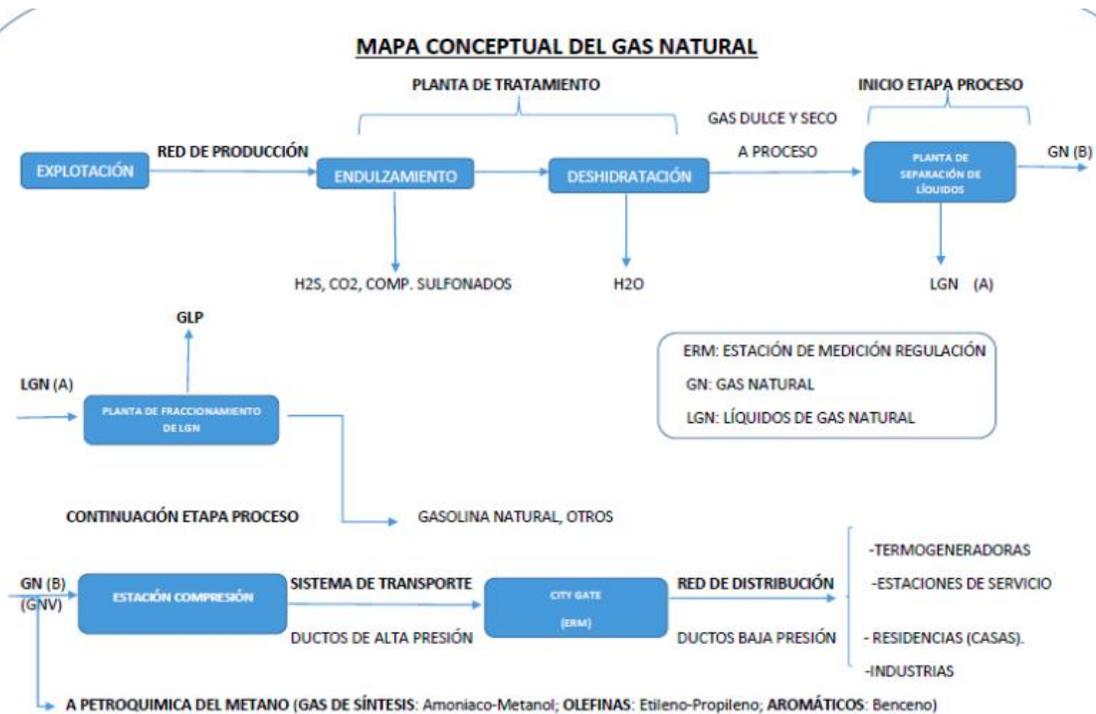
Después de la extracción del gas, es una obligación procesarlo para que cumpla con los estándares de regulación requeridos para su distribución final. Para cada yacimiento, la composición del gas natural es única, por lo tanto el tratamiento que se ha implementado para cada campo de producción puede variar.

En general el procesamiento consiste en la remoción de agua, partículas sólidas, hidrocarburos pesados, compuestos de azufre y de nitrógeno, dióxido de carbono, entre otros.

En la figura 3 se observa la cadena de valor del gas natural, es decir, todas las etapas por las cuales tiene que pasar el gas desde la extracción hasta la venta.

2.4.1 Operaciones generales para el procesamiento del gas natural

Figura 2. Cadena de tratamiento y procesamiento del gas natural



Fuente: Osinergmin Presentación técnica, Aspectos generales de la industria del gas natural y supervisión de ductos de transporte de gas natural y líquidos del gas natural, <http://gasnatural.osinerg.gob.pe/contenidos/uploads/GFGN/presentacion-tecnica.pdf>.

- **Separación inicial:** Debido a que los yacimientos pueden contener gas, petróleo y agua, las tres sustancias requieren ser separadas, lo cual se hace aprovechando las diferencias de densidad entre ellas, en una sola operación. El gas es la sustancia menos densa por lo que sale por la parte superior del separador. El agua es la sustancia con mayor densidad de la mezcla y es retirada por la parte inferior. El petróleo flota sobre el agua pues su densidad es menor, lo que permite que sea separado.
- **Filtrado:** Por medio de filtros se retira el material sólido contenido en el gas.

- **Endulzamiento:** En algunos yacimientos junto con el gas, el petróleo y el agua pueden existir diferentes sustancias como dióxido de carbono (CO₂) y ácido sulfhídrico (H₂S). El dióxido de carbono en presencia de agua líquida ocasiona corrosión y en condiciones criogénicas (bajas temperaturas) puede producir obstrucción por solidificación.

El ácido sulfhídrico es un compuesto altamente tóxico en concentraciones por debajo de 100 partes por millón. Por lo anterior estas sustancias deben ser removidas. Una forma común de retirarlas es por medio de una absorción con soluciones acuosas de aminas. La remoción de dióxido de carbono y de ácido sulfhídrico puede hacerse por otros métodos: adsorción física y métodos híbridos.

- **Deshidratación:** Cuando el contenido de vapor de agua en el gas tiene niveles muy alto, se corre el riesgo de que en los gasoductos se formen hidratos de metano, en las zonas donde la presión sea elevada y la temperatura reducida, generando grandes problemas en el transporte. Por esa razón es necesario retirar el vapor de agua, lo cual se hace generalmente mediante absorción con glicol (TEG: trietilenglicol), en la que este alcohol captura al agua y permite la salida del gas seco. Existen otros métodos de deshidratación como el uso de tamices moleculares.

- **Extracción de hidrocarburos pesados:** Dependiendo de la composición del gas natural, en esta fase se retiran hidrocarburos líquidos valiosos como lo son el etano, propano, GLP y gasolina natural. El gas procesado debe cumplir las especificaciones de dew point de hidrocarburos y el poder calorífico.

- **Comprensión:** Para que el gas pueda ser transportado por gasoductos, su presión debe incrementarse por medio de compresores.

- **Transporte:** El gas es transportado a través de una tubería de acero que es conocida como gasoducto, este sistema es el último paso del gas antes de llegar a

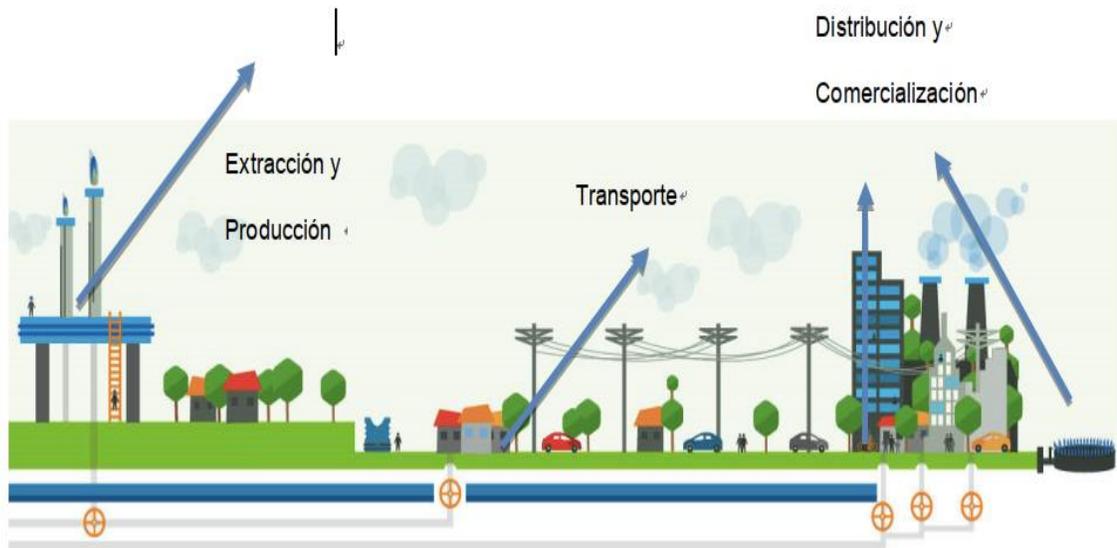
las estaciones de regulación y medición CITY GATE (ERM); para que el gas pueda ser transportado debe cumplir con la especificaciones RUT.¹¹

Finalmente, una vez el gas ha pasado por todos los procesos como se observa de manera ilustrada en la figura 2 y estar en condiciones RUT, se introduce por un sistema de transporte que consiste en tuberías de acero, que es llevado a las estaciones de regulación City Gate, y se pasa por varias etapas, para despacharlo a las redes de distribución o usuario final.

En el figura 2 se observa la cadena del gas que ilustra todos los procesos por los que tiene que pasar el gas para que pueda ser vendido.

¹¹ECOPETROL. Cadena de Valor del Gas Natural. [en línea] 22, septiembre, 2014. [Revisado: 28 de octubre de 2018]. Disponible en Internet: <https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/es/ecopetrol-web/productos-y-servicios/productos/gas-natural/Informaci%C3%B3n%20General/cadena-de-valor-del-gas-natural/procesamiento>

Figura 3. Cadena del gas natural



Fuente: sitio web del grupo de energía de Bogotá, <https://www.grupoenergiabogota.com>

2.5 CALIDAD DEL GAS NATURAL

La calidad del gas natural está determinada por la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG); el gas una vez ha sido tratado y de haber pasado por todos los procesos y tener la calidad exigida, es entregado al transportador en el punto de inicio del gasoducto (Sistema de transporte) y a su vez entrega la custodia en el punto de salida en el punto de salida.¹²

Salvo acuerdo entre las partes, el Productor-comercializador y el Remitente están en la obligación de entregar Gas Natural a la presión de operación del gasoducto

¹² COMISIÓN REGULADORA DE ENERGÍA Y GAS. RESOLUCIÓN 054. 21, junio, 2007. Artículo 2. [en línea]. Disponible en Internet: <http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/Indice01/Resoluci%C3%B3n-2007-CREG054-2007>

en el Punto de Entrada hasta las 1200 Psig, de acuerdo con los requerimientos del Transportador, el Agente que entrega el gas no será responsable por una disminución en la presión de entrega debida a un evento atribuible al Transportador o a otro Agente usuario del Sistema de Transporte correspondiente.

Si el Gas Natural entregado por el Agente no se ajusta a alguna de las especificaciones establecidas en este (RUT), el Transportador podrá rehusar aceptar el gas en el Punto de Entrada. La exigencia de especificaciones mínimas de calidad del gas inyectado a un Sistema de Transporte tiene dos objetivos principales:

Proteger la integridad del Sistema de Transporte y de las instalaciones. Por ejemplo, se controla el contenido de CO₂ y agua para evitar corrosión interna en las tuberías. También se controla la formación de líquidos hidrocarburos ya que causan, entre otros efectos, pérdida de eficiencia en los sistemas de transporte.

Permitir el intercambio de gases de tal forma que no se afecte la combustión en quemadores diseñados para la segunda familia de combustibles gaseosos.

Las condiciones que se estableció para la calidad del RUT, afirman que hay una obligación de entregar el gas con una calidad que de tal manera no genere líquido, a las condiciones críticas de operación del Sistema de Transporte. Así mismo, se establece que la característica para medir la calidad será la cricondenterma el cual será fijado para cada caso en particular dependiendo del uso y de las zonas donde sea utilizado el gas. La Cricondenterma es la temperatura por encima de la cual no se presenta condensación, independientemente de la presión, de los hidrocarburos pesados que pueda haber en el gas natural.¹³

¹³ ORDOÑEZ, César. Op. Cit., p. 47- 48.

