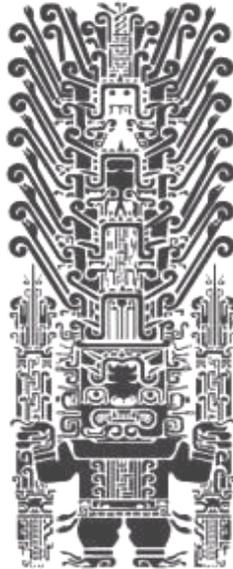


UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL

ESCUELA UNIVERSITARIA DE POST GRADO



TESIS:

**INFLUENCIA DEL REDUCTOR DE FRICCIÓN EN LA CAPACIDAD DEL
SISTEMA DE TRANSPORTE DE LÍQUIDOS DE GAS NATURAL MALVINAS –
PISCO**

PRESENTADA POR:

COSTILLA FERNÁNDEZ JORGE LUIS

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

**MAESTRO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL CON MENCIÓN EN GESTIÓN DE
OPERACIONES Y PRODUCTIVIDAD**

LIMA – PERÚ

2018

RECONOCIMIENTO

En el transcurrir de mi vida profesional he tenido la oportunidad de estudiar, enseñar e investigar. Por ello me permito plantearme el objetivo de evaluar el incremento de la capacidad en el sistema de transporte de líquidos de gas natural, aplicando habilidades de mi profesión, experiencia y una gran dosis de esfuerzo.

Es en esta vivencia que quiero acentuar mi más profundo reconocimiento a mis compañeros de trabajo que en el más amplio sentido me apoyaron en el desarrollo de mi trabajo.

Cuando inicio una reflexión sobre el sistema de transporte de líquidos de Gas Natural Malvinas - Pisco, definitivamente tengo que relacionarla con el mundo desarrollado y encuentro que éste, se encuentra en una fase de búsqueda de máxima eficiencia apoyado en las soluciones tecnológicas, es bajo esta óptica que quiero agradecer especialmente a la Escuela Universitaria de Postgrado de la Universidad Nacional Federico Villarreal que como institución busca formar profesionales como requiere la sociedad, con pensamiento científico y sistémico.

Finalmente, mi más profundo agradecimiento a mis dos hijos Edson y Alexander por ser ambos el motor que me impulsa a mejorar continuamente.

RESUMEN

En el trabajo de investigación se planteó como objetivo determinar la influencia del reductor de fricción en la capacidad del sistema de transporte Malvinas – Pisco, a fin de evidenciar un aumento de la capacidad de transporte en el ducto de líquidos de gas natural asociado al incremento de dosificación del reductor de fricción.

El tipo de investigación fue básica de diseño no experimental correlacional causal, la muestra fue no probabilística, se utilizó como técnica el análisis documental y como instrumento la ficha de registro de datos para ambas variables.

El análisis estadístico demostró que el reductor de fricción influye en la capacidad del sistema de transporte Malvinas – Pisco, es decir, que para cada dosificación propuesta de DRA, se alcanzó el caudal simulado de transporte de LGN en el ducto Malvinas – Pisco, es decir, para una dosificación de: 11.95, 27.07, 48.55, 80.69 y 89.68 ppm de DRA se alcanzó a transportar: 84,969; 100,871; 109,084; 120,158 y 130,030 BPD de LGN respectivamente.

Palabras claves: Reductor de Fricción, Sistema de Transporte, y Capacidad.

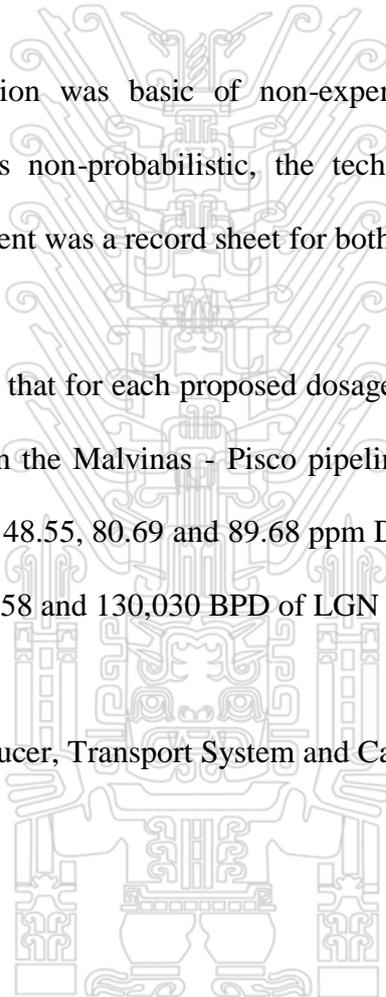
ABSTRACT

In the research work it was outlined as the objective to determine the influence of the friction reducer on the capacity of the Malvinas - Pisco transport system, to show the increase in transport capacity in the natural gas liquids pipeline associated with the increase of dosing of the friction reducer.

The type of investigation was basic of non-experimental causal correlational design, the sample was non-probabilistic, the technique was the documentary analysis and the instrument was a record sheet for both variables.

The result demonstrated that for each proposed dosage of DRA, the simulated flow rate of LGN transport in the Malvinas - Pisco pipeline was reached, that is, for a dosage of: 11.95, 27.07, 48.55, 80.69 and 89.68 ppm DRA was transported: 84,969; 100,871; 109,084; 120,158 and 130,030 BPD of LGN respectively.

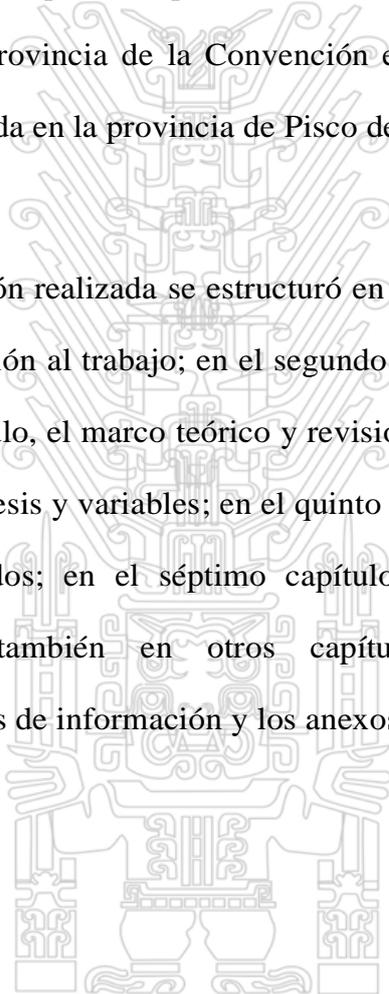
Keywords: Friction Reducer, Transport System and Capacity.



I. INTRODUCCIÓN

Considerando que uno de los pilares del desarrollo y crecimiento económico del Perú es el sistema de transporte de líquidos de gas natural por ductos, Malvinas – Pisco, se tornó de interés el determinar la influencia del reductor de fricción en la capacidad del sistema de transporte Malvinas – Pisco, dado que éste se encarga de trasladar hidrocarburos líquidos desde el punto de producción en la Selva del Perú, ubicado en el distrito de Echárate de la provincia de la Convención en el departamento de Cuzco, hasta la Playa Lobería ubicada en la provincia de Pisco del departamento de Ica.

El informe de la investigación realizada se estructuró en capítulos, presentándose en el primer capítulo la introducción al trabajo; en el segundo capítulo, el planteamiento del problema; en el tercer capítulo, el marco teórico y revisión de la literatura; en el cuarto capítulo, el sistema de hipótesis y variables; en el quinto capítulo, la metodología; en el sexto capítulo, los resultados; en el séptimo capítulo, la discusión y análisis de resultados; agregándose también en otros capítulos, las conclusiones, las recomendaciones, las fuentes de información y los anexos.



ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN	5
II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
Antecedentes de la investigación	11
Descripción de la realidad problemática	15
Formulación del problema de Investigación	24
Problema principal	24
Problemas Secundarios	24
Objetivos de la investigación	24
Objetivo General	24
Objetivos Específicos	25
Justificación e importancia de la investigación	25
Justificación	25
Importancia	26
Limitaciones del Estudio	26
III. MARCO TEÓRICO Y REVISIÓN DE LA LITERATURA	28
Gas Natural (GN)	28
Líquidos de Gas Natural (LGN)	28
Transporte de Hidrocarburos Líquidos por Ductos	29
Poliducto Malvinas - Pisco	30
Descripción del Poliducto Malvinas – Pisco	30
Estación de Bombeo 1(PS-1)	31
Estación de Bombeo 2 (PS-2)	33
Estación de Bombeo 3 (PS-3)	35
Estación de Bombeo 4 (PS-4)	37
Estación Reductora de Presión 1 (PRS-1)	39
Estación Reductora de Presión 2 (PRS-2)	40
Estación Reductora de Presión 3 (PRS-3)	42
Sistema de Control del Poliducto Malvinas - Pisco	43
Condiciones de Operación	44
Presión	44
Historia del DRA en el Transporte de Hidrocarburos Líquidos	51
Sistema de inyección de DRA en poliducto Malvinas - Pisco	52
Propiedades físicas y químicas del DRA FLO MXC PIPELINE BOOSTER	54
Tulencia	55
Consideraciones de DRA en el transporte de hidrocarburos líquidos	57

Tesis publicada con autorización del autor.

No olvide citar esta tesis

UNFV

IV. SISTEMA DE HIPÓTESIS Y VARIABLES	59
Hipótesis General.....	59
Sub - hipótesis	59
Identificación y clasificación de las variables	59
Operacionalización de las variables.....	60
V. METODOLOGÍA.....	61
Tipo de Investigación	61
Nivel de Investigación	61
Diseño de investigación	62
Método de investigación.....	62
Técnicas e instrumento de investigación.....	62
Muestra	63
VI. RESULTADOS	66
Cálculo del número de Reynolds para el fluido transportado en poliducto Malvinas – Pisco	67
Prueba N° 1: Caudal máximo de transporte de LGN alcanzado 70,836 BPD	69
Prueba N° 2: Caudal máximo de transporte de LGN alcanzado 84,969 BPD	70
Prueba N° 3: Caudal máximo de transporte de LGN alcanzado 100,871 BPD	72
Prueba N° 4: Caudal máximo de transporte de LGN alcanzado 109,084 BPD	74
Prueba N° 5: Caudal máximo de transporte de LGN alcanzado 120,158 BPD	76
Prueba N° 6: Caudal máximo de transporte de LGN alcanzado 130,028 BPD	79
Resumen de capacidad máxima alcanzada en el sistema de transporte de LGN	81
Análisis costo - beneficio.....	84
Consumo anual de DRA por caudal de LGN transportado.....	84
Ingresos por año por incremento de transporte de LGN	85
Costos fijos de las instalaciones de los 05 skids de DRA.....	86
Análisis de ingresos económicos por incremento de transporte de LGN a 95 MBPD	86
VII. DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	89
VIII. CONCLUSIONES.....	92
IX. RECOMENDACIONES.....	95
X. FUENTES DE INFORMACIÓN	97
XI. ANEXOS	99
Anexo 1: Matriz de consistencia.....	99
Anexo 2: Pantallas resumen del sistema de transporte de LGN	100
Anexo 3: Ficha de registro.....	106
Anexo 4: Hoja de datos de seguridad del material FLO MXC PIPELINE BOOSTER	107

