

**ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA DEL SISTEMA DE FILTRACIÓN DE CONTUGAS
PARA REDUCIR EL CONTENIDO DE SÓLIDOS EN CUMPLIMIENTO DEL
DECRETO SUPREMO 040-2008 EM EN EL DEPARTAMENTO DE ICA, PERÚ**

HELI FERNANDO PADILLA VARGAS

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE PETRÓLEOS Y GAS
BUCARAMANGA**

2019

**ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA DEL SISTEMA DE FILTRACIÓN DE CONTUGAS
PARA REDUCIR EL CONTENIDO DE SÓLIDOS EN CUMPLIMIENTO DEL
DECRETO SUPREMO 040-2008 EM EN EL DEPARTAMENTO DE ICA, PERÚ**

HELI FERNANDO PADILLA VARGAS

**Trabajo de grado para optar por el título de Magíster en Ingenierías de
Petróleos y Gas**

Director

**ARISTÓBULO BEJARANO WALLENS
Magíster en Ingeniería de Petróleos y Gas**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE PETRÓLEOS Y GAS
BUCARAMANGA**

2019

*“El razonamiento puro -puro como el diamante
asaltado por un golpe de sol-
nos permite formamos
una imagen sublime de este mundo;
tal escribió Max Planck, un genio ingenuo.
¿Hay razón sin afecto, pureza sin capricho,
imagen sin temblores?
Lo curioso es que el físico, en su libro,
la primera palabra que pronuncia
no es evidencia, ley, ni hecho:
es "entusiasmo".*

Andrés Neuman

A Juanjo y Johana.

El autor manifiesta su agradecimiento a la empresa Contugas SAC, por facilitar un espacio de investigación dentro de las actividades de distribución de gas natural en el departamento de Ica, Perú.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	14
1. ANTECEDENTES	16
1.1 FILOSOFÍA DE OPERACIÓN, CONTROL Y SHUTDOWN CENTRO OPERACIONAL HUMAY	16
1.1.1 Sistema de bloqueo (TGP).....	17
1.1.2 Sistema de bloqueo del Centro Operacional.....	19
1.1.3 Sistema de filtración conformado por un filtro ciclónico y una batería de filtros separadores.	20
1.1.4 Sistema de sólidos	25
1.1.5 Sistema de condensados.....	26
1.1.6 Sistema de medición.....	26
1.1.7 Sistema de calentamiento.....	28
1.1.8 Sistema de regulación	33
1.1.9 Sistema de odorización.....	35
1.2 FILOSOFÍA DE OPERACIÓN GASODUCTO TRONCAL HUMAY- MARCONA.....	37
1.2.1 Troncal Humay – Marcona – Recibo / Envío de Raspatubos.....	39
1.3. CONDICIONES ACTUALES DE OPERACIÓN DEL GASODUCTO HUMAY-MARCONA	43
2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE FILTRACION	44
3. CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL PARTICULADO	49
3.1 MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO Y ANÁLISIS SEMICUANTITATIVO MEDIANTE EDS	53
3.2 DIFRACCIÓN DE RAYOS X (DRX).....	53
3.2.1. Principio de la técnica	53
3.3. GRANULOMETRÍA VÍA LÁSER	55

3.4. DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS	56
3.4.1. Microscopía electrónica de barrido y análisis semicuantitativo mediante EDS	56
4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	61
4.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS MEDIANTE GRANULOMETRÍA VÍA LASER	61
4.1.1 Muestra No.1	61
4.1.2 Muestra No.2.	62
4.1.3. Muestra No.3.	63
5. CONCLUSIONES	64
BIBLIOGRAFÍA.....	66

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Esquema del sistema de transporte de gas para entrega a las ciudades objeto de la concesión.	36
Figura 2. Detalle del plano P&ID del Centro Operacional Humay (proceso de filtración).	45
Figura 3. Hoja de datos filtro Ciclónico Centro Operacional Humay	47
Figura 4. Hoja de datos Filtro separador Centro Operacional Humay	48
Figura 5. Localización de los filtros separadores en el Centro operacional Humay.	50
Figura 6. Comparación del estado de los cartuchos retirados del filtro Vs un filtro nuevo. Centro operacional Humay, Julio 2018.....	51
Figura 7. Detalle del elemento filtrante (papel), de donde se tomó la segunda muestra de material particulado.....	52
Figura 8. Detalle de corrosión localizada en la malla metálica que protege el elemento filtrante, de las áreas corroídas se tomó la muestra número 3.....	52
Figura 9. Granulómetro laser mastersizer 2000.....	56
Figura 10. Muestra de microscopio electrónico de la muestra No.1	57
Figura 11. Muestra de microscopio electrónico de la muestra No.2, se aprecia la forma irregular de las partículas.....	58
Figura 12. Detalle de corrosión localizada en la malla metálica del elemento filtrante retirado.	60
Figura 13. Distribución granulométrica de la muestra No.1	62
Figura 14. Distribución granulométrica de la muestra No.2	63

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Longitudes y diámetros de gasoductos troncales y ramales del sistema de transporte de Contugas.	37
Tabla 2. Troncal Humay – Marcona y ramales	38
Tabla 3. Valores estequiométricos obtenidos del análisis EDS muestra No.1 ..	57
Tabla 4. Valores estequiométricos obtenidos del análisis EDS muestra No.2 ..	58
Tabla 5. Valores estequiométricos obtenidos del análisis EDS muestra No.3 ..	59
Tabla 6. Resultados de granulometría laser para la muestra No.1	62
Tabla 7. Resultados de granulometría laser para la muestra No.2	63

LISTA DE ANEXOS

Los anexos están adjuntos en el CD y puede visualizarlos en base de datos de la biblioteca UIS.

Anexo A Planos P&ID del Centro Operacional Humay (sistema de filtración).

Anexo B Planos P&ID del Centro Operacional Humay (sistema de calentamiento y regulación).

Anexo C Planos P&ID del Centro Operacional Humay (sistema de alivio y gas de servicios).

Anexo D Hoja de datos filtro ciclónico Centro Operacional Humay.

Anexo E Hoja de datos filtro separador Centro Operacional Humay.

RESUMEN

TITULO: ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA DEL SISTEMA DE FILTRACIÓN DE CONTUGAS PARA REDUCIR EL CONTENIDO DE SÓLIDOS EN CUMPLIMIENTO DEL DECRETO SUPREMO 040-2008 EM EN EL DEPARTAMENTO DE ICA, PERÚ*

AUTOR: HELI FERNANDO PADILLA VARGAS**

PALABRAS CLAVE: Gas Natural, Partículas, Solidos, Filtración

DESCRIPCIÓN:

Las diferencias normativas respecto del contenido máximo de partículas sólidas presentes en el gas natural, exigidas a los diferentes actores de la cadena del negocio (productor, transportador, distribuidor), ocasionan problemas de índole operativa, ambiental y económica a las empresas de distribución por red de ductos, pues es el mayor afectado por los requisitos exigidos por el reglamento de distribución de gas natural por red de ductos, emitido mediante el decreto supremo 040-2008 EM.

El alto contenido de sólidos que debe retirar la empresa de distribución ocasiona sedimentación por polvos negros y partículas inferiores al tamaño máximo exigido por norma en los gasoductos, que no retienen los sistemas de filtración existentes en las estaciones de transferencia de custodia. La empresa Contugas está obligada a efectuar actividades técnicas y operativas encaminadas a garantizar la calidad del gas exigida por la normativa sectorial vigente a los clientes y usuarios finales, sin perjuicio de las restricciones y sanciones ambientales derivadas de la limpieza de los gasoductos ante la gran magnitud de partículas sólidas presente en el sistema de distribución.

Las conclusiones de este análisis generan el espacio propicio para el ajuste de las normas técnicas que rigen la distribución de gas por red de ductos en el Perú, mejorando las condiciones operativas y de proceso a las empresas concesionarias, y disminuyendo el valor del servicio a los usuarios finales.

* Trabajo de grado

** Facultad de ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Director: Aristóbulo Bejarano Wallens Ingeniero de petróleo Msc

ABSTRACT

TITLE: ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF THE CONTUGAS FILTRATION SYSTEM TO REDUCE THE CONTENT OF SOLIDS IN COMPLIANCE WITH THE SUPREME DECREE 040-2008 EM IN THE DEPARTMENT OF ICA, PERU*

AUTHOR: HELI FERNANDO PADILLA VARGAS**

KEYWORDS: Natural Gas, Particles, Solids, Filtration

DESCRIPTION:

Regulatory differences regarding the maximum content of solid particles present in natural gas, required from the different actors in the business chain (producer, transporter, distributor), cause problems of operational, environmental and economic nature to network distribution companies of pipelines, since it is the most affected by the requirements demanded by the regulation of distribution of natural gas by pipeline network, issued by supreme decree 040-2008 EM.

The high solids content that the distribution company must remove causes sedimentation by black powders and particles smaller than the maximum size required by regulation in gas pipelines, which do not retain the filtration systems existing in custody transfer stations. The company Contugas is obliged to carry out technical and operational activities aimed at guaranteeing the quality of the gas required by current sectoral regulations for customers and end users, without prejudice to the restrictions and environmental sanctions derived from the cleanliness of gas pipelines in view of the large scale of solid particles present in the distribution system.

The conclusions of this analysis generate the favorable space for the adjustment of the technical norms that govern the distribution of gas by pipeline network in Peru, improving the operative and process conditions to the concessionaire companies, and diminishing the value of the service to the end users.

* Bachelor Thesis

** Facultad de ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Director: Aristóbulo Bejarano Wallens Ingeniero de petróleo Msc

INTRODUCCIÓN

El 30 de abril de 2008 la empresa Contugas es la adjudicataria del contrato de concesión para la distribución de gas natural por red de ductos en el departamento de Ica.

Para el año 2013 se construyen las estaciones de transferencia de custodia en la zona de Humay, Provincia de Pisco, departamento de Ica, y se procede con la instalación de dos sistemas de filtración, uno mediante el uso de filtros ciclones, cuya capacidad de retención máxima de partículas es de 10 μm , y un segundo sistema de filtración mediante sistemas de cartucho, con una capacidad máxima de retención de partículas de 5 μm . Estos sistemas de filtración iniciaron su operación en el mes de abril del año 2014.

Durante la actividad de inspección en línea de los gasoductos del sistema de distribución, ejecutada en los meses de septiembre y noviembre de 2017, se evidenció una gran cantidad de material particulado que generó inconvenientes operativos en la actividad de inspección en línea, ocasionando el frenado de las herramientas de inspección, y obligando a Contugas a ejecutar tareas operativas como lo fue la quema de gas natural para mitigar los taponamientos producto de los sólidos depositados dentro de la tubería.

La diferencia de magnitudes del número máximo de partículas sólidas entre las normas de transporte y distribución de gas natural por red de ductos en el Perú, ocasionan inconvenientes de índole operativa a las empresas distribuidoras, quienes son los obligados a ejecutar las mayores tareas de filtración de partículas sólidas. Lo anterior en virtud de la presión política de los diversos agentes presentes en la cadena del gas y el favorecimiento hacia los monopolios naturales en las actividades de producción y transporte.

En el desarrollo de este proyecto, se procedió con con la caracterización del material particulado en los elementos filtrantes de las estaciones de transferencia de custodia, a fines de establecer su origen, tamaño y propiedades, permitiendo establecer parámetros de control que le ayuden al distribuidor a afrontar cualquier incumplimiento normativo, frente a las observaciones del ente fiscalizador Osinergmin.

Otro aspecto de gran relevancia, son las condiciones actuales de operación del sistema de alta presión (gasoductos), los cuales operan al 6% de su capacidad nominal, generando aspectos técnicos y de mantenimiento muy particulares, los cuales no son usuales en el mercado de transporte de gas por red de ductos, y que requerirán estudios adicionales para construir estrategias operativas encaminadas a reducir la entrada de material particulado al sistema.

1. ANTECEDENTES

El 30 de abril de 2008, la empresa Transcogas Perú, consorcio conformado por las empresas Transportadora de Gas Internacional, y la Empresa de Energía de Bogotá, es el adjudicatario del proyecto de concesión de distribución de gas natural por red de ductos en el departamento de Ica, Perú.

El objetivo principal del proyecto de concesión, cuya duración inicial es de 30 años, es la masificación del servicio a mínimo cincuenta mil usuarios residenciales, en los primeros 6 años de operación comercial. Este objetivo de masificación debe cumplirse en las localidades de Chincha, Pisco, Ica, Nasca y San Juan de Marcona respectivamente. Para lograr dicho cometido, la empresa Transcogas Perú, hoy llamada Contugas, acomete la tarea de construir un sistema de transporte de gas desde los puntos de transferencia de custodia del transportador hacia los puntos de consumo de gas. El sistema construido cuenta con una longitud total de 289 kilómetros.

1.1 FILOSOFÍA DE OPERACIÓN, CONTROL Y SHUTDOWN CENTRO OPERACIONAL HUMAY

El control operacional de este Centro Operacional será remoto desde una estación localizada en Lima y desatendido por personal de operaciones en el sitio.

