

PROCESO DE CONVERSIÓN DE TUBERIAS ANTIGUAS DE
HIDROCARBUROS PARA TRANSPORTE DE GAS NATURAL

GERMAN ALFONSO ARIZA MORENO
Ing. Civil

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FÍSICO QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETROLEOS
ESPECIALIZACIÓN DE GERENCIA EN HIDROCARBUROS
BUCARAMANGA
2006

PROCESO DE CONVERSIÓN DE TUBERIAS ANTIGUAS DE
HIDROCARBUROS PARA TRANSPORTE DE GAS NATURAL

GERMAN ALFONSO ARIZA MORENO
Ing Civil

Monografía para optar el título de
Especialista en Gerencia en Hidrocarburos

Director
RAFAEL DANIEL BARRRAGAN BOHORQUEZ.
Ing. de Petróleos
Geólogo

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FÍSICO QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETROLEOS
ESPECIALIZACIÓN DE GERENCIA EN HIDROCARBUROS
BUCARAMANGA
2006

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCION	1
OBJETIVOS	3
OBJETIVO GENERAL	3
OBJETIVOS ESPECIFICOS	3
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
2. MARCO TEORICO	6
2.1 PORQUE LA CONVERSIÓN DE TUBERÍAS DE CRUDO A TUBERÍAS DE GAS.	6
3. METODOLOGÍA UTILIZADA POR EL ICP	9
3.1 Conversión oleoducto Apiay - El Porvenir	11
3.2 Conversión tramo de oleoducto La Belleza - Vasconia	12
3.3 Conversión tramo de oleoducto Cusiana- El Porvenir- Miraflores - Río Suárez	12

3.4 Limpieza de oleoducto Ayacuho – Coveñas	12
4. OTRAS TECNOLOGÍAS	13
4.1 Tecnología del Gel Marrano.	13
4.2 Antes de realizar el servicio de gel marrano	16
4.3 Caso Historia	17
4.3.1 Primer Caso	17
4.3.2 Conversión de Kinder Morgan de crudo a Gas Natural.	23
4.3.3 El Proyecto de Conversión de la Tubería Rancho de Kinder Morgan	24
5. EL MARRANEO O PIGGING	29
5.1 Que es un pig?	30
5.2 Porque Marranear una Tubería?	30
5.3 Tipos de Marranos	31
5.3.1 Marranos de Limpieza	32
5.3.2 Marranos selladores	32
5.4 SELECCIÓN DEL PIG	34

5.4.1	Proceso de Selección teniendo en cuenta el objetivo	34
5.5	CONDICIONES OPERACIONALES	35
5.6	LA TUBERÍA	36
5.7	Máximos resultados en Limpieza de Tuberías	39
5.8	Características de los Polly-Pigs	40
5.8.1	Hechos de una flexible goma de células abiertas	40
5.8.2	Veintiocho diferentes tipos	40
5.8.3	Limpieza de cualquier tamaño de tubería	40
5.8.4	Viajando en casi cualquier sistema de tubería	40
5.9	Series y Modelos de los Polly-Pig	41
5.10	Como los Polly-pigs trabajan	42
5.11	Presiones y Fluidos Sugeridos en el Pigging	45
5.12	Procedimiento de Lanzamiento y recibimiento del Pig	46
5.12.1	Procedimientos Típicos de Lanzamientos del Pig	46
5.12.2	Procedimiento Típico del Recibimiento del Pig	48

5.12.3 Lanzadores / Recibidores de Pig normales	50
5.12.4 Configuraciones del lanzamiento y recibimiento	51
5.13 TIPOS DE PIGS USADOS PARA EL MANTENIMIENTO DE LAS TUBERÍAS	52
5.14 TIPOS DE PIGS USADOS EN LA PREPARACIÓN PARA, Y DURANTE EL ILI	53
6. GELES UTILIZADOS	54
6.1 Recogedor de escombros y geles de limpieza.	55
6.2 Transportador y gel inhibidor	57
7. PRUEBA HIDROSTATICA	59
8. SECADO DE LAS TUBERÍAS	60
8.1 ANTECEDENTES	60
8.2 Métodos de Secado	61
8.2.1 Secado con Aire Caliente	61
8.2.2 Secado de Purga de Nitrógeno.	62
8.2.3 Secado al Vacío	63

9. INHIBIDORES DE CORROSIÓN	65
10. TRATAMIENTO DE EFLUENTES	67
10.1 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCEDIMIENTO DEL TRATAMIENTO DE EFLUENTES	69
11. COSTOS DE CONVERSIONES DE TUBERÍAS EN COLOMBIA	70
12. METODOLOGIA PLANTEADA PARA LA CONVERSIÓN DE TUBERÍAS DE CRUDO A GASODUCTOS	73
12.1 Desplazamiento del producto a limpiar	74
12.2 Diagnostico de la tubería	74
12.3 Modelamiento hidráulico de la tubería	74
12.4 Selección del método de limpieza más efectivo	74
12.5 Modificaciones mecánicas en la línea	75
12.6 Selección de los raspadores junto con los geles a utilizar	75
12.7 Bombeo de los baches de limpieza	76
12.8 Monitoreo del proceso y recibimiento de los baches de limpieza	76
12.9 Hidroprueba con inhibidores de corrosión y con secuestrantes de oxígeno	76

12.10	Secado de la tubería hasta un bajo punto de rocío	77
12.11	Tratamiento de los efluentes	77
12.12	Commissioning o Puesta en Funcionamiento	77
13.	PROCEDIMIENTO DE CONVERSIÓN DEL OLEODUCTO CUSIANA EL PORVENIR	78
13.1	IDENTIFICACIÓN DE LA LINEA	78
13.2	CONSTRUCCIÓN DE PISCINAS	78
13.3	“DECOMISSIONING” Y ALISTAMIENTO DEL TRAMO CPF – PST3	79
13.4	LIMPIEZA QUÍMICA DEL TRAMO CPF – PST3	80
13.5	INTERVENCIÓN MECANICA DE LA LÍNEA CPF – PST3	81
13.6	INTERVENCIÓN MECÁNICA DE LA LÍNEA PST3 – EL PORVENIR	81
13.7	LIMPIEZA QUÍMICO MECÁNICA DE LA LÍNEA	81
13.7.1	LIMPIEZA QUÍMICO MECÁNICA DEL TRAMO CPF – RIO TUA	82
13.7.2	LIMPIEZA QUÍMICO – MECÁNICA DEL TRAMO EL PORVENIR – RIO TUA	82
13.8	PRUEBA DE ESFUERZO GASEODUCTO	83

13.9 SECADO DEL GASODUCTO CPF – EL PORVENIR	83
13.10 COSTOS COMPARATIVOS DE CONSTRUCCIÓN DE GASEODUCTO VS CONVERSIÓN DE TUBERÍA DE 20"	84
14. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	85
15. BIBLIOGRAFIA	88
ANEXO TIPOS Y USOS DE PIGS O RASPADORES	88
Copas y discos raspadores	91
Serie Turbo® Girard Pigs en Uretano para Tuberías	94
Uretanos Sólidos, Pigs de Desplazamiento Bi-direccional	95
Modelo TBBD	95
Modelo TTFG	96
Esferas de poliuretano	97
Bomba para esferas de Girard	99

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Comparación de Tecnologías de conversión de tuberías	10
Tabla 2. Conversiones de tuberías realizadas por el ICP.	11
Tabla 3. Presiones y Fluidos sugeridos en el pigging.	45
Tabla 4. Tipos de pigs usados para el mantenimiento de las tuberías	52
Tabla 5. Tipos de pigs usados en la preparación para, y durante el ILI	53
Tabla 6. Costos de conversiones realizadas por el ICP	71
Tabla 7. Comparación de costos en conversiones realizadas por el ICP	71
Tabla 8. Costos de conversión del Proyecto Cusiana-El Porvenir.	72
Tabla 9. Costos comparativos de construcción de una tubería a la de conversión de una línea	84
Tabla 10. Dimensiones de los pigs sólidos en uretano en el Modelo TBBD	95
Tabla 11. Dimensiones de los pigs sólidos en uretano en el Modelo TTFG	96

Tabla 12. Aplicaciones recomendadas para las esferas	98
--	----

Tabla 13. Fluidos recomendados para el llenado de esferas	99
---	----

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Tipos de Pigs	30
Figura 2. Flujo laminar suave en la tubería	43
Figura 3. Flujo un poco Turbulento	43
Figura 4. El Pig durante la limpieza de la tubería	44
Figura 5. Lanzador de pigs	47
Figura 6. Recibidor de pigs.	49
Figura 7. Lanzadores y Recibidores	50
Figura 8. Métodos convencionales de lanzamiento y recibimiento	50
Figura 9. Lanzamiento Convencional del Pig	51
Figura 10. Lanzamiento del Pig en Sección Principal de Agua	51
Figura 11. Pig Atrapado con Bandeja Encajada	51
Figura 12. Trampa de Pig Convencional	51

Figura 13. Movimiento tipo tractor de gel para recoger escombros	56
Figura 14. Secado con aire caliente	62
Figura 15. Secado con Nitrógeno	63
Figura 16. Secado al vacío.	64
Figura 17. Plano esquemático de piscina utilizada en limpieza del oleoducto Cusiana – La Belleza para recibo de fluidos de limpieza.	68
Figura 18. Pigs de Copas y Discos	91
Figura 19. Limpiadores separadores y calibradores	92
Figura 20. Limpiadores cónicos con copas	93
Figura 21. Pigs en uretano para tuberías	94
Figura 22. Modelo TBBD en pigs de uretano	95
Figura 23. Modelo TTFG en pigs de uretano	96
Figura 24. Esferas	97
Figura 25. Marranos tipo mandril	99

LISTA DE ANEXOS

	pág.
ANEXO TIPOS Y USOS DE PIGS O RASPADORES	90

TITULO

PROCESO DE CONVERSIÓN DE TUBERIAS ANTIGUAS DE HIDROCARBUROS PARA TRANSPORTE DE GAS NATURAL*

AUTOR

GERMAN ALFONSO ARIZA MORENO**

PALABRAS CLAVES

Conversión de oleoductos a gasoductos,
Limpieza de Tuberías,
Metodología para la limpieza de oleoductos,
Proceso para la limpieza de oleoductos.

DESCRIPCIÓN

El documento a continuación describe la Metodología utilizada en nuestro país por el Instituto Colombiano de Petróleos (ICP), para la conversión de tuberías de oleoductos a gasoductos y/o poliductos, la cual hace un énfasis en el trabajo con geles base agua para una mitigación al impacto ambiental, y comparando con las otras tecnologías descritas como una alternativa mucho mas económicas que las utilizadas por otras Empresas como BJ Procesos y Servicios de Tuberías (BJ-PPS). El documento además de incluir esta metodología propone una Metodología propia que puede ser de gran ayuda para la Empresa Colombiana Ecogas en conversiones futuras de oleoductos a gasoductos, explicando cada una de los pasos que en los cuales se debe seguir para el proceso de conversión de tuberías; haciendo un énfasis importante en la selección del pig y el gel a utilizar ya que estos son los que realizan la función de cambio de las propiedades del material adherido a la tubería, raspado, arrastre, suspensión y limpieza de la tubería; como también de las fases siguientes, la Hidroprueba, secado, inhibidores de corrosión, tratamiento de efluentes y Commissioning de la Línea.

Además a esto se incluyeron los costos del Proyecto Cusiana – El Porvenir que se trato de una conversión realizada por el ICP junto con Ecogas, como también los costos de conversiones realizadas por el ICP en valores de Mano de Obra en porcentaje de Limpieza y Tratamiento para tratar de llegar a un indicador que nos mostrara el valor de metro lineal de tubería Convertida/Pulgada, y por último la comparación en costos de la construcción de un gasoducto contra la de conversión de el tramo Cusiana – El Porvenir la cual era similar en diámetro y longitud para establecer que el costo de limpieza en este caso fue de 77% mucho mas económica que la construcción del tramo.

* Monografía

** Facultad de Ingenierías Físico Químicas, Especialización de Gerencia en Hidrocarburos, Director del Proyecto Ing. Rafael Daniel Barragán Bohórquez

TITLE

PROCESS OF CONVERSION OF OLD HYDROCARBONS PIPELINES FOR TRANSPORT OF NATURAL GAS*

AUTHOR

GERMAN ALFONSO ARIZA MORENO**

KEY WORDS

Conversion of crude pipelines to gas pipelines,
Cleaning of pipelines,
Methodology for clearing of crude pipelines,
Process for cleaning crude pipelines,

DESCRIPTION

The Document below describe the methodology used in our country for the Petroleum Colombian Institute (ICP), for the conversion of crude pipelines to gas pipelines, they make emphasis in use of gels based of water for the mitigation of the environment impact and in compare with the other technologies, this is alternative a lot more cheap than the used for other companies like BJ Process and Pipeline Services (BJ-PPS). The Document besides of include this methodology propose a methodology that will be useful for the Colombian company of gas Ecogas in future conversions of crude pipelines to gas pipelines, explained each of the steps to follow for the process of conversion of pipelines; making a important emphasis in the selection of the pigs and the gel to use, because these, make the function of change of proprieties of the stick materials of pipelines, scratch, drag, swabbing, keep in suspension and cleaning the entire pipeline; besides the next phases, hydrotesting, drying, corrosion inhibitors, treatment of the cleaning batch and commissioning of the pipe.

Beside to this I include the costs of project Cusiana – El Porvenir that was a conversion made it for the ICP together with Ecogas; the costs of the conversions made it for the ICP is in labor value, and this it self in percentage of cleaning and treatment, for trying to get a indicator that shows the value of linear meter of pipe convert/inch; and also the comparative costs of construction of gas pipelines against the conversion of the Line (Cusiana - El Porvenir), because, it was similar in diameter and distance for establish finally that the cost of cleaning in this case was of the 77% much more cheap than the construction the line.

* Monograph

** Faculty of Physical Chemistry Engineering, Hydrocarbons Management Specialization, Director of the Project Eng. Rafael Daniel Barragán Bohórquez

INTRODUCCIÓN

Con la creación de la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH), encargada de la administración de los hidrocarburos de la Nación, el Gobierno estableció un nuevo modelo de contratación Exploración & Producción, con el cual aumento la competitividad de nuestro contrato con los demás y ha creado una gran expectativa en los intereses de las multinacionales, el cual ha sido reflejado con la cantidad de nuevos pozos exploratorios en nuestro país y el incremento de las áreas entregadas para exploración, junto ha esto el país se ha comprometido a brindarle mayor seguridad a las multinacionales, en un esquema que indudablemente traerá muchos mas yacimientos de petróleo y gas, el cual necesitarán de una infraestructura que las cubra; tendiendo unas nuevas o utilizando las existentes en un nuevo esquema de reutilización de tuberías, llevándolas a un proceso de conversión que es el propósito de este estudio, que para el caso puede ser la conversión de crudo a gas natural.

En nuestro país es más factible que se incremente la producción y comercialización de gas natural frente a la del petróleo, por varias razones como la del agotamiento o declinación de campos de petróleo, el crecimiento de la demanda de gas en nuestro país, junto con la captación de nuevos mercados, además de los proyectos de comercialización que tiene pensado nuestro país con Ecuador, Venezuela y Centro América; estos proyectos lógicamente necesitaran una infraestructura mucho mas completa que puede ser reemplazada por líneas antiguas al contrario de construir una nueva, que es la vía mas económica, menos perjudicial ambientalmente hablando y en un tiempo de puesta en funcionamiento record.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Y Estandarizar una metodología de conversión de tuberías antiguas de oleoductos a tuberías de gas natural.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

Y Identificar el proceso completo de conversión de tuberías de crudo a tuberías de gas natural.

Y Identificar los diferentes tipos de conversión que pueden haber en el mercado para tomarlo como ejemplo en conversiones futuras.

Y Tomar como referencia un caso de conversión de tubería realizado en Colombia para referenciarlo con sus costos respectivos en kilómetro/tubería/pulg.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad nuestro país por medio del ICP- Ecopetrol han realizado conversiones de tuberías de crudo a gas natural o a poliductos, las cuales han dejado como experiencia mas de 1000 kilómetros de líneas convertidas; de las cuales no conocemos mucho ya que esta información la maneja el ICP y Ecopetrol como confidencial, por tal motivo la recopilación y búsqueda de la información fue un poco difícil por este factor que le dio a la vez un carácter especial de motivación a dejar un documento base para normalizar o estandarizar este tipo de procedimiento.

Una de las conversiones que Ecogas realizó en conjunto y con tecnología del ICP–Ecopetrol fue el tramo del oleoducto Cusiana – La Belleza para transporte de gas natural, de lo cual se tiene los resultados de lo realizado, pero Ecogas se ha visto interesado en la elaboración de esta Monografía para identificar y analizar una Metodología para la conversiones de tuberías a gas natural e identificar indicadores que muestren costos de kilómetro lineal de tubería convertida para su rehabilitación para transporte de gas natural, teniendo en cuenta la relación

Costo/Beneficio de tender una nueva, a la conversión de una tubería antigua como un factor predominante en la toma de decisiones para conversiones futuras.

La metodología del proceso de conversión de tuberías es conocido y manejado por el ICP ya que este mismo es el que ha realizado las conversiones de tuberías en nuestro país, pero para Ecogas que se ha visto interesado en la realización de este trabajo de investigación y que no tiene experiencia en la realización de conversiones, ha visto la necesidad de conocer la metodología utilizada para la conversión de tuberías y tener una metodología propia que le sea útil en conversiones futuras; en la cual puedan tener una idea y conocimiento de las fases del proceso y de los beneficios que pueden obtener de esta, en la medida que el factor beneficio/costo les indique la rentabilidad del proyecto

Por lo tanto la realización de este documento tiene como finalidad dar a conocer las metodologías y beneficio que tiene la conversión de tuberías de oleoductos a gas natural o poliductos, la cual puede ser de gran utilidad para Ecogas para conversiones futuras, en la cual puede reutilizar tuberías antiguas en cambio de construir una nueva, en el marco actual de el Plan de Masificación de gas que se esta llevando en nuestro país.