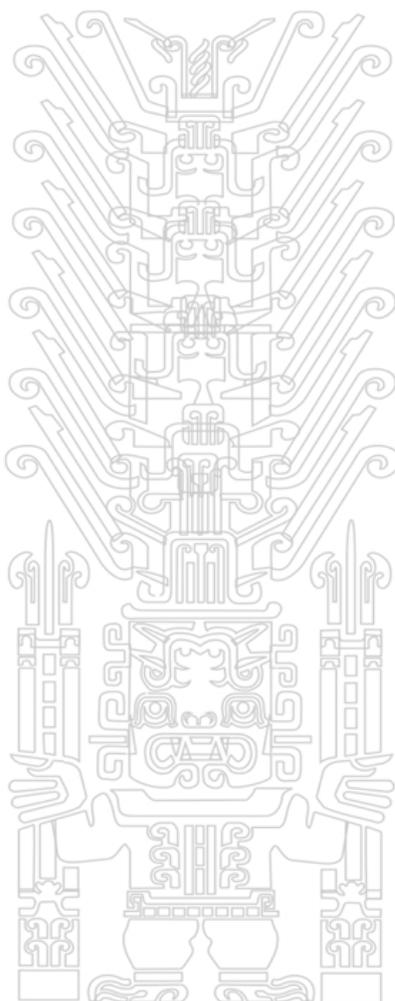
ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Composición promedio del LGN - Camisea	29
Tabla 2: Ubicación de las estaciones de inyección de DRA	30
Tabla 3: Ubicación de las estaciones de bombeo y estaciones reductoras de presión	31
Tabla 4: Máxima presión de salida por estación.....	44
Tabla 5 : Operacionalización de la variable reductor de fricción.....	60
Tabla 6 : Operacionalización de la variable capacidad del sistema de transporte de LGN.....	60
Tabla 7: Resumen de muestras	65
Tabla 8: Resumen de resultados	66
Tabla 9: Resumen de fechas de pruebas.....	67
Tabla 10: Tabla de cálculo de número de Reynolds.....	67
Tabla 11: Resumen de números de Reynolds.....	68
Tabla 12: Capacidad máxima alcanzada 70,836 BPD	69
Tabla 13: Capacidad máxima alcanzada 84,969 BPD	70
Tabla 14: Capacidad máxima alcanzada 100,871 BPD	72
Tabla 15: Capacidad máxima alcanzada 109,084 BPD	74
Tabla 16: Capacidad máxima alcanzada 120,158 BPD	76
Tabla 17: Capacidad máxima alcanzada 130,028 BPD	79
Tabla 18: Dosificación por estación y capacidad máxima alcanzada	81
Tabla 19: Resumen del modelo.....	83
Tabla 20: Gastos por consumo anual de DRA (US \$).....	84
Tabla 21: Ingresos por año por transporte de LGN (US \$)	85
Tabla 22: Resumen de costo - beneficio.....	86

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Componentes del gas natural.....	16
Figura 2: Evolución del incremento de la demanda de Gas Natural.....	17
Figura 3: Evolución de la capacidad del sistema de transporte de Gas Natural.....	18
Figura 4: Evolución de la producción de líquidos de gas natural.....	18
Figura 5: Evolución de capacidad del sistema de transporte de líquidos de gas natural	19
Figura 6: Mapa de ubicación del ducto de líquidos de gas natural Malvinas – Pisco	20
Figura 7: Mapa de ubicación de las estaciones del ducto de LGN Malvinas – Pisco	21
Figura 8: Perfil altimétrico del ducto de líquidos de gas natural Malvinas – Pisco	22
Figura 9: Diagrama de estación de bombeo 1 (PS1)	32
Figura 10: Diagrama del skid de inyección de DRA de PS1.....	33
Figura 11: Diagrama de la estación de bombeo 2 (PS2).....	34
Figura 12: Diagrama del skid de inyección de DRA de PS2.....	35
Figura 13: Diagrama de la estación de bombeo 3 (PS3).....	36
Figura 14: Diagrama del skid de inyección de DRA de PS3.....	37
Figura 15: Diagrama de la estación de bombeo 4 (PS4).....	38
Figura 16: Diagrama del skid de inyección de DRA de PS4.....	39
Figura 17: Diagrama de la estación reductora de presión 1 (PRS1).....	40
Figura 18: Diagrama de la estación reductora de presión 2 (PRS2).....	41
Figura 19: Diagrama del skid de inyección de DRA de PRS2.....	42
Figura 20: Diagrama de la estación reductora de presión 3 (PRS3).....	43
Figura 21: Diagrama de acción del reductor de fricción	54
Figura 22: Ecuación caudal versus dosificación de DRA.....	64
Figura 23: Resumen de cálculos de números de Reynolds	68
Figura 24: Incremento de capacidad en 19.95% para 11.95 ppm de DRA.....	71
Figura 25: Incremento de capacidad en 42.40% para 27.07 ppm de DRA.....	73
Figura 26: Incremento de capacidad en 53.99% para 48.55 ppm de DRA.....	76
Figura 27: Incremento de capacidad en 69.63 % para 80.69 ppm de DRA	78
Figura 28: Incremento de capacidad en 83.56 % para 89.68 ppm de DRA	81
Figura 29: Capacidad del sistema de transporte de LGN por dosificación de DRA	82
Figura 30: Gasto por consumo anual de DRA (US \$).....	84
Figura 31: Ingresos por año por transporte de LGN (US \$)	85
Figura 32: Pantalla resume ducto LGN – 70,836 BPD.	100
Figura 33: Pantalla resume ducto LGN – 84,969 BPD.....	101
Figura 34: Pantalla resume ducto LGN – 100,871 BPD.	102

Figura 35: Pantalla resume ducto LGN – 109,084 BPD.	103
Figura 36: Pantalla resume ducto LGN – 120,158 BPD.	104
Figura 37: Pantalla resume ducto LGN – 130,028 BPD.	105
Figura 38: Ficha de registro.....	106



II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Antecedentes de la investigación

En el Perú no se han realizado investigaciones acerca de la Influencia del Reductor de Fricción en la Capacidad del Sistema de Transporte de Líquidos de Gas Natural Malvinas – Pisco, pero si se hallaron temas de investigación relacionados, que son los que se detallan. A nivel internacional encontramos a la compañía canadiense Embridge que ha desarrollado investigaciones respecto al tema aplicados a su sistema de transporte.

Contreras (2014) publicó en el artículo científico *Evaluación Técnica/Económica de alternativas para el incremento de la capacidad en sistemas de transporte por ductos de hidrocarburos líquidos* que en la actualidad los hidrocarburos líquidos siguen jugando un papel preponderante como fuente de energía en el mundo. Por ello, ante las demandas energéticas actuales, muchas empresas del rubro consideran dentro de sus planes de negocio, proyectos de expansión de sus sistemas de transporte. Para lo cual, se tienen tres alternativas, aplicadas mundialmente con este propósito: Instalación de Equipos Rotantes adicionales, Instalación de Loops paralelos e Instalación de Sistemas de inyección de líquidos reductores de fricción.

En el trabajo, al que hace referencia el artículo, la finalidad fue realizar un análisis y una evaluación técnica/económica de las alternativas de ampliación de la capacidad de un sistema de transporte por ductos de hidrocarburos líquidos que ayude en la toma de decisiones para tal fin, obteniéndose los siguientes aspectos como resultados y Conclusiones: 1) Se reconocieron las alternativas existentes para el incremento de la capacidad de transporte de hidrocarburos líquidos en un Sistema de Transporte por

Tesis publicada con autorización del autor
Ductos, así como los costos de Operación y Mantenimiento de cada una de dichas
No olvide citar esta tesis

UNFV

alternativas 2) De la evaluación técnica/económica se desprendieron la(s) mejor(es) alternativa(s) disponibles para asegurar una operación eficiente, segura y confiable, con una relación costo/beneficio acorde a los estándares de la industria.

Arimana (2014) en su artículo científico, *Uso de Reductores de Fricción en el Transporte de Líquidos de Gas Natural y su Integración con la Estrategia Global de Operación*, consideró que la vida moderna está basada en un ambiente en el que la energía juega un papel predominante y que el petróleo y el gas natural, principales fuentes de energía, son transportados principalmente por ductos, afirmando que una de las opciones más importantes de incremento de capacidad de un sistema de transporte de hidrocarburos líquidos es mediante el uso de reductores de fricción (DRA), debido a su fácil implementación a un sistema ya existente y a su apreciada capacidad de reducir las pérdidas por fricción en la tubería.

Dado el alto impacto operativo de su eficiente uso en el transporte y los altos costos operativos que éste contempla, se hace necesaria su optimización salvaguardando los aspectos operacionales a fin de asegurar un transporte de manera eficiente, segura y confiable, el trabajo referido tuvo por finalidad mostrar el análisis de sensibilidad de la inyección del DRA y el impacto en otras variables de proceso tales como la potencia de motobombas, presiones de operación entre otros y cómo interactúan las mismas para desarrollar la Estrategia de Operación en un Sistema de Transporte de Líquidos de Gas Natural por ductos. Hallando los siguientes Resultados y Conclusiones: 1) Del análisis de sensibilidad realizado se pudo establecer una nueva dosificación de DRA para diferentes regímenes de transporte a fin de optimizar su consumo, lo que implicó un ahorro de costos operativos considerable. 2) Del estudio realizado se pudo establecer en orden de

prioridad cuales son las variables que afectan más la operación de un sistema de transporte con DRA, a fin de ser consideradas en la Estrategia Global de Operación.

Manco (2014) en su artículo *Desarrollo de ingeniería para mejorar la confiabilidad y optimización del sistema de dosificación de DRA en el sistema de transporte por ductos Malvinas – Pisco*, manifestó que el Gas Natural (GN) y los Líquidos de Gas Natural (LGN) son las principales fuentes de energía del Perú y los ductos son el principal medio para su transporte. Asimismo, que en el año 2008 se instaló el sistema de Inyección de Reductor de Fricción (DRA) con el objetivo de incrementar la capacidad de transporte de LGN, reduciendo las pérdidas por fricción en la tubería; el sistema original que se implementó permitió incrementar la capacidad de transporte de LGN de 70 MBPD hasta los 100 MBPD, al considerar la construcción de cuatro sistemas de dosificación en las estaciones de bombeo: PS1, PS2, PS3 y PS4 y un sistema adicional en la Estación Reguladora de Presión 2 (PRS2).

La realización de este proyecto se trabajó en tres fases: la primera en el año 2008 en las estaciones PS1, PS2 y PS4. La segunda fase se desarrolló entre los años 2010 y 2011 en PRS2. La tercera fase fue desarrollada en la estación de bombeo PS3 en el año 2011; cada fase manejó distintos alcances.

El objetivo del artículo fue mostrar la planificación y la ingeniería que se desarrolló para mejorar las facilidades del sistema de DRA tomando en cuenta el propio producto Reductor de Fricción, a través de la búsqueda de productos alternativos; su almacenamiento, transporte y toda la infraestructura soporte que lo acompaña; así como

la estandarización de los equipos y la filosofía de control y de esta manera asegurar la

confiabilidad del sistema y el suministro permanente de Agente Reductor de Fricción. Las mejoras se desarrollarán sobre aquellas locaciones construidas en la primera y segunda fases del proyecto, es decir en PS1, PS2, PS4 y PRS2, la estación PRS3 ya cuenta con facilidades mejoradas.

Las mejoras incluyeron:

- Pruebas de fluido alternativo.
- Construcción de Almacenes para producto reductor de fricción en estaciones
- Modificaciones en skids de inyección y provisión de skids portátiles
- Instalaciones de tanques de almacenamiento de DRA en estaciones
- Modificaciones de estructuras civiles
- Implementación de microturbinas para generar energía en estación reguladora de presión PRS2.
- El proyecto tuvo un tiempo estimado de implementación de 1 año y se realizó sin detener el transporte de LGN y por ende el de GN.

Resultados y Conclusiones: 1) El desarrollo de este proyecto permite mejorar la confiabilidad en el Sistema de inyección de DRA en la línea de LGN y de esta manera garantizar el incremento de capacidad de transporte. 2) Se adecuaron las instalaciones existentes a las nuevas necesidades surgidas del análisis efectuado y no al revés (instalaciones del DRA de acuerdo con la disponibilidad de la estación), entendiendo la real importancia del producto en la operación.

Embridge transporta petróleo, líquidos derivados de petróleo y gas natural por ductos con aproximadamente 46,670 kilómetros (29,000 millas) de tuberías en Canadá y Estados

Unidos, distribuye un promedio de 2,2 millones de barriles de petróleo crudo y líquidos

cada día; por transportar el 53% de la producción de Estados Unidos y Canadá, es el operador de ductos líder en Canadá. Los diámetros de sus ductos en su sistema varían de 12 a 48 pulgadas y su sistema cuenta con más de 530 unidades de bombeo activas.