1.1.1 Sistema de bloqueo (TGP). A la entrada del Centro Operacional de Humay, se cuenta con dos válvulas de bloqueo actuadas por solenoide COHU-HV-2101 y COHU-HV-2102, las cuales aíslan el Centro Operacional de la Troncal Camisea – Lima, cuya operación será responsabilidad de TGP.

Protección:

Por situación de emergencia las válvulas (COHU-HV-2101/2102) operan en cierre automático en el evento que:

Exista una rápida pérdida de presión $\partial P/\partial t$ sobre la línea.

Se alcance el valor de baja presión de línea establecido (COHU-PAL-2101/2102).

Se tenga una alta vibración sobre la línea (COHU-VAH-2101/2102)

Las válvulas (COHU-HV-2101/2102), podrán ser operadas (apertura COHU-SVS-2101/2102 y cierre COHU-SVL-2101/2102) desde el sistema de control de TGP para las labores de mantenimiento o reparaciones programadas, sin embargo, en caso de que el cierre de la misma sea por emergencia, la apertura deberá realizarse en campo luego de que se verifique que la situación que obligó el cierre de la válvula esté controlada.

Supervisión:

Las válvulas COHU-HV-2101/2102 cuentan con las siguientes señales que van conectadas al controlador de TGP donde se encuentra ubicada la válvula.

Comando local remoto de las válvulas:	COHU-HS-2101
Estado de posición de válvula abierta:	COHU-ZSO-2101/2102
Estado de posición de válvula cerrada:	COHU-ZSC-2101/2102
Comando de apertura de válvula:	COHU-SVS-2101/2102

Comando de cierre de válvula:	COHU-SVL-2101/2102
Interruptor de baja presión del actuador de la válvula:	COHU-PSL-2101/2103
Interruptor de baja presión de la línea:	COHU-PSL-2102/2104
Interruptor de alta presión diferencial de la válvula:	COHU-PDSH-2101/2102
Interruptor de vibración:	COHU-VSH-2101/2102

Comando de cierre de válvula por rotura de línea $\partial P/\partial t$

Indicador de falla de caja de control de la válvula:	COHU-XS-2101/2103
Indicador de falla de bomba manual de la válvula:	COHU-XS-2102/2104

En el controlador de TGP se dispone de la indicación del estado de la válvula, el estado de los comandos y las alarmas de baja presión del actuador de la válvula (COHU-PAL-2101/2103), baja presión en la línea (COHU-PAL-2102/2104), alta presión diferencial de la válvula (COHU-PDAH-2101/2102) y de alta vibración (COHU-VAH-2101/2102).

Las señales de indicación del estado de la válvula (COHU-ZIO-2101/2102 y COHU-ZIC-2101/2102), serán llevadas al DCS del Centro Operacional para su supervisión.

Aguas abajo de las válvulas COHU-HV-2101/2102 se tiene un indicador / transmisor de presión (COHU-PIT-2101/2102) y un indicador/transmisor de temperatura (COHU-TIT-2101/2102) conectados al controlador de TGP en donde se visualiza la presión y la temperatura de entrada del gas proveniente de la Troncal Camisea – Lima.

Adicionalmente, sobre el cabezal común de derivación del gas al Centro Operacional, se cuenta con un indicador / transmisor presión (COHU-PIT-2103) conectado al DCS del Centro Operacional para la supervisión de la presión del gas en el punto de derivación (COHU-PI-2103).

1.1.2 Sistema de bloqueo del Centro Operacional. A la entrada del Centro Operacional se tiene la válvula de cierre de emergencia (shut down) actuada por solenoide COHU-ESDV-2101, la cual aísla el Centro Operacional del gasoducto Camisea – Lima en caso de que se presente una situación de emergencia en el Centro Operacional, o la presión se encuentre por debajo de la presión mínima operativa establecida.

Supervisión:

La válvula COHU-ESDV-2101 cuenta localmente con:

Indicación de válvula abierta: COHU-ZSO-2103

Indicación de válvula cerrada: COHU-ZSC-2103

Estas indicaciones se enviarán al sistema ESD del cuarto de control del Centro Operacional donde se dispone de la indicación del estado de las mismas (COHU-ZIO-2103 y COHU-ZIC-2103).

Control:

Aguas abajo de esta válvula shut down se tiene dos indicadores / transmisores de presión (COHU-PIT-2104/2105) que envían una señal al ESD del cuarto de control donde se visualiza la presión en el cabezal de entrada al Centro Operacional (COHU-PI-2104/2105), se consideran dos transmisores para asegurar que el cierre de la válvula no se deba a un falso reporte del medidor.

Cuando la presión alcance un valor bajo de presión establecido, el ESD genera una alarma por baja presión en la línea (COHU-PAL-2104/2105), si la presión continúa bajando hasta un valor de presión bajo-bajo establecido, el ESD genera una alarma por baja-baja presión en la línea (COHU-PALL-2104/2105).

Las alarmas de baja - baja presión (COHU-PALL-2104/2105) en el cabezal, generadas por el ESD del cuarto de control, serán una señal de entrada al interlock I, el cual envía una señal al solenoide COHU-SV-2101 para el cierre de la válvula de shut down COHU-ESDV-2101, que aísla el Centro Operacional del gasoducto.

Igualmente, el cabezal de entrada de gas natural al Centro Operacional, cuenta con un elemento de temperatura / indicador / transmisor (COHU-TE/TIT- 2103) que envía una señal al DCS del cuarto de control donde se visualiza la temperatura de entrada del gas al Centro Operacional (COHU-TI-2103).

1.1.3 Sistema de filtración. Con el propósito de retirar las arenas, sedimentos y polvos ferrosos que pueda contener el gas natural del gasoducto de Camisea – Lima, se cuenta con un sistema de filtración conformado por un filtro ciclónico y una batería de filtros separadores.

El filtro ciclónico (COHU-FC-201), será el encargado de la retención de las partículas presentes en el gas natural con diámetro mayor a 5 micras y posee un sistema automático con la tecnología adecuada para el retiro de los sólidos recolectados en el filtro, los cuales se conducirán al tambor de sólidos (COHU-DR-201).

1.1.3.1 Filtro ciclónico: El filtro ciclónico (COHU-FC-201) como unidad paquete cuenta con un controlador independiente en el que se encuentra la estrategia de control del mismo para su correcto funcionamiento.

El sistema de control del centro operacional deberá recibir las señales de supervisión del controlador del filtro ciclónico las cuales deberán ser tenidas en cuenta para la configuración del sistema.

Entre la instrumentación mínima requerida por el filtro ciclónico para su correcta operación se tendrá con:

Supervisión:

Un indicador local de presión, COHU-PI-2201 para el monitoreo local de la presión del filtro.

Control:

Para el retiro automático de los sólidos se consideran dos interruptores de nivel COHU-LSH-2201 (para alto nivel) y el COHU-LSL-2201 (para bajo nivel), los cuales están conectados al controlador COHU-LIC-2201 el cual envía una señal al solenoide COHU-SV-2201 para la apertura / cierre de la válvula de control de nivel COHU-LV-2201.

Protección:

El filtro ciclónico cuenta con la válvula de alivio térmico (COHU-TRV-2201), la cual alivia el gas hacia el cabezal de recibo de alivios térmicos, cuando se alcance la presión de ajuste (set point) de la válvula como consecuencia de una expansión térmica del gas.

1.1.3.2 Filtro Separador: La batería de filtros separadores (COHU-FS-201/202), está conformada por dos filtros horizontales de cartucho, los cuales operarán uno como respaldo del otro. Teniendo en cuenta que el Centro Operacional será desatendido, a la entrada de cada filtro separador se contará con una válvula de pistón actuada por solenoide (COHU-HV-2201 a la entrada del filtro COHU-FS-201 y COHU-HV-2202 a la entrada del filtro COHU-FS-202) con las cuales se selecciona el filtro separador que estará en operación.

Filtro Separador COHU-FS-201

Entre la instrumentación mínima requerida para la correcta operación del filtro separador COHU-FS-201, se tiene:

Supervisión:

Un medidor/ indicador/ transmisor de presión diferencial (COHU-PDIT-2201) que envía una señal al DCS del cuarto de control, donde se dispone de la indicación de la caída de presión a través del filtro (COHU-PDI-2201); cuando la caída de presión alcance el valor establecido, el DCS del cuarto de control genera una alarma por alta caída de presión (COHU-PDAH-2201), para el reemplazo de los cartuchos del filtro.

Adicionalmente, el equipo cuenta con un medidor/ indicador/ transmisor de presión (COHU-PIT-2202) que envía una señal al DCS del cuarto de control, donde se dispone de la indicación de la presión de operación del filtro (COHU-PI-2202), en caso de que la presión en el interior del filtro alcance el valor de baja presión predeterminado, el DCS generará una alarma de baja presión en el filtro (COHU-PAL-2202) y enviará una señal a la solenoide COHU-SV-2202 para que cierre la válvula de entrada al filtro COHU-HV-2201.

La válvula COHU-HV-2201 cuenta localmente con:

Indicación de válvula abierta: COHU-ZSO-2201

Indicación de válvula cerrada: COHU-ZSC-2201

Para la supervisión local de nivel de condensados en el filtro se cuenta con un visor de nivel por cada cámara del filtro (COHU-LG-2201/2202).

Control:

Para el control de nivel de líquido recolectado en el filtro separador, para cada una de las cámaras del filtro se cuenta con un interruptor por alto y bajo nivel (COHU-

LSHL-2201/2202) conectados a los controladores (COHU-LIC-2202/2203), en el momento que se alcanza el valor de alto nivel en el interruptor, el controlador envía el comando a la solenoide correspondiente (COHU-SV-2203/2204) para la apertura de las válvulas (COHU-LV-2202/2203), en el momento en que se alcanza el valor de bajo nivel en el interruptor, el controlador envía el comando a la solenoide para el cierre de la válvula.

Protección:

Con el propósito de evitar la pérdida del sello de líquido en el separador que permita el pase de gas al tambor de condensados, sobre las cámaras de recolección de líquidos del filtro, se tienen interruptores de bajo-bajo nivel (COHU-LSLL-2201/2202) conectados al DCS del Centro Operacional; en caso de activarse cualquiera de los dos interruptores de bajo-bajo nivel, el controlador genera una señal a la solenoide (COHU-SV-2205) para el cierre de la válvula de emergencia de filtro (COHU-ESDV-2201).

El filtro separador cuenta con una válvula de alivio térmico (COHU-TRV-2202), la cual alivia el gas hacia el cabezal de recibo de alivios térmicos, cuando se alcance la presión de ajuste (set point) de la válvula como consecuencia de una expansión térmica del gas.

Filtro Separador COHU-FS-202

De la misma forma, entre la instrumentación mínima requerida para la correcta operación del filtro separador COHU-FS-202, se tiene:

Supervisión:

Un medidor/ indicador/ transmisor de presión diferencial (COHU-PDIT-2202) que envía una señal al DCS del cuarto de control, donde se dispone de la indicación de la caída de presión a través del filtro (COHU-PDI-2202); cuando la caída de presión alcance el valor establecido, el DCS del cuarto de control genera una alarma por

alta caída de presión (COHU-PDAH-2202), para el reemplazo de los cartuchos del filtro.

Adicionalmente, el equipo cuenta con un medidor/ indicador/ transmisor de presión (COHU-PIT-2203) que envía una señal al DCS del cuarto de control, donde se dispone de la indicación de la presión de operación del filtro (COHU-PI-2203), en caso de que la presión en el interior del filtro alcance el valor de baja presión predeterminado, el DCS generará una alarma de baja presión en el filtro (COHU-PAL-2203) y enviará una señal a la solenoide COHU-SV-2206 para que cierre la válvula de entrada al filtro COHU-HV-2202.

La válvula COHU-HV-2202 cuenta localmente con:

Indicación de válvula abierta: COHU-ZSO-2202

Indicación de válvula cerrada: COHU-ZSC-2202

Para la supervisión local de nivel de condensados en el filtro se cuenta con un visor de nivel por cada cámara del filtro (COHU-LG-2203/2204).

Control:

Para el control de nivel de líquido recolectado en el filtro separador, para cada una de las cámaras del filtro se cuenta con un interruptor por alto y bajo nivel (COHU-LSHL-2203/2204) conectados a los controladores (COHU-LIC-2204/2205), en el momento que se alcanza el valor de alto nivel en el interruptor, el controlador envía el comando a la solenoide correspondiente (COHU-SV-2207/2208) para la apertura de las válvulas (COHU-LV-2204/2205), en el momento en que se alcanza el valor de bajo nivel en el interruptor, el controlador envía el comando a la solenoide para el cierre de la válvula.

Protección:

Con el propósito de evitar la pérdida del sello de líquido en el separador que permita el pase de gas al tambor de condensados, sobre las cámaras de recolección de líquidos del filtro, se tienen interruptores de bajo-bajo nivel (COHU-LSLL-2203/2204) conectados al DCS del Centro Operacional; en caso de activarse cualquiera de los dos interruptores de bajo-bajo nivel, el controlador genera una señal a la solenoide (COHU-SV-2209) para el cierre de la válvula de emergencia del filtro (COHU-ESDV-2202).