2. MARCO TEORICO

2.1 Porque la conversión de tuberías a tuberías de gas natural.

La conversión de una tubería se puede dar por varias razones, la primera, porque la tubería se quiere rehabilitar para otro servicio que puede ser gas o productos refinados del petróleo, la segunda, por que la producción de un campo aumente y/o disminuya de acuerdo a su producción; en el primero puede darse el caso de la construcción de una tubería paralela a otra y la nueva deje a la anterior dispuesta para su rehabilitación; o que disminuya en su defecto, y la cantidad transportada no se justifique para su transporte, y por lo tanto sea reutilizada para otro servicio, como también pueda ser que las cantidades comerciales de Gas Natural encontradas puedan estar disponibles en cierta área para su comercialización.

Algunas tuberías de crudo puedan que durante el tiempo no sean totalmente necesarias, o puedan estar convenientemente situadas para suministrar un campo productor hacia un mercado prominente de Gas Natural

Con el tiempo este tipo de conversiones se incrementaran en nuestro país debido al decrecimiento de la producción de los campos petroleros y al incremento de la Demanda de Gas Natural y la búsqueda de nuevos mercados para este producto.

Hay numerosas beneficios de convertir tuberías existentes como caso opuesto de construir una nueva; algunas de las más obvias ventajas son disminución de costos, reducción de los requerimientos logísticos, impacto ambiental mínimo, tiempo de puesta en operación. Una vez el tramo a convertir ha sido seleccionado, hay una significativa planeación, ingeniería y preparación requerida, además del trabajo contractual y legal si la tubería debe ser adquirida o comprada.

Para convertir una tubería de crudo a Gas Natural, hay algunos puntos que pueden ser anotados. Estos generalmente incluyen:

1. Desplazamiento del crudo.
2. Inspección interna (con marranos inteligentes) para valorar la integridad de la tubería.
3. limpieza interna.
4. Hidroprueba.
5. Modificaciones mecánicas (por ejemplo, estaciones, nuevas válvulas, trampas para marranos, reparaciones, etc.)
6. Limpieza interna después de la Hidroprueba.
7. Secado hasta un bajo punto de rocío.
8. Inhibidores de corrosión.

9. Ponerlo en servicio con el Gas Natural.

Para operar la tubería libre de problemas después de la conversión, una apropiada limpieza es tal vez uno de los más importantes puntos para resaltar. Si los depósitos acumulados sobre muchos años de servicio de crudo - y el rápido óxido producido por la Hidroprueba no es removido – problemas operacionales pueden ocurrir que pueden terminar *cerrando* la línea.

Hay numerosas formas de realizar la limpieza de la tubería y esta depende en gran mayoría por el producto transportado o utilizado anteriormente en la línea, que es el producto a limpiar o remover; y otros factores de menor peso que podrían ser determinantes para la escogencia del proceso serían el costo y el tiempo, este último podría determinar una importante mitigación al impacto ambiental de la región y a la vez minimizar el costo.

3. METODOLOGIA UTILIZADA POR EL ICP

El objetivo principal del ICP es proporcionar una tecnología que permita la conversión de oleoductos a gasoductos y a poliductos, comprendiendo la limpieza de las tuberías, y el tratamiento adecuado de los residuos sólidos y líquidos, generados con geles base agua y polímeros biodegradables.

- Identificación del problema
- Diagnóstico
- Diseño de la metodología de limpieza
- Modelamiento matemático
- Selección de los raspadores
- Bombeo de los fluidos
- Seguimiento del proceso
- Recepción de efluentes
- Tratamiento de efluentes¹

¹ ICP – Ecopetrol , Tomado del la Presentación Productos y Métodos de Limpieza de Oleoductos y poliductos, , Octubre 2002; d.10.

Por lo cual el ICP ha generado una nueva tecnología en la cual ha sido mucho más ambientalmente amigable que los otros procedimientos utilizados por otras empresas, y un 30 – 40% más económica, sin tener en cuenta los procesos de tratamiento de residuos sólidos y líquidos; estas comparaciones se pueden ver claramente en la siguiente tabla.

Tabla 1. Comparación de Tecnologías de conversión de tuberías

TECNOLOGIAS CONVENCIONALES	TECNOLOGIA ICP
Utilización de costosos solventes para solubilizar parte de las borras	Utiliza fluidos base agua, aditivos y corrientes de refinería, especialmente seleccionadas.
Uso de geles base aceite(kero, ACPM, etc.)	Geles base agua, polímeros biodegradables.
Infraestructura especial para la preparación de los fluidos.	No requiere infraestructura sofisticada.
No se realiza el tratamiento de los residuos de limpieza. Pasivo ambiental	Realiza tratamiento de residuos sólidos y líquidos. Tecnología limpia e integral
Contratación de empresa para manejo de residuos.	Se posee tecnología propia para realizar los tratamientos necesarios.
Sin tener en cuenta tratamiento de residuos, los costos son más elevados.	Es un 40% más económica, sin tener en cuenta tratamiento de residuos.

²

La metodología que maneja el ICP en la conversión de tuberías de oleoductos a gasoductos y/o poliductos es un proceso que ha tenido varias experiencias en conversiones y por lo tal han llegado a una metodología propia y utilizada en

² ICP – Ecopetrol, Op. Cit., d. 14.

nuestro país, el cual cuenta con varios beneficios como el de impulsar el Plan de Masificación de Gas en nuestro país, la apertura de nuevos mercados con el propósito de rehabilitar tuberías para gasoductos y poliductos a costos demasiado bajos en comparación de tender una nueva.

En la actualidad el ICP ha realizado más de 1000 Km. de conversiones de tuberías para el transporte de gas natural, productos refinados y crudo:

Tabla 2. Conversiones de tuberías realizadas por el ICP

TRAMO	LONGITUD (Kms)	TIPO DE CONVERSIÓN
Apiay - el Porvenir	121 Km.	Oleoducto – Gasoducto
La Belleza- Vasconia	94 Km.	Oleoducto – Gasoducto
Cusiana-Río Suárez	187.4 Km	Oleoducto – Gasoducto
DT's - DK's	4,2 Km	Línea Producción – Línea de Agua
Galán-Ayacucho-Coveñas	459 Km	Oleoducto – Poliducto
Ayacucho-pozos colorados	350 Km	Oleoducto – Poliducto
TOTAL	1215,6 Km	

³

3.1 Conversión oleoducto Apiay - El Porvenir

Longitud : 121 Km

Diámetros: 10 Pulg.(83 Km) y 12 Pulg.(38 Km)

Cliente: ECOPETROL- GERENCIA DE GAS

30 ton. Borrás parafínicas

³ ICP – Ecopetrol, Op. Cit., d. 28.

50 KBls efluentes

3.2 . Conversión tramo de oleoducto La Belleza - Vasconia

Longitud: 95 Km

Diámetros: 14 Pulg.(41 Km) y 12 Pulg.(54 Km)

Cliente: ECOPETROL- GERENCIA DE GAS

Residuos líquidos tratados: 54.000 Bls

3.3 Conversión tramo del oleoducto Cusiana- El Porvenir- Miraflores - Río Suárez

Longitud: 187.4 Km

Diámetros: 20 Pulg.

Cliente: VIT-GERENCIA DE GAS / ECOGAS

Remoción y tratamiento de 53.5 ton. de borra parafínica.

Tratamiento de 65000Bls de efluentes líquidos

3.4 Limpieza de oleoducto Ayacuho – Coveñas

53 Ton. de Residuos Sólidos.

Tratamiento de 250 KBIS de efluentes acuosos.

4. OTRAS TECNOLGÍAS

4.1 Tecnología del Gel Marrano.

La Tecnología de gel de marrano ha probado ser un método extremadamente efectivo en asegurar el grado de limpieza y secado requerido para una conversión satisfactoria. La tecnología de Gel puede ser usada para un eficiente desplazamiento del crudo, remover las largas cantidades de escombros típicamente encontrados en tuberías de crudo, y el secado de tuberías a niveles aceptables. Los resultados son conseguidos con un considerable menor tiempo y costo, desde la limpieza y secado de las largas líneas que es típicamente realizado en solo una pasada.

El uso de la tecnología de Gel para una conversión de tubería generalmente involucra un flujo o mejor dicho un tren complejo de limpieza que contiene un gel especial para sacar todos los fluidos, con etapas de aislamiento, o removiendo grandes cantidades de escombros. Los geles pueden estar hechos desde agua, hidrocarburos (por ejemplo, diesel, kerosene, etc.), solventes, o varios químicos.

Hay muchos diferentes tipos de gel dentro de una limpieza o un tren de secado. Una apropiada eliminación de cualquier residuo de gel restante después de una limpieza o tren de secado debe estar incorporada dentro del diseño. Esto asegura que no hay un problema potencial asociado con el residuo de gel una vez la línea esta nuevamente en servicio.

Es importante e imperativo que la compañía consultada tenga probado su experiencia en el diseño y ejecución de los servicios para la conversión con la tecnología gel marrano. Potenciales resultados catastróficos pueden ocurrir cuando no se siguen las aplicaciones o un apropiado químico y diseño no es usado.

Un apropiado diseño de tren de gel marrano puede emplear ambos químicos y técnicas mecánicas para la remoción de fluidos no deseados y escombros en la tubería. Un tren típicamente contiene varios marranos mecánicos específicamente creados para la tarea. Los marranos mecánicos proveen una acción de raspado que ayudan a perder los depósitos adheridos de la pared de la tubería. Solventes, inhibidores y otros químicos son con frecuencia incluidos en el diseño del tren.

Los fluidos de gel marrano pueden suspender y efectivamente arrastrar largas cantidades de escombros de la tubería. Podría tomar a los marranos mecánicos o a los solventes solos, cien o inclusive mil pasadas para remover la misma cantidad de escombros que son removidos con una simple pasada de tren de gel marrano.

Un tren de secado puede ser diseñado usando gel para más eficiencia barriendo el agua residual de la tubería. El metanol es incorporado dentro del tren para el secado de la línea para alcanzar el punto de rocío en una simple pasada. El punto de rocío de -40° F o menor ha sido logrado con este método. El tren de secado puede ser corrido inmediatamente siguiendo el tren de gel de limpieza o independientemente después de la limpieza o de la Hidroprueba. En largas líneas, metanol puede gelatinizar para reducir la fricción y pasar los marranos mecánicos.

Algunas de las ventajas del servicio de gel marrano para limpieza de tuberías de crudo para convertirlas a tuberías de gas, incluyen:

- Habilidad para remover grandes cantidades de escombros
- Reduce el riesgo de marranos atascados
- Limpieza eficiente a relativamente bajas velocidades
- Disminución potencial de contaminación de gas o producto.
- Limpieza o secado de largas tuberías en una simple pasada
- Confirmación analítica como el grado de limpieza o secado
- Disminución de exposición ambiental – mínimos sitios de lanzamientos y recepción
- Relativas opciones simples de disposición
- Reducción de costos
- Reducción de tiempo

- Costumbre de diseño para la remoción de depósitos específicos
- Fácil y efectiva aplicación de inhibidores requeridos

4.2 Preparación antes de realizar el servicio de gel marrano

Antes de comenzar la conversión de la tubería, alguna información clave es requerida para un apropiado diseño de la limpieza gel y secado. Depósitos de líneas de crudo tienen históricamente contenidas grandes cantidades de escombros inorgánicos (por ejemplo, arena, orín, óxido de hierro, otros metales y minerales), en adición para variar las cantidades de depósitos orgánicos (por ejemplo, residuos de crudo, parafinas, asfaltinas, malténos, etc.). El material para ser removido de una línea específica debe ser identificado y cuantificado.

Es recomendable que las muestras de la actual tubería (por ejemplo, aproximadamente secciones de 2 a 3 pies), contaminantes sólidos y muestras de aceite sean tomadas para un análisis. Para largas líneas, muchas muestras son tomadas de la tubería y depósitos deberían tomarse de diferentes áreas. La cantidad de escombros en la línea es estimada del análisis y la composición de los sólidos para remover es determinada. La prueba de solubilidad es realizada para determinar el mejor solvente para remover la porción orgánica de los depósitos, y el más efectivo fluido para el gel.

Acerca de los datos obtenidos, una alternativa para un análisis de la muestra de la tubería es limpiando una pequeña sección de la tubería con un mini tren de gel. Una evaluación de un apropiado servicio de gel marrano resulta una segura información como para: (1) La cantidad de escombros removidos de la tubería, (2) La cantidad de escombros potencialmente remanentes en la línea, (3) Una positiva indicación si la línea esta limpia, y (4) La composición de los depósitos removidos. El diseño final para el proyecto puede ser optimizado basado en los datos recolectados durante la pequeña “prueba de limpieza”.

4.3 Casos Históricos¹

4.3.1 Primer caso

Se han convertido miles de millas de tuberías de crudo exitosamente para gas natural en Estados Unidos usando la Tecnología de gel marrano. El siguiente caso histórico describe una reciente conversión, la cual fue últimamente usando esta técnica para limpiar la tubería, anteriormente con servicio de crudo, para ser utilizada en transporte de gas natural.

En comienzos del 1996, una compañía grande de transmisión de gas decidió convertir una tubería de crudo a servicio de gas natural en el centro de Estados

¹ Background Kinder Morgan Rancho Pipeline Project, Ancho Pipeline Project, www.rci-metaire.com/about_usrancho_background.pdf. Austin's Growing Energy Demand.

Unidos. La tubería tenía más de 900 millas de 16, 20, 22 y 24 pulgadas. Las técnicas para la limpieza de la conversión de tubería fueron evaluadas, incluyendo la tecnología de gel marrano. De cualquier manera, el dueño inicialmente eligió no utilizar el método de gel marrano, basándose sobre una percepción de ahorrar dinero.

El método seleccionado para limpieza incluyó un tren comprendido de marranos mecánicos y solventes para remover los depósitos residuales de crudo y escombros orgánicos. Un simple tren de solventes recorrió toda la longitud de la tubería. Después de que el solvente inicial limpió, la línea fue hidroprobada. Una vez completa la Hidroprueba, los segmentos de la línea fueron desocupados, limpiados y secados usando aire deshidratado. La línea fue puesta a prueba con gas natural y en servicio en Agosto de 1997. Las expectativas fueron de totalmente limpia y alcanzaron volúmenes en exceso de 200 MM de pies cúbicos para Octubre de 1997.

Al poco tiempo de haberse iniciado, la línea empezó a experimentar problemas por la excesiva cantidad de escombros y humedad. Unidades de filtración fueron ubicadas en muchas locaciones estratégicas a lo largo de la línea, pero rápidamente se taparon con depósitos (primeramente óxidos de hierro) sobre una base diaria. Cambiando filtros se puede tomar hasta ocho horas por unidad de filtración. Los escombros fueron creando problemas de erosión con las válvulas, instrumentos y compresores, preocupaciones de seguridad, daños mayores del equipo, pobre calidad de gas y problemas de entrega. Una línea se le paso un

marrano sin ningún éxito. Marranos mecánicos fueron severamente dañados por un extremado desgaste, mientras removían pequeñas cantidades de escombros.

Para finales de Septiembre de 1997, fue aparentemente que se volvió necesario limpiar la línea operacional de gas. BJ Procesos y Servicios de Tuberías (BJ-PPS) fue contratada para poner en marcha con la tarea operacional de limpiar la tubería, usando BJ servicio gel marrano. Un trabajo de esta magnitud requiere muchos meses de Ingeniería y preparación, pero debido al estatus de emergencia, fue completado sobre los siguientes tres días con el trabajo en realidad comenzado dentro de una sola semana.

La línea fue separada en cuatro secciones utilizando un complejo tren de limpieza diseñado para cada uno. Esto incluyó Diesel basado BJ remoción de escombros y separados con fluidos de gel marrano, un rompedor de lavado, una aplicación de inhibidor y una variedad de marranos mecánicos (cepillo, copa, discos y esferas). Debido a las limitaciones impuestas por sus entregas de gas, no fue posible empezar al comienzo de la línea y continuar hasta el final. Al contrario, la primera sección limpiada fue en la mitad de la línea, y después cada sección de cada extremo fueron completadas.

Marranos mecánicos tuvieron que ser cambiados a diferentes diámetros a lo largo de la tubería. A alta presión, alto volumen la segunda fase el separador fue usado para recibir los trenes de marranos y desviar los fluidos y sólidos hacia los Frack tanks. Muestras de los trenes de gel marrano fueron tomadas en los sitios de

recepción en cada sitio de transferencia para su análisis. De las muestras, la cantidad de escombros removidos de cada sección y la cantidad de escombros potencialmente restantes en cada sección fue estimada. El valor total del diseño combinado para los cuatro trenes fue basado sobre un potencial de remoción de aproximadamente 500.000 libras de escombros de la línea completa. Todos los trenes fueron bombeados para el diseño, por BJ-PPS sin ningún incidente. Los trenes, se manejaron con gas natural en la línea, fueron rastreados y monitoreados electrónicamente transmitiendo y rastreando el personal a cada instante. Lo último de los cuatro trenes fue recibido en Noviembre 3 de 1997. La limpieza fue completada en menos de un mes, incluyendo 10 días en standby debido al tiempo de preparación del dueño y a sus asuntos operacionales. Al tiempo que los trenes fueron recibidos, fue obvia la cantidad significativa de escombros que fueron removidos. Toneladas de sólidos fueron removidos de las trampas de marranos como también los marranos mecánicos fueron cambiados o recibidos en comparación con el total de la cantidad suspendida en el gel.

Depósitos orgánicos e inorgánicos del crudo original fueron removidos de la línea con el Diesel- basado en gel. Oxido de hierro del la Hidroprueba fue también removido. Análisis de muestras de gel estimaron un acumulado total de 1,032,538 libras de escombros que fueron removidas de la línea. El total remanente de escombros fue estimado en aproximadamente 53,100 libras, que fueron primeramente localizados en una sección de 151 millas.

De cualquier manera, debido al tiempo corto, el dueño decidió poner la línea en servicio sin la limpieza adicional de gel. Basado en la evaluación del gel, la línea fue aproximadamente 95 % limpia a ese momento pero el dueño de la tubería estaba consiente que la línea podría todavía contener una considerable cantidad de escombros en ciertas áreas.