3. ESTACIONES CITY GATE

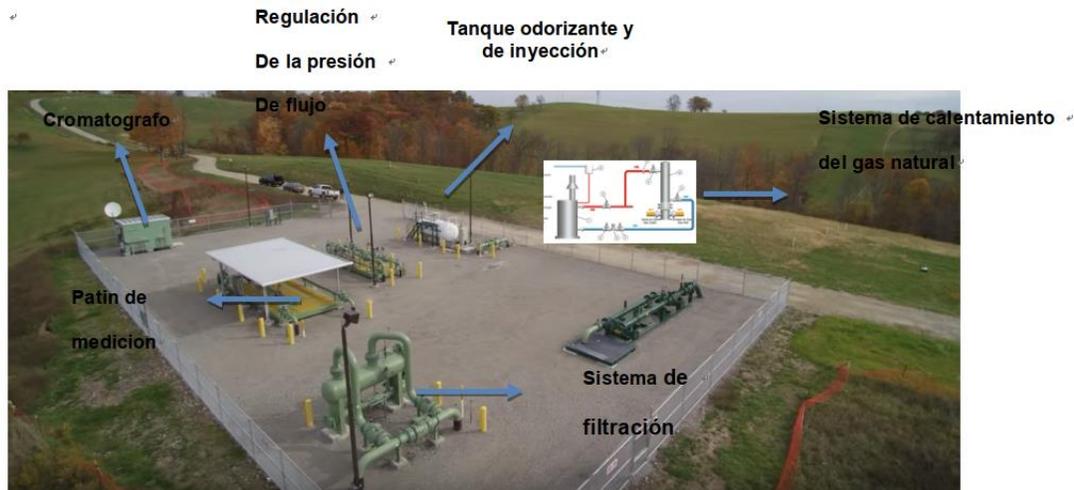
El gas natural generalmente se transporta a altas presiones mediante un sistema de red de tuberías primario, este lo distribuye a instalaciones que se les conoce como reguladoras de presión o City Gate, y su funcionamiento se basa en varios procesos conjuntos que consta de recepción, filtración, calentamiento, medición, regulación, odorización y despacho de gas natural para ser utilizado según la aplicación.

Las estaciones de regulación como se observa en la figura 4. Fueron diseñadas básicamente para poder reducir la presión del gas natural y se ubican en lugares específicos según la red de distribución del gasoducto. En algunos casos, las industrias poseen estaciones reguladoras, esto les facilita obtener las condiciones específicas de presión, caudal y temperatura.

El gas puede tener pérdidas de presión en los tramos largos por los que tiene que recorrer en el gasoducto, también el gas tiene una pérdida significativa de energía que resulta de la disminución de su temperatura ya que el gas viaja por diferentes zonas donde su clima puede ser muy variado, dando como consecuencia la posibilidad de que se formen condensados en el gas que si no son retirados, lo que puede ocasionar muchos inconvenientes como la formación de hidratos trayendo como consecuencia el taponamiento de la tubería, por estas circunstancias todas las estaciones cuentan con unos sistemas de filtración, ya que su tarea es la de retirar todas esas sustancias o partículas que pueden ser arrastradas en las corrientes de gas. Después de este proceso se procede a aumentar la temperatura del gas, mediante calentadores, esto para poder evitar un congelamiento en las partículas de gas, luego de obtener las condiciones específicas de presión y temperatura, el gas es dirigido a un sistema de

supervisión donde se miden las variables de presión, temperatura y caudal; algunas estaciones cuentan con un equipo que toma muestras que se encarga de realizar un análisis de cromatografía.¹⁴

Figura 4. Estación City Gate



Fuente: Imagen tomada de video disponible en: <https://WWW.YOUTUBE.COM/WATCH?V=UEWBDL2MTKG&T=1S>.

Por seguridad todas las estaciones City Gate deberán tener una línea de (BY-PASS) para permitir que la operación continúe mientras se encuentre algún equipo averiado como pueden ser las válvulas de presión y las trampas de evaporación, para que puedan ser aislados estos componentes mientras se da su reparación o reemplazo.¹⁵

¹⁴ SUÁREZ N., Alex J. Op.Cit., p. 9.

¹⁵ COLOMBIA. INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN (ICONTEC). NTC 3949. Op. Cit.

El propósito de las tuberías (BY-PASS) como se observa en la figura 5. es el de suplementar el desempeño de las válvulas reductoras de presión y las trampas de vapor.

Figura 5. Válvulas BY-PASS



Fuente: Teijubui Corporation, TLV CO., LTD. Válvula adecuada para bypass. Disponible en internet: <https://www.tlv.com/ja/steam-info/steam-theory/other/0711bypass-valve/>

A continuación se detallaran todos los componentes que hacen parte de las estaciones City Gate.

3.1 RECEPCIÓN

Esta parte corresponde a la entrada del gas proveniente del gasoducto al City Gate, para que inicie todo el proceso de regulado por la estación. Aquí se encuentra ubicada una válvula que tiene la función de bloquear completamente el suministro de gas natural que ingresa a la estación City Gate.

3.2 SISTEMA DE FILTRACIÓN

Estos sistemas fueron creados con el fin de filtrar y separa partículas líquidas, sólidas, que se encuentran inmersas en las corrientes de gas natural, como estas partículas son ultra finas son difíciles de eliminar de manera convencional.

Para realizar la remoción de estas partículas, existen diferentes tipos de sistemas de filtración, que son determinados dependiendo las características del gas.

3.3 SISTEMA DE MEDICIÓN

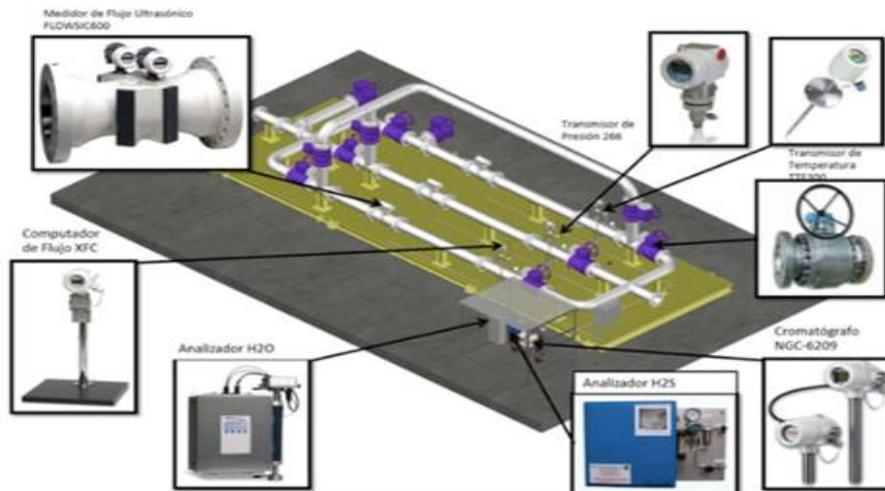
El Sistema de Medición está constituido por las válvulas de entrada y salida, la unidad de medición será encargada de medir el gas distribuido, y se realiza a través de medidores de flujo tipo ultrasónico para altos caudales y turbina para caudales bajos. El sistema de medición cuenta con un transmisor / indicador de presión (manómetro) y un elemento de temperatura / transmisor. La unidad de medición contará con una computadora de flujo, el cual recibirá las señales de los transmisores de flujo, realizara la compensación por presión y temperatura, y definirá la cantidad de gas que ha circulado por el sistema; recibirá vía comunicaciones las señales del analizador de cromatografía, H₂S y Dew point ubicados debajo de la unidad de medición. En la Tabla 4 se observa los componentes de un sistema de medición y en la Figura 6 se muestra el diseño de un sistema de medición.¹⁶

¹⁶ CUADROS, Juan. Op. Cit., p. 115.

Tabla 4. Instrumentación de sistema de medición

ITEM	INSTRUMENTACIÓN
1	Válvula de regulación
2	Medidor de flujo
3	Transmisor de presión
4	Transmisor de temperatura
5	Cromatógrafo
6	Analizadores de H2S, H2O, O2

Figura 6. Sistema de medición



Fuente: Ares Automation Network. Sistema de Medición de Flujo de Gases para Transferencia de Custodia. Disponible en Internet: <http://www.arescontrol.com/sistema-de-medicion-de-flujo-de-gas-para-transferencia-de-custodia/>

3.4 SISTEMA DE CALENTAMIENTO DEL GAS

En el proceso de disminución de la presión, se ocasiona un fenómeno físico que se le conoce como “Joule Thompson”, cuando se ocasiona una pérdida brusca de temperatura (aproximadamente 0,5 °C por cada bar por cada 14.5 psia). Esta pérdida de temperatura podría afectar los equipos intermedios del sistema de reducción de presión, esto a causa de la formación de hidratos por la presencia de vapor de agua que se encuentra en el gas.¹⁷

Particularmente en la primera etapa de reducción, el gas con anticipación tiene que ser calentado y para ello se utiliza el intercambiador de calor, como se ve en la figura 7, esto para evitar la formación de hidratos.

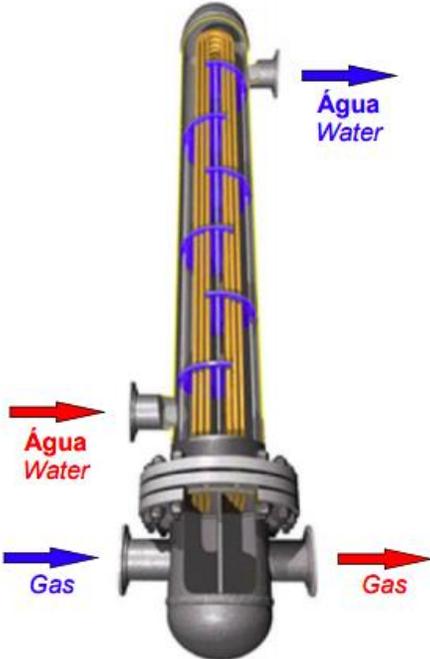
Una recomendación una vez se haya realizado la reducción de presión, es que la temperatura del gas sea superior a 5 °C a una temperatura específica en valores de contrato para transferencia de custodia.

El calentamiento del gas en estas situaciones se realiza mediante intercambiadores de calor, utilizando agua caliente o vapor de agua como medio de transferencia de energía.¹⁸

¹⁷GASCAT Industria e Comercio LTDA. Producto Termocambiador GHE-BEU. [en línea]. Cambiador de Calor GHE – BEU. [Consultado: 10, septiembre, 2018]. Disponible en Internet: <http://www.gascats.com.br/produto/76/termocambiador-ghe-beu>

¹⁸ Ibid., Cambiador de Calor GHE – BEU.

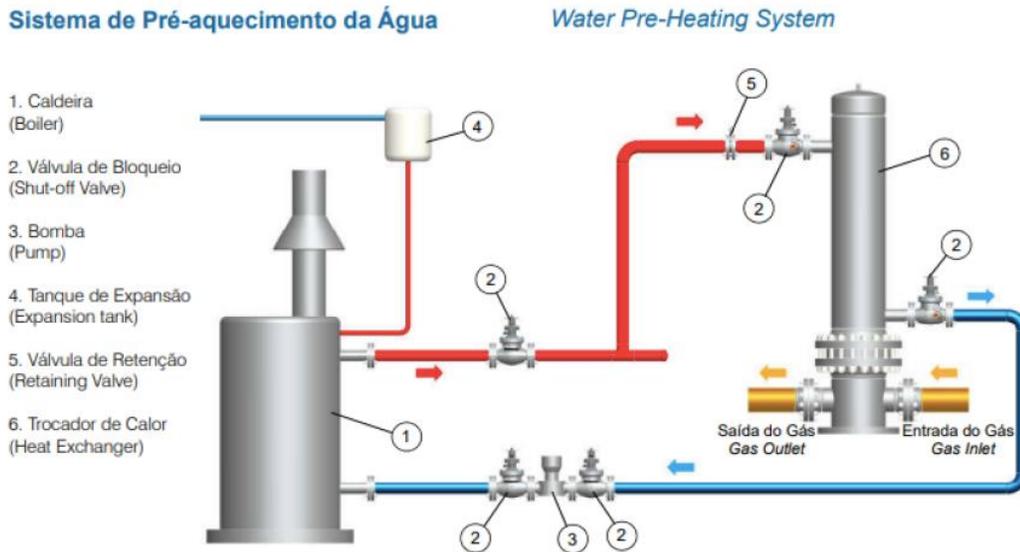
Figura 7. Intercambiador de calor.