El filtro separador cuenta con una válvula de alivio térmico (COHU-TRV-2203), la cual alivia el gas hacia el cabezal de recibo de alivios térmicos, cuando se alcance la presión de ajuste (set point) de la válvula como consecuencia de una expansión térmica del gas.

Supervisión del sistema de filtración

Aguas abajo de los filtros separadores se tiene un indicador / transmisor de presión (COHU-PIT-2204) que envía una señal al DCS del cuarto de control donde se visualiza la presión del gas a la salida del sistema de filtración (COHU-PI-2204) y un medidor de contenido de sólidos presentes en el gas (COHU-AT-2201) que envía una señal al DCS del cuarto de control donde se visualiza el contenido de sólidos en el gas a la salida del sistema de filtración.

1.1.4 Sistema de sólidos. Los residuos sólidos retenidos por el filtro ciclónico son enviados al tambor de sólidos COHU-DR-201, el cual posee la siguiente instrumentación para su correcta operación.

Supervisión:

En el tambor de sólidos (COHU-DR-201), se instala un medidor / transmisor de nivel tipo radar COHU-LIT-2701, el cual envía una señal al DCS del cuarto de control, donde se dispone de la indicación del nivel del tanque (COHU-LI-2701), en caso de

que el nivel alcance el porcentaje del nivel total del tanque establecido para la programación de la desocupación del mismo, el DCS genera la alarma por alto nivel COHU-LAH-2701.

1.1.5 Sistema de condensados. Los condensados retenidos en los filtros separadores COHU-FS-201/202, se conducirán al tambor de condensados COHU-DR-501, con la siguiente instrumentación.

Supervisión:

En el tambor de condensados (COHU-DR-501), se instala un medidor / transmisor de nivel COHU-LIT-5701, el cual envía una señal al DCS del cuarto de control, donde se dispone de la indicación del nivel del tanque (COHU-LI-5701), en caso de que el nivel alcance el porcentaje del nivel total del tanque establecido para la programación de la desocupación del mismo, el DCS genera la alarma por alto nivel COHU-LAH-5701.

Protección

Debido a la posible presencia de hidrocarburos livianos condensables en el gas natural, este tambor de recolección de condensados dispone de una válvula de presión y vacío COHU-PVV-5701.

1.1.6 Sistema de medición. La unidad de medición (COHU-UM-201) será la encargada de la fiscalización de la transferencia de custodia entre el Transportista TGP y el concesionario de la distribución Contugas. Básicamente está conformada por dos brazos gemelos de medición, uno como respaldo del otro.

Supervisión:

El brazo No. 1 de medición funcionalmente contará con una válvula de pistón actuada por solenoide (COHU-HV-2301) la cual permite seleccionar el brazo para la operación. La válvula COHU-HV-2301 cuenta localmente con:

Indicación de válvula abierta: COHU-ZSO-2301

Indicación de válvula cerrada: COHU-ZSC-2301

Un medidor / indicador / transmisor de flujo tipo ultrasónico (COHU-FIT-2301), un indicador / transmisor de presión (COHU-PIT-2301), un indicador local de presión (COHU-PI-2302) y un elemento de temperatura / transmisor (COHU-TE/TT-2301); las señales del transmisor de flujo, del transmisor de presión, del medidor /transmisor de temperatura y la señal del cromatógrafo (COHU-AT-2301) ubicado aguas abajo de la unidad de medición, se conectarán al computador de flujo (COHU-FQIC-2301), que enviará por comunicaciones la indicación de flujo compensado (COHU-FI-2301), la indicación de presión (COHU-PI-2301) y de temperatura (COHU-TI-2301) al DCS del cuarto de control.

Paralelamente, el brazo No. 2 de medición funcionalmente contará con una válvula de pistón actuada por solenoide (COHU-HV-2302) la cual permite seleccionar el brazo para la operación. La válvula COHU-HV-2302 cuenta localmente con:

Indicación de válvula abierta: COHU-ZSO-2302

Indicación de válvula cerrada: COHU-ZSC-2302

Un medidor / indicador / transmisor de flujo tipo ultrasónico (COHU-FIT-2302), un indicador / transmisor de presión (COHU-PIT-2303), un indicador local de presión (COHU-PI-2304) y un elemento de temperatura / transmisor (COHU-TE/TT-2302); las señales del transmisor de flujo, del transmisor de presión, del medidor /transmisor de temperatura y la señal del cromatógrafo (COHU-AT-2301) ubicado aguas abajo de la unidad de medición, se conectarán al computador de flujo (COHU-FQIC-2301), que enviará por comunicaciones la indicación de flujo compensado (COHU-FI-2302), la indicación de presión (COHU-PI-2303) y de temperatura (COHU-TI-2302) al DCS del cuarto de control.

Adicionalmente, la unidad de medición (COHU-UM-201) contará con facilidad tipo “Z” para la calibración relativa entre los brazos de medición.

Aguas abajo de la unidad de medición se tienen los siguientes analizadores:

Un (1) cromatógrafo (COHU-AT-2301 GC)

Un (1) analizador de humedad (COHU-AT-2301 Dew Point)

Un (1) analizador de H₂S (COHU-AT-2301 H₂S)

Las indicaciones de las variables medidas se enviarán al DCS del cuarto de control del Centro Operacional.

1.1.7 Sistema de calentamiento. Aguas abajo de la batería de filtros separadores se dispondrá de un sistema de calentamiento indirecto con baño de agua, el cual incrementará la temperatura del gas natural con el propósito de evitar la formación de hidratos en la red de distribución debido al efecto Joule – Thompson, en el cual la temperatura disminuye al expandir el gas en el sistema de regulación. El sistema está integrado por tres calentadores indirectos (COHU-CL-201/202/203), los cuales se encuentran dos en operación y uno como respaldo.

Cada calentador está diseñado para el 50% del duty requerido en el consumo pico, es decir, cada calentador está diseñado para una transferencia de calor de 12,95 MMBTU/h para calentar el gas natural desde 11,5°C hasta 38°C.

El calentador indirecto consiste básicamente de un recipiente atmosférico de agua, un tubo de fuego interno alimentado con gas natural y un serpentín por el cual circula el gas natural a calentar inmerso en el baño de agua, calentada por contacto directo con el tubo de fuego.

Cada calentador de agua y su sistema de gas combustible (COHU-CL-201/202/203) como unidad paquete cuenta con un controlador independiente en el que se encuentra la estrategia de control del mismo para su correcto funcionamiento.

Teniendo en cuenta que el Centro Operacional será desatendido, a la entrada de cada calentador se contará con una válvula de pistón actuada por solenoide, COHU-HV-2401 a la entrada del calentador HU-CL-201, COHU-HV-2402 a la entrada del calentador HU-CL-202 y COHU-HV-2403 a la entrada del calentador COHU-CL-2403, con las cuales se seleccionan los calentadores que estarán operación.

Para el caso en que no se requiera realizar el calentamiento del gas natural (verano), se dispone de un by – pass del sistema de calentamiento provisto de una válvula de pistón actuada por solenoide (COHU-HV-2404).

Las válvulas COHU-HV-2401/2402/2403/2404 cuentan localmente con:

Indicación de válvula abierta: COHU-ZSO-2401/2402/0403/2404

Indicación de válvula cerrada: COHU-ZSC-2401/2402/0403/2404

El sistema de control del Centro Operacional deberá recibir las señales de supervisión de los controladores de los calentadores las cuales deberán ser tenidas en cuenta para la configuración del sistema y como mínimo se debe contar con la siguiente información.

Calentador COHU-CL-201

Entre la instrumentación mínima requerida para la correcta operación del calentador COHU-CL-201, se tiene:

Control:

El sistema de gas combustible del calentador, regula la cantidad de gas a quemar en el tubo de fuego para el calentamiento del baño de agua; la regulación del flujo de gas combustible se realiza con base en:

La temperatura del baño de agua del calentador, medida a través del medidor / transmisor (COHU-TT/TE-2401), conectado al controlador (COHU-TIC-2401), el cual genera las alarmas de alta temperatura (COHU-TAH-2401) y baja temperatura (COHU-TAL-2401) (con reporte al controlador del Centro Operacional).

La temperatura del gas natural efluente de los calentadores, medida aguas abajo del cuadro de regulación (COHU-TE/TIT-3401), es llevada al controlador COHU-TIC-3401 que envía una señal al controlador del calentador cuando está en operación. En caso de que la temperatura del gas aguas abajo de la regulación sea menor que la establecida, el controlador del Centro Operacional genera una alarma por baja temperatura en el gas (COHU-TAL-3401).

Supervisión:

El calentador de agua, dispondrá del transmisor de nivel (COHU-LT-2401) para supervisión del nivel del agua, con alarmas de alto (COHU-LAH-2401) y bajo nivel (COHU-LAL-2401).

Protección:

El calentador cuenta con una válvula de alivio térmico (COHU-TRV-2401), conectada en el serpentín del gas a calentar, la cual alivia el gas hacia el cabezal de recibo de alivios térmicos, cuando se alcance la presión de ajuste (set point) de la válvula como consecuencia de una expansión térmica del gas.

Calentador COHU-CL-202

Entre la instrumentación mínima requerida para la correcta operación del calentador COHU-CL-202, se tiene:

Control:

El sistema de gas combustible del calentador, regula la cantidad de gas a quemar en el tubo de fuego para el calentamiento del baño de agua; la regulación del flujo de gas combustible se realiza con base en:

La temperatura del baño de agua del calentador, medida a través del medidor / transmisor (COHU-TT/TE-2402), conectado al controlador

(COHU-TIC-2402), el cual genera las alarmas de alta temperatura (COHU-TAH-2402) y baja temperatura (COHU-TAL-2402) (con reporte al controlador del Centro Operacional).

La temperatura del gas natural efluente de los calentadores, medida aguas abajo del cuadro de regulación (COHU-TE/TIT-3401), es llevada al controlador COHU-TIC-3401 que envía una señal al controlador del calentador cuando está en operación. En caso de que la temperatura del gas aguas abajo de la regulación sea menor que la establecida, el controlador del Centro Operacional genera una alarma por baja temperatura en el gas (COHU-TAL-3401).

Supervisión:

El calentador de agua, dispondrá del transmisor de nivel (COHU-LT-2402) para supervisión del nivel del agua, con alarmas de alto (COHU-LAH-2402) y bajo nivel (COHU-LAL-2402).

Protección:

El calentador cuenta con una válvula de alivio térmico (COHU-TRV-2402), conectada en el serpentín del gas a calentar, la cual alivia el gas hacia el cabezal de recibo de alivios térmicos, cuando se alcance la presión de ajuste (set point) de la válvula como consecuencia de una expansión térmica del gas.

Calentador COHU-CL-203

Entre la instrumentación mínima requerida para la correcta operación del calentador COHU-CL-203, se tiene:

Control:

El sistema de gas combustible del calentador, regula la cantidad de gas a quemar en el tubo de fuego para el calentamiento del baño de agua; la regulación del flujo de gas combustible se realiza con base en:

La temperatura del baño de agua del calentador, medida a través del medidor / transmisor (COHU-TT/TE-2403), conectado al controlador (COHU-TIC-2403), el cual genera las alarmas de alta temperatura (COHU-TAH-2403) y baja temperatura (COHU-TAL-2403) (con reporte al controlador del Centro Operacional).

La temperatura del gas natural efluente de los calentadores, medida aguas abajo del cuadro de regulación (COHU-TE/TIT-3401), es llevada al controlador COHU-TIC-3401 que envía una señal al controlador del calentador cuando está en operación. En caso de que la temperatura del gas aguas abajo de la regulación sea menor que la establecida, el controlador del Centro Operacional genera una alarma por baja temperatura en el gas (COHU-TAL-3401).

Supervisión:

El calentador de agua, dispondrá del transmisor de nivel (COHU-LT-2403) para supervisión del nivel del agua, con alarmas de alto (COHU-LAH-2403) y bajo nivel (COHU-LAL-2403).

Protección:

El calentador cuenta con una válvula de alivio térmico (COHU-TRV-2403), conectada en el serpentín del gas a calentar, la cual alivia el gas hacia el cabezal de recibo de alivios térmicos, cuando se alcance la presión de ajuste (set point) de la válvula como consecuencia de una expansión térmica del gas.

1.1.8 Sistema de regulación. El sistema de regulación, está conformado por dos brazos paralelos de regulación, que operan uno como respaldo del otro para poder realizar las labores de mantenimiento y así garantizar la operación continua del sistema durante las 24 horas diarias.

En el brazo principal se tiene la válvula COHU-PV-2501 y en el brazo de respaldo se tiene la válvula COHU-PV-2502. Debido al amplio rango operativo, en el brazo principal, se tiene una segunda válvula reguladora COHU-PV-2503, diseñada para bajo flujo (20% de la capacidad del Centro Operacional).

Control:

Aguas abajo del cuadro de regulación, se tiene un indicador / transmisor de presión (COHU-PIT-3501), conectado al controlador (COHU-PIC-3501) el cual envía la señal a las válvulas reguladoras de presión COHU-PV-2501 o COHU-PV-2502 o COHU-PV-2503 de acuerdo a los requerimientos de presión en las troncales de Humay – Marcona y Humay – Pisco.