Después aproximadamente dos a tres semanas en servicio, los problemas de escombros disminuyeron, pero el contenido de humedad se incremento en la sección todavía sospechoso de contenidos relativamente altos de escombros residuales. Durante la limpieza con gel una cantidad significativa de agua libre y metanol fueron removidos de la línea delante de el tren de gel de limpieza, particularmente en esta sección. Fue originalmente pensado que la línea fue relativamente seca y sin contenidos de líquidos libres.

Escombros remanentes pueden incrementar el contenido de humedad de el gas, debido a el agua atrapada en los sólidos. El dueño de la línea decidió hacer una segunda pasada, solo en la sección de preocupación, para remover los remanentes de escombros y humedad. Esto incluyó un tren de secado de metanol inmediatamente seguido del tren de limpieza. Todas las otras partes de la línea tuvieron una lectura aceptable de punto de rocío y no requerirían una adicional limpieza o secado.

La segunda pasada de esta sección, parecida en diseño pero pequeña, comenzó en Diciembre 3 de 1997 y fue completada el 15 de Diciembre de 1997. El

segundo tren removió un estimado de 60,124 libras de escombros adicionales. La cantidad fue solo un poco más alta que las 53,100 libras estimadas de los resultados del primer tren de limpieza. El análisis final indico que la línea debió estar relativamente limpia, con muy pocos remanentes de escombros (98,7 % limpia). El tren de secado de metanol durante la segunda pasada no dejo humedad significativa, como el fluido de secado recibido fue más grande que los 97 % de metanol. La tubería fue puesta en servicio inmediatamente después del segundo tren de limpieza y ha estado operando desde entonces sin ningún incidente debido a los escombros y a la humedad. En el primer mes de servicio después de la limpieza, la humedad contenida fue buena por debajo de 7 lb/MMpc, el nivel aceptable de humedad para la comercialización de gas. Las ratas de flujo fueron rápidamente incrementándose hasta la capacidad sin ningún incidente. Después no hubo presencia de gel residual o líquidos libres después de la limpieza. Puntos bajos y áreas de preocupación fueron físicamente chequeados confirmándose absolutamente no acumulación de fluidos.

La limpieza operacional con gel fue extremadamente exitosa en la eliminación de los problemas con excesivos escombros y humedad. De cualquier forma, estos resultados pudieron ser alcanzados durante el proyecto actual de conversión anterior al funcionamiento con gas, con un costo significativo y tiempo ahorrado, usando técnicas similares. Esto pudo también aliviar muchos de las consecuencias de costos y problemas de experiencias después de la conversión.

4.3.2 Conversión de Kinder Morgan de crudo a Gas Natural.

La compañía adquirió la tubería de 24 pulgadas de diámetro en Diciembre de 2003, y la tubería fue capaz de transportar hasta 170 millones de pies cúbicos de gas natural por día hasta el área de Austin.

El proyecto, el cual es apoyado por contratos de largos términos de transporte y almacenamiento con Energía Austin, costo US \$30 millones. Compañía local de distribución de gas natural, Texas Gas Services, firmó acuerdos con KMP, asegurando un suministro seguro de gas natural para sus clientes.

La conversión es la mas oportuna y la solución ambientalmente disponible para llegar al área de Austin donde la demanda de gas natural esta en crecimiento, “decía Steve Kean, presidente de el Grupo Kinder Morgan Tuberías Estatales. *“Estamos trabajando cerca con la ciudad de Austin para utilizar la infraestructura existente y llevarla a cabo a través de programa de prueba para asegurar la integridad de la línea.”*

Como parte del proyecto, cinco millas (8,04 Km.) laterales fueron también construidas, y se convirtieron disponibles para el servicio a principios de Julio. Los 20 pulgadas de diámetro de la línea proveen de servicio a la planta de Electricidad Austin Energy's Sand Hill.

El sistema interestatal de Kinder Morgan en Texas esta hecho de aproximadamente 5,800 millas de tuberías que sirven como enlace entre las áreas

productoras de gas natural a lo largo de la Costa del Golfo y el resto de Texas. Estas tuberías tienen una capacidad de 5 billones de pies cúbicos de gas por día. Ellos también tienen una capacidad de almacenamiento de acerca 120 billones de pies cúbicos.

4.3.3 El Proyecto de Conversión de la Tubería Rancho de Kinder Morgan.

Para ayudar a servir en el crecimiento del mercado de Austin, Kinder Morgan anunció en Diciembre de 2003 que posiblemente invertiría aproximadamente \$30 millones de Dólares para adquirir una porción de una tubería existente de crudo que pertenecía a TEPPCO (la tubería Rancho) y convertir aproximadamente 130 millas a servicio de gas natural. La propuesta de la tubería interestatal de 24 pulgadas de gas natural podría operar desde Katy aproximadamente a 20 millas al oeste de Austin y proveerá un adicional de 170 millones de pies cúbicos día de la capacidad del mercado de Austin. Como parte del proyecto, la compañía construirá una nueva tubería lateral de cinco millas que se extenderá desde la existente tubería de Rancho de Kinder Morgan (KM Rancho) hasta la planta de Electricidad Sand Hill. Pendiente de obtener todos los permisos necesarios y aprobaciones, la tubería podría estar en servicio en verano del 2004.

KM Rancho terminará siendo una tubería diferente a lo que era anteriormente. KM Rancho transportará el ambientalmente amigable gas natural, no productos de petróleo refinado. En el improbable evento de un incidente que resultase un

escape de gas natural de la tubería, el gas (que es más liviano que el aire) se disipará en la atmósfera, mientras que un escape de un producto del petróleo podría filtrarse hacia abajo y potencialmente contaminar el suelo o aguas subterráneas. Adicionalmente, KM Rancho no tendrá ninguna fuente de emisión como teas o estaciones compresoras. Kinder Morgan ha estudiado los asuntos alrededor del proyecto de la tubería de Longhorn sus encuentros con varios grupos y agencias para anotar preocupaciones, responder preguntas y adoptar medidas para asegurar que el proyecto tenga el mínimo impacto sobre el medio ambiente y cumplir con todos los requisitos regulatorios.

La conversión de Rancho KM de crudo a gas natural es oportuna, segura y ambientalmente suena como un medio de proveer competitividad y necesidad adicional de suministro de gas natural hacia el rápido crecimiento del mercado de Austin.

La conversión de una tubería existente es mas rápida y menos desbaratadora que construir una nueva. El proyecto de conversión de 130 millas tomará lugar en una existente prioridad, la cual minimizará el impacto ambiental. La nueva tubería lateral de cinco millas será construida desde el sureste Travis County hasta la planta de Energía Sand Hill de Austin en un existente corredor público adyacente hasta la nueva autopista estatal 130.

Como parte del proceso de conversión, la tubería será limpiada, inspeccionada toda su integridad y mejorada hasta donde sea necesario.

Antes de poner en servicio de gas la KM Rancho, la tubería será completamente hidrostáticamente probada con agua hasta 1.5 veces la máxima presión permisible de operación para asegurar que pueda resistir presiones lejanas en exceso de las presiones normales de operación.

KM Rancho será sujeta a la reciente promulgada norma integral de integridad de tuberías de la Texas Railroad Commission, que es más estricto en muchos casos que las normas federales.

El proyecto acarreará el removimiento y reemplazo de válvulas principales, cubriendo toda la tubería, reemplazando porciones de la tubería, limpiando la tubería internamente e instalando varios equipos, y una estación contadora.

Basado sobre análisis y aprobaciones de las agencias apropiadas de regulación, la conversión no se espera que: impacte cualquier ecosistema; modifique la dinámica natural de las comunidades de flora y fauna; o impacte sitio arqueológico o histórico.

El impacto ambiental será temporalmente durante la fase de conversión. El procedimiento de construcción será seguido de tal forma que minimice los impactos. Las áreas afectadas serán restauradas hasta su estado de pre-construcción; ningún hábitat de fauna será perdido como resultado del proyecto; el proyecto no estará localizado cerca de escuelas o iglesias; y el disturbio del tráfico

será mínimo y limitado para el movimiento de equipo al sitio de trabajo. Los carreteras no se cerraran y clausuras de carril no serán necesarias.

Kinder Morgan esta comprometido a la seguridad pública, a la protección del medio ambiente y la operación de sus facilidades de acuerdo con todas las normas y regulaciones aplicables. La compañía esta orgullosa de su record de seguridad y sigue muchos regulaciones y procedimientos para controlar y asegurarse de la integridad de sus tuberías. Por ejemplo las condiciones de operación de tubería son monitoreadas 24-7 por personal en centro de control usando un control de supervisión y adquisición de datos (SCADA) por un sistema de computador. (Los antecedentes en seguridad de Kinder Morgan están disponibles a cualquier petición).

Las tuberías interestatales de Kinder Morgan's Texas se componen de un aproximado de 5.800 millas de tuberías con una capacidad máxima de 5 billones de pies cúbicos por día de gas natural y aproximadamente 120 millones de pies cúbicos de capacidad de almacenamiento. Kinder Morgan es una de las más grandes compañías de transporte de energía y almacenamiento en América.

En conclusión podemos decir que el método de Gel de marrano es efectivo pero en realidad tiene varios aspectos negativos, ya que este método utiliza geles a base de aceites tales como ACPM y Kerosene los cuales hacen el tratamiento mas costoso de realizarlo con geles a base de agua, BJ Procesos y Servicios de Tuberías (BJ-PPS) no tiene la infraestructura para realizar este tratamiento lo cual

lo deja como un pasivo ambiental que en nuestro país no puede existir por la normatividad ambiental vigente, este proceso por utilizar geles a base de aceite necesita de una infraestructura especial para la preparación de los geles lo cual lo hace dispendioso para la preparación en campo.

5. EL MARRANEO O PIGGING

Debemos considerar que cada línea es diferente, estas tienen diferentes diámetros, longitudes, contenidos, geometría, presiones de operación y temperaturas, materiales, espesor de las paredes, localizaciones, etc. Estas son también construidas por diferentes contratistas y tienen diferentes dueños, cada uno de los cuales tienen muchas filosofías y procedimientos de operación. Estas serán construidas y operadas de acuerdo a diferentes códigos y cumpliendo con requerimientos diferentes de autoridades. La selección del “pig” y el programa de marraneo debe acomodarse a la necesidad particular y a las características de cada tubería y su operación.

El marraneo se utiliza para aumentar la eficiencia de las líneas que han tenido un tiempo determinado de uso. Cuando las tuberías tienen bastante tiempo de uso vemos el incremento de la corrosión, esto es causado por la falta del marraneo operacional, por la acumulación de agua en la línea causando MIC, por acumulación de parafina en las paredes de la tubería, o por otras razones.

5.1 Que es un pig?

Un pig es definido como “un aparato que es movido a través de la tubería para el propósito de limpieza, dimensionamiento, o inspección.” Esta definición cubre más o menos 500 diferentes diseños y tipos de pigs.



Figura 1. Tipos de Pigs

El diámetro del pig deberá ser de un 5 – 10% mayor que el diámetro nominal de la tubería para aumentar la acción de arrastre dentro de la tubería.

5.2 Porque Marranear una Tubería?

Hay varias razones para marranear una tubería. Pero en este caso el marraneo de la tubería tiene un propósito en especial que es el de limpieza de la tubería, remover cualquier cantidad de escombros, parafina acumulada, el desplazamiento del agua en los puntos bajos de la línea, y además se utiliza para desplazar el aire (esferas) para realizar la prueba hidrostática en la tubería.

Después que la línea ha sido limpiada, la siguiente fase es la prueba de aceptación donde los marranos son usados para llenar la línea con agua para la prueba hidrostática, el desocupamiento del agua después de la prueba y secado. Si es una línea líquida, el marrano es usado para llenar la línea con el producto durante el comisionamiento y puesta en funcionamiento de la línea.

Cuando la tubería esta en servicio, será necesario marranear la línea para mantener la línea en eficiencia y para controlar la corrosión. Es necesario remover los líquidos en un sistema húmedo de gas, remover el agua acumulada en tuberías, remover la parafina y controlar las tuberías de crudo. Los marranos son también usados para enviar inhibidores.

Para determinar la cantidad de corrosión o de metal perdido en la tubería, se usa un ILI (una inspección de la línea). En tuberías que manejan múltiples productos tales como gasolina, aceites calientes, y jet fuel, se usa frecuentemente marranos o esferas para separar estos productos.

5.3 Tipos de Marranos

Los marranos pueden ser divididos en tres categorías generales; el convencional o marrano utilitario para “sobre corriente” o marranos de rutina, los marranos geométricos para inspección, y el ILI (en inspección de la línea) herramientas para

perdidas de metal y remoción de corrosión. Esta presentación tiene intención de discutir los convencionales o marranos de utilidad.

Los marranos de utilidad son divididos en dos categorías: marranos de limpieza y de sellamiento.

5.3.1 Marranos de Limpieza

Son usados para remover los sólidos acumulados y los escombros de las paredes de la tubería. Esto es normalmente parafina en tuberías de crudo. Cuando inhibidores son usados en tuberías de gas, los solventes en la evaporación de inhibidores, forman una goma en las paredes de la tubería que pueden ser removidos con los marranos de limpieza. Los marranos de limpieza también son usados en conjunto con tratamiento químico en las líneas para interrumpir los sitios de corrosión y remover el agua, microbios, productos corrosivos, y todo tipo de depósito. Los marranos de limpieza son normalmente equipados con cepillos o cuchillas para realizar la limpieza.

5.3.2 Marranos selladores

Son usados durante las pruebas hidrostáticas de las tuberías para llenar la línea con agua y después desocuparlas de la línea. Removiendo condensados y agua en sistemas húmedos de gas, agua de productos de la tubería o separación distinta de productos en una tubería, son otras aplicaciones. Los marranos

selladores pueden ser esferas, marranos sólidos de poliuretano, o marranos tipo mandril con selladores de copa o discos.

Cada uno de estos grupos vienen en cuatro diferentes formas:

- a) *Pigs tipo Mandril*: Es ensamblado desde un número de partes de componentes y por lo cual los repuestos están disponibles.
- b) *Pigs de goma*: Los cuales son moldeados de goma de poliuretano con varias configuraciones de desmontables sólidos de poliuretano y/o alambres erizados, tachones, etc., permanentemente unidos a ellos. Pigs de goma están disponibles en muchos tamaños.
- c) *Pigs de molde sólido*: Son moldeados en una sola pieza – usualmente de poliuretano. Estos pigs, están disponibles solo en tamaños pequeños.
- d) *Esferas*: Normalmente llenos con agua/glicol estos pigs pueden ser inflados al diámetro optimo. Esferas son disponibles en muchos tamaños.

Es de notar que muchos de los pigs normales pueden solo atravesar la línea en una sola dirección, de todas formas “bi-di” pigs son capaces de atravesar en cualquier dirección (por ejemplo, bi-direccional). Multi-diámetros (o “doble diámetro”) los pigs pueden atravesar una tubería la cual tiene una o mas tamaños de línea diferente.

5.4 SELECCIÓN DEL PIG

5.4.1 Proceso de Selección teniendo en cuenta el objetivo

Como cualquier proceso de selección, el primer requerimiento es establecer los objetivos. Desafortunadamente, marranear no es todavía una ciencia exacta, entonces la puesta de los objetivos continuarán hasta ahora con algunas dificultades. Sin embargo, es necesario establecer el objetivo tan preciso como sea posible. No es suficiente simplemente definirlo como “limpieza”, “swabbing”, “baches”, “dewatering”, o cualquier cosa.

En la definición del objetivo, las preguntas para ser respondidas deben incluir lo siguiente.

a) Cual es la sustancia para remover (o desplazar)?

Si se requiere remover un líquido, entonces un swabbing pig puede ser considerado. Si es sólido, entonces un pig de limpieza es necesario, y si el sólido es duro, entonces cepillos pueden ser necesarios – o si es suave puede ser mejor cuchillas.

b) Cual es la sustancia radialmente – longitudinalmente (si es conocida)?

Aunque sólidos y, en tuberías de hidrocarburos, agua, tienen tendencia a acumular en el fondo de la línea, esto no es siempre el área principal del problema. La respuesta a esta pregunta es también algunas veces ayuda a decidir si localizar un pig y si es, donde hay que concentrar las actividades de localización – y ayudará a responder la siguiente pregunta:

c) Cual es el volumen estimado para remover?

Claramente, arreglos se tendrán que hacer para manejar la sustancia removiéndolo de la línea completamente, o pasándolo a través del sistema de proceso. Cualquiera de las dos formas, las facilidades deben poder de manejar los volúmenes esperados. Si el volumen es probable que exceda que cual puede ser manejado, o cual puede bloquear la línea, un pig debe ser seleccionado el cual solo parcialmente limpiara la línea.

5.5 CONDICIONES OPERACIONALES

a) Cuales son los contenidos de la línea mientras es marraneada?

No hay duda el contenido bajo operaciones normales tendrán que ser conocidas cuando se discuta el propósito del marraneo. Hay algunas diferencias cuando se

marranea productos refinados comparado con crudo, pero hay diferencias significantes si la comparación esta entre un gas y un liquido.

b) Cual es el manejo de la presión disponible?

Claramente es importante asegurarse que hay suficiente presión disponible para manejar el pig. De todas formas, será también útil para el planeamiento de contingencia conocer el máximo diferencial disponible, entonces estos procedimientos alternativos pueden ser ideados en el evento de problemas.

c) Cual es la velocidad mientras se realiza el marraneo?

La respuesta a esta pregunta es crítica por la herramienta ILI pero es igualmente importante para la utilización de pigs. La situación “parada-inicio” encontrada cuando el marraneo en líneas de baja presión de gas debería siempre ser evitada pero inclusive a altas presiones de gas, o líneas de líquidos, la velocidad tiene un mayor efecto en el rendimiento del pig.

5.6 LA TUBERÍA

a) Cual es el material de la tubería y si esta recubierta (y si esta con que)?

Esto será obviamente una de las primeras preguntas respondidas anterior al reporte del ILI, pero puede ser importante para la utilización del los pigs también.

La superficie interna afectará el tipo de limpieza y el elemento seleccionado. Algunos materiales se romperán o se descascarará si la abrasión es muy fuerte. En algunas combinaciones de producto y edad, granos pequeños mill-scale puede por descuido ser removidos y esto puede causar serios e inesperados problemas.

b) Cual es el mínimo y el máximo diámetro interior?