Fuente: Gascat. Calentador de Calor – GHE-BEU. Disponible en internet:
<http://www.gascta.com.br/producto/76/termocambiador-ghe-beu>

En la figura 8 se observa el sistema de calentamiento del gas.

Figura 8. Sistema de calentamiento

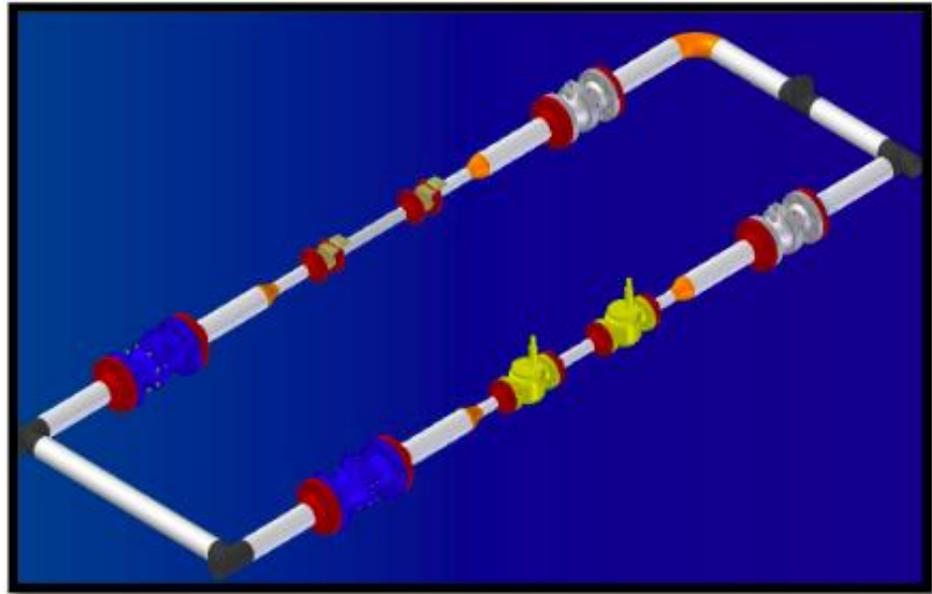


Fuente: Gascat. Cambiador de Calor – GHE-BEU. Disponible en internet: <http://www.gascta.com.br/producto/76/termocambiador-ghe-beu>

3.5 SISTEMA DE REGULACIÓN

Este sistema tiene como finalidad reducir la presión del gas natural, el sistema de regulación está constituido por dos ramas de regulación como se observa en la Figura 9, cada una de las cuales posee una válvula integrada que realiza las funciones de regulador, monitor y “shut-off”, y una válvula de alivio.

Figura 9. Sistema de regulación



Fuente: EDOC.SITE. City Gates y Redes de Gas Domiciliarias. Disponible en internet: <https://edoc.site/city-gates-y-redes-de-gas-domiciliarias--pdf-free.html>

Estas válvulas integradas poseen tres niveles de seguridad: en operación normal el que regula la presión es el regulador activo, en caso de falla del mismo, el que realiza la regulación es el monitor y en caso de fallar este último y elevarse excesivamente la presión, actuará la válvula “shut-off”, Bloqueando el ramal.¹⁹

¹⁹ BALLESTEROS, C., CASALLAS, C., GRANADA O., ORTIZ Y., TORRADO S. City Gates y Redes de Gas Domiciliarias. Unidades Tecnológicas de Santander. 2016. p. 12.

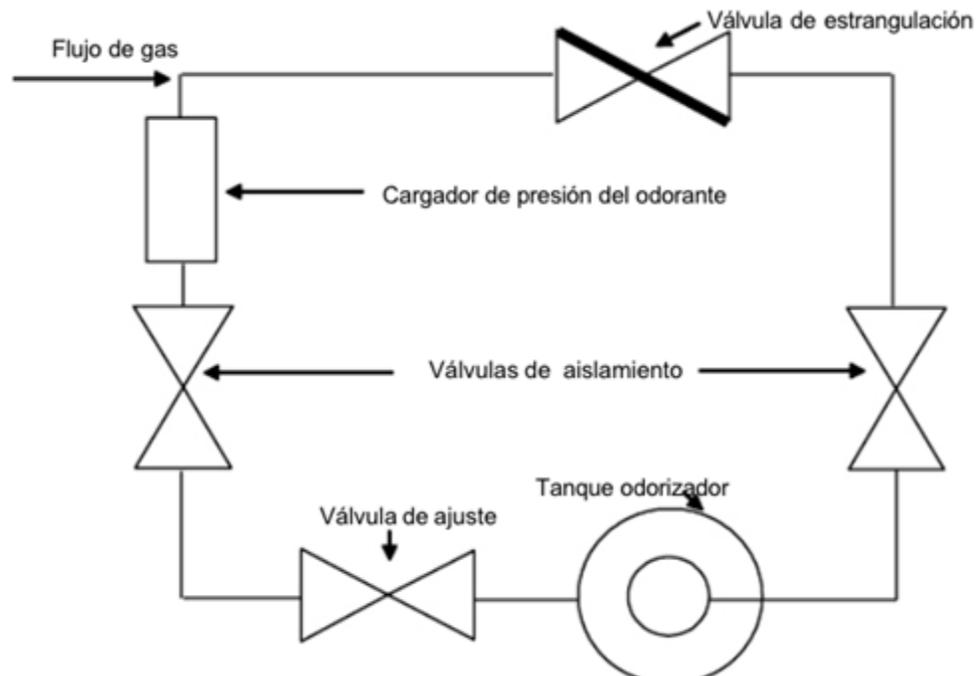
Cada ramal está calculado para soportar el 100% del caudal de diseño de las estación, y en operación normal una rama de regulación es la que opera activamente mientras que la otra esta en stand by, en caso de bloqueo de una rama, la que está en stand-by va a ser la que tome el control de la presión (con los mismos tres niveles de seguridad que el primer ramal), permitiendo la continuidad del suministro.)

3.6 SISTEMA DE ODORIZACIÓN

De acuerdo a norma ASME B31.8 capítulo VII en el apartado 871, cualquier gas distribuido a los clientes a través de líneas principales de servicio o utilizado para los propósitos domésticos en plantas de compresión, que no posea naturalmente un olor distintivo hasta el punto de su presencia en la atmósfera sea fácilmente perceptible en todas las concentraciones de gas mayor a un quinto del límite de explosividad inferior, tendrán un odorante agregado (generalmente mercaptanos) al gas para hacerlo perceptible, como se aprecia en la Figura 10.²⁰

²⁰ ASME. NORMA B31.8. 1999, Apartado 871. p. 95.

Figura 10. Diagrama de flujo del sistema de odorización.



Fuente: SCRIBD. Estaciones de entrega – City Gates. Disponible en internet: <https://es.scribd.com/document/360626463/city-gate.docx>

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, tioterres compuestos anillados con enlace carbón-azufre y mercaptanos.²¹

Este sistema de odorización es necesario ya que permite detectar cuando hay una fuga de gas, mediante la inyección de un odorante que va a ser añadido en el

²¹ SCRIBD. Estaciones de entrega – City Gates. [en línea]. [Consultado: 15, septiembre, 2018]. Disponible en Internet: <https://es.scribd.com/document/360626463/city-gate.docx>

punto de ingreso del gasoducto, por esto antes de que el gas sea entregado a las redes del distribuidor, se le agrega al gas un olor desagradable ya que hasta este momento se ha transportado inodoro y se requiere que sea percibido antes de que alcance su límite inferior de inflamabilidad. La sustancia a utilizar para la odorización del gas natural debe tener como mínimo las siguientes características:

El olor debe ser característico, algo desagradable e intenso y no confundirse con otros olores que se presenten frecuentemente en el ambiente.

La mezcla de gas natural y odorante, no debe ser nociva para los seres vivos, ni deberá afectar los materiales con los que entre en contacto. Igualmente, sus productos de combustión no deben ser tóxicos.

El odorante debe ser volátil y suficientemente estable tanto en fase gaseosa como durante su almacenamiento. No debe formar depósitos en los quemadores ni en los dispositivos de seguridad.²²

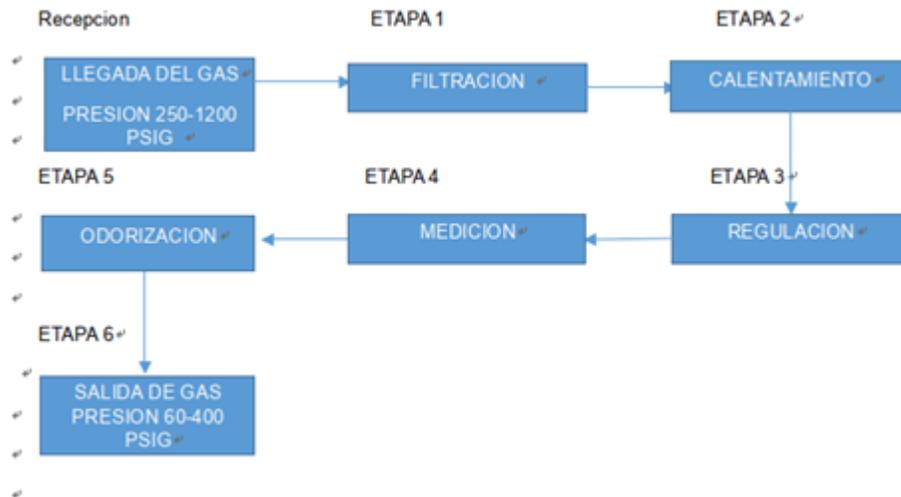
3.7 PROCESO DEL GAS NATURAL EN UN CITY GATE

El gas natural es transportado a altas presiones a través de un gasoducto hasta llevarlo a las estaciones de regulación City Gate.

En la figura 11 se muestra el diagrama típico del proceso del gas en una estación City Gate.

²² Calidad GAS NATURAL DEL PERU. Odorización del Gas Natural. [en línea]. PDF. 2008. Disponible en Internet: http://www2.osinerg.gob.pe/ProcReg/GasNatural/Fijacion_2008_2012/Propuesta/004.Anexo%201%20-%20Manual%20de%20Operaci%C3%B3n%20y%20Mantenimiento%20Parte%203.pdf, p.1-2.

Figura 11. Diagrama de flujo en un City Gate



Fuente: SCRIBD. Estaciones de entrega – City Gates. Disponible en internet: <https://es.scribd.com/document/360626463/city-gate.docx>

El gas natural entra al CITY GATE en condiciones RUT a una presión que varía entre los 250 Psig a 1200 Psig; una vez el gas ingresa tiene que pasar por varias etapas, empezando por el filtrado, que consta de filtros que se encargan de retirar cualquier tipo de impurezas o condensados que se encuentran inmersas en las corrientes de gas.

Luego de la etapa de filtrado, el gas pasa por la zona de calentamiento, a través de un intercambiador de calor que se encarga de aumentarle la temperatura al gas, esto para evitar la formación de hidratos.