La válvula COHU-PV-2501 y COHU-PV-2503, se especifican como válvulas de servicio severo y la válvula de respaldo COHU-PV-2502 será especificada como una válvula normal.

La válvula (COHU-PV-2502) operará normalmente para la regulación de presión de la línea, en el caso en que se presente falla de la válvula principal (COHU-PV-2501) por alguno de los siguientes eventos:

Reporte de falla por auto diagnóstico HART de la Válvula.

Reporte de falla por señal de corriente 4-20mA fuera de rango, inferior a 4mA ó superior a 20mA.

Reporte de falla por saturación del lazo de control

El controlador envía la señal de control a la válvula de respaldo (COHU-PV-2502), para la regulación de presión sobre la línea y se genera una alarma en el sistema de control del Centro Operacional para que el operador realice el procedimiento de verificación de la falla y manualmente restablezca la operación normal del lazo, condición en la cual vuelva a operar la válvula principal.

El controlador del Centro Operacional genera alarma si el indicador / transmisor de presión (COHU-PIT-3501), alcanza un valor de presión alto-alto (COHU-PAHH-3501), alto (COHU-PAH-3501) ó bajo (COHU-PAL-3501).

Cuando se genere alarma por baja presión en el indicador/transmisor de presión (COHU-PIT-3501) se debe verificar si la baja presión se debe a un suministro de gas a baja presión desde el gasoducto de Camisea – Lima. Para la verificación se tendrá una medición de la presión a la entrada del cuadro de regulación, a través del medidor/transmisor COHU-PIT-2501.

Protección:

Cada brazo de regulación de presión, principal y respaldo, cuenta con una válvula tipo slam shut (COHU-ESDV-2501/2502), para el cierre de emergencia en caso que la válvula PV correspondiente no regule y la presión aguas abajo alcance un valor alto de presión establecido, condición en la que se cierra el brazo, impidiendo el daño a la línea y a los equipos por sobrepresión.

El valor de presión para el cierre de cada una de las válvulas slam shut debe establecerse de manera que no haya incertidumbre en el cierre por emergencia entre los dos brazos.

Las válvulas slam shut (COHU-ESDV-2501/2502), ubicadas sobre el brazo principal y respaldo de regulación respectivamente, cuentan con:

Indicación de válvula abierta: (COHU-ZSO-2501/2502)

Indicación de válvula cerrada: (COHU-ZSC-2501/2502)

1.1.9 Sistema de odorización. Aguas abajo del sistema de regulación, se instalará un sistema de odorización (COHU-SO-301) con capacidad para odorizar mínimo 300 MMSCFD, con el objetivo de darle un olor característico al gas para que sea detectado fácilmente en caso de fugas.

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 las personas/ animales, ni debe 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.

El sistema de odorización operará de forma automática proporcional al flujo de gas instantáneo que circula a través de la línea de gas. Para esto, de la unidad de medición de flujo COHU-UM-201, se enviará la señal de la medición de flujo compensado al controlador COHU-FIC-2301, el cual a su vez enviará la señal al sistema de odorización COHU-SO-301.

Figura 1. Esquema del sistema de transporte de gas para entrega a las ciudades objeto de la concesión.



Fuente, OSINERGMIN. Esquema del sistema de transporte de gas

Tabla 1. Longitudes y diámetros de gasoductos troncales y ramales del sistema de transporte de Contugas.

RED CONSTRUIDA	CARACTERÍSTICAS		AÑO
	LONGITUD (m)	DIÁMETRO	
Gasoducto Humay - Pisco	36.392,95	14"	2013
Gasoducto Humay-Ica	44.785,00	20"	2013
Gasoducto Ica-Marcona	155.215,25	20"	2014
Gasoducto ramal Ica	6.297,00	6"	2013
Gasoducto ramal Nasca	46.317,00	6"	2014
Total	289.007,20		

Fuente, CONTUGAS, gerencia de operaciones.

1.2 FILOSOFÍA DE OPERACIÓN GASODUCTO TRONCAL HUMAY-MARCONA

Este sistema de transporte de gas, inicia su etapa de operación comercial a partir del 30 de abril de 2014. A partir de esta fecha se inician los registros de las actividades de operación y mantenimiento encaminadas a proteger la infraestructura construida.

La troncal Humay – Marcona provee el gas natural a los City Gates de las provincias de Ica, Nasca y Marcona. Teniendo en cuenta la longitud de la troncal, sobre ésta se disponen de facilidades de seccionamiento, en caso de que se presente una situación de emergencia en la troncal o se programen labores de mantenimiento o reparaciones que impliquen sacar la línea de servicio, estaciones de derivación a los distintos City Gates y estaciones de envío y recibo de raspatubos, estos últimos utilizados para la inspección y limpieza de la troncal.

Tabla 2. Troncal Humay – Marcona y ramales.

UBICACIÓN		TAG	EQUIPO
Centro Operacional Humay	K0+000	TEHM000-TE-301	Trampa de envío de raspatubos (Troncal Humay – Marcona)
Troncal Humay - Marcona	K21+890	VLHM021-ESDV-3101	Válvula de Línea Troncal
Troncal Humay – Marcona Estación de Seccionamiento y Derivación a Ica	K44+427	VLHM044-ESDV-3101	Válvula de Línea Troncal
		VDHMIC-ESDV-3101	Válvula de Derivación Ramal Ica
		TERI-TE-301	Trampa de envío de raspatubos (Ramal Ica)
City Gate Ica	K6+297	TRRI-TE-301	Trampa de recibo de raspatubos (Ramal Ica)
Troncal Humay - Marcona	K66+240	VLHM066-ESDV-3101	Válvula de Línea Troncal
Troncal Humay - Marcona	K89+300	VLHM089-ESDV-3101	Válvula de Línea Troncal
Troncal Humay – Marcona Estación de seccionamiento y recibo/envío de raspatubos	K114+400	TRHM114-TR-301	Trampa de recibo de raspatubos (Troncal)
		VLHM114-ESDV-3101	Válvula de Línea Troncal
		TEHM114-TE-301	Trampa de envío de raspatubos (Troncal)
Troncal Humay - Marcona	K141+300	VLHM141-ESDV-3101	Válvula de Línea Troncal
Troncal Humay - Marcona	K156+025	VLHM156-ESDV-3101	Válvula de Línea Troncal
Troncal Humay - Marcona	K171+325	VLHM171-ESDV-3101	Válvula de Línea Troncal
Troncal Humay – Marcona Estación de seccionamiento y derivación a Nasca	K194+120	VLHM194-ESDV-3101	Válvula de Línea Troncal
		VDHMNA-ESDV-3101	Válvula de Derivación Ramal Nasca
		TERN-TE-301	Trampa de envío de raspatubos (Ramal Nasca)
Ramal a Nasca	K23+400 (Nota 1)	VLRN023-ESDV-3101	Válvula de Línea
Ramal a Nasca	K34+600 (Nota 1)	VLRN034-ESDV-3101	Válvula de Línea
City Gate Nasca	K46+009 (Nota 1)	TRRN-TR-301	Trampa de recibo de raspatubos (Ramal Nasca)

Fuente, CONTUGAS, gerencia de operaciones.

1.2.1 Troncal Humay – Marcona – Recibo / Envío de Raspatubos. Con el propósito de limpiar e inspeccionar la troncal Humay – Marcona, se dispone de una trampa de envío de raspatubos ubicada en el Centro Operacional Humay, una estación de seccionamiento y recibo / envío de raspatubos en el kilómetro 114 de la troncal y una trampa de recibo en el Centro Operacional Marcona.

1.2.1.1 Trampa de Envío – Centro Operacional Humay: La trampa de envío de raspatubos TEHP000-TE-301 ubicada en el Centro Operacional Humay, dispone de un indicador local de presión TEHP000-PI-3701 y una válvula de alivio TEHP000-TRV-3701, aguas abajo de la trampa se tiene un indicador / transmisor de paso de raspatubo TEHP000-XIS-370, la señal del transmisor de raspatubo se envía al DCS del cuarto de control del centro operacional Humay, donde se dispone de la indicación de la variable medida (TEHM000-XI-3701), con el propósito de alinear nuevamente la troncal a su condición de operación.

A la salida del Centro Operacional Humay se dispone de la trampa de envío de raspatubos TEHM000-TE-301, la cual se utiliza para la limpieza del primer tramo de la troncal, cuenta con un indicador local de presión TEHM000-PI-3701 y una válvula de alivio TEHM000-TRV-3701; aguas abajo de la trampa se tiene un indicador / transmisor de paso de raspatubo TEHM000-XIS-3701, la señal del transmisor de raspatubo se envía una señal al DCS del cuarto de control del Centro Operacional Humay, donde se dispone de la indicación de la variable medida (TEHM000-XI-3701), con el propósito de alinear nuevamente la troncal a su condición de operación.

1.2.1.2 Inter-Trampas: En el kilómetro 114 de la troncal, se tiene la trampa de recibo TRHM114-TR-301 para el raspatubo que se envía desde el Centro Operacional Humay y la trampa de envío de raspatubos TEHM114-TE-301, la cual se utiliza para la limpieza del segundo tramo de la troncal. Adicionalmente en el inter-trampas se tiene la válvula de seccionamiento VLHM114-ESDV-3101, la cual permite aislar un

tramo de la troncal en caso de que se presente una situación de emergencia en la troncal o se programen labores de mantenimiento o reparaciones que impliquen sacar el tramo seccionado de servicio.

La trampa de recibo de raspatubos TRHM114-TR-301, la cual se utiliza para la limpieza del primer tramo de la troncal, cuenta con un indicador local de presión TRHM114-PI-3701 y una válvula de alivio TRHM114-TRV-3701; aguas arriba de la trampa se tiene un indicador / transmisor de paso de raspatubo TERM114-XIS-3701, la señal del transmisor de raspatubo se envía una señal a la RTU ubicada en campo, donde se dispone de la indicación de la variable medida (TRHM114-XI-3701), con el propósito de alinear nuevamente la troncal a su condición de operación y retirar el raspatubo.

Con el propósito de retirar los residuos arrastrados por el raspatubos, aguas abajo de la trampa de recibo TRHM114-TR-301, se dejarán facilidades para la conexión de un equipo de retiro de sólidos.

La trampa de envío de raspatubos TEHM114-TE-301, la cual se utiliza para la limpieza del primer tramo de la troncal, cuenta con un indicador local de presión TEHM114-PI-3701 y una válvula de alivio TEHM114-TRV-3701; aguas abajo de la trampa se tiene un indicador / transmisor de paso de raspatubo TEHM114-XIS-3701, la señal del transmisor de raspatubo se envía a la RTU ubicada en campo, donde se dispone de la indicación de la variable medida (TEHM114-XI-3701), con el propósito de alinear nuevamente la troncal a su condición de operación.

Sobre el inter-trampas de la troncal Humay – Marcona, se tiene la válvula autónoma de cierre de emergencia (shut down) VLHM114-ESDV-3101, la cual secciona la troncal en el kilómetro 114, en caso de que se presente una situación de emergencia en la troncal o se programen labores de mantenimiento o reparaciones que impliquen sacar el tramo seccionado de servicio.

Protección:

Por situación de emergencia la válvula de shut down (VLHM114-ESDV-3101) opera en cierre automático en el evento que:

- Exista una rápida pérdida de presión $\partial P/\partial t$ sobre la línea.
- Se alcance el valor de baja presión de línea establecido (VLHM114-PAL-3101).
- Se tenga una alta vibración sobre la línea (VLHM114-VAH-3101)

La válvula de shut down (VLHM114-ESDV-3101), podrá ser operada (apertura VLHM114-SVS-3101/ cierre VLHM114-SVL-3101) desde el cuarto de control para las labores de mantenimiento o reparaciones programadas, sin embargo, en caso de que el cierre de la misma sea por emergencia, la apertura deberá realizarse en campo luego de que se verifique que la situación que obligó el cierre de la válvula esté controlada.

Supervisión:

La válvula VL HM114-ESDV-3101 cuenta con las siguientes señales:

Comando local / remoto de la válvula: VLHM114-HS-3101

Estado de posición de válvula abierta: VLHM114-ZSO-3101

Estado de posición de válvula cerrada: VLHM114-ZSC-3101

Comando de apertura de válvula: VLHM114-SVS-3101

Comando de cierre de válvula: VLHM114-SVL-3101

Cierre por baja presión de la línea: VLHM114-PSL-3101

Cierre por alta vibración: VLHM114-VSH-3101

Cierre de válvula por rotura de línea $\partial P/\partial t$

Estas señales se conectan a la RTU ubicada en campo, donde se dispone de la indicación del estado de la válvula, el estado de los comandos y las alarmas de baja presión en la línea (VLHM114-PAL-3101) y de alta vibración (VLHM114-VAH-3101).

Estas señales son llevadas por comunicaciones a la estación central ubicada en Lima.

Adicionalmente, aguas arriba de la válvula VLHM114-ESDV-3101, se dispone de un indicador local de presión VLHM114-PI-3102, un indicador / transmisor de presión VLHM114-PIT-3101 y un elemento de temperatura tipo piel / indicador / transmisor VLHM114-TE/TIT-3101, las señales de los transmisores de presión y temperatura se conectan a la RTU ubicada en campo, donde se dispone de las indicaciones de las variables medidas VLHM114-PI-3101 y VLHM114-TI-3101.