Como parte de sus proyectos de expansión la capacidad de su línea 9 se incrementará de 240 MBPD a 300,000 MBPD, usando un agente reductor de fricción (DRA) inyectado al crudo, permitiéndolo fluir con menos fricción, el uso de esta tecnología permitir incrementar la capacidad con mínimo requerimiento de infraestructura y reduce al mínimo el impacto al ambiente y las partes interesadas.

Descripción de la realidad problemática

El sistema de transporte por ductos Malvinas – Pisco, es clave en el desarrollo y crecimiento económico del Perú mediante el traslado de los hidrocarburos líquidos desde el punto de producción ubicado en la Selva hasta los puntos de consumo en la Costa, contribuyendo con el bienestar económico, social y cultural del Perú.

El producto transportado Líquidos de Gas Natural (LGN) es una mezcla de hidrocarburos contenidos en el gas natural, separados de él y acondicionados para su transporte, a través del ducto Malvinas – Pisco.

Derivados del Gas Natural de planta de procesamiento Malvinas

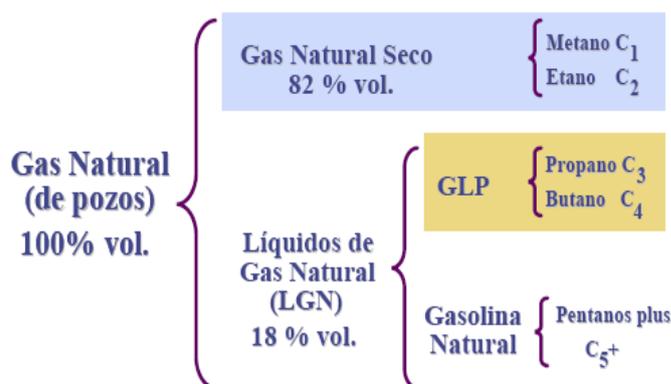


Figura 1: Componentes del gas natural

Nota: Los porcentajes son referenciales, éstos dependen del modo de operación aplicado por la planta de procesamiento de Gas Natural (Malvinas).

Para el análisis de la demanda de transporte de hidrocarburos líquidos es importante incorporar la demanda paralela de Gas Natural, como principal aspecto que influye en la producción de hidrocarburos líquidos y la inter funcionalidad sistémica entre el productor, el transportista y mercado demandante de dichos productos.

Actualmente los hidrocarburos líquidos de Gas Natural juegan un papel preponderante como fuente de energía, dadas las demandas energéticas actuales, muchas empresas del rubro consideran dentro sus planes de negocio, proyectos de expansión de sus sistemas de transporte. Para tal efecto, actualmente se tienen tres alternativas mundialmente aplicadas para este propósito: instalación de equipos rotantes (bombas) adicionales, instalación de loops (ductos paralelos) e Instalación de sistemas de inyección de reductores de fricción (DRA).

En el Perú, la política de masificación para el uso de Gas Natural implementada por los

gobiernos centrales en el año 2004, al iniciarse las operaciones del proyecto Camisea,
Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

UNFV

generó y sigue generando incremento de la demanda de este hidrocarburo, fundamentalmente por los bajos precios del Gas Natural para los generadores de electricidad (centrales térmicas), las empresas productoras y de servicios, sector residencial, y parque automotor, dicho incremento en la demanda de Gas Natural demandó mayor producción de líquidos de gas natural, esto implicó la urgente necesidad de aumentar la capacidad del sistema de transporte de líquidos de Gas Natural y que se logró con la implementación de un sistema de inyección de reductor de fricción (2007 - 2008); esto, significó la obtención de grandes ingresos, que permitieron el desarrollo del Perú y de la compañía de transporte por Ductos.

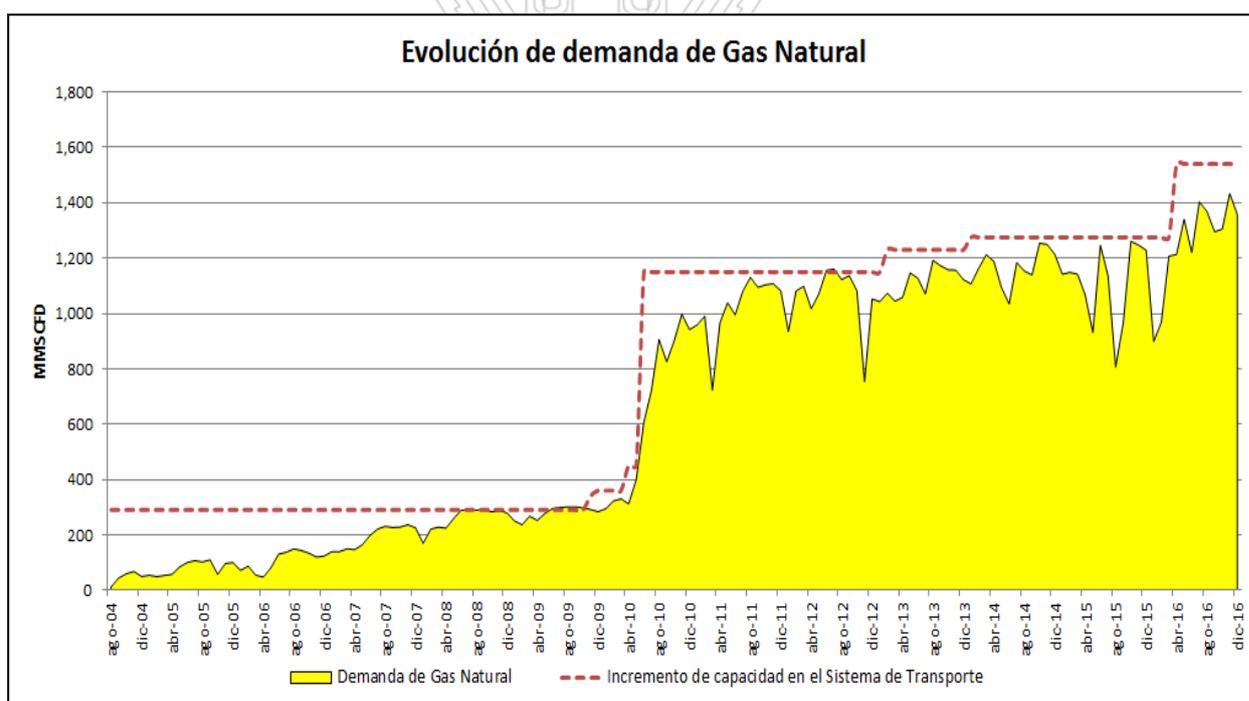


Figura 2: Evolución del incremento de la demanda de Gas Natural

Fuente: Elaboración propia

Se observa mayor incremento de la demanda de gas natural en el año 2010 como consecuencia del inicio de la demanda de gas natural para exportación.

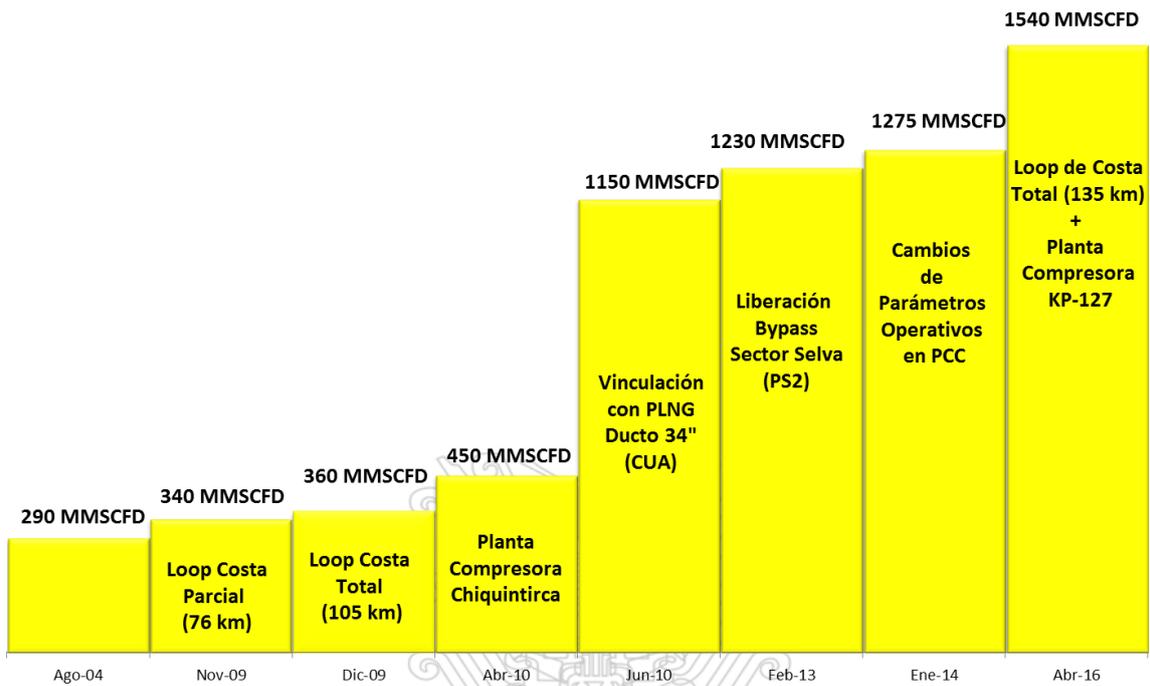


Figura 3: Evolución de la capacidad del sistema de transporte de Gas Natural

MMSCFD = millón de pies cúbicos estándar por día.

Fuente: Elaboración propia (2016)

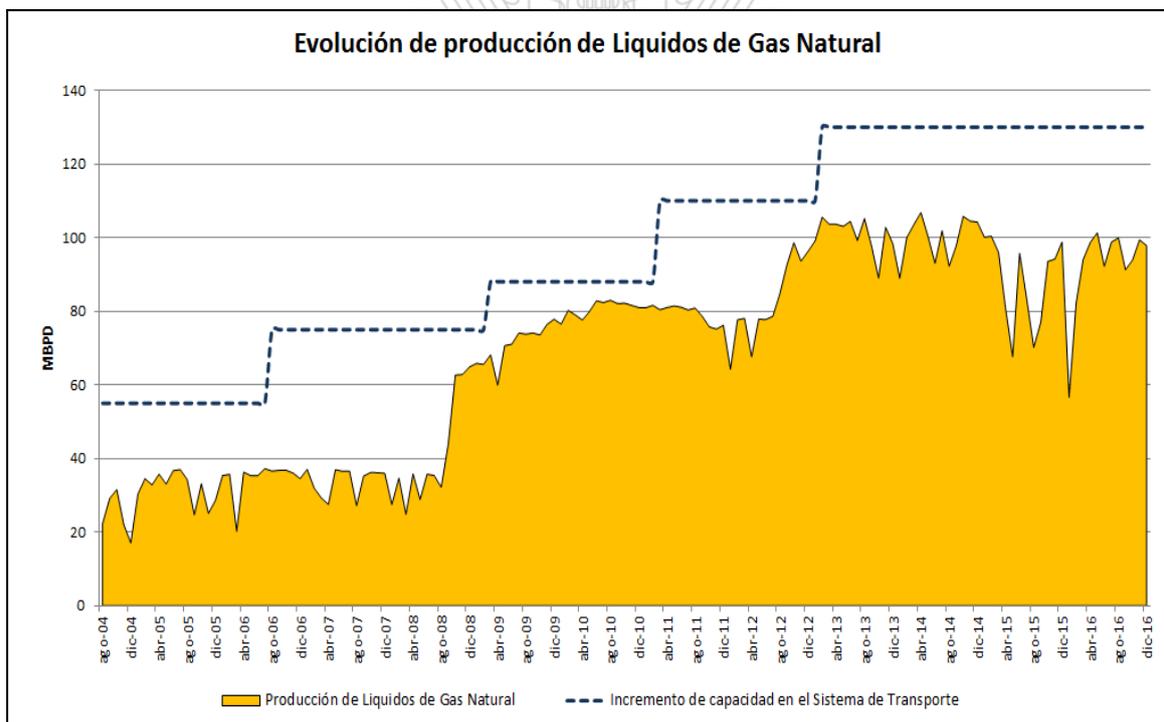


Figura 4: Evolución de la producción de líquidos de gas natural

MBPD = miles de barriles por día.