Después de que el gas ha pasado por la etapa de calentamiento, entra a la zona de regulación que consta de 2 brazos: un brazo activo y otro pasivo de respaldo. En esta etapa se produce una reducción en la presión del gas que ingreso a 1200 Psig y es regulado hasta una presión que oscila entre 60 Psig y 400 Psig. Luego

de la regulación, el gas llega a la etapa de medición y finalmente el gas paso por la zona de odorización, donde se adiciona un odorante, que sirve para detectar una fuga gracias a un olor característico a huevo podrido.

3.8 PARÁMETROS DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

Para realizar el diseño y la construcción de una estación City Gate en colombia es necesario seguir los parámetros que se muestran en la tabla 5.

Tabla 5. Características del gas que ingresa a un City Gate

Características del gas que ingresa a una estacion City Gate	
Fluido	gas condiciones RUT
Presión de diseño	
intensidad	Presión de entrada
Maxima	1200 psig
Normal	700 psig
Minima	250 psig
Presion de regulacio	250-60
Diseño	
ANSI 600 Schedule 80	Alta presión
ANSI 150 Schedule 40	Media presión

Fuente: Comisión de Regulación de Energía y Gas. [en línea]. Disponible en internet: <http://apolo.creg.gov.co>

4. SISTEMAS DE FILTRACIÓN PARA ESTACIONES CITY GATE

Las estaciones de regulación y medición City Gate, están constituidas por una gran cantidad de componentes, esto es para asegurar que el gas que salga de las estaciones City Gate cuente con todas las especificaciones que la norma (RUT) exige para su venta. Existen diferentes organizaciones que hacen posible el consumo de gas natural en los sectores de la economía. Estas organizaciones se rigen por la comisión reguladora de energía y gas (CREG), y están soportados por diferentes gremios como la agencia nacional de hidrocarburos (ANH) y la asociación colombiana de gas natural (NATURGAS) entre otros.²³

Uno de los componentes que constituye estas estaciones son los filtros, que son los encargados de la retención de las partículas y/o desechos que pueden ser arrastrados por las corrientes de gas que llegan a las estaciones City Gate, ya que las tuberías pueden arrastrar y almacenar finos, arcillas y partículas muy pequeñas debido a diferentes circunstancias incluyendo el arrastre de las mismas desde el yacimiento; otro problema que se puede observar en las corrientes de gas que entran a las estaciones City Gate, es la presencia de líquidos, esto es debido a que el gas tiene que recorrer un trayecto muy largo por el gasoducto donde puede presentarse pérdidas de presión con la consiguiente formación de condensados.

²³ Indisa S.A. Sistemas de Distribución y Transporte de Gas Natural. [en línea]. PDF. 2009. Disponible en Internet: <http://www.indisa.com/indisaonline/antecedentes/Indisa%20On%20line%2078.pdf>, p. 4.

Los condensados pueden ocasionar muchos problemas aguas abajo de las estaciones de regulación si no son retirados, por tanto son necesarios los sistemas de filtración.

Los filtros utilizados en las estaciones reguladoras City Gate tienen que garantizar la retención y extracción de partículas sólidas y líquidas que arrastran las corrientes de gas.

El contaminante del fluido es un indicador del método de filtración a usar para removerlo. En las aplicaciones de petróleo y gas, los contaminantes aparecen en una amplia variedad de formas. La filtración adecuada no debe ser resuelta con solamente un tipo de equipo o un modelo de cartucho. Es por ello que existen una variedad de filtros y de cartuchos para manejar incluso los retos más difíciles de remoción de contaminantes. Por eso es importante identificar el contaminante ya que facilita seleccionar el método de filtración.²⁴

4.1 FILTROS SEPARADORES

Los filtros separadores (figura 12) se utilizan cuando es necesario garantizar una eficiencia en el grado de filtraje que los filtros convencionales no la aseguran. Son separadores de un alto grado de eficiencia.²⁵

²⁴ Peco Facet a CLARCOR company. Filtración de Petróleo y Gas. [en línea]. PDF. [Consultado: 20, septiembre, 2018]. Disponible en Internet: <http://www.pecofacet.com/Portals/10/Documents/markets/oil-and-gas/general-products-oil-and-gas-Spanish.pdf>

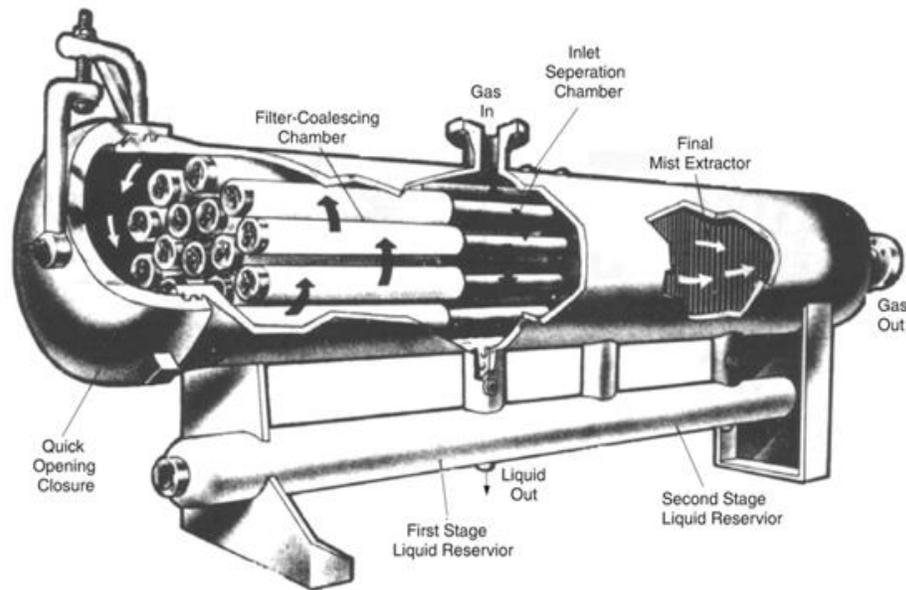
²⁵ Inoxfer ingeniería i serveis SL. Filtros Separadores. [en línea]. [Consultado: 20, septiembre, 2018]. Disponible en Internet: <http://www.teyco-comercial.com/filtros-separadores/>

Estos filtros se caracterizan ya que se pueden encontrar de dos formas verticales y horizontales como se evidencia en las Figuras 12 y Figura 13.

Este tipo de filtros se aplica especialmente a sistemas de transmisión con reguladores, compresores y a centrales de generación donde se utilizan turbinas.

El grado de filtración depende, igual que los coalescentes, del tipo de cartucho utilizado, del sentido de flujo y de la configuración del recipiente.²⁶

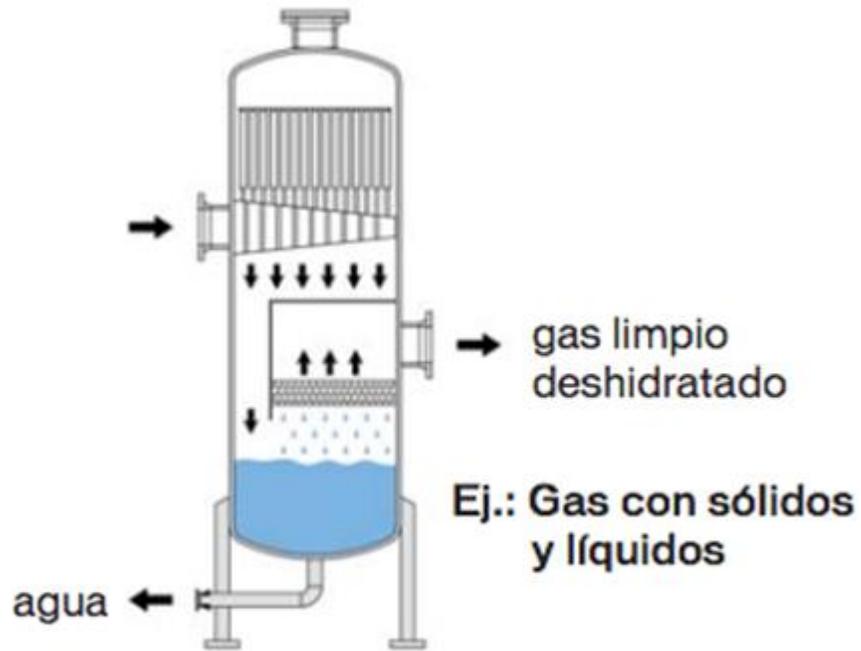
Figura 12. Filtro separador horizontal.



Fuente: GAS PROCESSORS ASSOCIATION GAS PROCESSORS SUPLIERS ASSOCIATION, GPSA Engineering Data Book, Section 7.

²⁶ Ibid., Filtros Separadores.

Figura 13. Filtro separador vertical.



FUENTE: TOMADO DE EL SITIO WEB http://unitecno.es/wp-content/uploads/2015/02/Equipos-Filtracion_A4.1.pdf

4.1.1 Principios de Funcionamiento de Los Filtros Separadores: Un filtro separador es un dispositivo de dos etapas. El gas entra en la boquilla y pasa a través de la sección del filtro, donde las partículas sólidas se filtran de la corriente de gas y las partículas de líquido se fusionan en gotas más grandes. Todos los líquidos libres también se eliminan en la primera sección. Las gotitas fusionadas pasan a través de los tubos ascendentes del filtro y son llevadas a la segunda sección del separador, donde un elemento de extracción de niebla final elimina estas gotitas de la corriente de gas.²⁷ La eficacia se obtiene, con una doble etapa de filtración. La primera para una separación de partículas líquidas y sólidas, o solamente líquidas y la segunda a través de una unidad de vanos para partículas líquidas.²⁸

Básicamente la diferencia entre los filtros horizontales y verticales, es que en la configuración horizontal las partículas más grandes sólidas o líquidas al entrar en el recipiente y chocar con los elementos mecánicos, se precipitan directamente antes de entrar en el cartucho filtrante coalescente.

El líquido acumulado desciende hacia un recipiente auxiliar situado en la parte inferior, evitando mezclarse nuevamente con el flujo gaseoso.

Se puede tener como consideración la configuración horizontal se evitan las complejas conexión entre la entrada y salida del filtro al proceso.

²⁷ GAS PROCESSORS SUPPLIERS ASSOCIATION. Engineering Data Book, FPS Version Volumes I & II Section 1 - 26. Section 7. 2004. p. 16.

²⁸ Inoxfer enginyeria i serveis SL. Filtros Separadores. [en línea]. [Consultado: 20, septiembre, 2018]. Disponible en Internet: <http://www.teyco-comercial.com/filtros-separadores/>

La pérdida de carga de este tipo de filtros no es elevada, aunque el flujo gaseoso pasa a través de un doble proceso de filtrado.²⁹

4.1.2 Parámetros Técnicos: En general puede considerarse los siguientes parámetros técnicos del filtro separador en la tabla 6.