El diámetro nominal es usualmente no suficiente. Algunas paredes pesadas de tuberías pueden tener un diámetro interno equivalente a eso que de un peso normal de tubería un tamaño más pequeño. Es el Diámetro interno el cual determina el diámetro del pig no el tamaño nominal de la tubería. Este seguro de inspeccionar el Diámetro interno de las curvas y tees.

c) Cual es el perfil de elevación de las tuberías?

Esto puede ser especialmente útil en la selección de las locaciones de búsqueda como también como probables puntos de problemas. También actuará como una doble inspección si la presión disponible es la adecuada.

Los líquidos permanecerán en los puntos bajos, pero ellos también correrán de los puntos altos, posiblemente creando presiones negativas y velocidades altas en los pigs. Esto es especialmente critico para la herramienta del ILI, el cual muchas veces necesita muy de cerca velocidades controladas.

d) *Cual es la máxima distancia que el pig debe viajar en una sola pasada?*

Otra vez, esto es critico por la herramienta ILI, pero también determinará tales cosas como configuración de copa y número de copas o si las ruedas son necesarias (por consideraciones de puesta) en pigs de utilidad.

e) *Cual es el MINÍMO radio de curvatura en la línea?*

Esto es usualmente expresado en el diámetro de la tubería y es medido hasta la línea centro de la tubería. 3D es el mínimo deseable, pero muchos pigs pueden negociar 1,5D, sujeto a las condiciones de la línea. Uniones en las curvas deberían ser evitados a todo costo pero si existen, ellos deben ser medidos cuidadosamente como es probable que el pig necesitaría ser “hecho a la medida” para esta situación.

f) *Cual es el ángulo de las curva(s)?*

Muchas curvas son de 45° o 90° pero las curvas en campo podrían ser de cualquier ángulo y algunas curvas podrían efectivamente exceder 90°.

g) *Cual es el Diámetro interno de cada accesorio (tee o salida)?*

Esto es importante para asegurar que el pig no se “atasque” dentro de una bifurcación y se atrape, o se atraque atravesando una tee.

h) Que tipo/ modelo/hechos de válvulas son instaladas?

Todos los tipos de válvulas de bolas usualmente no presentan problemas pero las válvulas de salida y las válvulas cheque posiblemente si. En particular, cualquier espacio debido al asiento de los anillos o cualquier hueco en la válvula cheque cazoleta debe ser cuidadosamente considerada como en estos puntos que el pig puede perder el asiento (o manejar) o atascarse.

5.7 Máximos resultados en Limpieza de Tuberías

Por encima de 30 años Girard Industries se ha comprometido en ayudar a los operadores a limpiar una ancha variedad de tuberías. Este compromiso guió a Girard en el desarrollo como la primera Industria que patentó los Polly-Pigs giratorios. Girard ha estado constantemente controlando el desarrollo de la calidad y el integral diseño que aseguren un máximo resultado de limpieza.

Años de experiencia fabricando y resultados probados han ganado la reputación de Industrias Girard como el fabricante líder de la industria de los pigs de tuberías.

El diseño del Polly-Pig es en forma de bala con una sellada base cóncava. Estos pigs son hechos de una alta calidad de goma abierta de células de poliuretano. Ellos tienen un recubrimiento resistente de elastómero de poliuretano y están

disponibles en una variedad de diseños y abrasivos para satisfacer cada necesidad.

5.8 Características de los Polly-Pigs

5.8.1 Hechos de una flexible goma de células abiertas

Permite el pig negociar 90° en ellos, tees, válvulas, y cambios de diámetros de tuberías.

5.8.2 Veintiocho diferentes tipos

Para varias aplicaciones desde limpieza suave y secado hasta remociones de tipo pesado.

5.8.3 Limpieza de cualquier tamaño de tubería

Desde líneas pequeñas de 2 pulgadas hasta 144 pulgadas.

5.8.4 Viajando en casi cualquier sistema de tubería

Los Polly-Pigs viajan en casi cualquier sistema de tubería el cual tenga un adecuado flujo y volumen para mover el pig.

5.9 Series y Modelos de los Polly-Pig

Hay cuatro tipos básicos de Polly-Pigs: Secado, arrastre, limpieza, y raspado. Cada uno disponible en tres grados de durabilidad: Escarlata, Rojo, y la Serie Amarilla.

- **Serie Escarlata:** Alta Densidad (9-10 lbs/pie³) goma de poliuretano. Disponible en 8 estilos desde arrastre pesado hasta raspado pesado.
- **Serie Roja:** Densidad media (5-8 lbs/pie³) en goma de poliuretano. Disponible en 8 estilos desde regular arrastre hasta raspado regular.
- **Serie Amarilla:** Densidad liviana (1-2 lbs/pie³) densidad de goma de poliuretano. Disponible en 6 estilos para varios grados de secado, limpieza y raspado.
- **Aplicación Especial:** Arriba de 20 lbs/pie³ densidad de goma de poliuretano. Disponible en 6 estilos para baches, limpieza especial y raspado. Los Polly-Pigs son hechos a la clientela también disponibles para necesidades especiales.

5.10 Como los Polly-pigs trabajan

Los Polly-Pig son contruidos de células abiertas de goma de poliuretano de varias densidades y son disponibles con varios tipos de recubrimientos externos. Por lo tanto cada pig tiene una aplicación especial, algunos son intercambiables de acuerdo con las preferencias del usuario dentro de parámetros.

Los Polly-Pig de Girard son moldeados de goma de poliuretano en materiales livianos, medios, o densidades pesadas. En forma de bala, es diseñado para ayudar a atravesar desviaciones y válvulas. El final cóncavo es disponible para servicio bi-direccional. La longitud del pig es dos veces el diámetro para reducir la posibilidad de que el pig caiga en la tubería. El diámetro del Polly-Pig es mas largo que el diámetro interno de la tubería. Esto es hecho para ejercer una fricción de arrastre entre el pig de goma y la pared de la tubería

Polly-Pigs tienen un plato base cóncavo con un recubrimiento 90A duretano de poliuretano. Esto provee un máximo sellamiento en la parte posterior y a la vez le da fuerza de propulsión con los fluidos o los gases que están siendo usados.

Swabs o pigs desnudos, los cuales solo tienen el recubrimiento en la base, son normalmente usados en secado o operaciones de baches. Especiales pigs como doble nariz o doble plato son usados en servicios bi-direccionales.

El recubrimiento exterior en los cuerpos de goma consiste de un entrecruzado tipo de espirales de 90A durometro de poliuretano. Estas espirales agregan fuerza y dan mejor arrastre y acción de raspado en comparación con la goma desnuda. Girard fabrica dos tipos de pigs entrecruzados: El diseño original y el patentado "Diseño Giratorio". Cepillos de alambre, silicon carbide, o cerdas de plástico pueden ser fijados en estas espirales de poliuretano para agregar un máximo raspado o acción de cepillado.

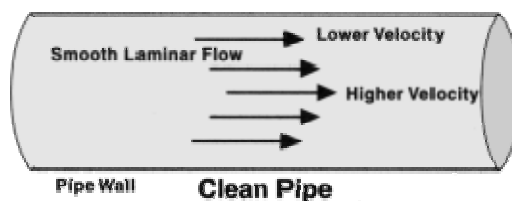


Figura 2. Flujo laminar suave en la tubería

Flujo laminar ocurre en la forma de arriba, cuando la tubería esta limpia. El tipo de la tubería (Acero de carbón, Acero inoxidable, Hierro fundido, poliuretano, etc.) o fluido no tiene efecto. Bajas velocidades en el fluido permite que los sólidos caigan de la corriente del fluido y empiezan a adherirse a las paredes de la línea.

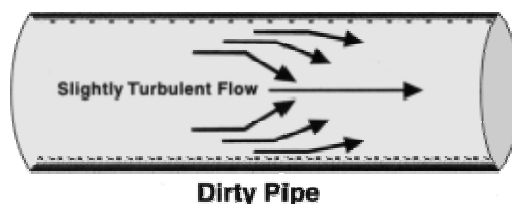


Figura 3. Flujo un poco Turbulento

El flujo turbulento ocurre en líneas sucias, con contenidos o depósitos desiguales. Depósitos ondulados pequeños como 1/32" (suaves o duros) pueden causar que el flujo se reduzca en una tercera parte. PVC, fibra de vidrio, metal, no ferroso y líneas llenas pueden sufrir este problema.

El flujo extremadamente turbulento ocurre en tuberías que contienen grandes acumulaciones tales como tuberculaciones. Hierro fundido y tuberías de acero por lo general desarrollan estalactita/estalagmita tipos de crecimientos. En este punto el flujo cambia de flujo laminar a turbulento, reduciendo el flujo e incrementando a las presiones de estallado.

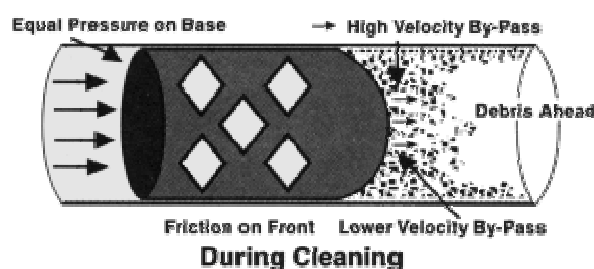


Figura 4. El Pig durante la limpieza de la tubería

La acción de limpieza de los Polly-pigs de Girard funciona por fricción de arrastre producido por el mayor tamaño del diámetro. En adición, las presiones creadas por el fluido en la parte posterior del pig comprime el pig longitudinalmente. Esto incrementa la fricción de arrastre en las paredes de la línea y la acción de raspado del pig.

Algunos líquidos pasan alrededor y a través del cuerpo de la goma creando velocidades altas, a bajo volumen el chorro pasa por el bypass. Este bypass limpia escombros al frente del pig, suspendiendo algunos de los escombros en solución y barriendo la línea.

5.11 Presiones y Fluidos Sugeridos en el Pigging

Tabla 3. Presiones y Fluidos sugeridos en el pigging

Diametro	Presión Típica del Pigging		Fluido Líquido GPM		Fluido Gaseoso SCFM	
	Lanzamiento	Corriendo	3 FPS	5 FPS	5 FPS	10 FPS
2"	100-200	40-100	30	50	21	98
3"	100-150	35-85	70	100	46	172
4"	75-125	30-80	120	200	70	273
6"	50-100	30-75	250	450	134	498
8"	30-80	25-70	450	800	238	749
10"	30-60	25-50	750	1,250	317	957
12"	30-50	20-45	1,000	1,800	458	1,223
14"	20-50	15-40	1,400	2,500	518	1,665
16"	15-45	10-40	1,800	3,000	540	1,901
18"	15-40	10-30	2,000	4,000	683	2,406
20"	10-25	5-20	2,800	5,000	843	2,542
24"	10-25	5-20	4,000	7,000	1,214	3,661
30"	10-20	5-15	7,000	11,000	1,897	4,757
36"	10-20	5-10	10,000	16,000	2,732	6,850
40"	10-20	5-10	12,000	20,000	3,373	8,457
42"	10-20	5-10	13,000	22,000	3,718	9,324
48"	10-20	5-10	17,000	27,500	4,857	12,178
54"	10-20	5-10	22,000	38,000	6,147	15,413
60"	10-20	5-10	26,000	42,000	7,588	19,029
72"	10-20	5-10	37,000	65,000	10,927	27,402

- **Notas:** Volúmenes y presiones son solo una guía aproximada. Esto no debe ser considerado como un absoluto requerimiento.
- Requerimientos variaran de acuerdo al tipo de tubería, fluido, materiales en la tubería, viscosidad, temperatura y tipo del pig.¹

¹ Girard Industries, The Art of Pigging, www.girardind.com/epolly.html

5.12 Procedimiento de Lanzamiento y recibimiento del Pig

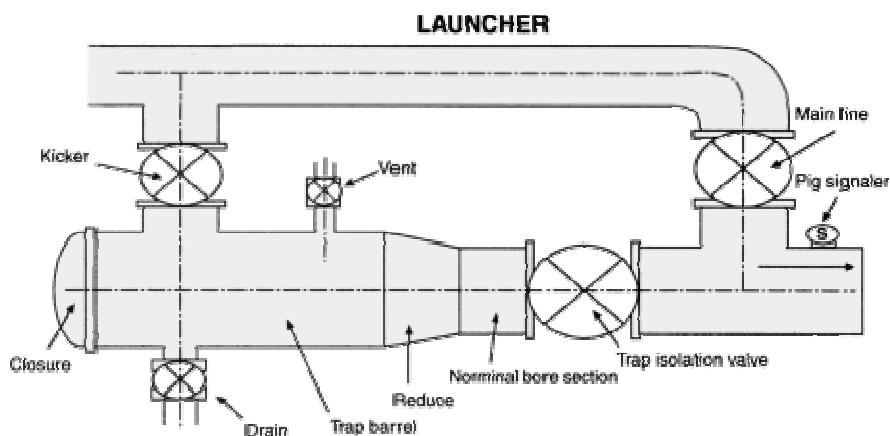
Lanzadores del Pig son usados para lanzar el pig dentro de la tubería, y el *recibidor de pig* es usado para recibir el pig después que ha realizado una exitosa pasada. El escoger las trampas de estos pigs dependerá en el tipo del pig para ser corrido y las condiciones de diseño de las tuberías. Provisiones en la estación de diseño deben incluir el manejo del equipo para pigs de 20" y mas grandes. Una buena precaución debe tomarse por el derramamiento del líquido de las trampas de los pigs.

5.12.1 Procedimientos Típicos de Lanzamientos del Pig

La secuencia operacional descrita abajo es solo por información general. No hay intención para que sea usada, para el operador del sistema de tren de marraneado. Procedimientos operacionales variaran de una compañía de tuberías a otra. El siguiente procedimiento del lanzamiento del pig puede ser usado como una guía para el desarrollo de procedimientos operacionales.

Desde que las políticas de las compañías varían en cuanto a si el pig lanzado es dejado en corriente o aislado de la tubería después que el pig es lanzado, el operador debe verificar que la trampa es aislada de la tubería y despresurizada antes de comenzar cualquier parte de el procedimiento de lanzamiento.

Figura 5. Lanzador de pigs



1. Este seguro que la válvula de aislamiento (isolation valve) y la válvula de golpeo (kicker valve) estén cerradas.
2. En sistemas líquidos, abra la válvula de drenaje (drain valve) y permita el desplazo del aire para desplazar el líquido abriendo la válvula de venteo (vent valve). En sistemas de gas natural, abra la válvula de venteo (vent) y deje el lanzador en presión atmosférica.
3. Cuando el lanzador del pig esta completamente drenado (0 psi), con las válvulas de venteo y de drenaje todavía abiertas, abra la puerta de la trampa (closure).
4. Instale el pig con la nariz firmemente en contacto con el reductor entre el cañón (trap barrel) y el nominal bore section" de el lanzador.
5. Limpie el sello de la compuerta (closure) y otras superficies selladas, lubríquelas si es necesario, cierre y asegure la compuerta (closure).
6. Cierre la válvula de drenaje. Lentamente llene la trampa pero gradualmente abra la válvula de golpeo y déjelo respirar a través de la válvula de venteo.

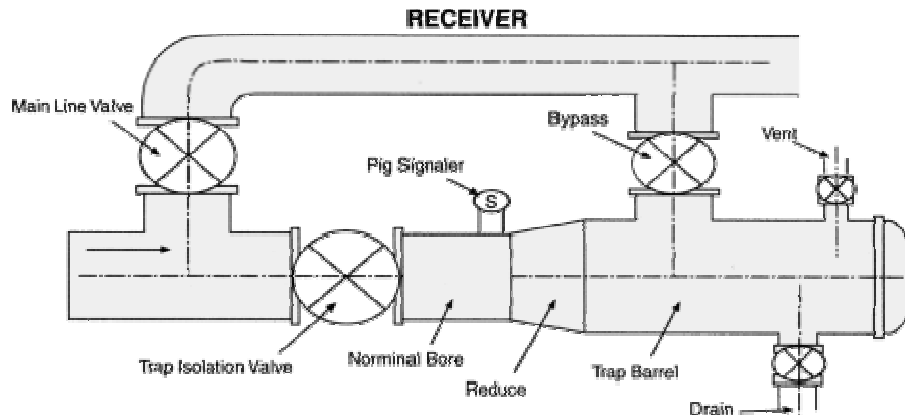
7. Cuando el llenado es completo, cierre la válvula de venteo para permitir que la presión se iguale a través de la válvula de aislamiento (isolation valve).
8. Abra la válvula de aislamiento. El pig esta listo para el lanzamiento.
9. Parcialmente cierre la principal válvula de la línea. Esto incrementará el flujo a través de la válvula de golpeo y detrás del pig. Continué cerrando la válvula principal de la línea hasta que el pig deje la trampa hacia la línea principal como es indicado en el señalador del pig.
10. Después que el pig abandone la trampa y entre a la línea principal, completamente abra la válvula principal de la línea. Cierre la válvula de aislamiento y la válvula de golpeo.
11. El lanzamiento del pig ha sido completado.

5.12.2 Procedimiento Típico del Recibimiento del Pig

La secuencia operacional descrita abajo es solo por información general. No hay intención para que sea usada, para el operador del sistema de tren de marraneado. Procedimientos operacionales variaran de una compañía de tuberías a otra. El siguiente procedimiento de recibimiento del pig puede ser usado como una guía para el desarrollo de procedimientos operacionales

Desde que las políticas de las compañías varían en cuanto a si el pig recibido es dejado en corriente o aislado de la tubería, el operador debe verificar si hay alguna presión interna en la trampa de recibimiento antes de empezar cualquier parte del procedimiento de recibimiento.

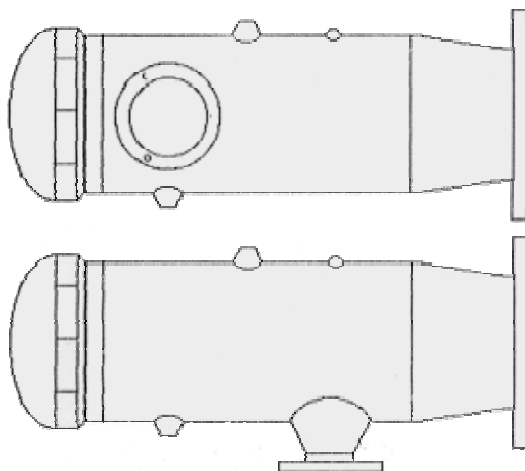
Figura 6. Recibidor de pigs.