Fuente: Elaboración propia (2016)

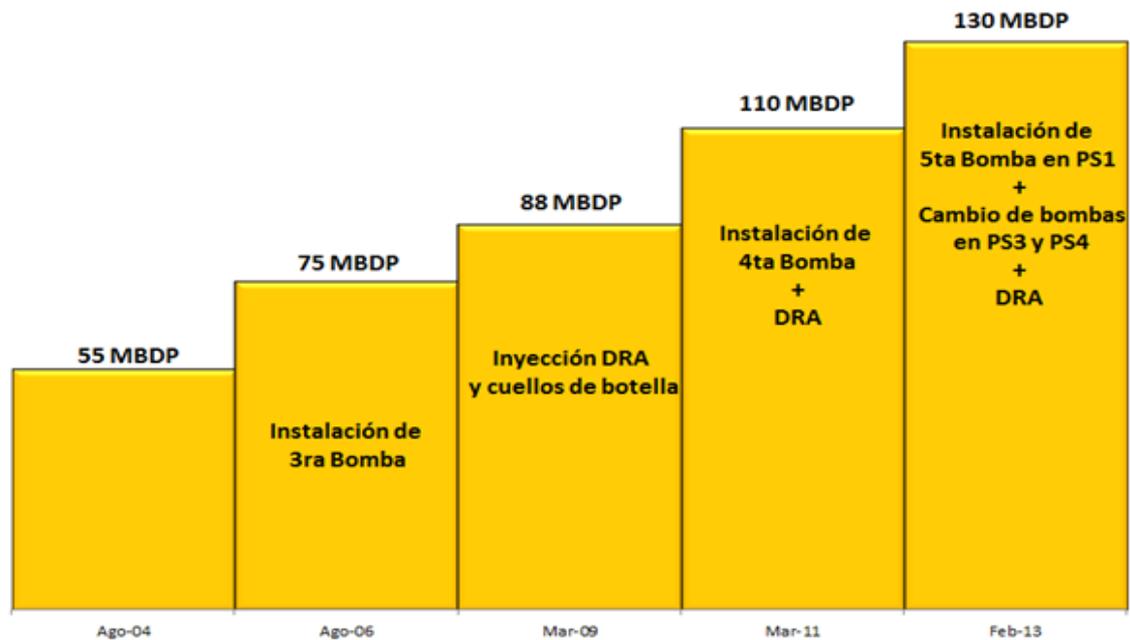


Figura 5: Evolución de capacidad del sistema de transporte de líquidos de gas natural

Nota: Se estableció que a partir de 70 MBPD de transporte de LGN se requiere el uso de DRA.

MBPD = Miles de barriles por día.

Fuente: Elaboración propia (2016)

El incremento de la demanda del Gas Natural para el mercado interno peruano y para la exportación, conllevó al incremento de la producción de LGN por encima de los 70 MBPD, los cuales requerían ser transportados desde la planta de procesamiento Malvinas - Cuzco hasta la planta de Fraccionamiento de Pisco, con lo que se superó la capacidad del diseño inicial del sistema de transporte Malvinas – Pisco, el cual, sin inyección de reductor de fricción es de 70 MBPD; por ello, se implementó el sistema de inyección de reductor de fricción con capacidad de transportar hasta 130 MBPD de LGN.

Por tanto, existe la evidencia de que se incrementó la capacidad del sistema de transporte de líquidos de gas natural del poliducto Malvinas - Pisco, por influencia del reductor de fricción, incentivó que en esta investigación se buscara determinar la influencia del reductor de fricción en la capacidad del sistema de transporte Malvinas –

Pisco.

Lugar donde se desarrolló la tesis

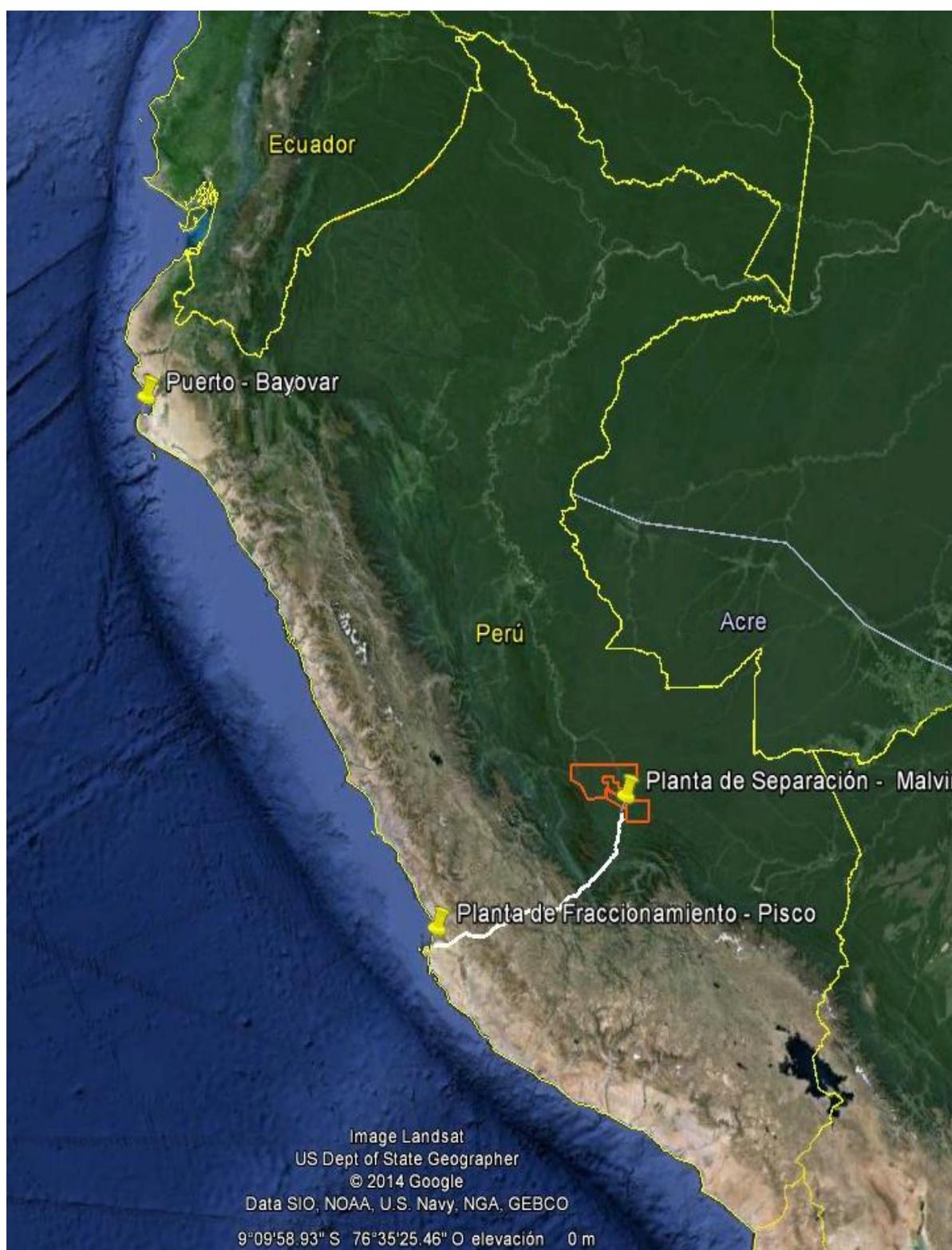


Figura 6: Mapa de ubicación del ducto de líquidos de gas natural Malvinas – Pisco

Fuente: Tomado del registro de la compañía de transporte de LGN por ductos Malvinas – Pisco (2016)

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

UNFV



Figura 7: Mapa de ubicación de las estaciones del ducto de LGN Malvinas – Pisco

Fuente: Tomado del registro de la compañía de transporte de LGN por ductos Malvinas – Pisco (2016)

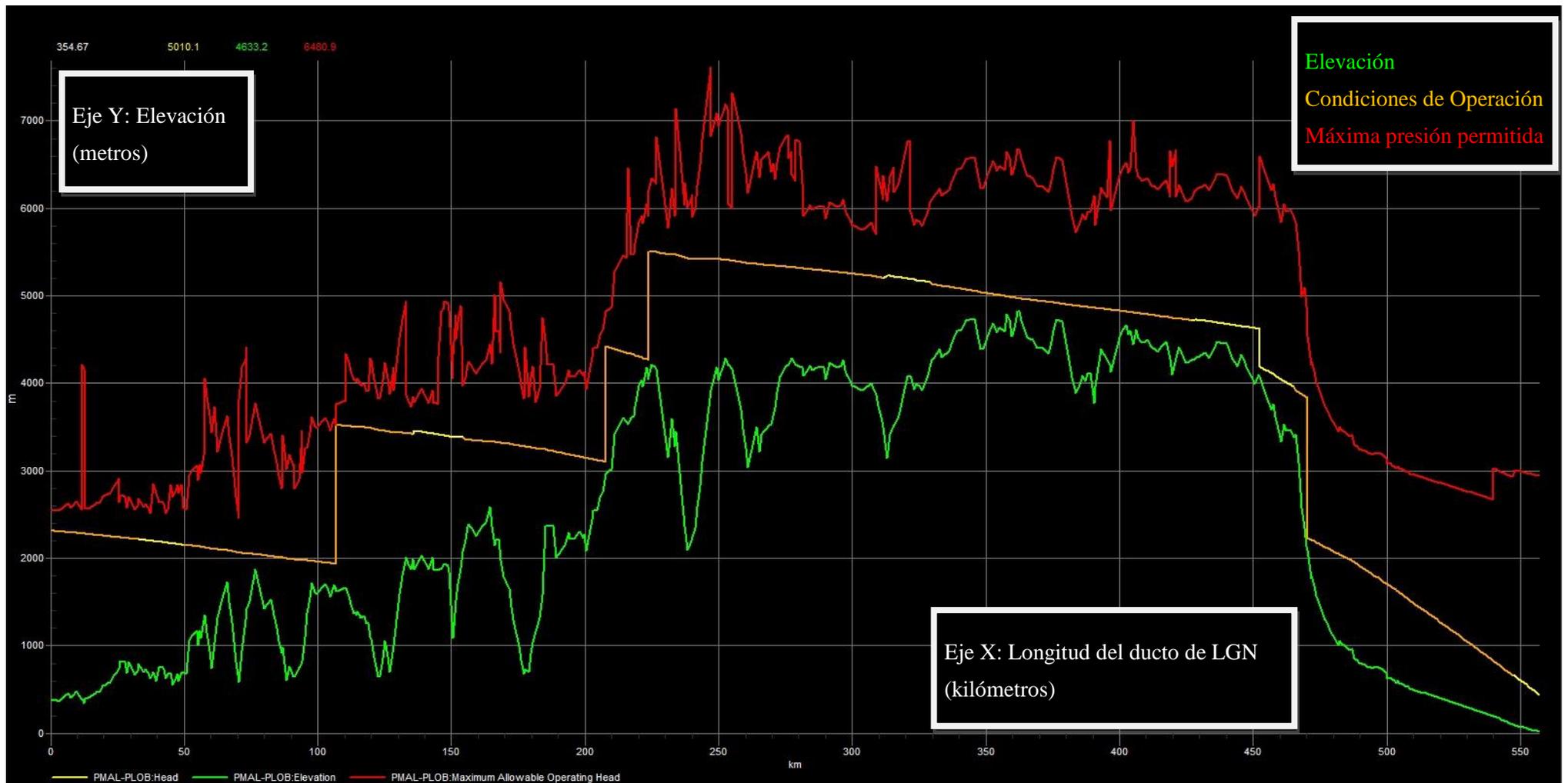


Figura 8: Perfil altimétrico del ducto de líquidos de gas natural Malvinas – Pisco

Fuente: Tomado del registro de la compañía de transporte de LGN por ductos Malvinas – Pisco (2016)

El sistema de transporte por ductos Malvinas – Pisco, presenta una longitud de 557.1 kilómetros en dos tramos; el primero de 452.5 kilómetros de 14” de diámetro exterior, nace en la planta Malvinas, en el distrito de Echárate, de la provincia de La Convención, en el departamento del Cuzco, llegando hasta la estación reductora de presión de LGN numero 1 (PRS1) ubicada en la provincia de Huaytará, en el departamento de Huancavelica en la zona de descenso hacia la costa; a partir de allí continúa el segundo tramo de 10.75" de diámetro exterior y recorre 104,6 kilómetros hasta la planta fraccionadora ubicada en la Playa Lobería, de la provincia de Pisco, en el departamento de Ica.