De la misma forma, aguas abajo de la válvula VLHM114-ESDV-3101, se dispone de un indicador local de presión VLHM114-PI-3104 y un indicador / transmisor de presión VLHM114-PIT-3103, la señal del transmisor de presión se conecta a la RTU ubicada en campo, donde se dispone de la indicación de la variable medida VLHM114-PI-3103

Para el caso en que se programen labores de mantenimiento o reparaciones que impliquen sacar el tramo seccionado de servicio y desalojar el gas contenido, en la estación, se dispone de facilidades con orificio de restricción (VLHM114-RO-3101/3102) para conectar una tea móvil.

1.2.1.3 Trampa de Recibo – Estación Final: En el Centro Operacional Marcona, se tiene la trampa de recibo TRHM200-TR-301 para el raspatubo que se envía desde el intertrampas ubicado en el kilómetro 114, la cual se utiliza para la limpieza del segundo tramo de la troncal.

La trampa de recibo de raspatubos TRHM200-TR-301, dispone de un indicador local de presión TRHM200-PI-3701 y una válvula de alivio TRHM200-TRV-3701; aguas arriba de la trampa se tiene un indicador / transmisor de paso de raspatubo TRHM200-XIS-3701, la señal del transmisor de raspatubo se envía una señal al

DCS ubicado en el Centro Operacional Marcona, donde se dispone de la indicación de la variable medida (TRHM200-XI-3701), con el propósito de alinear nuevamente la troncal a su condición de operación y retirar el raspatubo.

Con el propósito de retirar los residuos arrastrados por el raspatubos, aguas abajo de la trampa de recibo TRHM200-TR-301, se dejarán facilidades para la conexión de un equipo de remoción de sólidos.

1.3. CONDICIONES ACTUALES DE OPERACIÓN DEL GASODUCTO HUMAY-MARCONA

Actualmente Contugas entrega en su sistema de distribución 18,3 millones de pies cúbicos por día, lo cual representa el 5,94% de la capacidad máxima del sistema.

Este aspecto operativo derivado de una serie de situaciones de índole comercial, regulatoria y política, ocasionan una especial particularidad en la operación del sistema, especialmente en lo referente al manejo de partículas sólidas, pues los consumos de parte de los clientes son intermitentes, (pesqueras, empresas comercializadoras de gas natural comprimido, comercios, viviendas, medianas industrias), generando diferentes perfiles de velocidad de flujo a lo largo del día, permitiendo que el material particulado de diversos tamaños (de 10µm y menores), logren depositarse a lo largo de la tubería, ubicándose especialmente en las zonas bajas del trazado del ducto, y, por condiciones de caudal, después de la entrega al gasoducto ramal a Ica (Pk 44+427), cuyo flujo a las ciudades de Nasca y Marcona suman cerca de 5,4 millones de pies cúbicos por día. Ante tal situación, el área de mantenimiento de Contugas procede a efectuar corridas de limpieza con una frecuencia anual, para eliminar gran parte del material particulado presente en el gasoducto. La frecuencia de estas corridas de limpieza es anual.

2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE FILTRACIÓN

El centro operacional de Humay se encuentra localizado en el distrito de Humay, provincia de Pisco, departamento de Ica, aproximadamente a 230 kilómetros al sur Lima, en las coordenadas 13°44'27.23"S latitud y 75°53'20.54"O longitud, a una altura aproximada de 410 metros sobre el nivel del mar. La temperatura media es de 19.6°C y la precipitación media acumulada es de 4mm.

La operación unitaria de filtración se define como el proceso de separar los sólidos en suspensión de la corriente de gas a través de un medio mecánico poroso.

La intención de diseño de los sistemas de filtración es el de retener el mayor contenido posible de partículas sólidas presentes en el gas que se recibe del transportador en las estaciones de transferencia de custodia, el cual, de acuerdo con el anexo 02 del contrato de transporte de gas suscrito entre la transportadora de gas del Perú y el estado peruano, es de 3 partes por millón de partículas de hasta 10 μm , por cada millón de metros cúbicos de gas transportado. El reglamento de distribución de gas por red de ductos promulgado mediante decreto supremo 040-2008 EM, describe que la cantidad máxima de partículas sólidas no debe ser mayor a 22.5 Kilogramos por millón de metros cúbicos de gas distribuidos de tamaño hasta 5 μm .¹

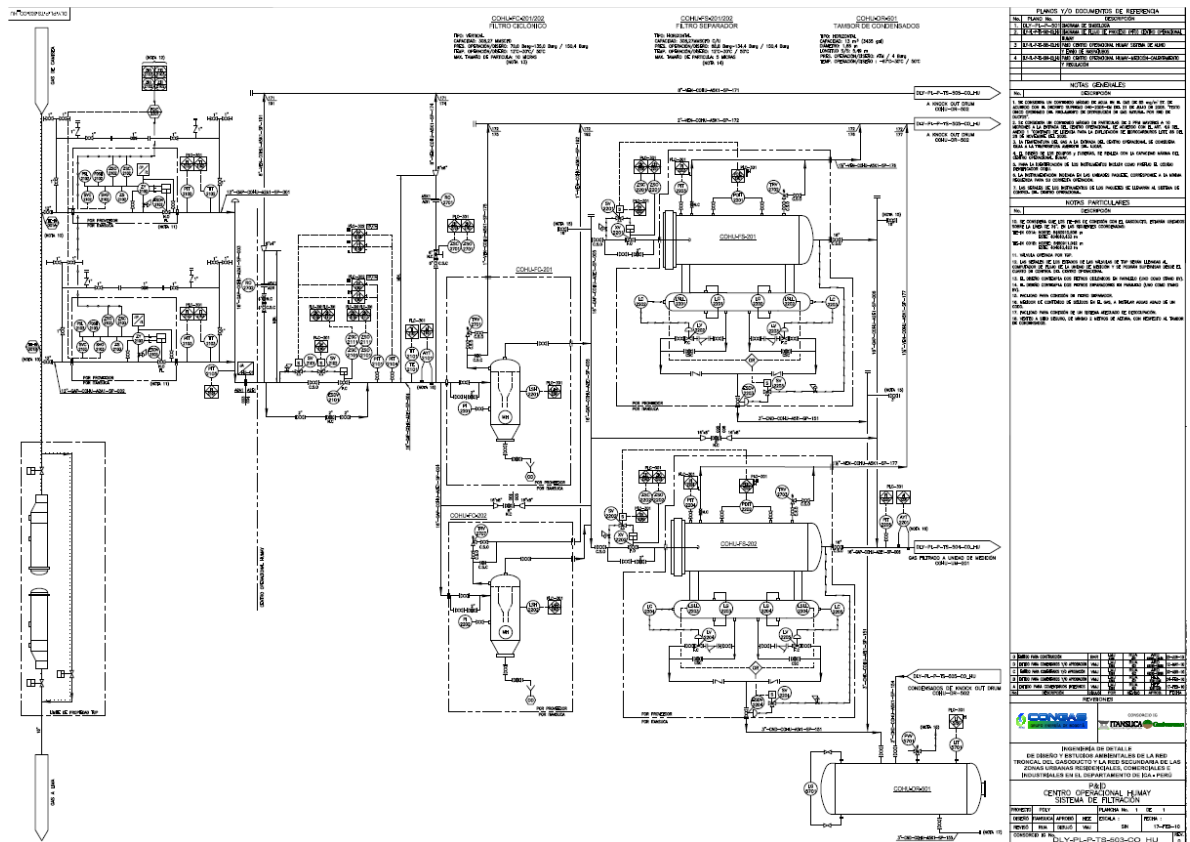
El sistema de filtración del centro operacional de Humay, localizado en la provincia de Pisco, consta de dos sistemas de filtración principales a saber:

- Un sistema de filtros ciclónicos, con capacidad de retención de partículas mayores a 5 μm , y un caudal máximo de 308 millones de pies cúbicos día.

¹ Artículo 44, inciso a) del Decreto Supremo 040-2008 EM, Texto único ordenado del reglamento de distribución de gas natural por red de ductos, aprobado mediante DS-042-99 EM.

- Un sistema de filtros separadores, con capacidad de retención de partículas de hasta 3 μm , y un caudal máximo de 308 millones de pies cúbicos día.
- La eficiencia de los filtros ciclónicos es de 100% de partículas mayores a 35 μm para el 5% del flujo máximo, y del 100% de partículas mayores a 5 μm para el 100% del flujo máximo.
- La eficiencia de los filtros separadores es de 99,98% de partículas mayores a 4 μm , bajo cualquier condición de flujo.

Figura 2. Detalle del plano P&ID del Centro Operacional Humay (proceso de filtración).



Fuente, CONTUGAS, gerencia de operaciones.

La gran diferencia entre los criterios de contenido máximo de partículas sólidas exigidos al transportador y al distribuidor, obligaron a Contugas a construir el sistema de filtración descrito.

Una de las principales condiciones operativas para el comportamiento eficiente de un sistema de filtración, es la velocidad del flujo de gas que atraviesa los filtros, si el sistema presenta altas velocidades de flujo, se presentan roturas en la membrana filtrante y, si por el contrario las velocidades de flujo son bajas, se reduce notoriamente la eficiencia de la filtración, que las partículas no pueden ser atrapadas por la membrana filtrante, y éstas inician un lento camino por entre los espacios de la membrana, reduciendo la capacidad del equipo de retener las partículas para el cual fue diseñado el sistema de filtración.

Se presentan a continuación las hojas de datos de los filtros instalados en el centro operacional de Humay, en la estación de transferencia de custodia.

Figura 3. Hoja de datos filtro Ciclónico Centro Operacional Humay.

EQUIPO	FILTRO CICLÓNICO			TIPO	VERTICAL	TAG EQUIPO No.	COHU-FC-201/ 20		
PROYECTO	PDLY			CANTIDAD	DOS (2)	LOCALIZACION	CENTRO OPERACIONAL HUMAY		
FABRICANTE				RFQ No.		PO No.			
P & ID No.	DLY-PL-P-TS-503-CO_HU			PLOT PLAN No.		PLANO REFERENCIA No.			