1. Asegúrese que el recibidor esta presurizado.
2. Completamente abierta la válvula bypass.
3. Completamente abierta la válvula de aislamiento y parcialmente cerrada la válvula principal de la línea.
4. Monitorear la señal del pig para su llegada.
5. Cierre la válvula de aislamiento y la válvula bypass.
6. Abra la válvula de drenaje y la válvula de venteo.
7. Revise la medida de presión en el recibidor para asegurar que la trampa esta despresurizada (0 psi).
8. Abra la compuerta de la trampa (closure) y remueva el pig del recibidor.
9. Limpie el sello de la compuerta (closure) y los otras superficies de los sellos, lubríquelos si es necesarios, y ciérrela y asegure la compuerta de la trampa.
10. Devuelva el recibidor a la condición inicial.

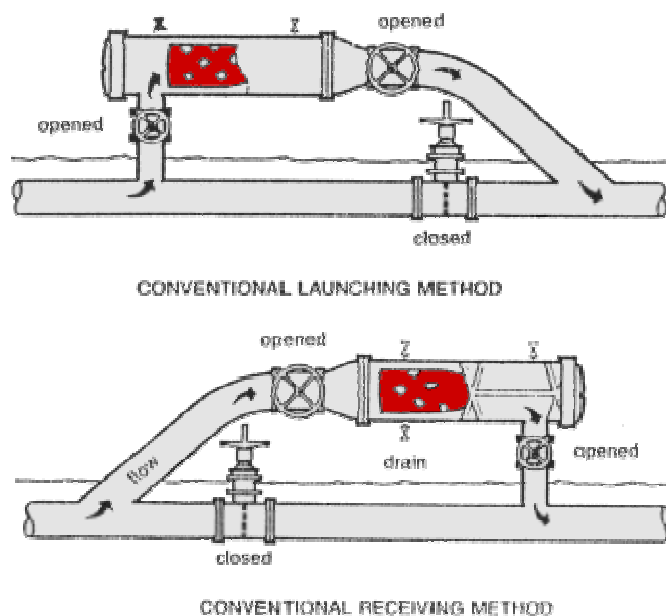
5.12.3 Lanzadores / Recibidores de Pig normales

Figura 7. Lanzadores y Recibidores



- Todos los lanzadores son pintados.
- Todos los lanzadores son probados Hidrostáticamente.
- Válvulas en lanzadores y recibidores deben ser redondeados.

Figura 8. Métodos convencionales de lanzamiento y recibimiento



5.12.4 Configuraciones del lanzamiento y recibimiento

Figura 9. Lanzamiento Convencional del Pig

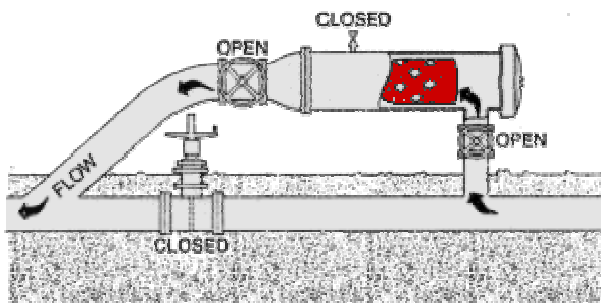


Figura 10. Lanzamiento del Pig en Sección Principal de Agua

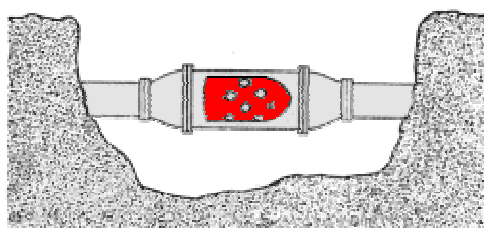


Figura 11. Pig Atrapado con Bandeja Encajada

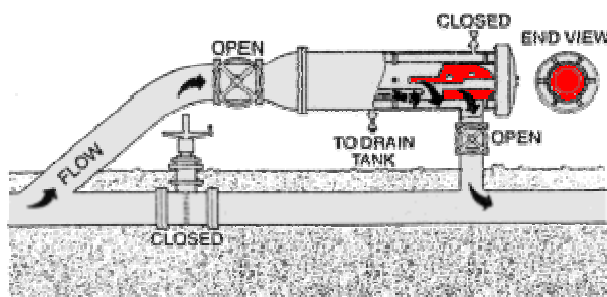
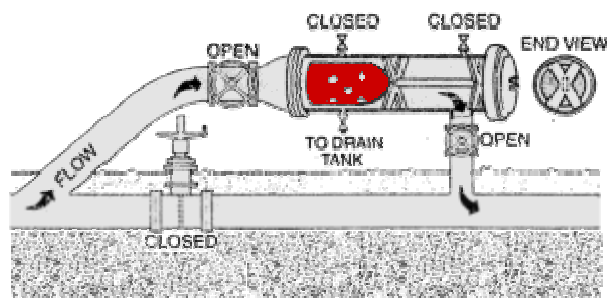


Figura 12. Trampa de Pig Convencional



5.13 TIPOS DE PIGS USADOS PARA EL MANTENIMIENTO DE LAS TUBERÍAS

Tabla 4. Tipos de pigs usados para el mantenimiento de las tuberías

Propósito de pigging	Goma sencilla	Goma con Cepillo	Disco Plástico	Esfera	Cuchillas de Metal	Cuchillas de Plástico	Cepillo metálico	Sellado solamente
Remoción de Cera			X			X		
Remoción de polvo suave • Internamente llena			X			X		
Remoción de polvo suave • No llena la tubería		X	X			X	X	
Remoción de Depósitos duros					X	X	X	
Remoción de Líquidos	X		X	X				X

La selección de pig de arriba indica las aplicaciones donde los pigs pueden estar adecuadamente. La longitud de la tubería, el diámetro de la tubería, el producto de la tubería, y otros factores deben ser considerados seleccionando el pig correcto. Estas características no implican que todos los pigs que pueden ser usados para una aplicación son de igual capacidad o darán iguales resultados.⁵

⁵ CORDELL, Jim. HERESHEL, Vanzant. All About Pigging, p. 5-23.

5.14 TIPOS DE PIGS USADOS EN LA PREPARACIÓN PARA, Y DURANTE EL ILI

Tabla 5. Tipos de pigs usados en la preparación para, y durante el ILI

Propósito del Piging	Goma Sencilla	Goma con Cepillos	Disco Plástico	Cepillo Metálico	Cuchillas Plásticas	Sellado Solamente	Pig Magnético	Pig Calibrador	Localizador Doblado	Herramienta de Perdida de metal	Detector de Grietas	Detector de Escapes	Pig de Inspección
Pre-Limpieza	X	X	X	X	X	X	X						
Probando								X	X	dummy			
Inspección Geométrica								X	X				
Inspección de Corrosión							X	X	X	X			
Inspección de Grietas							X	X	X		X		
Inspección de Escapes						X						X	
Levantamiento													X

La selección de pig de arriba indica las aplicaciones donde los pigs pueden estar adecuadamente. La longitud de la tubería, el diámetro de la tubería, el producto de la tubería, y otros factores deben ser considerados seleccionando el pig correcto. Estas características no implican que todos los pigs que pueden ser usados para una aplicación son de igual capacidad o darán iguales resultados.⁶

⁶ CORDELL, Jim. HERESHEL, Vanzant. Op. cit., p. 5-24.

6. GELES UTILIZADOS

Los geles utilizados tienen diferentes concentraciones de polímeros de los cuales cada proveedor tiene una formulación diferente para cada polímero. Los geles son utilizados para cambiar la mojabilidad de la tubería a limpiar para cambiar las propiedades del material entonces se le adicionan surfactantes, detergentes o emulsificantes. El ICP ha realizado las limpiezas en un solo bache de limpieza y esto depende totalmente de la longitud de la tubería. El gel se evalúa para determinar que tipo de raspadores se necesitan para obtener la limpieza optima de la tubería, del cual se determinan si se necesitan raspadores de tipo discos o tipo cepillos y se analizan cual utilizar y donde utilizarlos. La longitud de los baches con respecto a la longitud de la tubería, van en función del diámetro de la tubería.

En el mercado hay diferentes tipos de geles pero de los mas utilizados se encuentra:

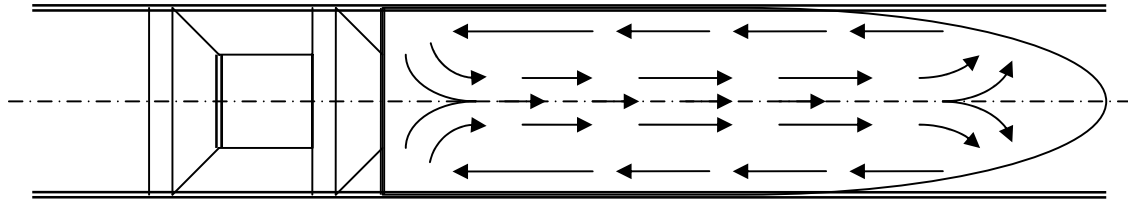
6.1 Recogedor de escombros y geles de limpieza.

Todo los tipos de geles para pigs pueden recoger y trasportar perdidas de escombros, pero con una variable eficiencia y niveles de carga. Los geles recogedores de escombros son preparados de agua fresca o agua de mar. El gel tiene una fuerte producción de fuerza el cual ayuda a asegurar que los escombros permanezcan suspendidos inclusive si el gel permanece quieto por largos periodos. La viscosidad y el punto de producción incrementan a medida que la carga de escombros se aumenta. Los geles recogedores de escombros deben ser corridos en conjunto con un pig mecánico seguido del slug. El slug debe ser desplazado de 1 a 3 pies por segundo (0,3 a 1 metro por segundo) para asegurar que el gel se mueva como un tapón.

Durante el desplazamiento el gel en la zona anular es removido de las paredes de la tubería por el pig mecánico y fluye hacia delante hacia el corazón de el slug, generando una “acción tractor”.

El gel es muy adhesivo hacia cualquiera de las dos perdidas anteriores o un nuevo pig perdido en escombros. Los escombros son recogidos, amontonados y llevados adelante hacia el corazón del slug. Este camino de los escombros actuará acumulándose en frente del pig pero distribuidos a través del slug de el gel.

Figura 13. Movimiento tipo tractor de gel para recoger escombros



Desde que el gel recogedor de escombros esta fácilmente disperso en agua, este debe ser protegido en cada extremo por los baches de geles para prevenir la dilución del desplazamiento del agua. Los baches de gel y los geles recogedores de escombros son muy diferentes y no se mezclan internamente en la tubería. En frente de el slug los dos geles pueden estar en contacto, de todas formas, en la parte de atrás un pig mecánico debe ser usado para prevenir la acción de tipo tractor desde llevando los baches de gel a el gel recogedor de escombros.

Los parámetros de diseño para un tren de limpieza tienen latitudes considerables para contingencias operacionales. Un gel transportador de escombros slug diseñado para la cantidad esperada de escombros tolerará 100% diluido por agua sin o marginado de sólidos.

Cuando la descarga en el mar el gel recogedor de escombros se dispersará muy rápido. Los aditivos de agua para hacer el gel son biodegradables con no impacto adverso al medio ambiente. Muchos países han aprobado una directa descarga

marina. Para tuberías en tierra han aprobado piscinas que tienen que ser usadas para la disposición del gel.

6.2 Transportador y gel inhibidor

Hidrocarburos tales como diesel o kerosene pueden ser convertidos en gel y tendrán la misma eficiencia de sellamiento como los pigs de baches con gel. Estos pigs con gel son muy efectivos en limpieza con agua acumulada o agua no marraneada y escombros de líneas de crudo o removiendo condensado de líneas de gas.

Los geles pueden ser cargados con inhibidores de corrosión y de esta forma tiene probado un efectivo pero simultáneamente removiendo líquidos no deseados y aplicando un inhibidor de corrosión.

Después de la Hidro-prueba, alcohol y otros agentes de secado tales como metanol pueden ser convertidos en gel y usados en un tren de pig durante un dewatering de la tubería y secado. Esto reducirá el número de pigs y/o corridas de pigs requeridas.

En una típica secuencia de tren de secado, el slug de mando es un regular bache de gel de pig basado en agua, el cual el propósito es empujar hacia afuera la

mayoría del agua libre en la línea. Usando este gel como slug de mando, previene una larga cantidad de agua entrando al slug del gel de secado.

Un gel de hidrocarburos con inhibidor de corrosión puede ser usado como un tercer slug después del slug de secado es por eso que la tubería es dewatered, secada e inhibida con un tren de geles y pigs mecánicos.

7. PRUEBA HIDROSTATICA

La hidropueba es la metodología por el cual la tubería se somete a presiones por encima de la máxima permitida, que por lo general alcanza a llegar hasta 1,5 veces de la máxima permitida, esto se realiza para establecer posibles fugas o escapes de la misma.

En las pruebas hidrostáticas hay que tener mucho cuidado con la calidad del agua, ya que debe tener unas calidades mínimas de sólidos en suspensión y sólidos sedimentables, como también debe tener un ph que el agua no sea abrasiva o dura, es decir que no contengan contenidos de Calcio y Magnesio, ya que estos se sedimentaran luego y lo que queremos es una línea completamente limpia; el agua debe estar completamente libre de oxígeno para la prueba. Para evitar la corrosión de la tubería al agua se le adiciona un inhibidor de corrosión.

8. SECADO DE LAS TUBERÍAS

8.1 ANTECEDENTES

Los procesos de las tuberías (y recipientes químicos) los cuales operan a elevadas presiones necesitan ser probadas para la integridad de su construcción y sellando con el tiempo que ellas son montadas y a veces, periódicamente durante su uso para satisfacer la legislación de la seguridad industrial. Hay algunos métodos que llevan a esta prueba de presión, con el método mas común siendo el de sellar la línea o recipiente y presurizarlo con liquido como agua. El gas puede ser usado para la prueba de presión a recipiente, pero es menos usado comúnmente porque por su alta compresibilidad lo cual puede ser muy peligroso si un escape o fractura se desarrolla en la tubería.

El problema usando agua es que si se deja la tubería húmeda después de la prueba: Esto produce dos efectos, el primero que la corrosión de la tubería puede ser acelerado y segundo, que el proceso mismo bien requerirá ser secado después de la prueba de presión antes de ser puesta en operación.

8.2 Métodos de Secado

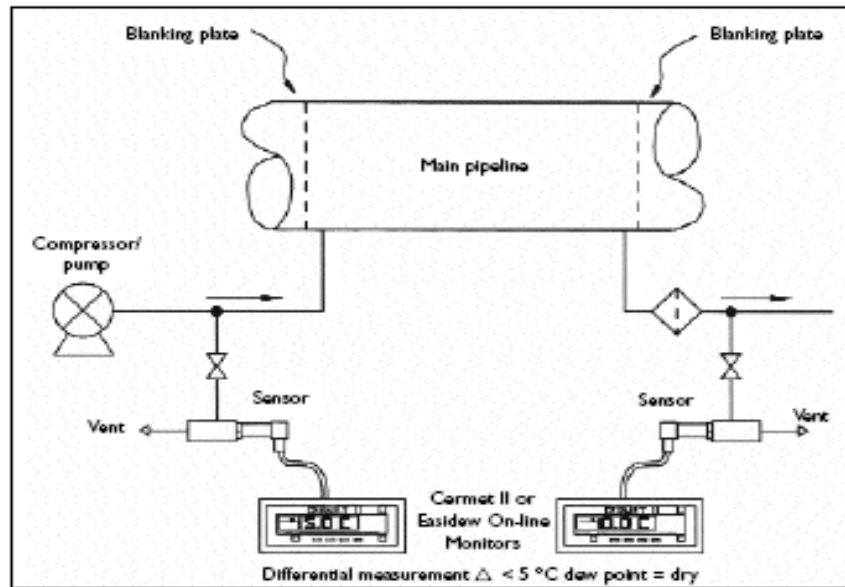
Tres métodos de secado en tuberías son comúnmente usados, cada uno de los cuales pueden hacer uso de un Hidrogrometro de Impedancia Michell.

8.2.1 Secado con Aire Caliente

La tubería es alimentada por un extremo con un suplemento de aire caliente desde un compresor de aire. La energía de calor es absorbida por el agua en la tubería la cual acelera la evaporación. El vapor de agua es transportado por el flujo del aire saliente a una salida localizado en el lado opuesto de la línea a la de la entrada del aire caliente.

La lectura del instrumento tal como un Cermet II en la línea o un Hidrogrometro Easidew localizado en la salida del aire nos indicará la conclusión de el proceso de secado cuando a la salida el punto de rocío se reduzca significativamente desde el valor inicial. Durante el proceso el aire será confinado hasta la saturación de una extendida temperatura ambiente. Cuando la tubería esta seca, el punto de rocío se reducirá hasta el alimentador de aire o el compresor.

Figura 14. Secado con aire caliente



An example of hot air drying

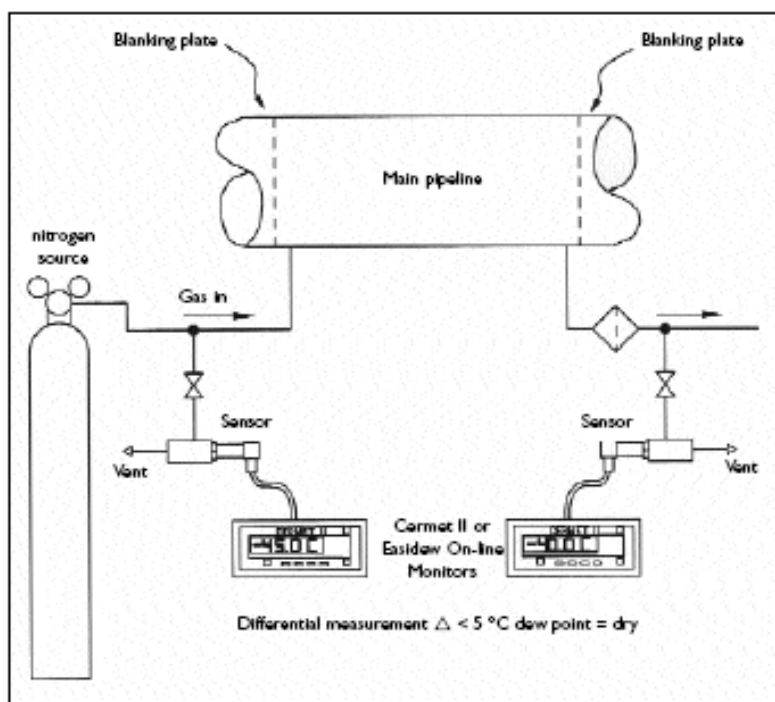
8.2.2 Secado de Purga de Nitrógeno.