Para transportar el LGN sobre las montañas de los Andes, se tiene cuatro estaciones de bombeo, que proporcionan la energía necesaria para que los líquidos de Gas Natural puedan ascender y vencer la altura de 4860 metros sobre el nivel del mar (msnm) que tiene la cordillera de los Andes. Aguas abajo del kilómetro 363,58 punto más alto del poliducto, se tienen tres estaciones reductoras de presión para evitar que las presiones con las que descienden los líquidos de Gas Natural superen las presiones máximas de operación en el ducto.

Aguas arriba del punto más alto del poliducto están ubicadas las siguientes estaciones:

- Estación de Bombeo - 1 (PS-1) (Km 0.0)
- Estación de Bombeo - 2 (PS-2) (Km 107)
- Estación de Bombeo - 3 (PS-3) (Km 207.8)
- Estación de Bombeo - 4 (PS-4) (Km 223.8)

Aguas abajo del punto más alto del poliducto están ubicadas las siguientes estaciones:

- Estación Reductora de Presión–1 (PRS-1) (Km.452.5)
- Estación Reductora de Presión–2 (PRS-2) (Km. 470.2)
- Estación Reductora de Presión–3 (PRS-3) (Km. 557.1)

Formulación del problema de Investigación

Problema principal

¿Cómo influye el reductor de fricción en el incremento de la capacidad del sistema de transporte de líquidos de Gas Natural Malvinas – Pisco?

Problemas Secundarios

- Problema secundario 1: ¿En cuánto influye el reductor de fricción con una dosis de 12 ppm en el incremento de la capacidad del Sistema de Transporte Malvinas-Pisco?
- Problema secundario 2: ¿En cuánto influye el reductor de fricción con una dosis de 27 ppm en el incremento de la capacidad del Sistema de Transporte Malvinas-Pisco?
- Problema secundario 3: ¿En cuánto influye el reductor de fricción con una dosis de 48 ppm en el incremento de la capacidad del Sistema de Transporte Malvinas-Pisco?
- Problema secundario 4: ¿En cuánto influye el reductor de fricción con una dosis de 80 ppm en el incremento de la capacidad del Sistema de Transporte Malvinas-Pisco?
- Problema secundario 5: ¿En cuánto influye el reductor de fricción con una dosis de 90 ppm en el incremento de la capacidad del Sistema de Transporte Malvinas-Pisco?

Objetivos de la investigación

Objetivo General

Determinar la forma de influencia del reductor de fricción en el incremento de la capacidad del sistema de transporte Malvinas – Pisco.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

UNFV

Objetivos Específicos

- Objetivo específico 1: Determinar la influencia del reductor de fricción para una dosis de 12 ppm en el incremento de la capacidad de transporte Malvinas – Pisco.
- Objetivo específico 2: Determinar la influencia del reductor de fricción para una dosis de 27 ppm en el incremento de la capacidad de transporte Malvinas – Pisco.
- Objetivo específico 3: Determinar la influencia del reductor de fricción para una dosis de 48 ppm en el incremento de la capacidad de transporte Malvinas – Pisco.
- Objetivo específico 4: Determinar la influencia del reductor de fricción para una dosis de 80 ppm en el incremento de la capacidad de transporte Malvinas – Pisco.
- Objetivo específico 5: Determinar la influencia del reductor de fricción para una dosis de 90 ppm en el incremento de la capacidad de transporte Malvinas – Pisco.

Justificación e importancia de la investigación

Justificación

Desde una perspectiva teórica la investigación realizada recopiló y organizó en una estructura teórica, la información disponible sobre el sistema de transporte de líquidos de Gas Natural por ductos Malvinas – Pisco, en tal sentido en el estudio provee de conocimientos específicos, en los cuales se han tomado en cuenta las características geográficas y la variabilidad climática de las diversas regiones por donde éste pasa.

Por ser el que transporta el mayor volumen de hidrocarburos líquidos, desde que inició su operación a mediados del año 2004, es de la mayor importancia para el Perú, por cuanto diversos proyectos de desarrollo en las regiones y en el Perú en su conjunto, dependen de los recursos que se obtienen de él; en definitiva, si su adecuado funcionamiento aporta

significativamente en la mejora de la calidad de vida de sus comunidades, toda

investigación que contribuya a que sea operado de manera segura y económica, alcanza una fuerte connotación social.

Como el sistema de inyección de DRA permite el incremento de la capacidad del sistema de transporte de LGN de 70 MBPD a 130 MBPD, requiere que las estaciones de inyección del Agente Reductor de Fricción tengan conocimientos muy especializados para la operación del poliducto Malvinas - Pisco, especialmente si varían sus condiciones de presión debido a la falla en alguno de los puntos de inyección de DRA o por la degradación del polímero (DRA). En tal sentido como el presente trabajo tiene como objetivo determinar la influencia del reductor de fricción en la capacidad del sistema de Transporte Malvinas – Pisco, sus hallazgos tendrán una aplicación muy útil en la práctica.

Importancia

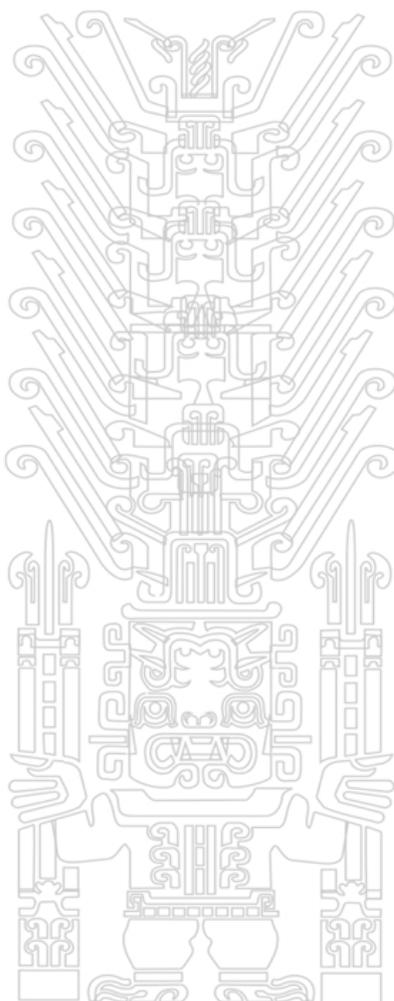
Los resultados del presente trabajo de investigación “Influencia del reductor de fricción en la capacidad del sistema de transporte de Líquidos de Gas Natural Malvinas – Pisco” contribuirán a incrementar el conocimiento del sistema de transporte Malvinas – Pisco, sirviendo de soporte teórico para la corrección de las estrategias de operación y eventualmente para el desarrollo de otras, con miras a solucionar los problemas que limitan la capacidad en el sistema de transporte de hidrocarburos por ductos.

Limitaciones del Estudio

En la investigación el estudio se limitó al efecto de la aplicación del reductor de fricción sobre el sistema de transporte de hidrocarburos líquidos Malvinas - Pisco. Cabe señalar, que durante su desarrollo se advirtió que existían pocas investigaciones nacionales

relacionadas a sistemas de transporte de hidrocarburos líquidos a través de ductos, así como sobre el uso de reductores de fricción. Fue delimitada espacialmente en base a las

actividades realizadas en ella; es así como el trabajo de campo se dio en las estaciones de bombeo y en las de reducción de presión, ubicadas en diferentes puntos del poliducto; mientras que el trabajo de gabinete se realizó en las instalaciones de la Escuela de Post grado de la Universidad Nacional Federico Villarreal, considerándose en seis meses el tiempo para su ejecución, desde el 01 de febrero al 27 de julio del 2016.



III. MARCO TEÓRICO Y REVISIÓN DE LA LITERATURA

Gas Natural (GN)

Se denomina así al combustible que constituye la parte superior de los depósitos de petróleo, aunque también es frecuente hallarlo independientemente de éste; se le extrae directamente de los pozos naturales para ser utilizado como combustible y/o como materia prima en muchas industrias de síntesis, siendo transportado a grandes presiones a través de gasoductos o licuado a -150 C en barcos denominados metaneros.

Está formado de hidrocarburos de cadena corta, especialmente metano en un 80% o más; entre otros componentes contiene vapor de agua, un poco de nitrógeno, sulfuro de hidrogeno, dióxido de carbono y helio; por ello, antes de su utilización, el gas natural de los yacimientos es sometido a procesos de secado, eliminándose el sulfuro de hidrogeno y el dióxido de carbono y separando el etano, propano, butano y otros componentes superiores, lo que permite obtener un elevado contenido de metano (Parra, 2009)

Una característica importante del gas natural es que su densidad es inferior a la del aire. Por tanto, una fuga al aire libre no produce acumulación de este gas, a diferencia de hidrocarburos como el butano que se acumulan sobre el suelo al ser más densos que el aire.

Líquidos de Gas Natural (LGN)

Es una mezcla de hidrocarburos líquidos contenidos en el Gas Natural (etano, propano, butano, pentano y más pesados) que son separados y acondicionados para su transporte a través de ductos. A nivel de la Planta de Procesamiento de Gas Natural – Malvinas se ha

Tesis publicada con autorización del autor
determinado la composición del LGN, la que se muestra en la tabla 1 adjunta.
No olvide citar esta tesis

UNFV

% Molar	Base
N2	0.000
CO2	0.000
C1	0.000
C2	0.755
C3	43.133
i-C4	6.306
n-C4	12.521
i-C5	4.863
n-C5	4.797
n-C6	6.420
Benceno	0.195
n-C7	5.932
n-C8	5.849
n-C9	3.115
n-C10	1.987
n-C11	1.220
n-C12+	2.904
H2O	0.000
Total	100.000

Tabla 1: Composición promedio del LGN - Camisea

Nota: Los porcentajes de los componentes son referenciales, estos dependen del modo de operación aplicado por la Planta de Procesamiento de Gas Natural (Malvinas).

Fuente: Marcelo, 2006

Transporte de Hidrocarburos Líquidos por Ductos

Para el transporte del petróleo y los hidrocarburos líquidos en general, los medios por excelencia son los oleoductos y poliductos. El paso inmediato al descubrimiento y explotación de un yacimiento es el traslado de los hidrocarburos líquidos hacia los centros de refinación o a los puertos de embarque con destino posterior a centros de consumo.

El sistema de transporte de hidrocarburos por ductos resulta tan eficiente y económico que existen miles de kilómetros de ductos y poliductos en el mundo. Asimismo, gracias a los incrementos de la demanda, los operadores de sistemas de transporte por ductos se

ven en la necesidad de ampliar sus instalaciones a fin de cumplir con los requerimientos del mercado, razón por la cual se evalúan las distintas alternativas de ampliaciones entre

Tesis publicada con autorización del autor

No olvidar citar esta tesis

UNFV

las cuales se encuentran en la actualidad: instalación de estaciones de bombeo adicionales, instalación de Loops o ductos paralelos e Instalación de Sistemas de inyección de Líquidos Reductores de fricción. (Osinergmin, 2015)

Poliducto Malvinas - Pisco

El poliducto de LGN Malvinas - Pisco se diseñó para transportar un caudal de 70 MBPD de LGN con una densidad de 640 kg/m³ y sin inyección de reductor de fricción. Actualmente, el mismo sistema muestra una capacidad incrementada hasta 130 MBPD, debido a la inyección de DRA (Drag Reducer Agent) en las siguientes estaciones:

Estación de Inyección de DRA	Descripción	Ubicación (Km)
PS1	Estación de Bombeo Número 1	0.0
PS2	Estación de Bombeo Número 2	107.0
PS3	Estación de Bombeo Número 3	207.8
PS4	Estación de Bombeo Número 4	223.8
PRS2	Estación Reductora de Presión 2	470.2

Tabla 2: Ubicación de las estaciones de inyección de DRA

Fuente: Elaboración propia (2016)

Descripción del Poliducto Malvinas – Pisco

El sistema de transporte por ductos Malvinas – Pisco tiene 557.1 kilómetros de longitud, en sus dos tramos: 452.5 kilómetros en el primero, con ductos de 14” de diámetro exterior, extendidos desde el distrito de Echárata en Cuzco hasta la provincia de Huaytará en Huancavelica en la zona descenso hacia la costa; 104.6 kilómetros en el segundo, con ductos de 10.75" de diámetro exterior y extendidos hasta llegar a la planta Fraccionadora

Para transportar el LGN hasta la cúspide de los Andes, tiene cuatro estaciones de bombeo y tres estaciones reductoras de presión para evitar que supere la presión máxima de operación en el ducto.