DATOS DE DISEÑO & OPERACIÓN					DATOS DE CONSTRUCCION																												
SERVICIO SEPARACIÓN DE SÓLIDOS					CODIGO ASME Sect. VIII, Div. 1 ESTAMPE SI REGISTRO SI																												
DIÁMETRO INTERIOR	1.067	m	LONGITUD T/T	m	MATERIAL	SA-516 Gr.70																											
LONGITUD S/S	3.048	m			CABEZA SUP.	ELIPSOIDAL																											
VOLUMEN NOMINAL	3.12	m³			CUERPO	CILINDRICO																											
CONDICIONES DE DISEÑO					POSICIÓN RECIPIENTE VERTICAL BOTA N.A.																												
PRESION INTERNA	150,4	barg			ALTURA DE SOPORTES (hS)	991 mm base a junta soldada cabeza inferior																											
TEMPERATURA MIN.		°C	MAX.	50,0 °C	TOLERANCIA CORROSION (pulg)	CABEZAS 1/8 CUERPO 1/8																											
MINIMA TEMPERATURA POR DESPRESURIZACIÓN INSTANTÁ					-85,0 °C	BOQUILLAS	1/8 INTERNOS 1/8 SOPORTES 1/8																										
CONDICIONES DE OPERACIÓN					INSPECCION RADIOGRAFICA FULL EFICIENCIA JUNTA 1,00																												
PRESION INTERNA	70 a 135	barg			PRUEBA HIDROSTATICA	X ASME Sect. VIII, Div. 1 barg																											
TEMPERATURA MIN.	12,0	°C	MAX.	30,0 °C	"PWHT" TRATAMIENTO TERMICO	Alivio de Esfuerzos																											
MAXIMA CAIDA DE PRESION					1,0 bar	PRUEBAS DE DUREZA	N.A.																										
"MAWP" MAXIMA PRESION DE TRABAJO PERMISIBLE (NOTA 5)					150 barg	AISLAMIENTO TERMICO	N.A.																										
"MDMT" MINIMA TEMPERATURA DE DISEÑO DEL MATERIAL					-29 °C	A PRUEBA DE EXPLOSION	Cajas de conexionado																										
FLUIDO CONTENIDO GAS NATURAL PESO MOLECULAR					17,73	PROTECCIÓN SUPERFICIES INT.	Especificación N.A.																										
VISCOSIDAD 0,01282 a 0,01762 cP GRAVEDAD ESPECIFICA					0,6120	EXT.	X Especificación DLY-SP-X-TS-003-CO_GE																										
CONTENIDO DE SÓLIDOS EN EL FLUIDO					3,0 ppm																												
FLUJO MAXIMO	308,3	MMSCFD	NORMAL	MMSCFD																													
SISTEMA TRV SET @	145	barg	LOCALIZADO																														
CONTAMINANTES DE PROCESO: (NOTA 2)																																	
COMPOSICION DEL GAS (FRACCIÓN PROMEDIO)					PESO PESO VACIO 1825 kg PESO OPERACIÓN 2015 kg PESO INTERNOS Nota 9 kg PESO LLENO A AGUA 2136 kg																												
<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMPONENTE</th> <th>FRACCIÓN MOLAR</th> <th>COMPONENTE</th> <th>FRACCIÓN MOLAR</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>METANO</td> <td>88,29237 %</td> <td>i- PENTANO</td> <td>0,00029 %</td> </tr> <tr> <td>ETANO</td> <td>10,54185 %</td> <td>n- PENTANO</td> <td>0,00036 %</td> </tr> <tr> <td>PROPANO</td> <td>0,14085 %</td> <td>HEXANO +</td> <td>0,00140 %</td> </tr> <tr> <td>i- BUTANO</td> <td>0,00339 %</td> <td>DIOXIDO CARBONO</td> <td>0,24378 %</td> </tr> <tr> <td>n- BUTANO</td> <td>0,00256 %</td> <td>NITROGENO</td> <td>0,77315 %</td> </tr> </tbody> </table>					COMPONENTE	FRACCIÓN MOLAR	COMPONENTE	FRACCIÓN MOLAR	METANO	88,29237 %	i- PENTANO	0,00029 %	ETANO	10,54185 %	n- PENTANO	0,00036 %	PROPANO	0,14085 %	HEXANO +	0,00140 %	i- BUTANO	0,00339 %	DIOXIDO CARBONO	0,24378 %	n- BUTANO	0,00256 %	NITROGENO	0,77315 %	MATERIALES CABEZA DERECHA SA-516 Gr.70 Espesor 2 1/2 pulg CABEZA IZQUIERDA SA-516 Gr.70 Espesor 2 1/2 pulg CUERPO SA-516 Gr.70 Espesor 2 5/8 pulg BOQUILLAS TUBO SA-106 Gr. B BRIDA A-105 ACCESORIOS A-234 WPB ESPARRAGOS SA-193 B7 TUERCAS SA-194 2H EMPAQUES IRON OCTOGONAL Por Fabricante REFUERZOS SA-516 Gr.70 Soldados al Recipiente SOPORTES SA-36 Soldados al Recipiente INTERNOS SS (NOTA 3) Por Fabricante PLATAFORMA SA-36				
COMPONENTE	FRACCIÓN MOLAR	COMPONENTE	FRACCIÓN MOLAR																														
METANO	88,29237 %	i- PENTANO	0,00029 %																														
ETANO	10,54185 %	n- PENTANO	0,00036 %																														
PROPANO	0,14085 %	HEXANO +	0,00140 %																														
i- BUTANO	0,00339 %	DIOXIDO CARBONO	0,24378 %																														
n- BUTANO	0,00256 %	NITROGENO	0,77315 %																														
GRANULOMETRIA DE LOS SÓLIDOS																																	
PPM (NORMAL) 0,054 PPM (MAXIMO) 3																																	
COMPOSICIÓN 60 % Fe																																	
TAMAÑO PARTICULAS (MIN / MAX) 33 / 833 µm																																	
BOQUILLAS & CONEXIONES					DIAGRAMA DEL RECIPIENTE																												
Marca	Servicio	Cant.	Size	Rating	Facing																												
N 1	RECIBO GAS	1	16"	900 #	WN RTJ																												
N 2	SALIDA GAS	1	16"	900 #	WN RTJ																												
N 3	DRENAJE	1	2"	900 #	WN RTJ																												
N 4	VÁLVULA ALIVIO TÉRMICO (TRV)	1	1"	900 #	WN RTJ																												
C 1	INDICADOR PRESIÓN (PI)	1		6000 #	NPT																												
C 2 B	SWITCHE DE NIVEL (LSH)	1		6000 #	NPT																												
C 2 A	SWITCHE DE NIVEL (LSL)	1		6000 #	NPT																												
M 1	MANHOLE	1	20"	900 #	WN RTJ																												
COMPONENTES																																	
ELEMENTO FILTRANTE	X	MULTICICLONES (NOTA 9)																															
PLATAFORMAS / ESCALERA	X	Por Fabricante																															
SKID (PATIN)	X	Por Fabricante																															
VALVULA DE DRENAJE	X																																
INSTRUMENTACIÓN MINIMA REQUERIDA																																	
INDICADOR DE PRESIÓN (PI).																																	
SWITCHES DE NIVEL (LSH/LSL).																																	
VALVULA DE ALIVIO TÉRMICO (TRV).																																	
Notas:																																	
1. Se considera un contenido máximo de agua en el gas de 65 mg/m³ std.																																	
2. Los contaminantes actuales se limitan a sólidos de la granulometría mostrada en la casilla correspondiente, sin embargo, a futuro con la entrada de la estación compresora se prevé la presencia de otros agentes contaminantes como: aceite lubricante, condensados y agua																																	
3. Se podrá seleccionar alguno de los materiales ASTM: A-304, A-314 ó A-316.																																	
4. El máximo nivel de ruido permisible emitido por el equipo a plena carga es de 85 dBA																																	
5. Las dimensiones generales, pesos, espesores y datos resultantes como MAWP, son estimados para guía del Fabricante, quién deberá verificar y/o modificar de ser necesario los valores finales.																																	
6. El Fabricante debe suministrar La Unidad Paquete instalada sobre Skid, con dimensiones a definir por él.																																	
7. El Fabricante garantizará disponibilidad del equipo del 99 % al año. Ver especificación No. DLY-SP-X-TS-008 de Filtros Ciclónicos en última revisión.																																	
8. La vibración del equipo en operación no deberá sobrepasar los niveles de seguridad para preservar la integridad del equipo y su fundación. En ningún caso deberá alcanzar la frecuencia natural del mismo.																																	
9. Diametro de corte requerido: diez micras (10 µm).																																	

Fuente, CONTUGAS, gerencia de operaciones.

Figura 4. Hoja de datos Filtro separador Centro Operacional Humay.

EQUIPO		FILTRO SEPARADOR		TIPO		HORIZONTAL		TAG EQUIPO No		COHU-FS-201/202	
PROYECTO		PDLY		CANTIDAD		DOS		LOCALIZACION		CENTRO OPERACIONAL HUMAY	
FABRICANTE				RFQ No.				PO No.			
P & ID No.		DLY-PL-P-TS-503-CO_HU		PLOT PLAN No.				PLANO REFERENCIA No.			

DATOS DE DISEÑO & OPERACIÓN						DATOS DE CONSTRUCCION					
SERVICIO SEPARACIÓN DE SÓLIDOS						CODIGO ASME Sect. VIII, Div. 1 ESTAMPE SI REGISTRO SI					
FILTRO			BOTA			MATERIAL SA-516 Gr.70			ESFUERZO PERMISIBLE 20,000 psi		
DIÁMETRO 1067 m			DIÁMETRO 0,324 m			MATERIAL BOTA SA-106 Gr. B					
LONGITUD S/S 3,048 m			LONGITUD S/S 2,743 m			CABEZA IZQ. ELIPSOIDAL			CABEZA DER. APERTURA RÁPIDA		
VOLUMEN NOMINAL 3,12 m³			VOLUMEN NOMINAL 0,17 m³			CUERPO CILINDRICO			SOPORTE SILLETAS (2)		
CONDICIONES DE DISEÑO						POSICIÓN RECIPIENTE HORIZONTAL BOTA HORIZONTAL					
PRESION INTERNA 150,4 barg						ALTURA DE SOPORTES (hS) 1946 mm			base a centro del recipiente		
TEMPERATURA MIN. °C			MAX. 50 °C			TOLERANCIA CORROSION (pulg)			CABEZAS 1/8 CUERPO 1/8		
MINIMA TEMPERATURA POR DESPRESURIZACIÓN INSTANTÁNEA -85,0 °C						BOQUILLAS 1/8 INTERNOS 1/8 SOPORTES 1/8					
CONDICIONES DE OPERACIÓN						INSPECCION RADIOGRAFICA FULL EFICIENCIA JUNTA 1,00					
PRESION INTERNA 58,8 a 134,4 barg			1			PRUEBA HIDROSTATICA			X ASME Sect. VIII, Div. 1		
TEMPERATURA MIN. 12,0 °C			MAX. 30,0 °C			PWHT TRATAMIENTO TERMICO			Alivio de Esfuerzos		
MAXIMA CAIDA DE PRESION 1,0 bar						PRUEBAS DE DUREZA			N.A.		
'MAWP' MAXIMA PRESION DE TRABAJO PERMISIBLE						AISLAMIENTO TERMICO			N.A.		
'MDMT' MINIMA TEMPERATURA DE DISEÑO DEL MATERIAL -29 °C						A PRUEBA DE EXPLOSION			Cajas de conexiónado		
FLUIDO CONTENIDO GAS NATURAL			PESO MOLECULAR 17,73			PROTECCIÓN SUPERFICIES INT.			Especificación N.A.		
VISCOSIDAD 0,01282 a 0,01762 cP			GRAVEDAD ESPECIFICA 0,6120			EXT. X			Especificación DLY-SP-X-TS-003-CO_GE		
CONTENIDO DE SÓLIDOS EN EL FLUIDO 3,0 PPM											
FLUJO MAXIMO 308,3 MMSCFD			NORMAL MMSCFD								
SISTEMA 'PSV' SET @ barg LOCALIZADO						PESO					
CONTAMINANTES DE PROCESO ACEITE LUBRICANTE, CONDENSADOS, AGUA Y SÓLIDOS						PESO VACIO 1826 kg PESO OPERACIÓN 1933 kg					
						PESO INTERNOS Nota 10 PESO LLENO AGUA 2054 kg					
COMPOSICION DEL GAS (FRACCIÓN PROMEDIO)						MATERIALES					
COMPONENTE FRACCIÓN MOLAR			COMPONENTE FRACCIÓN MOLAR			CABEZA DERECHA SA-516 Gr.70			Nota 9 Espesor 2 1/2 pulg		
METANO 88,29237 %			i-PENTANO 0,00029 %			CABEZA IZQUIERDA SA-516 Gr.70			Nota 9 Espesor 2 1/2 pulg		
ETANO 10,54185 %			n-PENTANO 0,00036 %			CUERPO SA-516 Gr.70			Nota 9 Espesor 2 5/8 pulg		
PROPANO 0,14085 %			HEXANO + 0,00140 %			BOQUILLAS TUBO SA-106 Gr. B			Nota 9 BRIDA SA-105 Nota 9		
i-BUTANO 0,00339 %			DIOXIDO CARBONO 0,24378 %			ACCESORIOS A-234 WPB			Nota 9		
n-BUTANO 0,00256 %			NITROGENO 0,77315 %			ESPARRAGOS SA-193 B7			TUERCAS SA-194 2H		
						EMPAQUES Espiro metálicos			Por Fabricante		
GRANULOMETRÍA DE LOS SÓLIDOS						REFUERZOS SA-516 Gr.70			Nota 9 Soldados al Recipiente		
PPM (NORMAL) 0,054			PPM (MAXIMO) 3			SOPORTES SA-36			Soldados al Recipiente		
COMPOSICIÓN 60 % Fe						INTERNOS SA-36			Por Fabricante		
TAMAÑO PARTICULAS (MIN / MAX) 33 / 833 µm						PLATAFORMA SA-36					
BOQUILLAS & CONEXIONES						DIAGRAMA DEL RECIPIENTE					
Marca	Servicio	Cant.	Size	Rating	Facing						
N1	RECIBO GAS	1	16"	900 #	WN RTJ						
N2	SALIDA GAS	1	16"	900 #	WN RTJ						
N3A/B	DRENAJE	2	Nota 6	900 #	WN RTJ						
N4	VENTEO	1	1 1/2"	900 #	WN RTJ						
N5	VALVULA ALIVIO TERMICO (TRV)	1	1 1/2"	900 #	WN RTJ						
N6 A/B	SALIDA DE CONDENSADOS	2	3"	900 #	WN RTJ						
N7 A/B	CONEXIÓN BOTA	2	Nota 6	900 #	WN RTJ						
C1A/B	INDIC/TRANSMISOR PRESION DIF. (P)	2	Nota 6	6000 #	NPT						
C2 A/B	SWITCH NIVEL ALTO (LSHL)	2	Nota 6	6000 #	NPT						
C3 A/B	INDICADOR DE NIVEL (LG)	2	Nota 6	6000 #	NPT						
C4 A/B	INDICADOR DE NIVEL (LG)	2	Nota 6	6000 #	NPT						
C5	TRANSMISOR INDICADOR PRESION	1	Nota 6	6000 #	NPT						
C6 A/B	SWITCH NIVEL BAJO (LSLL)	2	Nota 6	6000 #	NPT						
COMPONENTES											
ELEMENTO FILTRANTE	X CINCO MICRAS										
PLATAFORMAS / ESCALERA	X POR FABRICANTE										
SKID (PATIN)	X Viga WF 2438 x 4267 mm. (NOTAS 5 y 9)										
INDICADOR-TRANSMISOR DE PRESION DIFERENCIAL (PDIT)	X POR FABRICANTE										
SWITCH NIVEL ALTO (LSHL)	X POR FABRICANTE										
INDICADOR DE NIVEL (LG)	X POR FABRICANTE										
TRANSMISOR INDICADOR DE PRESION (PIT)	X POR FABRICANTE										
SWITCH NIVEL BAJO (LSLL)	X POR FABRICANTE										
VALVULAS: SALIDA CONDENSADOS (LV), SHUT DOWN (ESDV)	X POR FABRICANTE										
VALVULAS, CONTROLES E INSTRUMENTOS SEGUN P&ID DLY-1001-PL-P-TS-503-CO_HU											
Notas											
1. Se considera un contenido máximo de agua en el gas de 65 mg/m³ st.											
2. La temperatura del gas se asumió igual a la temperatura ambiente máxima del lugar.											
3. Una de las cabezas del filtro debe ser 'Tapa de Apertura rápida' (quick opening closure o equivalente). El Fabricante definirá el material y seleccionará el tipo de Tapa.											
4. El medio filtrante debe estar en capacidad de retener partículas de diámetro mayor a cinco (5) micras. Debe ser diseñado y suministrado por El Fabricante.											
5. El equipo será entregado como un paquete, montado sobre 'Skid abierto'.											
6. La instrumentación y los controles que hacen parte de El Paquete, serán diseñados, seleccionados y suministrados por El Fabricante.											
7. Las señales de los instrumentos llegarán a 'Cajas de Empalme' a bordo del Skid.											
8. La orientación y localización de las boquillas se definirá y confirmará durante construcción del Equipo.											
9. El Diseño Final (de Proceso y Mecánico Estructural) de la Unidad Paquete estará a cargo de El Fabricante quien verificará, revisará y/o modificará, si es necesario, el pre-diseño y dimensionamiento del equipo y elaborará la Ingeniería de Detalle y cumplirá con el suministro de acuerdo con la especificación No. DLY-SP-X-TS-009 de Filtros Separadores.											
10. El fabricante suministrará el peso del tambor en vacío, lleno de agua y en operación											
11. El Fabricante garantizará disponibilidad del equipo del 99 % al año. Ver especificación DLY-SP-X-TS-009 de Filtros Separadores en última revisión.											
12. El máximo nivel de ruido permisible emitido por el equipo a plena carga debe ser de 85 dBA.											