Tabla 6. Especificaciones técnicas del filtro

Parametros tecnicos	
Presion de funcionamiento (Psig)	1450,377
Temperatura de trabajo (°C)	de -20 hasta 50
Presicion de la separacion (μ)	1, 3, 5, 10
Eficacia de separacion de la filtracion	≤ 99
Flujo maximo	5824,93

Fuente: <http://spanish.automaticselfcleaningfilters.com/sale-2959232-horizontal-multi-stage-separator-for-removing-tiny-dust-and-smoke.html>

4.2 FILTROS CICLÓNICOS

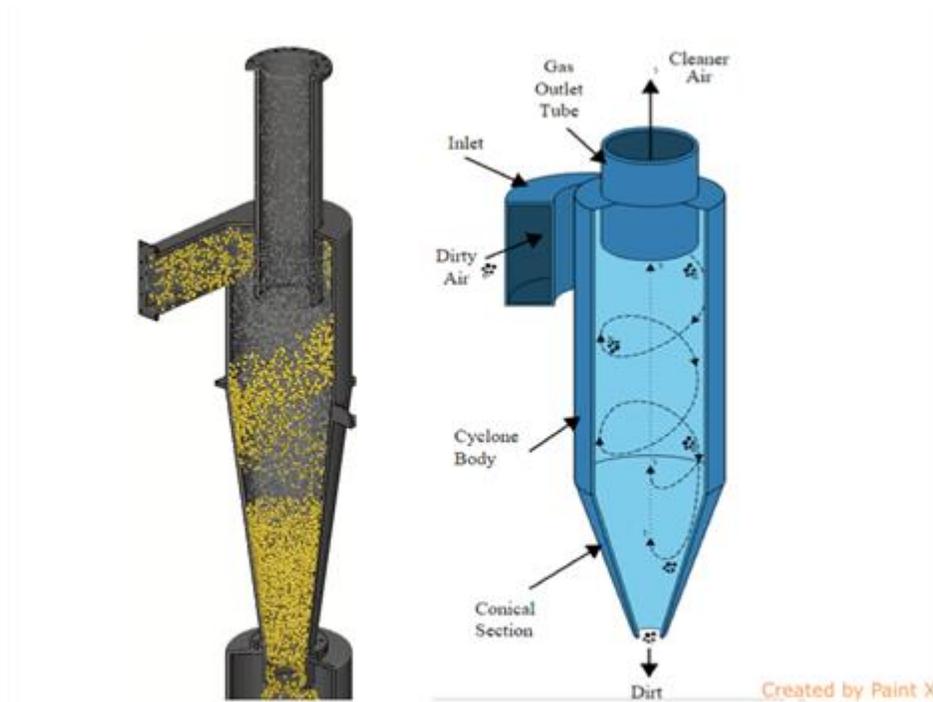
Los filtros ciclónicos como se ilustra en la figura 14. Son utilizados en múltiples aplicaciones industriales, industrias químicas, auxiliares dentro del proceso de plantas de gas natural para proteger tuberías, equipos de regulación, contadores, compresores, turbinas, etc.³⁰ Consiste en un cuerpo cilíndrico o cónico, un colector de polvo, un obturador y un tubo de escape para la descarga de gas purificado.

²⁹ Ibid., Filtros separadores.

³⁰ Ibid., Ciclones.

El sistema de filtración ciclónico fue diseñado con el fin de limpiar las impurezas que arrastran las corrientes de gas.

Figura 14. Filtro ciclón partes y funcionamiento



Fuente: Energy Education. Separator Cyclone. [en línea]. Disponible en internet: https://energyeducation.ca/encyclopedia/Cyclone_separator

4.2.1 Principio de Funcionamiento: La liberación de polvo del gas ocurre en las paredes del cuerpo del ciclón, donde las partículas de polvo y las gotas grandes de líquido que al chocar bruscamente con la placa deflectora son descartadas por las fuerzas centrífugas resultantes del movimiento de rotación de la corriente de gas. La rotación del gas está garantizada por la entrada tangencial de la misma en el ciclón. El polvo emitido desciende a lo largo de las paredes de los ciclones dentro de la tolva y se retira del aparato a través del sello anti polvo. El gas purificado, mientras continúa girando, cambia la dirección del movimiento de traslación 180 grados y sale del ciclón a través del tubo de escape.

Los dispositivos ciclónicos se utilizan para limpiar desde varios cientos hasta varios miles de metros cúbicos de gas por hora.

La concentración inicial de polvo en el gas puede alcanzar 1 kilogramo por metro cúbico. En los ciclones es posible atrapar polvo con un tamaño de partícula de más de 5 micrómetros. El más eficiente es el que maneja polvo que retiene tamaños de partículas de 15-20 micrómetros y más. El ciclón se basa en la acción centrífuga a la que se somete el flujo gaseoso y no contiene elementos móviles.

4.2.2 Eficiencia: La eficacia de la purificación de gas del polvo en los aparatos ciclónicos varía ampliamente. Como se muestra en la Tabla 7. Por lo general, de 50 a 99 por ciento, dependiendo del número y las propiedades de los gases, el polvo y algunas partículas líquidas a limpiar, así como de las características estructurales y operativas del aparato.

Tabla 7. Especificaciones del filtro de Ciclón:

Presión de trabajo, MPa	0,3-10,0
Ambiente de trabajo	Gas natural con el contenido de mecánica impurezas y líquidos (condensado, metanol, agua)
Temperatura de funcionamiento del medio, 0C	menos 10 - más 50
Temperatura mínima de la pared, 0C	menos (60-50)
Grado de purificación,%	
partículas de hasta 5 µm	65-85
partículas de hasta 10 µm	85-90
partículas de hasta 20 µm	90-99
Rendimiento, m3 / h	20000 - 1000000
El diámetro del cuerpo 9617-76, mm	150,200,300,400, 500, 600, 700, 800
Vida útil estimada no menos de, años	20

Fuente: Gazapparat. Colector de Polvo Tipo Ciclón PCT. [en línea]. Disponible en internet: <https://gazapparat.ru/ochistka-gaza/filtry-gazovye/pyleulovitel-tsiklonnogo-tipa-ptst.html>

4.2.3 Pérdida de presión: En ciclones la pérdida de presión puede ser entre el 1% y el 4% de la presión de entrada, en las condiciones más desfavorables.³¹

4.3. FILTROS DE RETENCIÓN DE PARTICULAS FINAS

Estos dispositivos tipo cartucho o tipo canastilla como se ilustra en la figura 15. Son usados en las estaciones reguladoras para la retención con un alto nivel de eficiencia de las partículas diminutas sólidas que son arrastradas en las corrientes de gas natural.³² En las plantas de medición y reducción de presión de gas,³³ es

³¹ Ibid., Ciclones

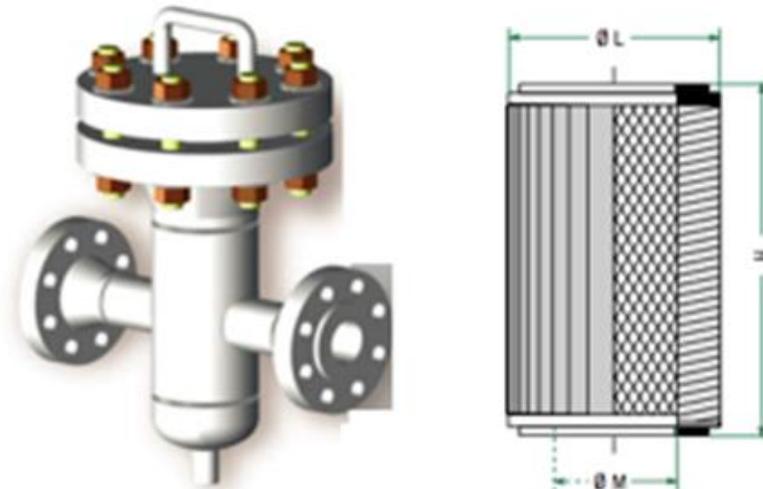
³² Indufilter. Filtros para gas natural, [en línea]. [Consultado: 22, septiembre, 2018]. PDF. Disponible en Internet: <http://www.indufilter.com/images/JOrge%20E.%20PDFS%20Filtros%20compuestos/%20F.T.11%20PARA%20GAS%20NATURAL-%20HAFW.pdf>

una buena práctica proteger los reguladores de presión, las válvulas, los medidores de desplazamiento positivo, etc. de polvo y material extraño presentes en los gases combustibles sobre todo durante los períodos iniciales de operación dado que un material aun de tamaño pequeño a ratas altas de velocidad genera daños severos en los equipos y en el personal operativo. Los filtros se usan para este propósito. Los diseños para estos filtros, se componen de una puerta de apertura fácil, ya que esto facilita su mantenimiento y el recambio del elemento filtrante.

El filtro de presión más comúnmente utilizado en la industria de procesamiento de gas es un filtro de cartucho. Los filtros de cartucho están contruidos con un medio de filtro auto portante o un medio de filtro unido a un núcleo de soporte. Cuando los poros en el medio filtrante se bloquean, o cuando se desarrolla la torta del filtro, la presión diferencial más alta a través de los elementos indicará que los elementos del filtro deben ser limpiados o reemplazados.

Se fabrican en diferentes tipos y tamaños para satisfacer todas las necesidades de las plantas. Están equipados con niples para el montaje de los diversos accesorios útiles para una buena operación. La construcción de los filtros es fuerte y puede instalarse y mantenerse fácilmente. El elemento filtrante puede filtrar con facilidad las partículas sólidas con filtraciones de hasta 5 μ .

Figura 15. Filtro de partículas



Fuente: Página Oficial Tormene Andina. Filtro a Cartucho. [en línea]. PDF. p. 3-4. Disponible en internet: <http://www.tormeneandina.com.pe/TAND/filtro%20a%20cartucho.pdf>

4.3.1 Eficiencia: La eficiencia de este tipo de filtro es hasta del 99.5 % como se observa en las características presentadas en la tabla 8.

Tabla 8. Características técnicas del filtro de cartucho

presión de trabajo, Psig	1440
Temperatura de funcionamiento del medio, °C	de - 10 hasta 45
Temperatura mínima de la pared, °C	menos (60-50)
Grado de purificación, %	
partículas mayores a 0,5 μ	99
partículas mayores a 5 μ	99,5
Rendimiento, m3/h	20000 – 10000000
Diámetro del cuerpo 9617-76, mm	150, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800
vida útil estimada no menos de, años	20

Tabla 8. (Continuación). Fuente: Gazapparat. Colector de Polvo Tipo Ciclón PCT. [en línea]. Disponible en internet: <https://gazapparat.ru/ochistka-gaza/filtry-gazovye/pyleulovitel-tsiklonnogo-tipa-ptst.html>

4.3.2 Pérdida de Presión: El diseño de este tipo de filtros trabaja normalmente con pérdidas de carga entre 0.05 y 0.5 bar (72.5189 - 7.251 psi) aproximadamente.³⁴

4.3.3 Materiales de Construcción del Elemento Filtrante: Los filtros de cartucho utilizan elementos filtrantes estándar, y son Construidos con fibras de poliéster y malla de acero de refuerzo.

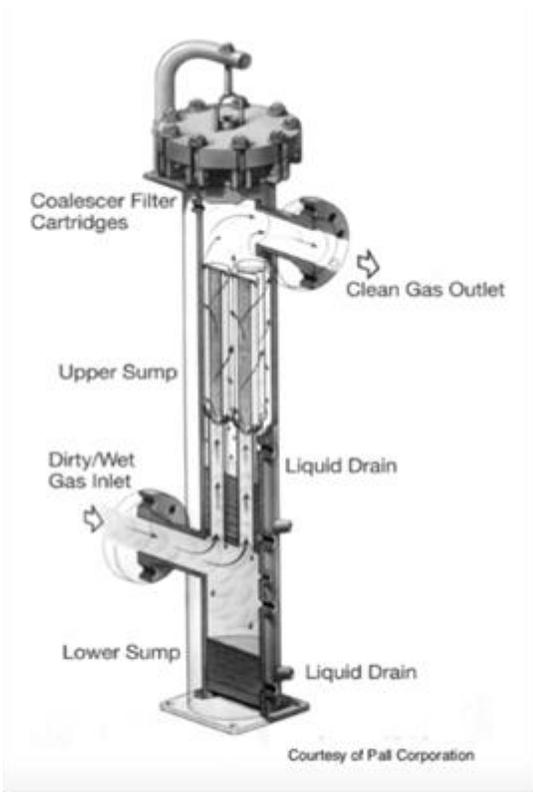
4.4 FILTROS COALESCENTES

Los filtros de cartuchos coalescentes están diseñados para separar especialmente partículas y líquidos que arrastre el flujo de gas, aunque también retiene los sólidos. Este tipo de filtros se aplica especialmente para la protección de estaciones de regulación y medida, estaciones de válvulas, de transferencia de gas, etc. antes de procesos en que el líquido o humedad arrastrados por el gas pueda dañar los equipos de la instalación. Por ejemplo: turbinas, grupos de compresión de aire o gases, procesos en industrias químicas, alimentación, etc. Los cartuchos coalescentes son recambiables, en la figura 16 se observa cómo se componen los filtros coalescentes.³⁵

³⁴ Inoxfer ingenyeria I serveis SL. Op. Cit., Filtros de cartucho.