Ubicación de las estaciones:

Estaciones			km	Ubicación geográfica		
				Distrito	Provincia	Departamento
De bombeo	1	PS-1	0,0	Echárata	La Convención	Cuzco
	2	PS-2	107	Echárata	La Convención	Cuzco
	3	PS-3	207,8	Anco	La Mar	Ayacucho
	4	PS-4	223,8	Anco	La Mar	Ayacucho
Reductor de presión	1	PRS-1	452,5	Huaytará	Huaytará	Huancavelica
	2	PRS-2	470,2	Huancano	Pisco	Ica
	3	PRS-3	557,1	Paracas, Playa Lobería	Pisco	Ica

Tabla 3: Ubicación de las estaciones de bombeo y estaciones reductoras de presión

Fuente: Elaboración propia (2016)

Estación de Bombeo 1(PS-1)

Ubicada en el kilómetro 0.0 del poliducto Malvinas – Pisco, y contiene los siguientes sistemas y equipos (Figuras 9 y 10):

- Sistema de filtrado a la entrada de la estación con tres (3) unidades de filtrado.
- Skid de medición de caudal ultrasónico para la transferencia de custodia de LGN y probador de medición (Prover).
- Skid de medición de caudal de turbina para la transferencia de custodia de LGN y probador de medición (Prover).

▪ Cinco bombas centrifugas en la línea principal de LGN impulsadas con motores de combustión interna a gas natural.

- Sistema de recirculación de LGN con dos (2) válvulas de control y dos (2) Aero enfriadores.
- Analyzer shelter (Sistema de muestreo continuo).
- Sistema de inyección de DRA (Drag Reducer Agent).
- Lanzador de scraper.
- Sistema de drenaje cerrado.

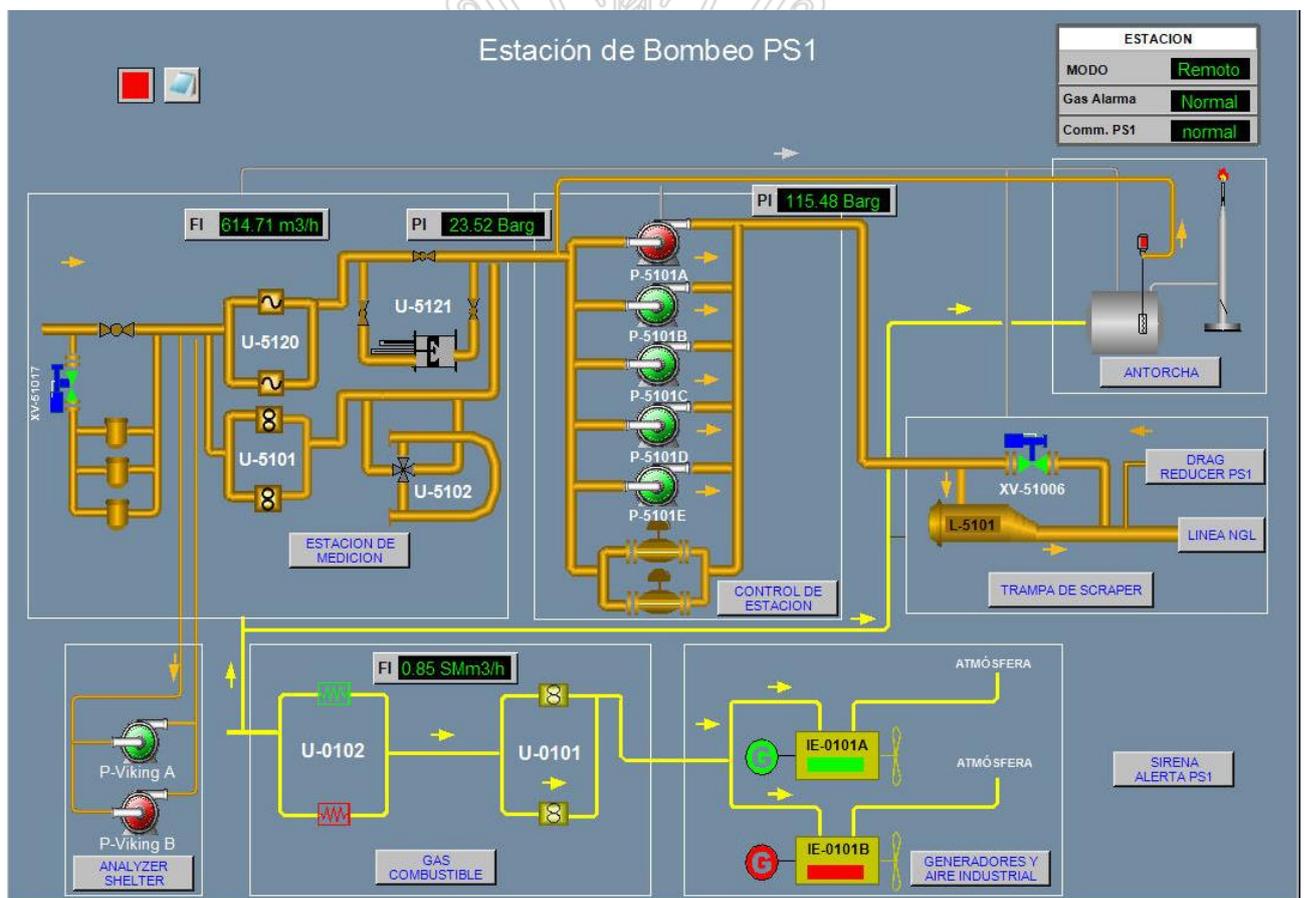


Figura 9: Diagrama de estación de bombeo 1 (PS1)

Nota: En la estación PS1 se ubica el primer punto de inyección de DRA al poliducto Malvinas – Pisco.

Fuente: Tomado del registro de la compañía de transporte de LGN por ductos Malvinas – Pisco (2016)

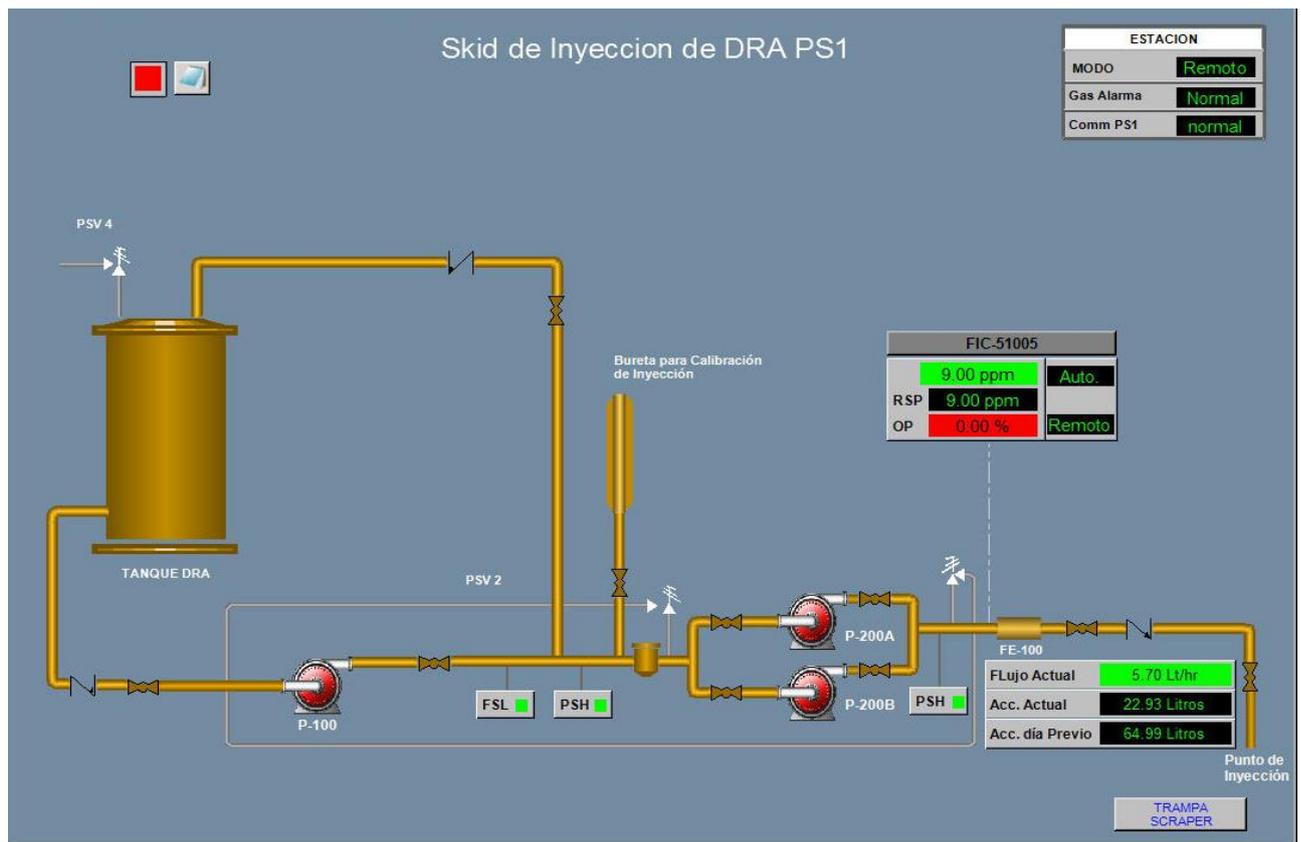


Figura 10: Diagrama del skid de inyección de DRA de PS1

Fuente: Tomado del registro de la compañía de transporte de LGN por ductos Malvinas – Pisco (2016)

Estación de Bombeo 2 (PS-2)

Ubicada en el kilómetro 107 del poliducto Malvinas – Pisco y contiene los siguientes sistemas y equipos (Figuras 11 y 12):

- Receptor de scraper.
- Sistema de filtrado a la entrada de la estación con tres (3) unidades de filtrado.
- Medidor ultrasónico de caudal para medición operativa de LGN.
- Cuatro bombas centrífugas en la línea principal de LGN impulsadas con motores de combustión interna a gas natural.
- Sistema de recirculación de LGN con dos (2) válvulas de control y dos (2) Aero enfriadores.

Tesis publicada con autorización del autor
 No olvide citar esta tesis

- Densitómetro en línea.
- Lanzador de scraper.
- Sistema de drenaje cerrado.