Fuente, CONTUGAS, gerencia de operaciones.

3. CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL PARTICULADO

Para proceder con la caracterización del material particulado presente en la corriente de gas, se procedió con la toma de tres muestras del filtro separador, a fines de establecer la morfología y composición de los depósitos.

Se realizó una toma de muestras de la superficie del filtro (polvo suelto depositado en los elementos filtrantes). Una segunda muestra se tomó de los elementos filtrantes (muestra de polvo adherida al papel del filtro). La tercera muestra se tomó de la malla metálica del filtro, la cual presentaba corrosión localizada.

Figura 5. Localización de los filtros separadores en el Centro operacional Humay.

Coordenadas UTM WGS 403881.69 m E, 8480766.64 m S



Fuente, Google earth.

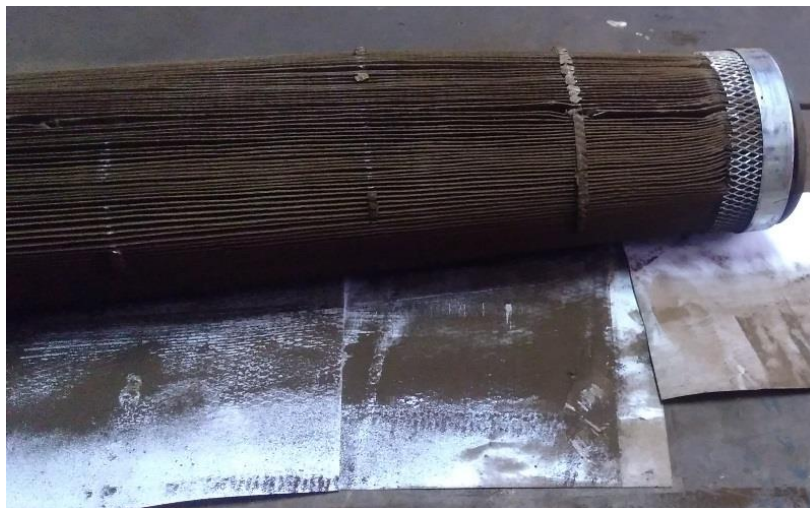
Figura 6. Comparación del estado de los cartuchos retirados del filtro Vs un filtro nuevo. Centro operacional Humay, Julio 2018.



Fuente, PRODUTEC, informe PP-EQF-001-18

La figura 6 permite comparar el estado de un elemento filtrante luego de cumplir su ciclo de trabajo versus un elemento filtrante nuevo, listo para ser instalado en el sistema de filtración.

Figura 7. Detalle del elemento filtrante (papel), de donde se tomó la segunda muestra de material particulado.



Fuente, PRODUTEC, informe PP-EQF-001-18

Figura 8. Detalle de corrosión localizada en la malla metálica que protege el elemento filtrante, de las áreas corroídas se tomó la muestra número 3.



Fuente, PRODUTEC, informe PP-EQF-001-18

El procedimiento por el cual se procedió a caracterizar el tamaño y composición del material particulado de los filtros posee dos etapas:

3.1 MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO Y ANÁLISIS SEMICUANTITATIVO MEDIANTE EDS

El microscopio electrónico de barrido, utiliza electrones en lugar de luz para formar una imagen. Para lograrlo, el equipo cuenta con un dispositivo (filamento) que genera un haz de electrones para iluminar la muestra y con diferentes detectores se recogen después los electrones generados de la interacción con la superficie de la misma para crear una imagen que refleja las características superficiales de la misma, pudiendo proporcionar información de las formas, texturas y composición química de sus constituyentes.

3.2 DIFRACCIÓN DE RAYOS X (DRX)

La difracción de rayos X de policristal es una técnica de caracterización estructural para materiales que presenten cierto grado de cristalinidad. Permite identificar las fases cristalinas presentes en muestras sólidas de naturaleza cristalina y abordar el estudio de ciertos parámetros cristalográficos.

3.2.1. Principio de la técnica. La difracción de rayos de un policristal está basada en las interferencias constructivas cuando incide un haz de rayos x sobre una muestra, con una longitud de onda del orden de las distancias interatómicas del sólido que se quiera estudiar.

La ley que rige la difracción de rayos X es la ley de Bragg, $n\lambda = 2d \sin\theta$, siendo “d” el espaciado entre planos de las redes cristalinas, estando íntimamente relacionado con los ángulos de difracción. Para que exista un máximo de difracción tiene que cumplirse que la diferencia entre las trayectorias de las ondas difractadas sea un número entero de veces la longitud de onda ($n\lambda$).

A partir de un difractograma de polvo, se pueden estudiar parámetros cristalográficos como el tamaño de cristal y el parámetro de red y haciendo uso del método de Rietveld junto con una buena calidad del difractograma y los conocimientos adecuados de cristalografía se podría llegar a resolver la estructura de un sólido policristalino y realizar un análisis cuantitativo de fases.

Con la base de datos cristalográfica se puede llevar a cabo una identificación de fases cristalinas presentes en las muestras. La base de datos con la que trabaja el laboratorio de DRX es la PDF-4+ de la ICDD.

Para el ensayo de Difracción de Rayos X (Difractómetro PHILIPS PW 1840) se corrió bajo las siguientes condiciones:

- Barrido: 5° a $70^\circ 2\theta$
- Cátodo: Cu ($K\alpha$); filtro de Ni; $\lambda: 1.54178\text{\AA}$
- Velocidad: $0.05^\circ 2\theta /s$
- Sensibilidad: 5000 C/s
- T.C: 1s
- Slit: 0.2 mm
- T: 40Kv; I: 20 mA.

3.3. GRANULOMETRÍA VÍA LÁSER

El principio de esta técnica se basa en un haz paralelo de luz coherente monocromática (Láser) que pasa a través de una pequeña zona que contiene partículas, formando así un patrón de difracción. Esta técnica está basada en el hecho de que el ángulo de difracción de luz láser aumenta a medida que el tamaño de la partícula disminuye. La proporción de partículas incluidas en una clase, es la proporción de volumen de estas partículas con respecto al volumen de la fase interna.

No obstante, si la distribución sigue una estadística log-normal (que es la más común) las frecuencias de distribución en volumen pueden traducirse en una distribución equivalente y parámetros promedios. La distribución de tamaños de partículas puede ser expresada en función de la frecuencia vs logaritmo del diámetro de partícula.

Los ensayos fueron realizados en el equipo granulómetro laser mastersizer 2000 de la casa malvern instrument, Inglaterra.

Figura 9. Granulómetro laser mastersizer 2000.



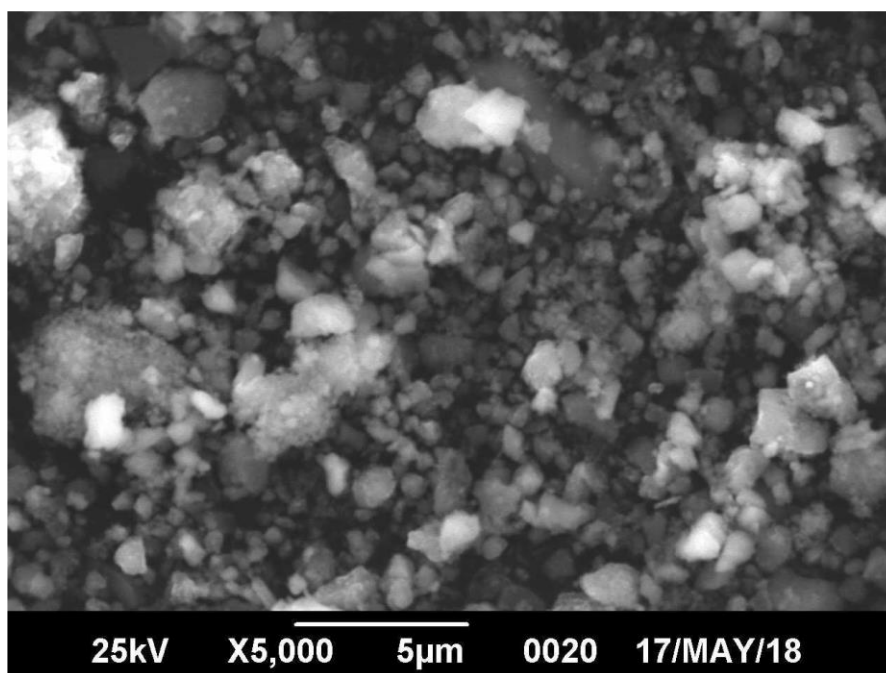
3.4. DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS

3.4.1. Microscopía electrónica de barrido y análisis semicuantitativo mediante EDS

3.4.1.1 Muestra No 1: Al observar la morfología de los granos presentes en la muestra (figura 10), se puede notar que su forma es mixta, es decir, que tienen geometría circular las partículas de grano más pequeños y formas irregulares los granos más grandes, estos últimos provenientes del pozo de origen del gas.

El tamaño de los granos se puede considerar heterogéneo, con presencia de granos con tamaños superiores de 10 micras (pasantes del filtro anterior).

Figura 10. Muestra de microscopio electrónico de la muestra No.1.



Fuente, PRODUTEC, informe PP-EQF-001-18

La composición química de los granos en general, fue determinado por EDS, a continuación, en la tabla N°1 se presentan los posibles compuestos tipo óxidos obtenidos por estequiometria:

Tabla 3. Valores estequiométricos obtenidos del análisis EDS muestra No.1.

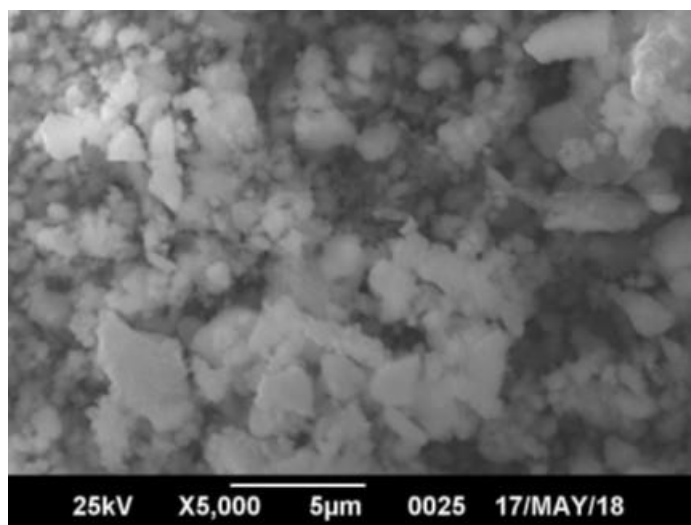
%Al ₂ SiO ₃	%SiO ₂	%CaO	%MnO ₂	%Fe ₂ SiO ₃
1,684	4,112	0,940	1,572	91,690

Fuente, PRODUTEC, informe PP-EQF-001-18

3.4.1.2. Muestra No.2: Esta muestra es la extraída del papel filtrante y presenta una morfología muy variada, (ver figura 12), con granos con formas irregulares y pocos redondeados. Se observan muy aglomerados por la presencia de humedad en el

papel, y los tamaños de dichos granos tienden a ser mayores que el pase del grupo de filtrado anterior (10µm).