Al contrario de usar aire caliente, una inerte purga de gas tal como el nitrógeno puede ser usado. Dos ventajas hay de usar nitrógeno, son que quedará bien seca y por lo tanto tiene una alta capacidad de absorción de agua y también como es inerte y puede ser usado para preparar tuberías o procesos de recipientes que después contendrán explosivos o gases inflamables.

El mismo procedimiento es usado como en el Numero 1 de arriba, en comparación de alimentar una salida menos de gas, el punto de rocío siendo la medida que

determina el secado de la tubería. Es común para un diferencial de 5 °C de punto de rocío para ser usado como la señal para el final del proceso de secado.

Figura 15. Secado con Nitrógeno.



An example of nitrogen purge drying

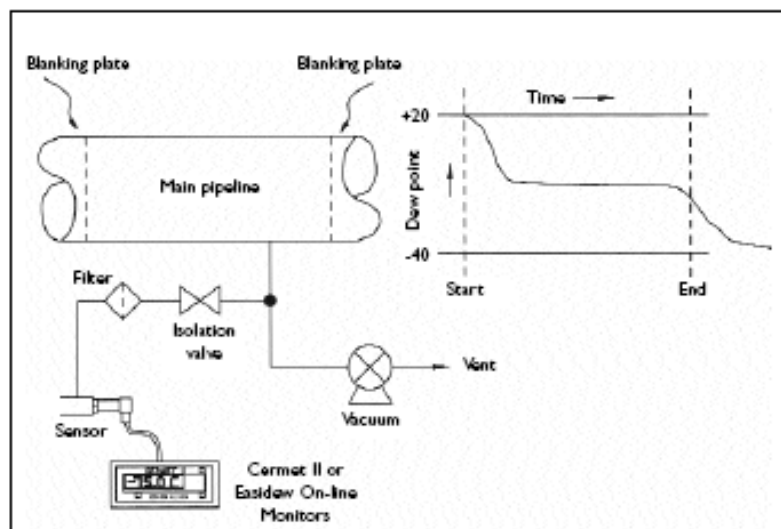
8.2.3 Secado al Vacío

En este método la tubería es completamente sellada y después un único puerto es conectado a alto poder en sistema de vacío, el cual extrae el aire de la línea.

Sobre un periodo de tiempo, el nivel de humedad en la salida se reducirá rápidamente como a un nivel estable de vacío es formado.

Habr  un periodo donde el nivel de el punto de roc  se estabilice como el liquido residual de agua es evaporado y extraído. Cuando toda el agua ha sido removida, el punto de roc  caer  nuevamente y esto es señal que el proceso de purga al vacío ha finalizado. Un  nico Easidew o Cernat II necesitan hacer un punto de medida o comparar el rendimiento de secado en varias locaciones.

Figura 16. Secado al vacío.



An example of vacuum drying

9. INHIBIDORES DE CORROSIÓN

Los inhibidores son los productos químicos que reaccionan con una superficie metálica, dando a la superficie cierto nivel de protección. Los inhibidores trabajan a menudo fijándose por absorción en la superficie metálica, protegiendo la superficie metálica formando una película.

Hay cinco clases de inhibidores de la corrosión. Estos son:

1) *inhibidores pasivos (pasivos)*. Éstos causan un cambio del potencial de la corrosión, forzando la superficie metálica en el tipo pasivo. Los ejemplos de los inhibidores de la pasividad son aniones oxidantes, tales como iones del cromato, del nitrito y del nitrato y los no oxidantes tales como fosfato y molibdato. Estos inhibidores son los más eficaces y por lo tanto posiblemente los más usados extensamente.

2) *inhibidores catódicos*. Algunos inhibidores catódicos, tales como compuestos del arsénico y del antimonio, trabajan haciendo la recombinación y la descarga del

hidrógeno más difíciles. Otros inhibidores catódicos, iones tales como calcio, cinc o magnesio, se pueden precipitar como óxidos para formar una capa protectora en el metal.

3) *inhibidores orgánicos*. Éstos afectan a la superficie entera de un metal corrosivo cuando están presentes en cierta concentración. Los inhibidores orgánicos protegen el metal formando una película hidrofóbica en la superficie del metal. Los inhibidores orgánicos serán fijados por adsorción según la carga iónica del inhibidor y la carga en la superficie.

4) *precipitación inducida por los inhibidores*. Éstos son los compuestos que causan la formación de precipitados en la superficie del metal, de tal modo que proporciona una película protectora. Los inhibidores más comunes de esta categoría son silicatos y fosfatos.

5) *Inhibidores Volátiles de la Corrosión (IVC)*. Estos son compuestos transportados en un ambiente cerrado al sitio de la corrosión por volatilización de una fuente. Los ejemplos son morfolina e hidracina y sólidos volátiles tales como sales del dicitclohexilamina, ciclohexilamina y hexametileno-amina. En contacto con la superficie del metal, el vapor de estas sales condensa y es hidrolizado por humedad, para liberar iones protectores.

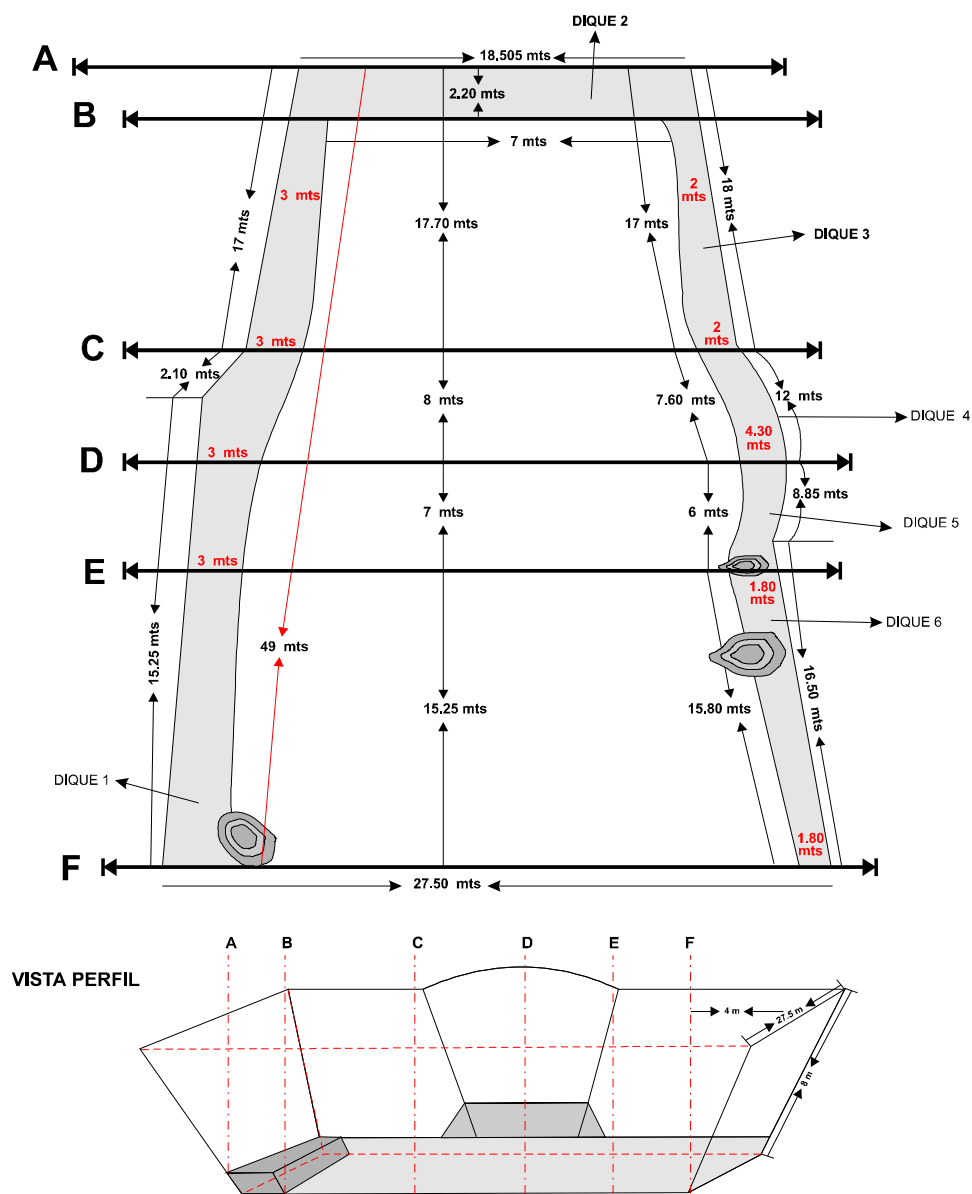
10. TRATAMIENTO DE EFLUENTES

El tratamiento de efluentes es el tratamiento que debe existir en toda limpieza de tuberías de oleoductos o poliductos, en las cuales se deben construir piscinas para la recolección de los efluentes para su próximo tratamiento y vertimiento. El número de piscinas depende gradualmente de la longitud de la tubería y de las facilidades del terreno para construirlas.

Siendo este, un pasivo ambiental que no se puede obviar, esta el Decreto 1594 de 1984, el cual regula los vertimientos dependiendo de una normatividad y de las características físicas del sitio donde las voy a verter.

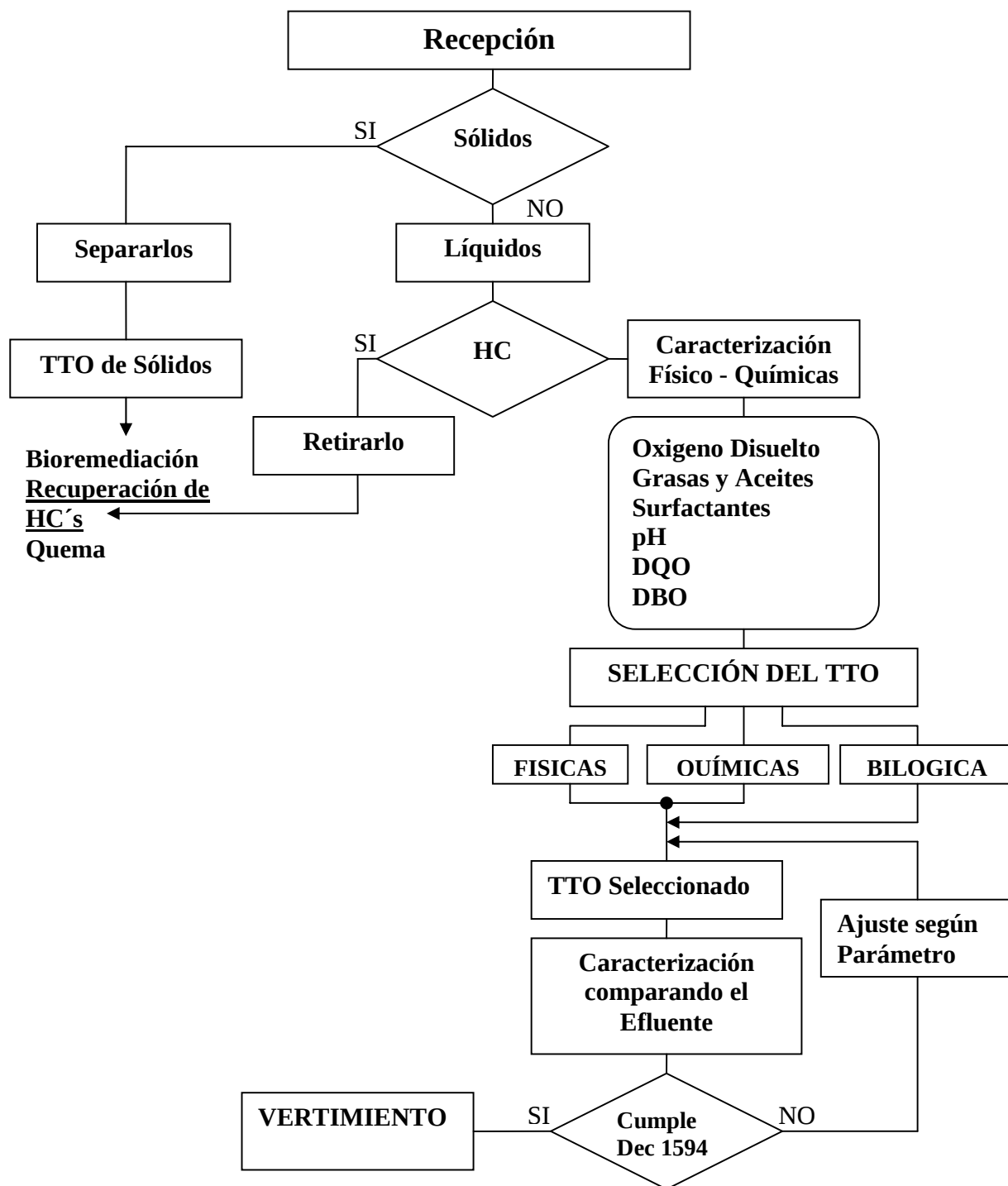
El tratamiento de efluentes es el procedimiento por el cual se separan sólidos y los líquidos, y cada uno se le hace un tratamiento individual en el cual en los sólidos se le realiza: Bioremedación, Recuperación del Hidrocarburo y/o quema; por otro lado si es líquido, se le realiza una caracterización Físico-química donde se le aplican tratamientos físicos, químicos y/o biológicos, para poder cumplir con la normatividad del Decreto 1594 y disponerlas finalmente.

Figura 17. Plano esquemático de piscina utilizada en limpieza del oleoducto Cusiana – La Belleza para recibo de fluidos de limpieza.¹



¹ ICP – ECOPETROL, Limpieza Interna Oleoducto Cusiana la Belleza, Documento Final Ecogas, Marzo 1999, p. 24.

10.1 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCEDIMIENTO DEL TRATAMIENTO DE EFLUENTES.



11. COSTOS DE CONVERSIONES DE TUBERÍAS EN COLOMBIA

Los costos de conversión de tuberías de oleoductos a gasoductos están correlacionados con varios factores de los cuales depende que se incremente o disminuya el costo; el primero es el diámetro ($\emptyset$), el cual incide en gran parte, ya que a mayor diámetro mayor costo en la limpieza y en el tratamiento de efluentes, por lo que se deben disponer de un mayor número de piscinas con un mayor volumen de almacenamiento; el segundo factor es la Longitud de la línea, la cual es similar al diámetro, ya que entre mayor longitud, se incrementan los costos de limpieza y obviamente de tratamiento; el tercer es el tipo de residuo a remover; ya que entre mas residuos a remover y dependiendo de la clase del mismo se tendrá que escoger el tratamiento de limpieza mas adecuado para la tubería, esto incluye el gel de limpieza junto con los raspadores, este factor es el de mas cuidado ya que de este depende que la limpieza sea exitosa; y por último, el de tratamiento de los efluentes, ya que dependiendo de la clase del mismo este se hace mas costoso que otros, es decir, un tratamiento físico – químico es mucho mas costoso que un tratamiento biológico, ya que a el primero se le realiza a geles con base de aceite y el segundo a geles con base agua.

Estos son a grandes rasgos los factores que inciden en el costo de una conversión de tubería, pero además de estos costos existen los costos fijos como en cualquier ejecución de un proyecto.

El ICP me suministró cuatro costos de cuatro Proyectos de limpieza de tuberías en las cuales solo esta incluida la mano de obra de las actividades presentadas y con sus respectivos porcentajes.

Tabla 6. Costos de conversiones realizadas por el ICP¹

<i>Diámetro (Ø)</i>	<i>Longitud (Kms)</i>	<i>Costo (\$US)</i>	<i>% Costo Limpieza</i>	<i>% Costo Tratamiento</i>
20"	220	995.322	75%	25%
20"	34	152.000	68%	32%
10"	180	236.520	80%	20%
12"	276	183.481	85%	15%

Tomando los datos anteriores podemos realizar una comparación de los costos de Kilómetro/pulgada de cada proyecto, para analizar su resultado e intentar llegar a una cifra que pueda ser importante para Ecogas que indique el costo/tubería convertida.

Tabla 7. Comparación de costos en conversiones realizadas por el ICP.

<i>DATOS DE EMPRESA</i>	<i>DIAMETRO</i>	<i>LONGITUD</i>	<i>VALOR \$US</i>	<i>VALOR \$ PESOS</i>	<i>COSTO Kilómetro Tubería</i>	<i>COSTO Kilómetro/Pulgada</i>
<i>ICP</i>	20"	220	995.322	2.289.240.600	10.405.639	520.281,95
	20"	34	152.000	349.600.000	10.282.353	514.117,65
	10"	180	236.520	543.996.000	3.022.200	302.220,00
	12"	276	183.481	422.006.300	1.529.008	127.417,36
					TRM	2300

¹ Datos suministrados por el ICP de costos de conversiones realizadas.

Revisando el anterior cuadro podemos observar que los costos de Kilómetro/pulgada de las conversiones de 20" están muy parecidas teniendo como costo promedio \$ 517.199,8; mientras que los otros costos de 10" y 12" que son diámetros muy cercanos tienen un margen muy alto del costo de Kilómetro/pulgada entre ellos y estos a su vez con el promedio del de 20".

Tabla 8. Costos de conversión del Proyecto Cusiana-El Porvenir.