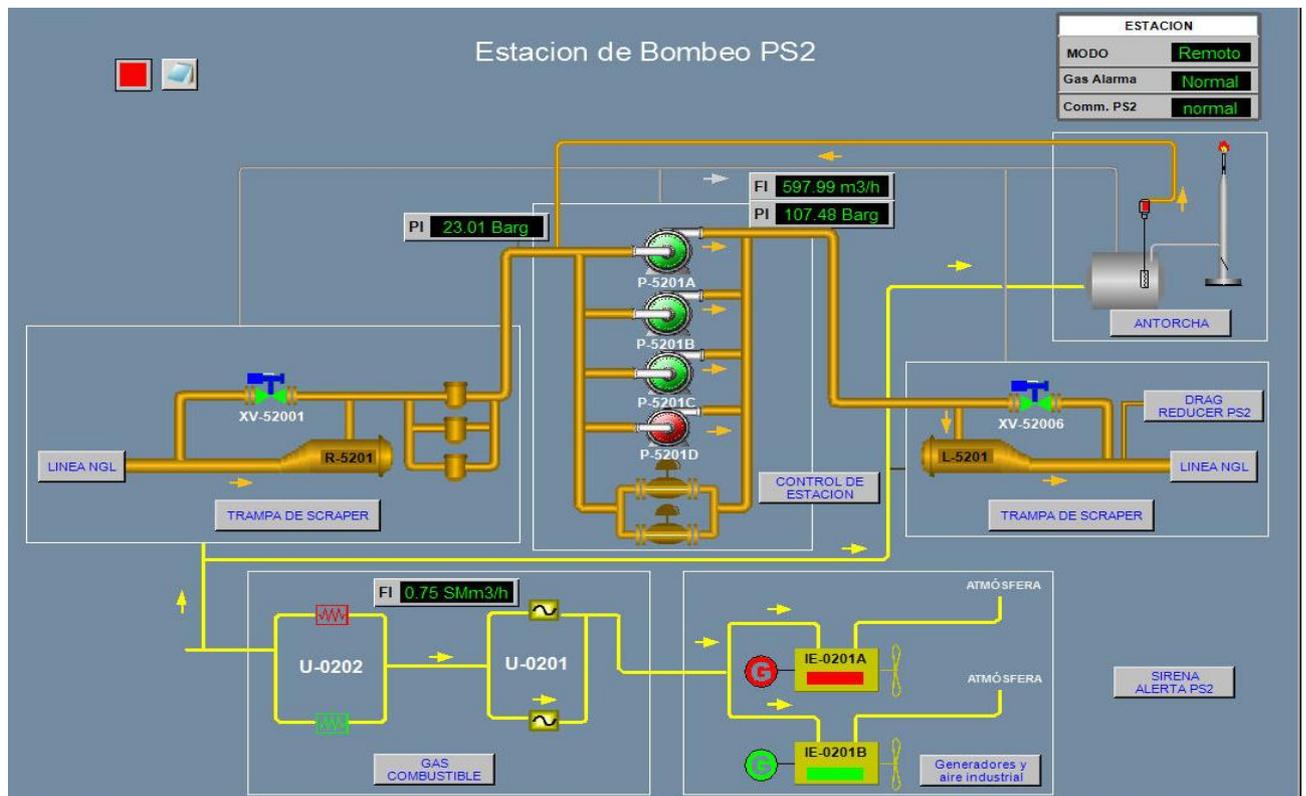


Figura 11: Diagrama de la estación de bombeo 2 (PS2)

Nota: En la estación PS2 se ubica el segundo punto de inyección de DRA al poliducto Malvinas – Pisco.

Fuente: Tomado del registro de la compañía de transporte de LGN por ductos Malvinas – Pisco (2016)

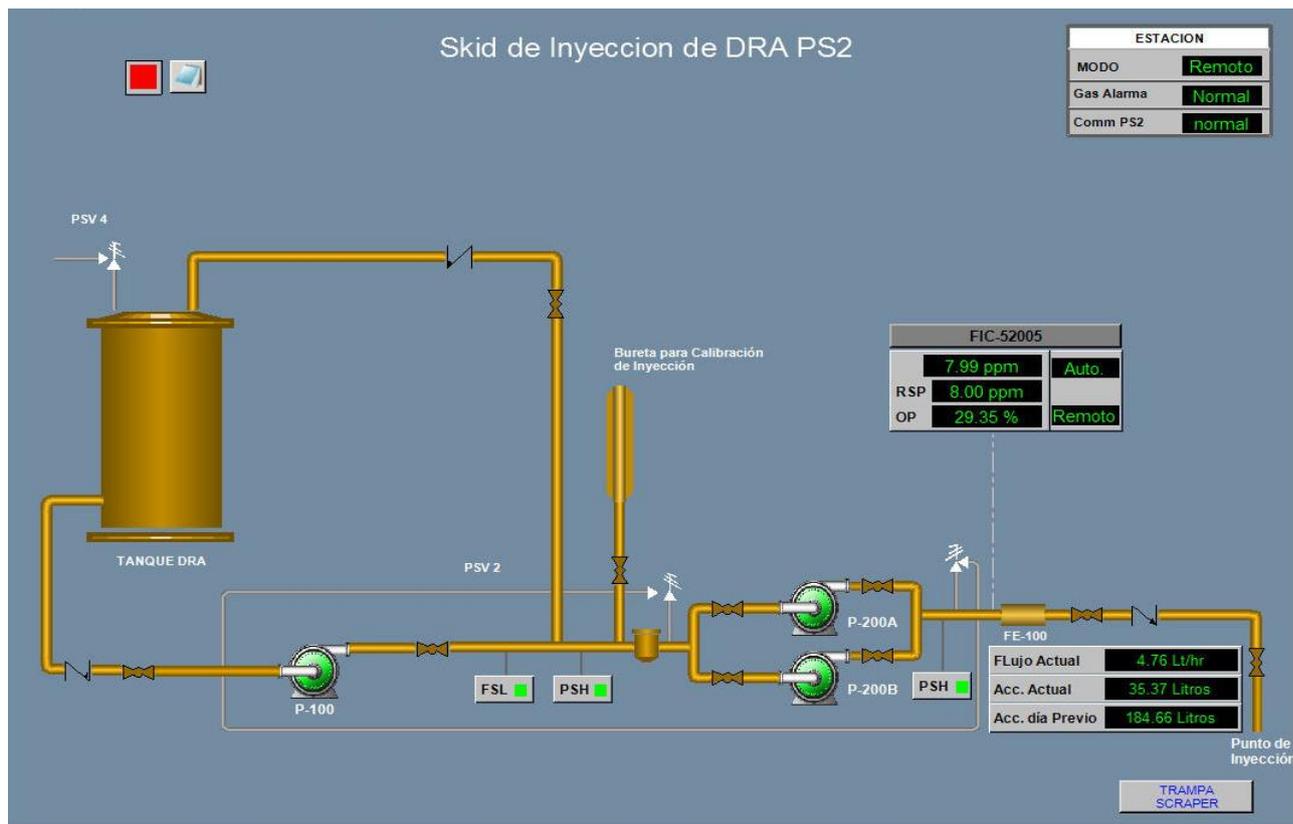


Figura 12: Diagrama del skid de inyección de DRA de PS2

Fuente: Tomado del registro de la compañía de transporte de LGN por ductos Malvinas – Pisco (2016)

Estación de Bombeo 3 (PS-3)

Ubicada en el kilómetro 207.8 del poliducto Malvinas – Pisco y contiene los siguientes sistemas y equipos (Figuras 13 y 14):

- Receptor de scraper.
- Sistema de filtrado a la entrada de la estación con tres (3) unidades de filtrado.
- Cuatro bombas centrífugas en la línea principal de LGN impulsadas con motores de combustión interna a gas natural.
- Medidor ultrasónico de caudal para medición operativa de LGN.
- Sistema de recirculación de LGN con dos (2) válvulas de control y dos (2) Aero enfriadores.

Tesis publicada con autorización de la UNFV
No olvide citar esta tesis

UNFV

- Lanzador de scraper.
- Sistema de drenaje cerrado.

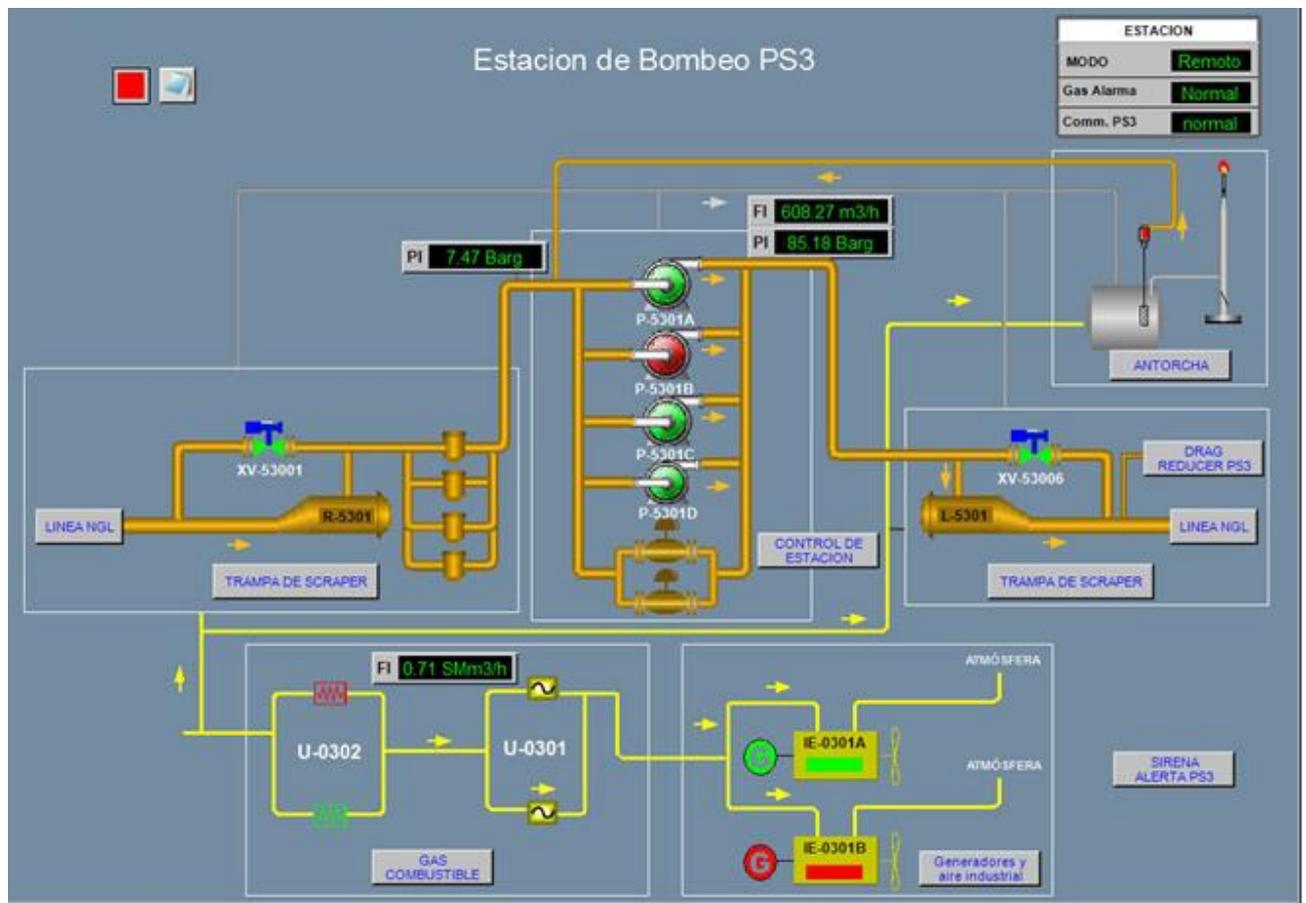


Figura 13: Diagrama de la estación de bombeo 3 (PS3)

Nota: En la estación PS3 se ubica el tercer punto de inyección de DRA al poliducto Malvinas – Pisco.