³⁵ Ibid., Filtros coalescentes.

Figura 16. Filtro coalescentes.

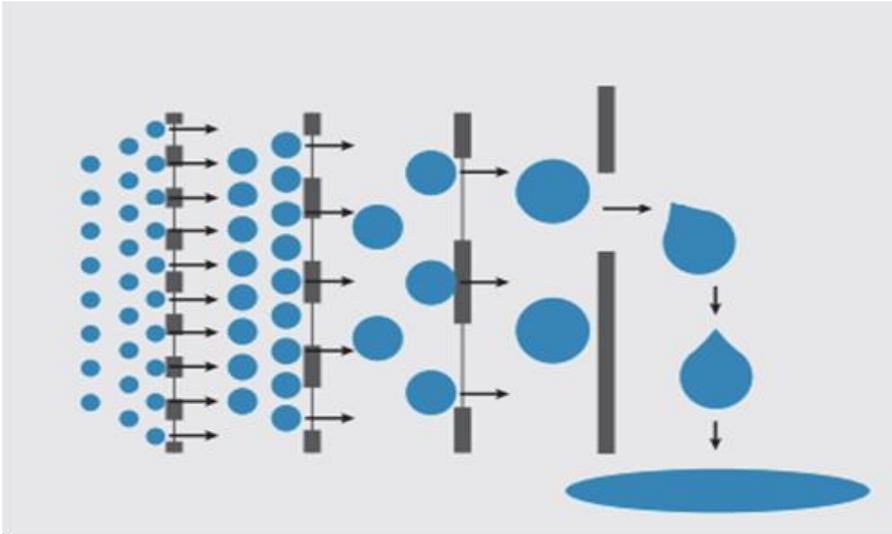


Fuente: GAS PROCESSORS ASSOCIATION GAS PROCESSORS SUPLIERS ASSOCIATION, GPSA Engineering Data Book, Section 7. [en línea]. Disponible en Internet: <http://www.pecofacet.com/portals/10/Documents/markets/oil-and-gas/general-products-oil-and-gas.pdf>

4.4.1 Principio de Coalescencia: La formación de gotas de un líquido y su separación del fluido gaseoso que las contiene se fundamenta en la teoría cinética de los gases y en el proceso de estrangulación. El fluido gaseoso contaminado con un líquido pasa a través de los primeros espacios libres del elemento filtrante. Las partículas de líquido contenidas en el fluido gaseoso son muy pequeñas, incluso vapor. Debido al proceso de estrangulación estas partículas se ponen en contacto unas con otras, aumentando su tamaño y se inicia la formación de pequeñas gotas. Las pequeñas gotas a través de sucesivos estrangulamientos del elemento filtrante chocan entre sí como se ilustra en la figura 17, aumentan su tamaño hasta que se desprenden del elemento filtrante y caen por gravedad. Como el proceso es continuo el resultado es la eliminación del 99 % de líquido contenido en el fluido gaseoso.³⁶

³⁶ UNITECNO Engineering Solutions. Equipos de Filtración. Filtros Coalescentes, Filtros de gas de cartucho, filtros separadores. [en línea]. PDF. [Consultado: 20, septiembre, 2018]. Disponible en Internet: http://unitecno.es/wp-content/uploads/2015/02/Equipos-Filtracion_A4.1.pdf

Figura 17. Coalescencia del gas.



FUENTE: UNITECNO. [EN LÍNEA]. DISPONIBLE EN INTERNET: [HTTP://UNITECNO.ES/WP-CONTENT/UPLOADS/2015/02/EQUIPOS-FILTRACION_A4.1.PDF](http://unitecno.es/wp-content/uploads/2015/02/equipos-filtracion_a4.1.pdf)

4.4.2 Materiales del recipiente: Los materiales usuales son acero al carbono o acero inoxidable.

4.4.3 Elementos filtrantes:

Filtros de cartuchos coalescentes:

✓ Empleo: Están destinados a la separación o captura de partículas líquidas muy pequeñas en fluidos: Gotas de agua o aceite en gases / Gotas de agua (neblinas) en aceite, las cuales cuando alcanzan el tamaño adecuado se desprenden por gravedad (coalescencia) en la figura 18 se puede visualizar el aspecto del cartucho filtrante.

✓ Rango: El tamaño de las partículas líquidas a separar es el principal factor en el diseño del medio filtrante. Los tamaños de las fibras y los poros del medio filtrante son similares a los de las partículas a separar.

✓ Fundamentos: En el filtro coalescente tienen lugar tres mecanismos de captura de las partículas: Interceptación directa: Las partículas que pasan cerca de una fibra del medio filtrante a una distancia menor que su radio, las captura la fibra. Quedan adheridas formando una película que moja las fibras. Difusión: Las partículas menores de 0,6 micras tienen un movimiento transversal al sentido del flujo. Su tamaño aparente es similar al de gotas con un diámetro igual al de su desplazamiento. El desplazamiento aumenta a medida que el tamaño de las partículas disminuye. En consecuencia, la captura de los tamaños inferiores a 1 micra tiene la eficiencia del 99 %. Los mecanismos indicados tienen lugar cuando la velocidad del gas a través del cartucho es la adecuada y constante. Puesto que la velocidad a través del cartucho es laminar la P en el filtro es pequeña.³⁷

✓ En la Figura 18 se puede observar como son los filtros de cartucho para el proceso de coalescencia.

³⁷ Ibid.

Figura 18. Filtro de cartucho



Fuente: UNITECNO ENGINEERING SOLUTIONS. Fabricantes de Filtros y Recipientes a Presión. [en línea]. Disponible en Internet: <https://WWW.UNITESCO.COM>

Deflector: El deflector como se observa en la figura 19. Es el que distribuye el flujo de gas y su empuje mecánico de forma uniforme y controlada en toda la sección del conducto. La distribución de la velocidad del gas a la salida del deflector es igual en toda el área del conducto. Elimina las altas velocidades localizadas en zonas específicas las cuales originan severos arrastres de líquido. Al igualarse el caudal en toda la sección, el impulso mecánico generado por la masa del flujo de gas se reduce y en consecuencia permite:

- ✓ Separar la mayor parte del líquido y sólidos arrastrados.
- ✓ Igualar la distribución del flujo, evitando caminos preferenciales de paso con altas velocidades, para su posterior entrada al demister (deshumidificador).
- ✓ Minimizar la rotura de las gotas de líquido formadas y soslayar su arrastre adicional.

✓Reducir las velocidades del gas sobre la superficie del líquido ya recogido y eludir arrastre de partículas muy pequeñas.

Figura 19. Deflectores de gas



Fuente: UNITECNO ENGINEERING SOLUTIONS. Fabricantes de Filtros y Recipientes a Presión. [en línea]. Disponible en Internet: <https://WWW.UNITESCO.COM>

Demister: Consiste en un conjunto de mallas de hilos tejidos formando un cuerpo denso como se observa en la figura 20. Como se observa su diseño. Al pasar el gas a través del demister, las partículas pequeñas de líquido existentes en el gas chocan contra los hilos del demister, se aglomeran por atracción molecular, aumenta su tamaño hasta que se desprende por gravedad hacia el drenaje. El diseño se ajusta a las especificaciones de los fluidos del proceso, para obtener la máxima eficiencia 99,9 % en la retención del líquido contenido por el gas. En el diseño se consideran factores tales como:

- ✓ Velocidad del gas a través del cuerpo del demister: A velocidad excesiva se producen arrastres de gotas. A velocidad baja las gotas pequeñas no son retenidas por falta de energía de choque.
- ✓ Diámetro de los hilos de las mallas (tamaño de las gotas)
- ✓ Densidad específica del tejido de las mallas (concentración de líquido)
- ✓ Sección o superficie de paso (caudal de gas)
- ✓ Espesor del cuerpo de las mallas (tiempo de contacto)
- ✓ Datos físicos de los fluidos (interacciones gas/líquido/demister)³⁸

Figura 20. Demister



Fuente: UNITECNO ENGINEERING SOLUTIONS. Fabricantes de Filtros y Recipientes a Presión. [en línea]. Disponible en Internet: <https://WWW.UNITESCO.COM>

³⁸ Ibid.

4.4.4 Pérdida de carga en los filtros: El diseño de este tipo de filtros trabaja normalmente con pérdidas de carga entre 0.05 y 2 bar (72.5189 - 29.00754 psi) aproximadamente.

En la tabla 9. Se observa la eficiencia de los diferentes tipos de filtros utilizados para las estaciones reguladoras City Gate, también describe la eficiencia de cada uno de estos filtros y los diferentes escenarios que se pueden presentar cuando el gas entra a las estaciones, ya que puede llegar gas con partículas o desechos que son arrastrados por estas corrientes de gas, y se pueden presentar condensados y vapores partículas líquidas muy pequeñas en fluidos como gotas de agua o aceite en gases / Gotas de agua (neblinas) en aceite.

Tabla 9. Eficiencia de filtros para corrientes de gas

Tipo de filtro	Eficiencia %	Presión (Psig)	Temperatura °C	perdida de Presión (Psi)	Partícula	Capacidad de retención de partícula (μ)	Tipo de corriente de gas	Q (MMSCFD)
Separador	99	1450,377	de -20 hasta 50	1,4503 - 14,503	Líquidas	1 μ - 3 μ	Gas húmedo	5 824,93
	99,5					5 μ - 10 μ		
	99,5				Sólidas	1 μ - 3 μ		
	99					1 μ		
Ciclónico	65 - 85	2219,08 - 565	de -10 hasta 50	14,503	sólidas y líquidas	5 μ	Gas húmedo y seco	3338,809
	85 - 90					10 μ		
	90 - 99					20 μ		
Coalescentes	99,98	1203,81	de -10 hasta 60	0,7251 - 29	Líquidas	≤ 1 μ	Gas húmedo	3338,809
	99					0,3 μ - 1 μ		
	99					≤ 0,3		
Cartucho	99,95	1440	de -10 hasta 45	0,7251887 - 7,25189	Sólidas	≤ 5 μ	Gas seco	8958,191
	99					≤ 0.5 μ		

4.5 ANALISIS COMPARATIVO DE LOS FILTROS PARA GAS NATURAL

Este análisis se realizó con base en la investigación para determinar el tipo de filtro para usar en estaciones reguladoras City Gate. Para ello se tomaron las características de cada filtro demarcadas en la tabla 9. Que puede servir de guía para la selección correcta del filtro que mejor favorezca de acuerdo a las diferentes situaciones que se pueden presentar en las corrientes de gas natural que ingresan a las estaciones City Gate. Con los datos de la tabla 9 se puede realizar una comparación de la eficiencia de cada filtro.