<i>DATOS DE EMPRESA</i>	<i>DIAMETRO</i>	<i>LONGITUD</i>	<i>VALOR \$US</i>	<i>VALOR \$ PESOS</i>	<i>COSTO Kilómetro Tubería</i>	<i>COSTO Kilómetro/Pulgada</i>
ECOGAS	20"	33,5	2.579.228	5.932.224.400	177.081.325	8.854.066,27
	20"	33,5	500.000	1.150.000.000	34.328.358	1.716.417,91
					TRM	2300

El primer valor de \$US 2.579.228 es el costo total del proyecto Cusiana-El Porvenir, el cual nos muestra como cifra que el costo de Kilómetro/pulgada de este proyecto fue de \$ 8.854.066,27; pero para realizar una comparación con los costos suministrados por el ICP y evaluando solo las actividades tomadas por ellos, se realizó la resta de las actividades que no correspondieran a Limpieza y Tratamiento para poderlas comparar; dando como resultado \$US 500.000 aproximadamente, de la cual obtuvimos un costo de \$ 1.716.417,91 por kilómetro/pulgada, y así mismo se comparó esta misma cifra con el costo promedio del ICP (\$ 517.199,8) de la cual se pudo concluir que los costos que se obtuvieron por parte del ICP son bajos debido a que ellos mismos poseen la tecnología y el personal para realizar la conversión; mientras que Ecogas tiene que asumir un costo adicional en el alquiler de equipos, Licitación de Mano de Obra y contratar al ICP para que realice el uso de su tecnología.

12. METODOLOGIA PLANTEADA PARA LA CONVERSIÓN DE TUBERÍAS DE CRUDO A GASODUCTOS

1. Desplazamiento del producto a limpiar
2. Diagnostico de la tubería
3. Modelamiento hidráulico de la tubería
4. Selección del método de limpieza mas efectivo
5. Modificaciones mecánicas en la línea
6. Selección de los raspadores junto con los geles a utilizar
7. Bombeo de los baches de limpieza
8. Monitoreo del proceso y recibimiento de los baches de limpieza
9. Hidroprueba con inhibidores de corrosión y con secuestrantes de oxígeno
10. Secado de la tubería hasta un bajo punto de rocío
11. Tratamiento de los efluentes
12. Commissioning o Puesta en Funcionamiento

12.1 Desplazamiento del producto a limpiar

En esta etapa se hace el desplazamiento del producto que se quiere remover para dejar la tubería preparada para la iniciación de la limpieza de la misma.

12.2 Diagnostico de la tubería

En esta etapa se realiza un diagnostico de las condiciones en que se encuentra la tubería, tanto mecánicamente como en un análisis de los posibles puntos críticos de limpieza de la línea; este paso se puede realizar con pigs inteligentes que le indican registros tales como: rectitud de la tubería, localización interna de escombros (como parafina y ceras), localización interna de abolladuras y localización interna de corrosión entre otras.

12.3 Modelamiento hidráulico de la tubería

El modelamiento hidráulico de la tubería se realiza para encontrar la cabeza hidráulica y por medio de las presiones establecer los puntos de bombeo y recepción de efluentes.

12.4 Selección del método de limpieza más efectivo

La selección del método de limpieza es el que se acomode de acuerdo a las condiciones y al material o escombros a remover.

12.5 Modificaciones mecánicas en la línea

Las modificaciones mecánicas en la línea son las adecuaciones especiales que se le deben realizar a la tubería para la limpieza de la misma, como pueden ser: retiro de válvulas, (válvulas de salida, válvulas cheque) instalación de los lanzadores y recibidores de pigs.

12.6 Selección de los raspadores junto con los geles a utilizar

La selección de los raspadores o pigs es la parte más importante de la limpieza ya que de este depende de que la limpieza termine siendo exitosa, hay raspadores de dos clases: discos y cepillos, de los cuales hay que escoger cual utilizar y donde utilizarlo. Con respecto a los discos por ejemplo, hay que saber que tipo de discos introducir y el número de los mismos que hay que ponerle al raspador. El tipo de cepillos a escoger; como axiales o radiales depende de la suciedad que se vaya a remover; la longitud del raspador depende del diseño mecánico y los accesorios de la tubería.

Con respecto a los geles de limpieza, el tipo de gel a escoger depende del tipo de suciedad que se quiera remover, el ICP trabaja con geles a base de agua que terminan siendo ambientalmente mas amigable, ya que el tratamiento del mismo es biológico y mucho mas económico, que un tratamiento de gel a base de kerosene o Diesel. Antes de escoger el mejor solvente para la limpieza se debe realizar la prueba de solubilidad, que es realizada para determinar el mejor

solvente par remover la porción orgánica de los depósitos, y el mas efectivo fluido para el gel.

12.7 Bombeo de los baches de limpieza

Es el procedimiento por el cual se inicia el proceso de limpieza con los baches de limpieza escogidos para la remoción de la suciedad de la línea.

12.8 Monitoreo del proceso y recibimiento de los baches de limpieza

Es el proceso de continuación en donde se empieza a monitorear, controlar y recibir los pigs junto con los baches de limpieza y en donde se reciben en una rejilla para enviarlos a una piscina para el tratamiento del gel.

12.9 Hidroprueba con inhibidores de corrosión y con secuestrantes de oxígeno

La hidroprueba es la metodología por el cual la tubería se somete a presiones por encima de la máxima permitida, que por lo general es 1,5 veces de la máxima permitida, esto se realiza para establecer posibles fugas o escapes de la misma, pero como la tubería debe estar completamente limpia y libre de humedad para el acondicionamiento para el transporte de gas, el agua utilizada para la hidroprueba debe contener unas condiciones muy mínimas de sólidos en suspensión, además de el control de su ph. Además de las condiciones mencionadas anteriormente el agua debe contener un inhibidor de corrosión junto con un secuestrante de oxígeno.

12.10 Secado de la tubería hasta un bajo punto de rocío

El secado de la tubería debe escogerse por los métodos mencionados anteriormente, en la cual tenemos tres tipos: secado con Nitrógeno, secado con aire caliente y secado al vacío; cualquiera de los métodos escogidos el método mas común es el de secado con Nitrógeno ya que tiene resultados muy buenos para tuberías que son rehabilitadas para gas natural. El secado debe realizarse hasta llegar a un bajo punto de rocío.

12.11 Tratamiento de los efluentes

El tratamiento de los efluentes es uno de los pasos más importantes ya que este lo regula el Decreto 1594 de 1984, este procedimiento esta explicada anteriormente en un Diagrama de Flujo.

12.12 Commissioning o Puesta en Funcionamiento

El commissioning o puesta en funcionamiento se puede realizar inmediatamente después del secado de la tubería después de que cumpla con el bajo punto de rocío.

13. PROCEDIMIENTO DE CONVERSIÓN DEL OLEODUCTO CUSIANA EL PORVENIR¹

El Oleoducto Cusiana - El Porvenir tiene un diámetro de 20" y la longitud de la línea es de aproximadamente 33 Km.

13.1 IDENTIFICACIÓN DE LA LINEA

Conforme al estado de la línea se identificaron tres tramos:

1.1 CPF (K0+000) – PST3 (4+400): Funcionaba para enviar crudo de la PST3 al CPF.

1.2 PST3 (K4+400) – Río Tua (K26+300): Se encontraba fuera de servicio y esta empacado con agua.

1.3 Río Tua (K26+300) – El Porvenir (K32+800): Estaba fuera de servicio y contenía aire a baja presión.

13.2 CONSTRUCCIÓN DE PISCINAS

Es necesario la construcción de piscinas para los tratamientos de los efluentes. En este caso se construyeron doce en todo el trayecto de la tubería.

¹ TIPIEL SA, Contrato Marco de Ingeniería, Procedimiento de Conversión Oleoducto Cusiana – El Porvenir.

Wellpad CA: 1 X 1900 m³ y 1 X 600 m³ (aguas contaminadas)

Agua Blanca: 2 X 250 m³ (piscinas de achique)

Surimena: 2 X 350 m³ (piscinas de achique)

Chitamena: 2 X 750 m³ (piscinas de achique)

Río Tua: 1 X 1700 m³, 1 X 500 m³, 1 X 500 m³ (homogenización, sedimentación y aireación)

El Porvenir: 1 X 600 m³ (piscina para agua filtrada)

13.3 “DECOMISSIONING” Y ALISTAMIENTO DEL TRAMO CPF – PST3

En esta etapa se realizan las facilidades mecánicas necesarias para adelantar el “deoilng” de la línea y prepararla para la limpieza química.

Este proceso de deoilng del tramo CPF – PST3, se realiza introduciéndole agua de un punto del tramo hacia el otro hasta que el contenido de hidrocarburos sea aceptable se empaqueta la tubería con agua para después drenarla hacia las piscinas construidas.

Una vez se ha realizado este proceso se envía un pig de copas empujado con agua filtrada desde el CPF. El agua con restos de hidrocarburos debió ser dirigida a una de las piscinas construidas teniendo un volumen acumulado de 5300 bbl aproximadamente.

Por último la línea queda empaquetada con agua filtrada y lista para enviar la píldora de gel con la bomba shipping.

13.4 LIMPIEZA QUÍMICA DEL TRAMO CPF – PST3

El desarrollo de este plan de limpieza fue el propuesto por el ICP.

El procedimiento de limpieza empieza introduciendo un pig para la limpieza química, en frente de este se encuentra la línea empaquetada con agua filtrada con un volumen aproximado de 5700 bbl, y es desalojada en el punto PST3 en la piscina CA en la cual tiene un acumulado de $5300+5700= 11000$ bbl aproximadamente.

Después del pig se inyectaron 3000 bbl de gel los cuales quedaron confinados con otro pig que fue lanzado inmediatamente después del gel, y después del segundo pig se inyecta agua filtrada. Cuando el primer pig llega a PST3, la bomba se apaga, se bloquea la trampa de recibo en PST3, se dreno la trampa y se saco el pig, se cierra la trampa y se reinicia el bombeo de agua y el volumen de gel se dirigió hacia la piscina CA (3000 bbl); se continua bombeando hasta que llegue el segundo pig y se retira de la misma forma que el primero. (Volumen acumulado de $11000+3000= 14000$ bbl aproximadamente) con este volumen se estima las dimensiones de las piscinas; teniendo en cuenta que si los parámetros de limpieza no se cumplen este procedimiento

debe realizarse una y otra vez hasta alcanzarlos, y esto incrementaría las dimensiones de las piscinas o a la construcción de otras paralelas.

13.5 INTERVENCIÓN MECÁNICA DE LA LÍNEA CPF – PST3

La intervención de la línea se realiza una vez la limpieza química ha concluido, y esta incluye quitar algunos de los aditamentos que fueron instalados para su limpieza.

13.6 INTERVENCIÓN MECÁNICA DE LA LÍNEA PST3 – EL PORVENIR

Se requirieron instalar una serie de facilidades para venteo y drenaje de la línea de 20" que permitan retirar los cheques y las válvulas para reemplazarlos por la tubería recta o por las facilidades de envío o recibo de pigs. De manera simultánea con el procedimiento del decommissioning del tramo CPF – PST3.

13.7 LIMPIEZA QUÍMICO MECÁNICA DE LA LÍNEA

En esta etapa se llena nuevamente la línea de 20" y se realiza la limpieza químico – mecánica usando raspadores cuchilla, cepillo y disco, además de los productos químicos adecuados para asegurar la limpieza y protección interior del tubo como surfactantes, tensoactivos, inhibidores de corrosión y secuestrante de oxígeno.

13.7.1 LIMPIEZA QUÍMICO MECÁNICA DEL TRAMO CPF – RIO TUA

Este se inicia desde el CPF, con un bache de 18000 bbl de agua filtrada, empujada por el tender de pigs con el primer producto químico (surfactante); el agua filtrada llenará la piscina de El Porvenir con 10000 bbl y además empacará el tramo El Porvenir – Río Tua; mientras que los efluentes de la limpieza con productos químicos serán tratados en las piscinas del Río Tua; después se continua con la limpieza química – mecánica del tramo CPF – Río Tua con el segundo y tercer tender de pigs (tensoactivo y luego mezcla de secuestrante de oxígeno e inhibidor de corrosión); y por último se dejó empacada la tubería con agua mas secuestrante e inhibidor.

13.7.2 LIMPIEZA QUÍMICO – MECÁNICA DEL TRAMO EL PORVENIR – RIO TUA

Se aprovecho el agua almacenada en la piscina de El Porvenir para enviar los tenders de pigs con surfactante y luego con tensoactivo, los cuales fueron tratados en las piscinas del Río Tua. Una vez se realizo la limpieza con surfactante y tensoactivo entre el Porvenir y el Río Tua, se reanudo desde el CPF el bombeo de la solución de secuestrante y inhibidor de corrosión, para empacar toda la tubería hasta el Porvenir.

13.8 PRUEBA DE ESFUERZO GASEODUCTO

Esta prueba antes de realizarse se debe diseñar la misma, incluyendo un análisis de sensibilidad y test de aire, después de realizar la prueba hidrostática se empaca la tubería con secuestrante de oxígeno e inhibidor de corrosión desde el CPF hasta el Porvenir.

13.9 SECADO DEL GASODUCTO CPF – EL PORVENIR

Se efectuó el secado de la línea por el método “swabbing” inyectando baches de glicol y nitrógeno, de acuerdo a especificaciones del contratista de secado desde el Porvenir hacia el CPF hasta alcanzar el contenido de humedad equivalente a un dew point = + 20 °F este mismo bache fue empujado con gas proveniente de la estación de Miraflores. en el CPF se instalaron facilidades de recibo de fluidos que garantizaron una operación y manejo seguros.

13.10 COSTOS COMPARATIVOS DE CONSTRUCCIÓN DE GASEODUCTO VS CONVERSIÓN DE TUBERÍA DE 20"

Tabla 9. Costos comparativos de construcción de una tubería a la de conversión de una línea²

COMPARATIVO DE COSTOS

CONSTRUCCIÓN GASODUCTOS VS CONVERSION DE 20"

TRM - 20-abr-04

2612,3

PROYECTO	DURACION	VLR \$US		LONGITUD	VLR. \$US	VLR \$ COL
		ML/PULGADA	KILOMETRO			
VARIANTE PTE GUILLERMO SUCRE ORIENTAL - (ENERO 2004 A SEPT 2004)	9 MESES	16,42	328.315	34,09	11.190.951	\$ 29.234.121.411
CREG (Costos estimados) - 2004		22,32	446.400	34,09	15.215.990	\$ 39.748.731.722
GASODUCTO CUSIANA - EL PORVENIR - (DIC 2002 A MAR 2003)	4 MESES	3,85	76.992	33,50	2.579.228	\$ 6.737.716.704

En el anterior cuadro podemos observar la diferencia de construir un gaseoducto a la conversión de otro con la misma longitud y diámetro, podemos ver con los valores en pesos colombianos o en dólares representa el 76,95% más económico la conversión de un tramo que la construcción del mismo.

² Datos suministrados por Ecogas, Costos comparativos del Proyecto Variante Pte Guillermo Sucre Oriental, Costos Creg y el Proyecto de Conversión Cusiana – El Porvenir, Abril 2004

14. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Como los mercados de petróleo, gas natural continúan cambiando y evolucionando, habrá una tendencia al incremento hacia la conversión de tuberías no solo para gas natural sino también para otro tipo de productos o para nuevos servicios. El uso de la tecnología de gel marrano ha probado ser una herramienta efectiva para purgar, limpiar, secar, inhibir y poner en servicio las tuberías convertidas. Cada que la longitud de la tubería se incrementa, el método de gel marrano se convierte cada vez más atractivo que otros métodos alternativos.

Un largo, complejo tren de gel marrano puede ser usado exitosamente para desplazar el crudo existente o productos y remover excesivas cantidades de escombros en típicamente una sola pasada a través de la tubería. Remoción de depósitos típicamente encontrados en una tubería existente de crudo deben ser propiamente dirigidas si la línea se espera que opere sin ningún incidente. Esto incluye remover todo lo orgánico (residuo de crudo, parafinas, etc.) y depósitos inorgánicos (por ejemplo, arena, suciedad, óxido de hierro, sulfuros, etc.). La

tecnología de gel reduce dramáticamente los costos, tiempo y exposición ambiental requerida para completar una conversión. Diferente a los métodos tradicionales (por ejemplo, secado, marraneo con solventes, limpieza a alta velocidad con agua, etc.), el método gel marrano provee información segura como el grado de limpieza conseguido. De un detallado análisis del tren de gel, la cantidad de escombros removidos, la composición de los escombros, y la cantidad de escombros remanentes pueden ser exactamente precisados.

Las conversiones de tuberías hacen que este método se convierta en una manera de ganar tiempo, costo y dinero en un tiempo record, sin afectación del medio ambiente y una posibilidad de no solo hacerlo para conversiones a gas naturales si no a otro servicios como a poliductos o a líneas de agua.

La limpieza de tuberías para utilización de gas natural debe hacerse de tal forma que no ponga en peligro el funcionamiento de la línea ya que en condiciones altas de humedad pueden ocasionar altos grados de corrosiones en la línea que puede terminar ocasionándole daños a la tubería.

La selección de los raspadores o pigs es la parte mas importante de la limpieza ya que de este depende de que la limpieza termine siendo exitosa, habiendo una gran variedad de modelos, hay que saber que pig utilizar y donde utilizarlo, si utilizar discos o cepillos para remover diferentes tipos de escombros como parafinas, ceras, óxidos, etc.

El tratamiento de los efluentes debe hacerse siguiendo la metodología descrita en el Diagrama de Flujo, cumpliendo con todos los requerimientos del Decreto 1594, para evitar que los vertimientos afecten la calidad de agua.

La idea de sacar un indicador que refleje un costo aproximado de conversión de kilómetro/pulgada, no ha sido satisfactorio, ya que podemos decir que cada conversión es diferente, y puede haber varios factores que modifiquen este cambio para cada conversión haciéndola como única y especial para cada caso.

15. BIBLIOGRAFIA

ICP – ECOPETROL, Limpieza Interna Oleoducto Cusiana la Belleza, Documento Final Ecogas, Marzo de 1999.

CORDELL, Jim y VANZANT, Hershel - All About Pigging, The Designs of pipelines and facilities for conventional and intelligent pigging and a guide to pig selection, operation and maintenance and to pipeline pigging service, On Stream Systems Ltda, Gloucestershire 1997.

American City Business Journals Inc. is the nation's largest publisher of metropolitan business newspaper, www.bizjournals.com/austin/stories/2004/07/12/daily25.html.

Background Kinder Morgan Rancho Pipeline Project, Ancho Pipeline Project, www.rci-metairie.com/about_us/rancho_background.pdf. Austin's Growing Energy Demand.