Figura 11. Muestra de microscopio electrónico de la muestra No.2, se aprecia la forma irregular de las partículas.



Fuente, PRODUTEC, informe PP-EQF-001-18

La composición química de los granos evaluado por EDS, (método semi cuantitativo), se presentan en la tabla siguiente:

Tabla 4. Valores estequiométricos obtenidos del análisis EDS muestra No.2.

%Al ₂ SiO ₃	%SiO ₂	%CaO	%Fe ₂ O ₃	%MnO ₂	%Fe ₂ SiO ₃
0,96	2,74	1,17	92,60	0,20	0,16

Fuente, PRODUTEC, informe PP-EQF-001-18

El 92,60% de los granos son de Óxido de Hierro, con baja presencia de partículas de suelo (arena, arcilla, minerales), además se nota la presencia de Azufre y Cloro como elementos simples, los cuales pueden provenir del gas y de la humedad presente en el sistema respectivamente.

3.4.1.3. Muestra No. 3: Esta muestra representada por la malla metálica que sostiene la estructura del elemento filtrante, (ver figura 12), es de acero al carbono con un recubrimiento de galvanizado, en donde se puede observar zonas corroídas aisladas en la parte externa e interna del filtro.

Se puede observar en su superficie, un ataque corrosivo localizado, debido a Corrosión electroquímica por humedad, presentando como producto de corrosión el óxido de hierro Fe_2O_3 .

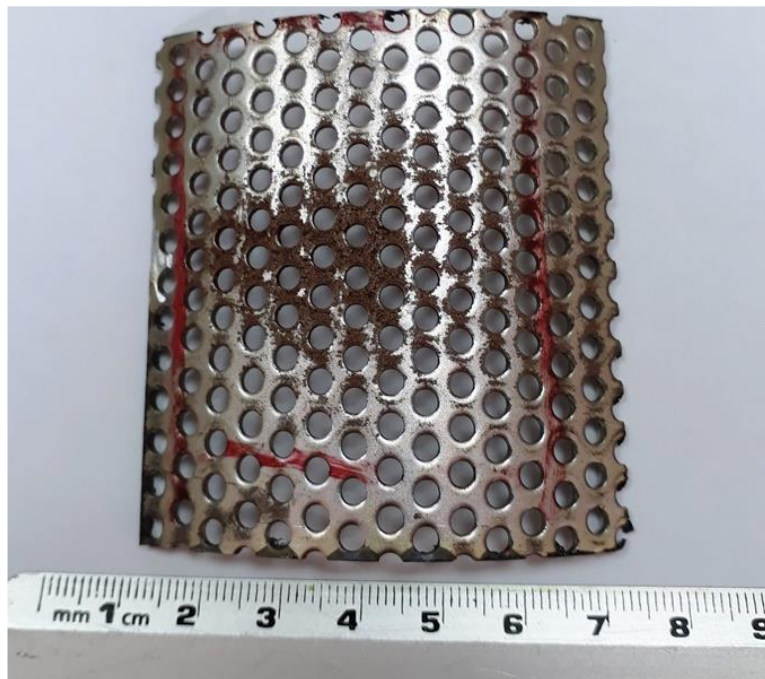
La composición química obtenida por EDS, muestra la presencia de Zn metálico y Cromo metálico, producto del proceso de galvanizado, y productos de corrosión, en los siguientes tenores:

Tabla 5. Valores estequiométricos obtenidos del análisis EDS muestra No.3.

%Zn	%Fe ₂ O ₃	%Cr
58,84	39,28	0,71

Fuente, PRODUTEC, informe PP-EQF-001-18

Figura 12. Detalle de corrosión localizada en la malla metálica del elemento filtrante retirado.



Fuente, PRODUTEC, informe PP-EQF-001-18

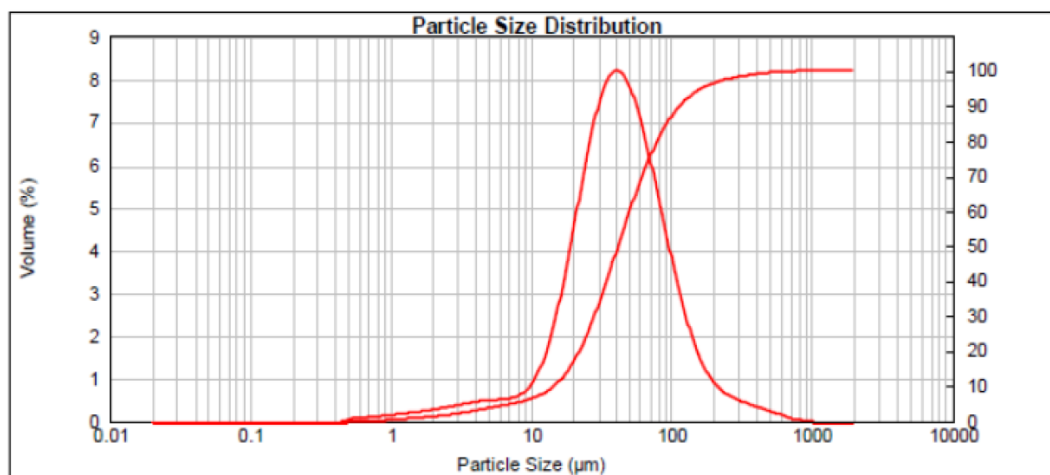
4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS MEDIANTE GRANULOMETRÍA VÍA LASER

A través del análisis por granulometría vía láser, es posible determinar el tamaño y distribución de las partículas que conforman cada una de las muestras, y con estos resultados determinar el comportamiento de los elementos filtrantes ante el paso de la corriente de gas recibida del transportador.

4.1.1 Muestra No.1. La muestra No.1, la cual se encuentra dispersa dentro del filtro, presenta una distribución granulométrica relativamente gruesa; el diámetro promedio se encuentra en 41,638 μm y los diámetros más pequeños se encuentran a 14,456 μm . La curve de frecuencia es de tipo unimodal, con la mayor población ubicada en el tamaño de 40,183 μm . La superficie específica es de 0,072 m^2/g , indicando la homogeneidad de la población gruesa de la muestra.

Figura 13. Distribución granulométrica de la muestra No.1.



Fuente, PRODUTEC, informe PP-EQF-001-18

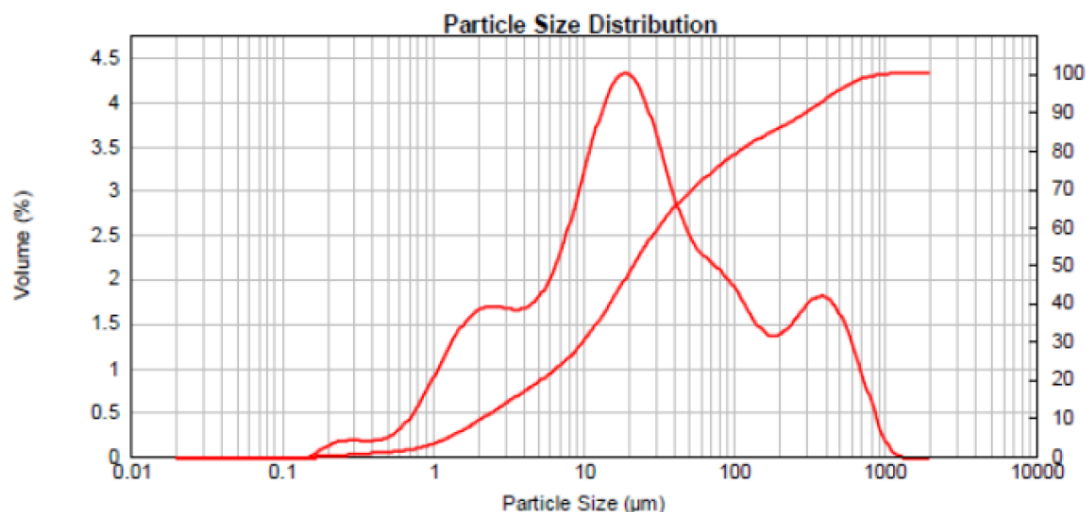
Tabla 6. Resultados de granulometría laser para la muestra No.1.

Muestra	$d_{0,1}$ (μm)	$d_{0,5}$ (μm)	$d_{0,9}$ (μm)	Modal (μm)	S.E (m ² /g)
1	14,456	41,638	114,141	40,183	0,072

Fuente, PRODUTEC, informe PP-EQF-001-18

4.1.2 Muestra No.2. Esta muestra, la cual es retenida en los filtros separadores de 5 μm, presenta una distribución granulométrica media (no muy fina), con un tamaño de grano de 21,558 μm, y un diámetro de los granos más pequeños en 2,139 μm. La curva de frecuencia es polimodal, con un tamaño de mayor cantidad en la población de 19,061 μm. la superficie específica se encuentra en 0,225 m²/g, indicando una buena presencia de granos finos.

Figura 14. Distribución granulométrica de la muestra No.2.



Fuente, PRODUTEC, informe PP-EQF-001-18

Tabla 7. Resultados de granulometría laser para la muestra No.2.

Muestra	d _{0,1} (μm)	d _{0,5} (μm)	d _{0,9} (μm)	Modal (μm)	S.E (m ² /g)
2	2,139	21,558	304,187	19,061	0,255

Fuente, PRODUTEC, informe PP-EQF-001-18

4.1.3. Muestra No.3. A esta muestra no se le efectuó el análisis por granulometría laser, dado que esta muestra fue tomada del elemento filtrante y su objetivo principal era el de determinar la causa de la corrosión en la malla metálica del cartucho.

5. CONCLUSIONES

- La morfología de los granos encontrados en los filtros separadores de la estación de transferencia de custodia, indica que una gran mayoría de ellos provienen del gas recibido y de la capa pasiva del tubo matriz (transportador).
- La malla metálica de los elementos filtrantes de 5 μ m, presentó corrosión electroquímica localizada en la parte externa e interna de cada elemento, producto de la presencia de humedad en el sistema, humedad proveniente del gas entregado por el transportador.
- Los perfiles granulométricos obtenidos de las muestras evidencian que el sistema de filtración de 10 μ m, no está cumpliendo su función, puesto que se hallaron diámetros de grano superiores a 10 μ m en los elementos filtrantes de 5 μ m.
- Los filtros separadores de 5 μ m presentan colmatación y permiten el paso de material particulado de tamaños menores, debido posiblemente al perfil de flujo presente en estas unidades de proceso. La presencia de humedad en la corriente de gas recibida del transportador, ocasiona problemas de rotura de la membrana filtrante en los filtros separadores de 5 μ m.
- Las condiciones operativas actuales del sistema de distribución, operando a un 5,94% de su capacidad máxima, generan aspectos de proceso que no son fácilmente manejables por el área de operaciones de Contugas, ya que las premisas de diseño y construcción del gasoducto exigían una condición operativa mínima del 75%.
- Se recomienda instalar en los filtros separadores, elementos filtrantes que sean aprobados por el fabricante (pietro fiorentini), o en su defecto, elementos filtrantes que cumplan con las características técnicas estipuladas en el manual de operación de los equipos.
- Con el perfil de velocidad, es posible elaborar procedimientos operativos que permitan el tránsito del material particulado presente en el gasoducto, hacia los

filtros dispuestos en los city gates del sistema de distribución, aguas abajo de la estación de recibo, buscando cumplir el requerimiento normativo.

- Para mejorar el perfil de velocidad en el sistema de filtración, y, aumentar la eficiencia de éstos, se sugiere instalar una platina de orificio antes de la entrada de los filtros, y luego de ello, se debe evaluar la eficiencia del sistema de filtración, comparando en las hojas de mantenimiento la frecuencia de cambio de los elementos filtrantes de los filtros separadores.
- Es importante coordinar con el transportador la programación de corridas de limpieza en el sistema de transporte, a fines de incluir esta variable dentro de los programas de monitoreo y reemplazo de los elementos filtrantes del gasoducto.

BIBLIOGRAFÍA

CONTUGAS, Consorcio IG, Contrato No. 030-2009. Diseño y estudios ambientales de la red troncal del gasoducto y la red secundaria de las zonas urbanas residenciales, comerciales e industriales en el departamento de Ica – Perú. Junio 2010.

GPSA GAS PROCESSORS SUPLIERS ASSOCIATION. GPSA Engineering databook (12th edition). Gas Processors Association. USA 2004.

MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS, Decreto Supremo 040-2008 EM. Texto único ordenado del reglamento de distribución de gas natural por red de ductos, aprobado mediante DS-042-99 EM. Julio 22 de 2007

PRODUTEC, Informe de analisis fisico químico de contenido de solidos en el Sistema de filtración del Centro Operacional Humay. Informe PP-EQF-001-18. Junio 2018.

MOHSEN, Hedayati. Prediction of particle laden Flow in gas pipe. Ryerson University, 2008.

TRIFLIEFF, Olivier. WIYES, Thomas. Black powder removal from transmission pipelines: Diagnostic and solution. Pipeline rehabilitation conference. Gulf International Convention Center, Bahrain. January 19-21/2009.

VAN BERGEN, Peter. New frontiers in black powder removal. The pipeline gas journal, march 2006.