El filtro separador tiene una eficiencia muy alta en la eliminación de partículas y sustancias que pueden ir disueltas en el gas natural, sirve para flujos muy altos de gas, alcanza un nivel de filtración bastante razonable; una de las ventajas de utilizar este sistema de filtración, es que está diseñado para el tratamiento del fluido en dos etapas, la primera etapa separa partículas sólidas, su eficiencia para la retención de partículas sólidas (polvos) es de aproximadamente un 99 % en partículas mayores a 1 micra; y la segunda etapa para la eliminación de partículas líquidas (gotas de agua o aceite en gases, gotas de agua o neblinas en aceite) su eficiencia es del 100 % cuando el gas presenta condensados con partículas de tamaño igual o mayores a 5 micras; y de un 99 % en partículas iguales o mayores a 1 micra, este filtro es el recomendado para la remoción de partículas en corrientes de gas húmedo.

El filtro de ciclón se ha utilizado en los Estados Unidos durante aproximadamente 100 años y siguen siendo uno de los dispositivos industriales de limpieza de gas más utilizados. Las principales razones del amplio uso de estos ciclones son: bajo costo de adquisición y mantenimiento, no contienen partes móviles y se puede

construir para que resista condiciones de operación muy extremas,³⁹ este filtro de ciclón es óptimo en situaciones en la que el gas arrastre algunas partículas sólidas y algo de condensado, de tamaños mayores a 10 micras para tener una eficiencia de más del 85 % y si son partículas mayores a 20 micras tendrá una eficiencia mayor que pueda llegar incluso hasta los 99 %. Por todos estos factores se puede considerar el filtro de ciclón como un buen dispositivo para realizar la remoción de desechos en el gas, con un aspecto adicional favorable que no necesita de mantenimiento excesivo para su funcionamiento.

El filtro de Cartuchos plisados y profundos es de gran eficiencia y alto flujo para filtrar hasta 0,5 micras a bajas presiones diferenciales, es el filtro recomendado para el gas seco, ya que gracias a que el elemento filtrante fue diseñado específicamente para ese tipo de gas, se pueden alcanzar eficiencias muy altas para eliminar los residuos finos de una tubería de gas; este filtro tiene un diseño favorable porque tiene una puerta de fácil apertura, lo cual facilita su mantenimiento y el recambio del elemento filtrante.

Este filtro se compone de dos elementos la carcasa y el elemento filtrante; el fabricante utilizan materiales diversos que pueden ser escogidos por el comprador, y esto es lo que determina en muchos casos su eficiencia.

El filtro coalescente es el más efectivo y con ventaja tecnológica para la separación de emulsiones gracias a los diferentes procesos por los que pasa el gas, están diseñados especialmente para separar líquidos que arrastra el flujo de gas, tiene una alta eficiencia gracias a su diseño que consta de unos elementos filtrantes que son los que se encargan de la separación de las partículas de líquido, también puede separar partículas sólidas, las que se filtran debido al

³⁹ Internacional Engineering Spares, "Equipos de filtracion-filtros tipo Ciclon", [CONSULTADO EN: 2018-09-20] Disponible en : <http://www.iespco.com/products/filtration/gas-filtration/cyclone>

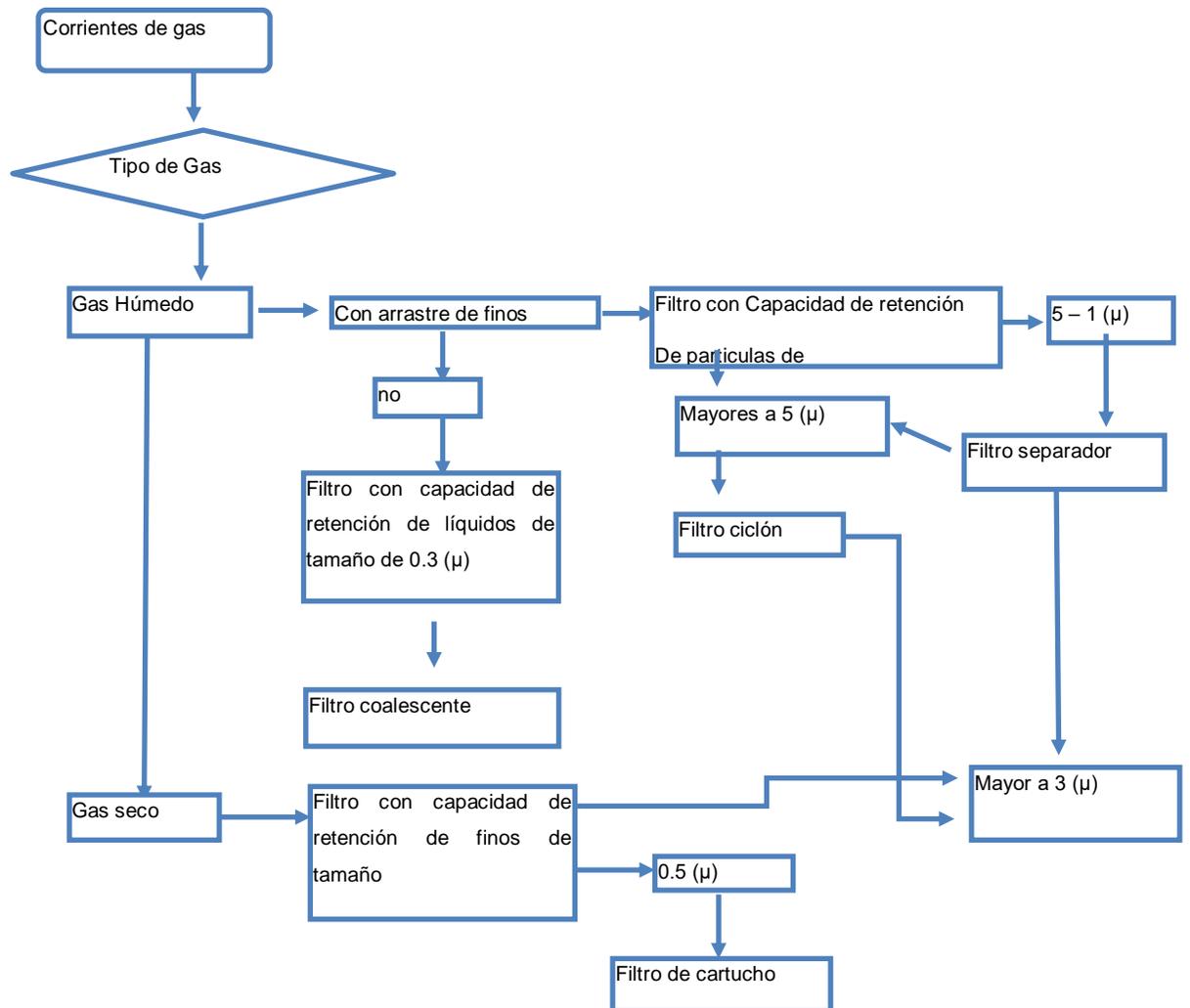
proceso de estrangulación que sufren. La estrangulación favorece la unión el tamaño de la partícula y de ahí formar pequeñas gotas. Las pequeñas gotas a través de sucesivos estrangulamientos al paso por el elemento filtrante chocan entre sí aumentando su tamaño hasta que se desprenden del elemento filtrante y caen por gravedad. El proceso es continuo. El resultado es la eliminación (99 %) de líquido de fluido gaseoso. Hay una desventaja en este sistema como se mencionó antes cuando el gas arrastra finos, tiene como consecuencia que al haber retención de sólidos hay la necesidad de cambiar el elemento filtrante, por tal motivo se recomienda utilizar en corrientes de gas húmedo para evitar el cambio de los filtros, Es recomendable en casos en que el gas arrastra partículas sólidas la instalación de otro tipo de filtro que se encargue de la remoción de estas partículas antes de que este gas llegue al filtro coalescente.

Se pueden utilizar diversos materiales para su construcción dependiendo de las presiones que se vayan a manejar pero teniendo en cuenta que el tipo de material afecta la eficiencia de separación.

5. METODOLOGIA PARA LA SELECCION DEL FILTRO

En la figura 21 se presenta la metodología planteada como resultado del presente estudio para la selección del filtro en las estaciones “City Gate” para los diferentes escenarios que puede presentar el gas natural, con el propósito de utilizar el más eficiente en cada caso.

Figura 21. Metodología para la Selección del filtro



5.1 CRITERIOS TÉCNICOS EN LA SELECCIÓN DE LOS SISTEMAS DE FILTRACIÓN

Como se observa en el diagrama de flujo presentado en la figura 21 se presenta los escenarios para los cuales se aplican los diferentes tipos de sistemas de filtración en una estación reguladora City Gate.

Para la selección de los sistemas de filtración que se adecuan al escenario que se pueda presentar es necesario tener en cuenta varios factores, tales como el tipo de contaminante que contiene. Si se presenta arrastre de líquidos se tiene que analizar si este gas además tiene arrastre de finos se evidencia que es necesario realizar una instalación precisa de filtros para evitar daños en los equipos aguas abajo (corrosión, formación de hidratos); si este es el caso se recomendaría un tren de filtrado de dos etapas.

En la primera etapa de filtrado se instalaría un filtro de ciclón que ayudaría con la retención de partículas sólidas y algunas de condensado (Aceites, vapores de agua, hidrocarburos), y la segunda etapa un filtro coalescente para retirar el restante de las partículas líquidas que estén presentes en el gas, ya que los filtros coalescentes tienen una alta capacidad de retener líquidos y una alta eficiencia que va desde un 99 % en partículas de 0,3 micrones hasta un 99,98 en partículas mayores a 1 micrón.

Para seleccionar el sistema de filtración adecuado para un gas seco, se basó en una investigación y búsqueda del filtro más eficiente para esa situación, y se encontró que es el filtro más competente para un gas seco que tenga arrastre de finos es el de cartucho, ya que permite una alta tasa de retención de partículas sólidas, un alto flujo de gas, además un fácil mantenimiento, lo cual hace que se reduzcan costos, ya que cuenta con una compuerta en la parte superior que permite retirar el elemento filtrante ya sea para su limpieza o recambio.

Para cualquiera de los tipos de filtro que se instalen, se debe tener en cuenta que en caso de que fallen los filtros por donde normalmente se circula el gas es necesario tener una línea de BY-PASS, dotada con los mismos sistemas de filtración que la línea principal, con el fin de evitar una parada que conllevaría a traumatismos en el servicio.

6. CONCLUSIONES

Los City Gate o puertas de ciudad son estaciones que tienen diferentes componentes con funciones específicas para asegurar que el gas natural se entregue a las redes de distribución o al consumidor industrial con las especificaciones de calidad y a las presiones adecuadas cumpliendo la normatividad, dentro de los cuales están los filtros para la remoción de líquidos y/o sólidos.

Existen cuatro (4) tipos de filtros que son los más utilizados en las estaciones City Gate los cuales se seleccionan de acuerdo a las condiciones del gas de la siguiente forma: el filtro de cartucho que se utiliza en gas seco y tiene una eficiencia del 99 % en retención de partículas mayor a 0,5 micras; el filtro ciclónico que es muy práctico y económico porque se compone de partes que no son móviles y sirve tanto para gas seco como húmedo con eficiencias de 85 % en tamaño de partículas mayor a 10 micras; el filtro coalescente es instalado cuando son gas húmedos y requiere de una eliminación de partículas líquidas mayor a 0,3 micras y por último el filtro separador que sirva para los dos tipos de corrientes y tiene eficiencias para la retención de sólidos mayor a 1 micra y de líquidos mayor a 1 de 99%.

A través de la historia el filtro de ciclón ha sido el más utilizado en norte américa, Las principales razones del amplio uso de los ciclones es que son de bajo costo a la hora de comprarlos, ya que no contiene partes móviles y se puede construir para que resista condiciones de operación muy extremas, este filtro es óptimo en situaciones en la que el gas arrastre algunas partículas sólidas y algo de condensado, de tamaños mayores a 10 micras para tener una eficiencia de más del 85 % y si son partículas mayores a 20 micras tendrá una eficiencia alta que puede llegar hasta el 99 %.