Conversion of existing Crude oil Pipelines using Gel Pig Technology by Mark S. Keys, Business Development Manager – Americas Region, www.undergroundinfo.com/PGJ/pgj_archive/archive62.html.

A Report on Kinder Morgan's Planned Conversion of the Rancho Pipeline From Crude Oil to Natural Gas, Produced by Iconmedia, www.iconmedia.org/km_report.php. sponsored by Save Barton Creek Association, Sierra Club, Austin Regional Group, SOS Alliance.

Three Methods of drying the pipeline are commonly used each of which can make, Pipeline Drying Applications can easily damage any, www.michell.co.uk/applications/pdf/pipeline%20Drying.pdf.

Cleaning and coating pipeline by insitu pipeline systems, Insitu pipeline systems. A Process for lining oilfield pipelines 6/22/2004, A Process for Lining oilfield pipeline, Kevin Cato In-Situ Pipeline Systems, www.insitupipeline.com/news.org

Pipeline and Process Service, Chemical Process Services, How Halliburton's Chemical Cleaning Services can Help, www.halliburton.com/esg/pdf/ho3203.pdf

Girard Industries, The Art of Pigging, Pig launching & Receiving Procedures, Types of Pigs. www.girardind.com/epolly.html

ICP – ECOPETROL, Presentación PowerPoint Productos y Métodos de Limpieza de oleoductos y Poliductos, Bucaramanga: Octubre del 2002.

TIPIEL SA, Procedimiento de Conversión del Oleoducto Cusiana – El Porvenir, Contrato Marco de Ingeniería, Abril 2002.

ANEXO

TIPOS Y USOS DE PIGS O RASPADORES

Copas y discos raspadores

Figura 18. Pigs de Copas y Discos

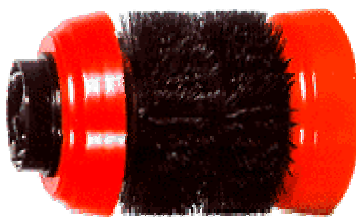
Modelo
GWB
Tamaños 2" a 8"



Limpiador

Estándar con copas de poliuretano.*
Estándar con cepillos de alambre de acero en forma de anillo partido.
Especificar discos para operación bidireccional.

Modelo
GDB
Tamaños 6" a 14"

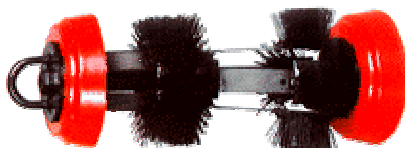


Limpiador

Estándar con copas de poliuretano.*
Estándar con cepillos de alambre de acero en forma de anillo partido.
Disponibile con cepillos inoxidables o prostran.

Especificar discos para operación bidireccional.

Modelo
GBK
Tamaños 6" a 14"



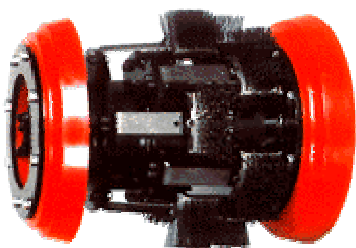
Limpiador

Estándar con copas de poliuretano.*
Estándar con cepillos de acero de resorte.
Disponibile con cepillos de acero inoxidable o prostran.

También disponible con cuchillas de poliuretano o acero.

Hay unidades disponibles con diámetro dual.

Modelo
GSB
Tamaños 10" a 24"



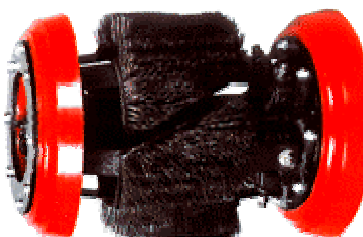
Limpiador

Estándar con copas de poliuretano.*
Estándar con cepillos de acero de resorte.
Disponibile con cepillos de acero inoxidable o prostran.

También disponible con cuchillas de poliuretano o acero.

El montaje del transmisor para el limpiador es opcional.

Modelo
GZB
Tamaños 16" a 48"



Limpiador

Estándar con copas de poliuretano.*
Estándar con cepillos de acero de resorte "Z".

Disponibile con cepillos de acero inoxidable o prostran.

También disponible con cuchillas de poliuretano.

Especificar discos para operación bidireccional.

El montaje del transmisor para el limpiador es opcional.⁶

⁶ Girard Industries, Op. Cit..

Limpiadores separadores y calibradores

Figura 19. Limpiadores separadores y calibradores

Modelos

GBC-2

GBC-3

GBC-4

Tamaños 2" a 48"



Limpiadores de copa para operación unidireccional

Para separación, desplazamiento, prueba hidroestática y eliminación de parafina.

Estándar con copas de poliuretano.*

Para calibrar, añadir placas calibradoras de aluminio o acero.

El montaje del transmisor para el limpiador es opcional (tamaños de 8" o más).

Modelos

GBD-2

GBD-3

GBD-4

Tamaños 2" a 48"



Limpiadores de disco para operación bidireccional

Para separación, desplazamiento, prueba hidroestática y eliminación de parafina.

Estándar con copas de poliuretano.*

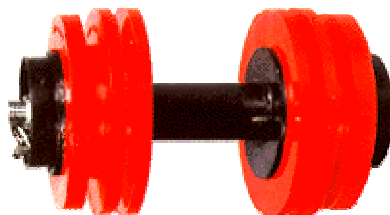
Para calibrar, añadir placas calibradoras de aluminio o acero.

El montaje del transmisor para el limpiador es opcional (tamaños de 8" o más).

Modelo

GBDX-6

Tamaños 2" a 48"



Operación bidireccional

Para separación, desplazamiento, prueba hidroestática y eliminación de parafina.

Estándar con 6 discos de poliuretano.

Cepillos de alambre de acero opcionales.

El montaje del transmisor para el limpiador es opcional (tamaños de 8" o más).⁷

⁷ Girard Industries, Op. Cit..

Limpiadores cónicos con copas

Figura 20. Limpiadores cónicos con copas

Limpiadores cónicos multi-uso Girard

Tamaños 2" a 48"

Los limpiadores cónicos multi-uso Girard, para limpiar, separar y calibrar. Modelos disponibles con dos, tres o cuatro copas cónicas de poliuretano que permiten un máximo de flexibilidad y obturación positiva para atravesar conductos ovalados.

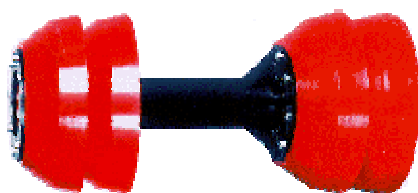
Modelos

GCC-2

GCC-3

GCC-4

Tamaños 2" a 48"



Limpiadores de copa para operación unidireccional.

Limpiadores para separación o desplazamiento de productos. Disponibles con placas calibradoras de aluminio o acero. El montaje del transmisor para el limpiador es opcional (tamaños de 8" o más).

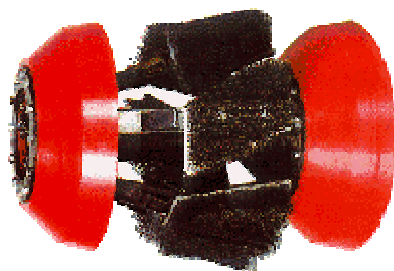
Modelos

GCC-BR-2

GCC-BR-3

GCC-BR-4

Tamaños 2" a 48"



Limpiadores de copa para operación unidireccional.

Limpiadores para separación o desplazamiento de productos. Disponibles con placas calibradoras de aluminio o acero. El montaje del transmisor para el limpiador es opcional (tamaños de 8" o más).

Copas y discos de recambio



Copas de recambio cónicas de poliuretano, copas raspadoras y discos raspadores.

* Disponible con copas y discos de nitrilo y neopreno.⁸

⁸ Girard Industries, Op. Cit..

Serie Turbo® Girard Pigs en Uretano para Tuberías

Figura 21. Pigs en uretano para tuberías



- Hechos con el elastómetro de poliuretano de la mejor calidad.
- Construcción de poliuretano sólido de una pieza; no es necesario montarlo.
- Creados para ser más duraderos y resistentes a la abrasión.
- Versátiles; pueden utilizarse en LPG, líneas de petróleo crudo, gas natural, agua salada y producto.
- Excelentes para sacar líquido.
- Variedad de durómetros disponibles para aplicaciones específicas.



El limpiador Turbo-Magnum™ está disponible para conductos de 2" a 30". Un diseño de copa único permite la transición suave con obturación total de pared a través de "tes", válvulas de retención y válvulas de orificio entero. Los cepillos de alambre reemplazables "bolt on" están disponibles cuando se requiere una limpieza más agresiva. Es efectivo eliminando líquidos de sistemas de gas líquido y conductos para líquidos. También se usa para controlar la acumulación de parafina en líneas de petróleo crudo, separación de productos refinados, puesta en marcha de tubería y evacuación de producto.



El limpiador Turbo-Flex™ está disponible para conductos de 2" a 24". Diseñado con cinco discos de obturación y copa trasera, es extremadamente efectivo para eliminar líquidos en sistemas de gas líquido y conductos para líquidos. Su capacidad de obturación superior lo convierten en un producto ideal para separación de líquidos, desplazamiento de línea y evacuación de producto. Se usa para controlar acumulación de parafina en líneas de petróleo crudo.



El limpiador Turbo-Flow™ está disponible para conductos de 2" a 24". Está diseñado para ser usado con la válvula "Argus Pig". El diseño de disco y copa combina una efectiva acción de limpieza del disco con una superior capacidad de obturación de la copa. Es efectivo para eliminar líquidos de sistemas de gas líquido y conductos para líquidos. También se usa para controlar la acumulación de parafina en las líneas de petróleo crudo, separación de productos refinados y evacuación de producto.



El limpiador Turbo-Plus™ está disponible para conductos de 3", 4" y 6". Es ideal para aplicaciones en plantas e industrias. El diseño en copa cónica le permite pasar por conductos ovalados con una variación de hasta un 20% del "ID". Es ideal para usar en conductos con un grosor de pared variable. Usado para evacuar producto del proceso de conducción en las industrias de alimentación, cosméticos y otras industrias relacionadas.

Uretanos Sólidos, Pigs de Desplazamiento Bi-direccional

Modelo TBBD

Figura 22. Modelo TBBD en pigs de uretano

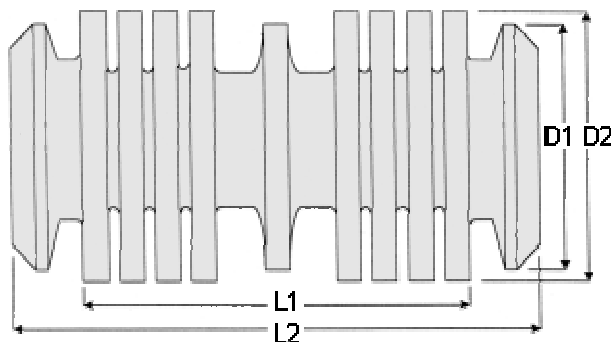


Tabla 10. Dimensiones de los pigs sólidos en uretano en el Modelo TBBD

Tamaño de la Tubería	Dimensiones				Peso	Material
	D1	D2	L1	L2		
2"	2.00"	2.15"	2.70"	3.90"	0.5#	Uretano Rojo 70 Orilla A
3"	3.00"	3.18"	3.70"	5.60"	1.0#	Uretano Rojo 70 Orilla A
4"	4.00"	4.20"	5.25"	7.50"	2.5#	Uretano Rojo 70 Orilla A
6"	6.00"	6.31"	7.40"	10.75"	9.0#	Red Urethane 70 Shore A

Modelo TTFG

Figura 23. Modelo TTFG en pigs de uretano

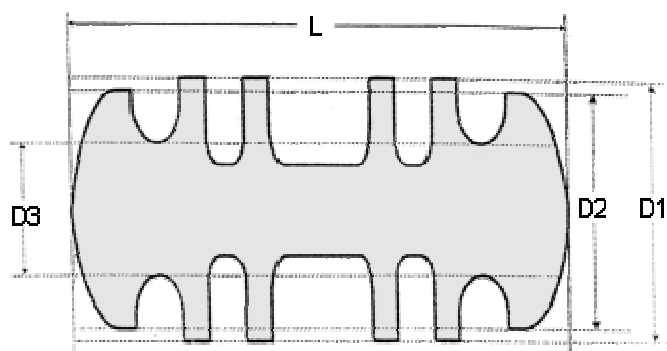
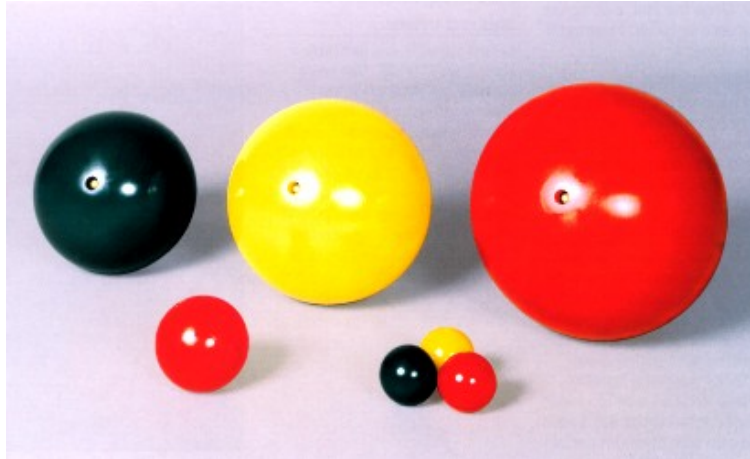


Tabla 11. Dimensiones de los pigs sólidos en uretano en el Modelo TTFG

Tamaño de la tubería	Dimensiones			
	L	D1	D2	D3
2"	4"	2.00	1.85"	1.03"
3"	5 11/16"	3.00	2.87"	1.49"
4"	6 15/16"	4.00	3.81"	1.75"

Esferas de poliuretano

Figura 24. Esferas



- **Minimizan la contaminación del producto cuando se usan para separar flúidos que son transportados por conductos**
- **Purgan el aire y deshidratan durante las pruebas hidroestáticas**
- **Confirman la precisión de los medidores de flujo**
- **Pasan por conductos ovalados**
- **Navegan a través de "tés", "eles" y válvulas de orificio completo**
- **Son adecuadas para lanzamiento automático**
- **Eliminan condensación y acumulación de parafinas**

Una gran variedad de usos

- **Separación de líquidos** - Las esferas Girard se usan para separar varios productos, como gasolina, petróleo crudo, combustible para reactores, y otros productos derivados del petróleo transportados por conductos. Se mantiene la integridad del producto cuando se navegan "tés" y "eles".
- **Reconocimiento de líneas** - Las esferas Girard purgan el aire de los conductos para garantizar unas pruebas hidroestáticas exactas. Esto se logra insertando una esfera delante de la columna de agua para que desplace el aire. Las esferas Girard pueden permanecer en la línea durante todas las fases de la prueba. Una vez finalizada la prueba, se usan las esferas para deshidratar los conductos.
- **Mantenimiento de la línea** - Las esferas Girard mantienen la integridad de los conductos eliminando la parafina y la condensación. Durante el control de mantenimiento de corrosión, se usan las esferas para separar los inhibidores de corrosión.
- **Verificadores de medición** - Las esferas Girard calibran el desplazamiento de volumen para confirmar la precisión de los medidores de flujo.

Tipos GSY – GSG – GSR

Las esferas Girard son fabricadas en una variedad de durómetros para verificación de medición y para aplicación en los conductos. Las GSY (amarillas) están diseñadas para verificación de medición y las GSG (verdes) y GSR (rojas) están diseñadas para uso en conductos. Las esferas Girard están disponibles en tamaños de 2" a 36".

Se obtiene el máximo de beneficios cuando las esferas son rellenas y medidas de forma apropiada. Las aplicaciones específicas determinarán el tamaño más efectivo y el fluido a usar para rellenas. Por lo general, las esferas Girard deberían tener un tamaño de un 1% mayor que el "ID" de los conductos. Girard o su distribuidor local les proporcionarán más información acerca de su uso.

Tabla 12. Aplicaciones recomendadas para las esferas

Modelo	Temperaturas recomendadas de operación			Aplicaciones de Servicio
	Mínimo	Máximo		
		Servicio de Agua	Servicio de Crudo	
GSY (Amarillo)	-200 F - 29° C	140° F 60° C	170° F 77° C	Servicio de contador probado, Crudo, Productos Refinados, LPG, NGL, O Fuels Oxigenados.
GSG (Verde)	0 ° F -18° C	140° F 60° C	170° F 77° C	100% MTBE, Benzene, Limitada exposición de solventes, Remoción de gas destilado, Pruebas Hidrostáticas, Swabbing Químico, Evacuación de Líneas), Separación de Productos (Baches), Control de Cera en tuberías de Crudo, Remoción de Líquidos en tuberías húmedas de gas.
GSR (Rojo)	0° F -18° C	140° F 60° C	170° F 77° C	Tolueno & Propileno, Pruebas Hidrostáticas, Swabbing Químico, remoción de Productos (Evacuación de la Línea), Separación de Productos (Baches), Control de la Cera en Tuberías de Crudo, Remoción de Líquido en tuberías húmedas de gas

Nota: Lo de arriba son aplicaciones generales. Por favor consulte a la fabrica cuando condiciones inusuales o servicios son encontrados. La Industria Girard, Inc., Realizará las recomendaciones basadas en su servicio y condiciones.

Tabla 13. Fluidos recomendados para el llenado de esferas

Fluidos Recomendados para llenado	
Rango de Temperatura	Fluido a llenar
Por debajo de 32°F (0°C)	50% Glycol y Agua
32°F (0°C) a 150°F (66°C)	Agua
Por encima 150°F (66°C)	Glycerol
PRECAUCIÓN: No usar fluidos de hidrocarburos para el llenado	

Bomba para esferas de Girard

Recomendamos [una bomba para inflar las esferas](#) Girard de forma apropiada. La bomba es fácil de usar. Se coloca el fluido apropiado en el depósito, se conecta la manguera a la válvula de la esfera y se aprieta la manivela manualmente. La bomba y los accesorios puede encontrarlos en Industrias Girard.

Figura 25. Marranos tipo mandril