Se plantea una metodología que puede contribuir a la selección de los sistemas de filtración adecuados en las estaciones City Gate con base en los diferentes escenarios que se pueda presentar en cuanto las condiciones de calidad con que el gas llegue a las estaciones.

7. RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar un estudio de filtros para gas con tecnologías modernas e innovadoras como uso de celulosas, fibras, resinas y aplicando nanotecnología.

BIBLIOGRAFIA

ARES AUTOMATION NETWORK. Sistema de Medición de Flujo de Gases para Transferencia de Custodia. [en línea]. 2016. Disponible en Internet: <http://www.arescontrol.com/sistema-de-medicion-de-flujo-de-gas-para-transferencia-de-custodia/>

ASME. NORMA B31.8. 1999, Apartado 871. p. 95.

BALLESTEROS, C. CASALLAS, C. GRANADA, O. ORTIZ, Y. TORRADO, S. City Gates y Redes de Gas Domiciliarias. Unidades Tecnológicas de Santander. 2016. 12 p.

CÁLIDDA, GAS NATURAL DEL PERÚ. Odorización del Gas Natural. [en línea]. PDF. Estaciones reguladoras de presión del sistema de distribución_v01. 2008. Disponible en Internet: http://www2.osinerg.gob.pe/ProcReg/GasNatural/Fijacion_2008_2012/Propuesta/004.Anexo%201%20-%20Manual%20de%20Operaci%C3%B3n%20y%20Mantenimiento%20Parte%203.pdf, p.1-2.

COLOMBIA. INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN (ICONTEC). NTC 3949 (13, diciembre, 2002). GASODUCTOS. ESTACIONES DE REGULACION DE PRESION PARA LINEAS DE TRANSPORTE Y REDES DE DISTRIBUCION DE GAS COMBUSTIBLE. PDF. [en línea]. Página Oficial ICONTEC, Tienda. Bogotá D.C. 22, ENERO, 2003. Disponible en internet: <https://tienda.icontec.org/wp-content/uploads/pdfs/NTC3949.pdf>

COLOMBIA. Reglamento Único de Transporte (RUT). TOMADO DE: RESOLUCION 054 de 2017. COMPLEMENTO DE LA (CREG 071 DE 1999).

COMISIÓN REGULADORA DE ENERGÍA Y GAS. RESOLUCIÓN 054. (21, junio, 2007). Artículo 2. [en línea]. Disponible en Internet: <http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/Indice01/Resoluci%C3%B3n-2007-CREG054-2007>

COMISIÓN DE REGULACIÓN DE ENERGÍA Y GAS. Resolución CREG 071/88 [en línea]. Disponible en internet: <http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5fffb5b05256eee00709c02/216d73e5d623a9c40525785a007a6334?OpenDocument&Highlight=0,NoResolucioncreg071-99>

Documento D-017 Calidad de Transporte de Gas, Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), Especificaciones de calidad de Gas natural en el punto de entrada del sistema de transporte.

CUADROS, Juan. Diseño de una Estación Reductora de Presión (CITY GATE) de Gas Natural Procedente de Camisea. Universidad Católica de Santa María. Arequipa, Perú. 2014. 25 p.

----- Diseño de una Estación Reductora de Presión (CITY GATE) de Gas Natural Procedente de Camisea. 25 p.

----- Diseño de una Estación Reductora de Presión (CITY GATE) de Gas Natural Procedente de Camisea .115 p.

ECOPETROL. En: GAS NATURAL S.A. ESP Y FILIALES, “¿Qué es el gas natural?”. [en línea] Página Oficial. [Revisado 28 de octubre de 2018]. Disponible en internet: <http://www.gasnaturalfenosa.com.co/co/1285085318259/inicio.html>

ECOPETROL. Cadena de Valor del Gas Natural. [en línea] 22, septiembre, 2014. [Revisado: 28 de octubre de 2018]. Disponible en Internet: <https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/es/ecopetrol-web/productos-y-servicios/productos/gas-natural/Informaci%C3%B3n%20General/cadena-de-valor-del-gas-natural/procesamiento>

EDOC.SITE. City Gates y Redes de Gas Domiciliarias. [en línea]. PDF. Disponible en internet: <https://edoc.site/city-gates-y-redes-de-gas-domiciliarias--pdf-free.html>

Energy Education. Separator Cyclone. [en línea]. Disponible en internet: https://energyeducation.ca/encyclopedia/Cyclone_separator

GASCAT Industria e Comercio LTDA. Producto Termocambiador GHE-BEU. [en línea]. Cambiador de Calor GHE – BEU. [Consultado: 10, septiembre, 2018]. Disponible en Internet: <http://www.gascap.com.br/produto/76/termocambiador-ghe-beu>

Gas Natural S.A. ESP y filiales. Disponible en internet: <http://www.gasnaturalfenosa.com.co/co/1285085318259/inicio.html>

GAS PROCESSORS ASSOCIATION GAS PROCESSORS SUPLIERS ASSOCIATION. [en línea]. PDF. GPSA Engineering Data Book, FPS Version Volumes I & II, 2004. Section 1 - 26. Section 7. p. 16. Disponible en Internet: <http://www.pecofacet.com/portals/10/Documents/markets/oil-and-gas/general-products-oil-and-gas.pdf>

GASCAT. Calentador de Calor – GHE-BEU. [en línea]. Termocambiador GHE-BEU. Disponible en internet: <http://www.gascta.com.br/producto/76/termocambiador-ghe-beu>

----- Cambiador de Calor – GHE-BEU. Disponible en internet: <http://www.gascta.com.br/producto/76/termocambiador-ghe-beu>

GAZAPPARAT. Colector de Polvo Tipo Ciclón PCT. [en línea]. Disponible en internet: <https://gazapparat.ru/ochistka-gaza/filtry-gazovye/pyleulovitel-tsiklonnogo-tipa-ptst.html>

GRUPO ENERGÍA BOGOTÁ. [en línea] Bogotá D.C., Colombia. Disponible en internet: <https://www.grupoenergiabogota.com/>

IES CICLÓN - REPUESTOS INTERNACIONALES DE INGENIERIA. [en línea]. Filtración de gases – Ciclón. Disponible en Internet: <http://www.iespco.com/products/filtration/gas-filtration/cyclone>

INDISA S.A. Sistemas de Distribución y Transporte de Gas Natural. [en línea]. PDF. 2009. 4 p. Disponible en Internet: <http://indisa.com/indisaonline/anteriores/Indisa%20On%20line%2078.pdf>.

INDUFILTER. Filtros para gas natural, [en línea]. [Consultado: 22, septiembre, 2018]. PDF. Disponible en Internet: <http://www.indufilter.com/images/JOrge%20E.%20PDFS%20Filtros%20compuestos/%20F.T.11%20PARA%20GAS%20NATURAL-%20HAFW.pdf>

INOXFER ENGINYERIA I SERVEIS SL. Filtros Separadores. [en línea]. [Consultado: 20, septiembre, 2018]. Disponible en Internet: <http://www.teyco-comercial.com/filtros-separadores/>

----- Ciclones.

----- Filtros de cartucho.

----- Filtros coalescentes

INTERNACIONAL ENGINEERING SPARES. “Equipos de filtración-filtros tipo Ciclón”, [en línea] [Consultado: 20, septiembre, 2018] Disponible en: <http://www.iespco.com/products/filtration/gas-filtration/cyclone>

LUJAN P., Marlon J. Automatización e integración al sistema SCADA de una estación de gas natural para suministro a una central térmica en Chilca. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú. 2014.

ORDOÑEZ, César. Evaluación Técnico-Financiera de las diferentes Tecnologías de Tratamiento y Procesamiento en Superficie para el Acondicionamiento del Gas Natural en el Bloque Guama, Operado por PACIFIC STRATUS ENERGY. Universidad Industrial de Santander. 2014. 29 p.

----- Evaluación Técnico-Financiera de las diferentes Tecnologías de Tratamiento y Procesamiento en Superficie para el Acondicionamiento del Gas Natural en el Bloque Guama, Operado por PACIFIC STRATUS ENERGY. 31 p.

----- Evaluación Técnico-Financiera de las diferentes Tecnologías de Tratamiento y Procesamiento en Superficie para el Acondicionamiento del Gas Natural en el Bloque Guama, Operado por PACIFIC STRATUS ENERGY. 32-33 p.

----- Evaluación Técnico-Financiera de las diferentes Tecnologías de Tratamiento y Procesamiento en Superficie para el Acondicionamiento del Gas Natural en el Bloque Guama, Operado por PACIFIC STRATUS ENERGY. 47-48 p.

OSINERGMIN PRESENTACIÓN TÉCNICA. Aspectos generales de la industria del gas natural y supervisión de ductos de transporte de gas natural y líquidos del gas natural. [en línea]. PDF. Disponible en internet: <http://gasnatural.osinerg.gob.pe/contenidos/uploads/GFGN/presentacion-tecnica.pdf>.

PECO FACET A CLARCOR COMPANY. Filtración de Petróleo y Gas. [en línea]. PDF. [Consultado: 20, septiembre, 2018]. Disponible en Internet: <http://www.pecofacet.com/Portals/10/Documents/markets/oil-and-gas/general-products-oil-and-gas-Spanish.pdf>

PECO FACET, PRODUCTOS OÍL – GAS. Sistemas de filtración. [en línea]. PDF. Disponible en internet: <http://www.pecofacet.com/Portals/10/Documents/markets/oil-and-gas/general-products-oil-and-gas-Spanish.pdf>.

REGLAMENTO ÚNICO DE TRANSPORTE – RUT. Tomado de: Resolución 054 de 2007 complemento de la (Resolución CREG 071 de 1999).

SCRIBD. Estaciones de entrega – City Gates. [en línea]. [Consultado: 15, septiembre, 2018]. Disponible en Internet: <http://es.scribd.com/document/360626463/city-gate-docx>

SUÁREZ N., Alex J. Determinación de la Instrumentación Requerida para el Sistema de Medición de la Variables Presión y Caudal de Gas Natural en Cada Una de las “Casa Máquinas” de la Planta Monterrey – Casanare. 9 p.

----- Determinación de la Instrumentación Requerida para el Sistema de Medición de la Variables Presión y Caudal de Gas Natural en Cada Una de las “Casa Máquinas” de la Planta Monterrey. 29 p.

TEYCO INGENIERÍA Y SERVICIOS PARA EL GAS NATURAL, Sistemas de Filtración. [en línea]. Disponible en Internet: <http://www.teyco-comercial.com>

TORMENE ANDINA. Filtro a Cartucho. [en línea]. PDF. p. 3-4. Disponible en internet: <http://www.tormeneandina.com.pe/TAND/filtro%20a%20cartucho.pdf>

UNITE, JIANGSU UNITE FILTRATION EQUIPMENT CO., LTD. [en línea]. Disponible en Internet: <http://spanish.automaticselfcleaningfilters.com/sale-2959232-horizontal-multi-stage-separator-for-removing-tiny-dust-and-smoke.html>

UNITECNO ENGINEERING SOLUTIONS. Equipos de Filtración. Filtros Coalescentes, Filtros de gas de cartucho, filtros separadores. [en línea]. PDF. [Consultado: 20, septiembre, 2018]. Disponible en Internet: http://unitecno.es/wp-content/uploads/2015/02/Equipos-Filtracion_A4.1.pdf

----- Fabricantes de Filtros y Recipientes a Presión. [en línea]. Disponible en Internet: <https://www.unitesco.com>