Fuente: Tomado del registro de la compañía de transporte de LGN por ductos Malvinas – Pisco (2016)

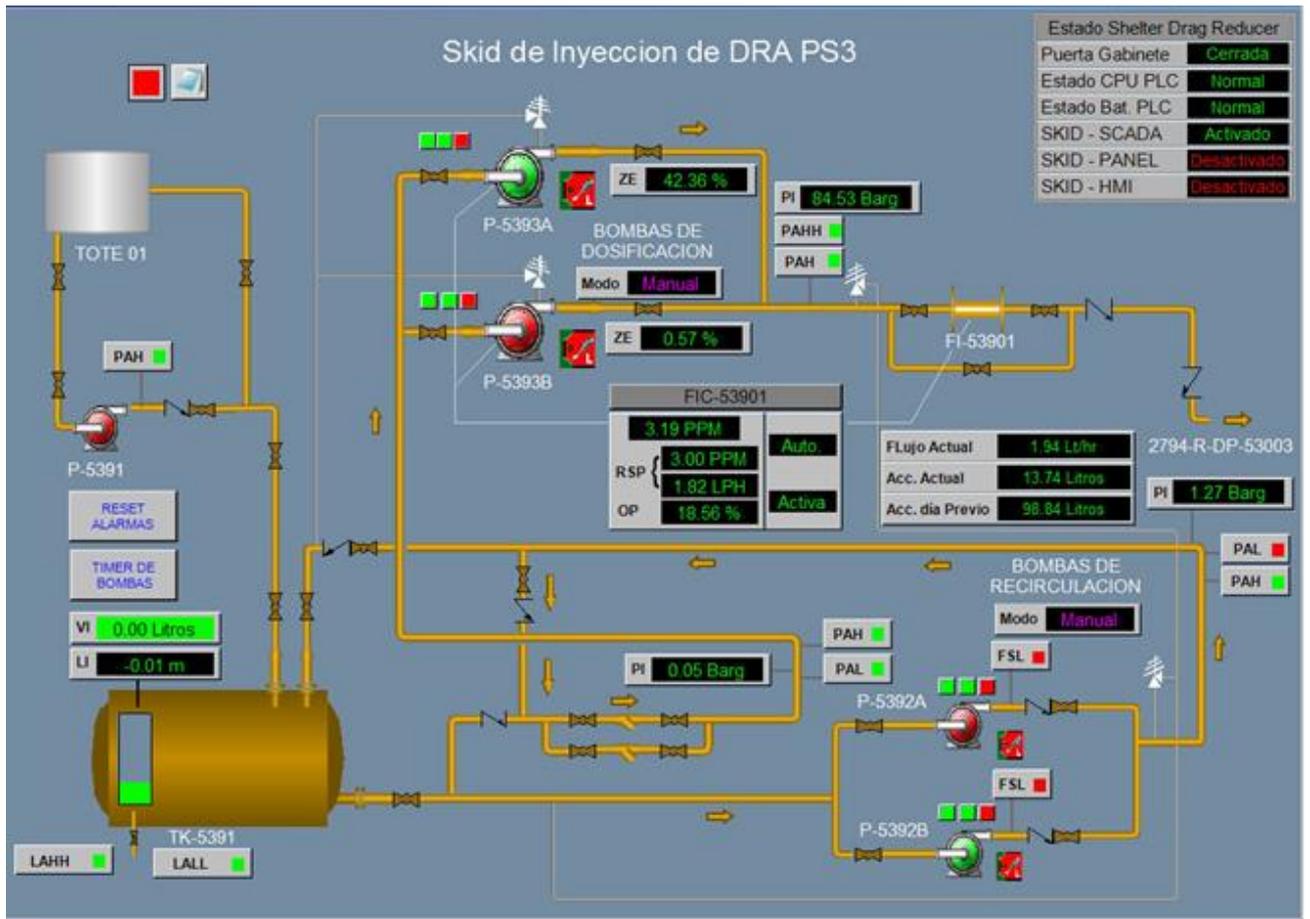


Figura 14: Diagrama del skid de inyección de DRA de PS3

Fuente: Tomado del registro de la compañía de transporte de LGN por ductos Malvinas – Pisco (2016)

Estación de Bombeo 4 (PS-4)

Ubicada en el kilómetro 223.8 del poliducto Malvinas – Pisco y contiene los siguientes sistemas y equipos (Figuras 15 y 16):

- Receptor de scraper.
- Sistema de filtrado a la entrada de la estación con tres (3) unidades de filtrado.
- Cuatro bombas centrífugas en la línea principal de LGN impulsadas con motores de combustión interna a gas natural.
- Medidor ultrasónico de caudal para medición operativa de LGN.

- Sistema de recirculación de LGN con dos válvulas de control y dos (2) Aero

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

UNFV

- Sistema de inyección de DRA (Drag Reducer Agent).
- Lanzador de scraper.
- Densitómetro en línea.
- Sistema de drenaje cerrado.

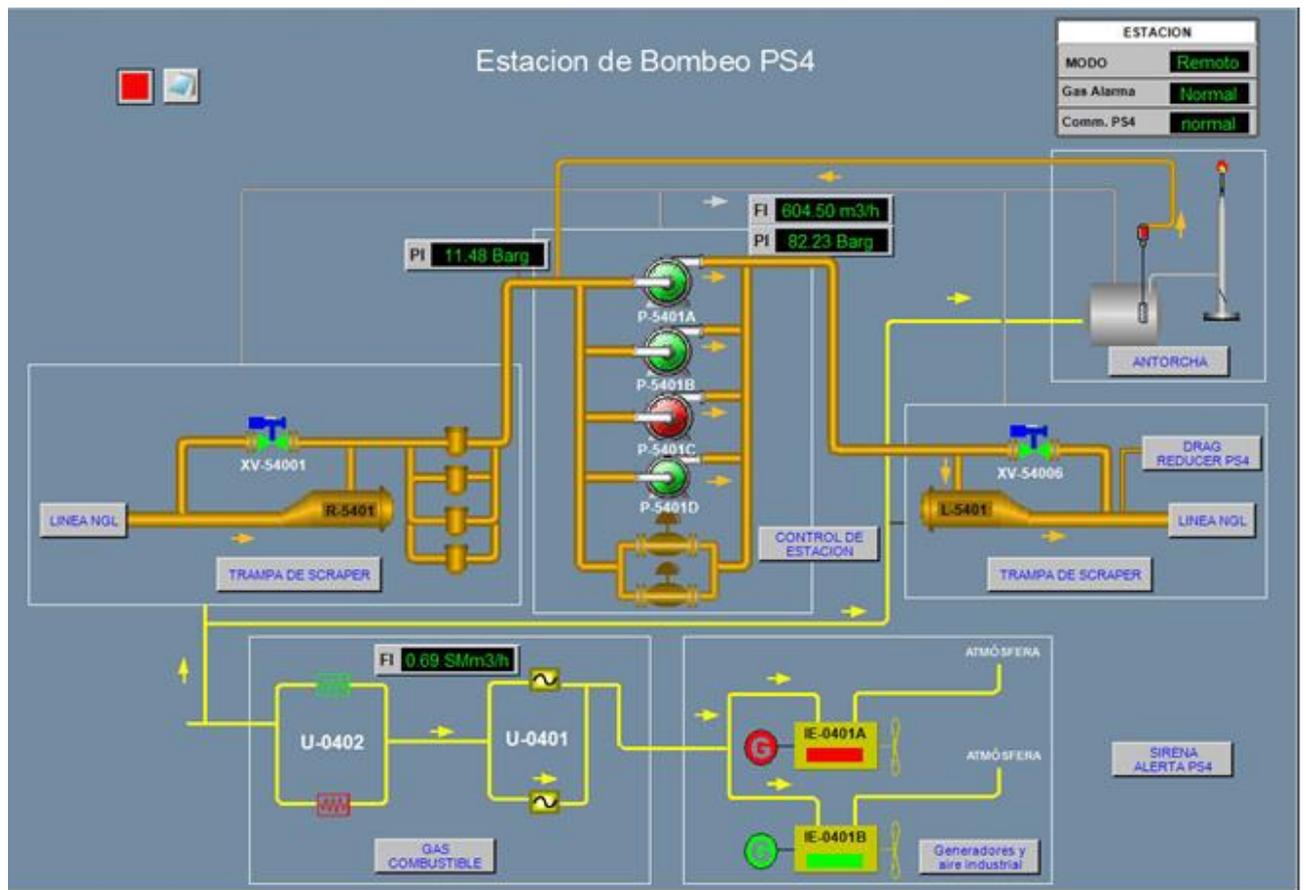


Figura 15: Diagrama de la estación de bombeo 4 (PS4)

Nota: En la estación PS4 se ubica el cuarto punto de inyección de DRA al poliducto Malvinas – Pisco.

Fuente: Tomado del registro de la compañía de transporte de LGN por ductos Malvinas – Pisco (2016)

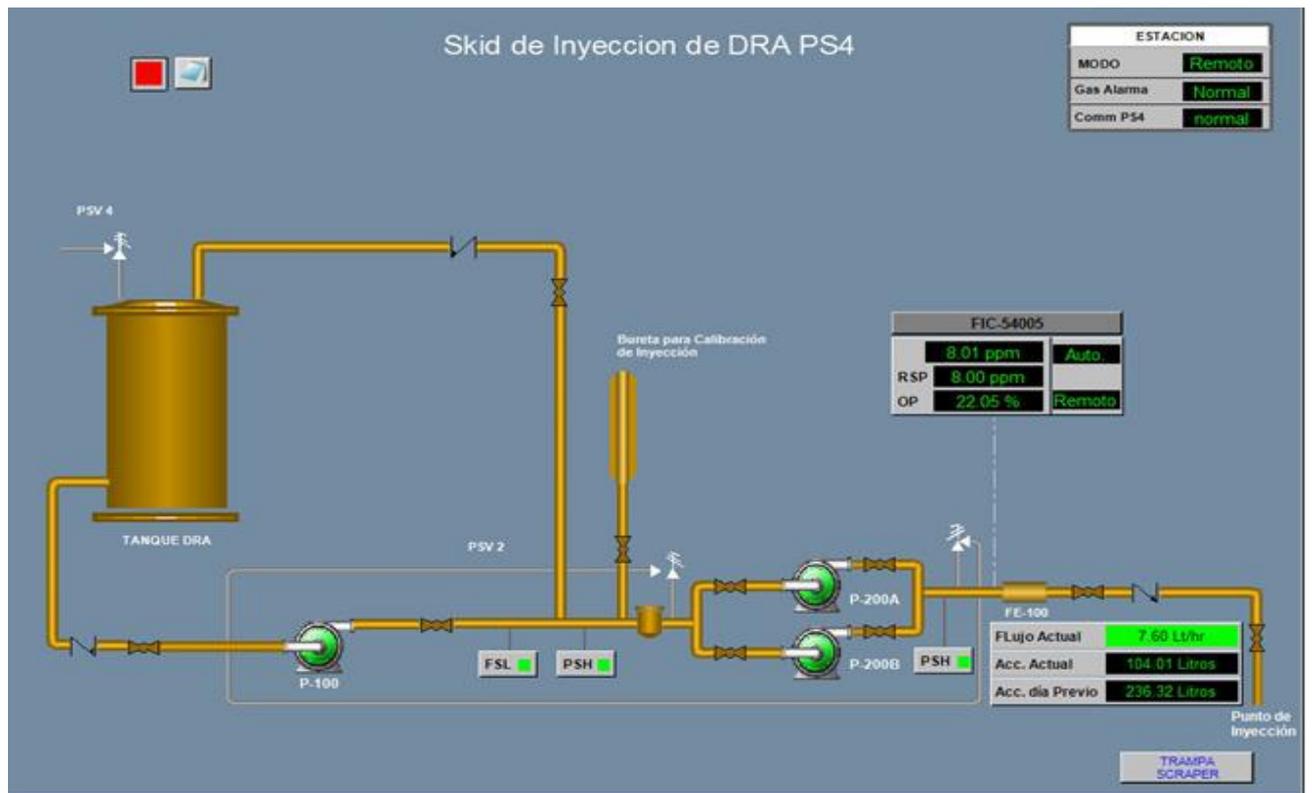


Figura 16: Diagrama del skid de inyección de DRA de PS4

Fuente: Tomado del registro de la compañía de transporte de LGN por ductos Malvinas – Pisco (2016)

Estación Reductora de Presión 1 (PRS-1)

Ubicada en el kilómetro 452.5 del poliducto Malvinas – Pisco y contiene los siguientes sistemas y equipos (Figura 17):

- Receptor de scraper.
- Dos (2) ramales de regulación uno en operación y el otro en stand by, cada ramal consta de una válvula de control de presión, dos válvulas de bloqueo (una en cada extremo del ramal) y un filtro.
- Medidor ultrasónico de caudal para medición operativa de LGN.
- Densitómetro en línea.
- Sistema de alivio de presión con tanque de choque y drenaje cerrado.
- Lanzador de scraper.

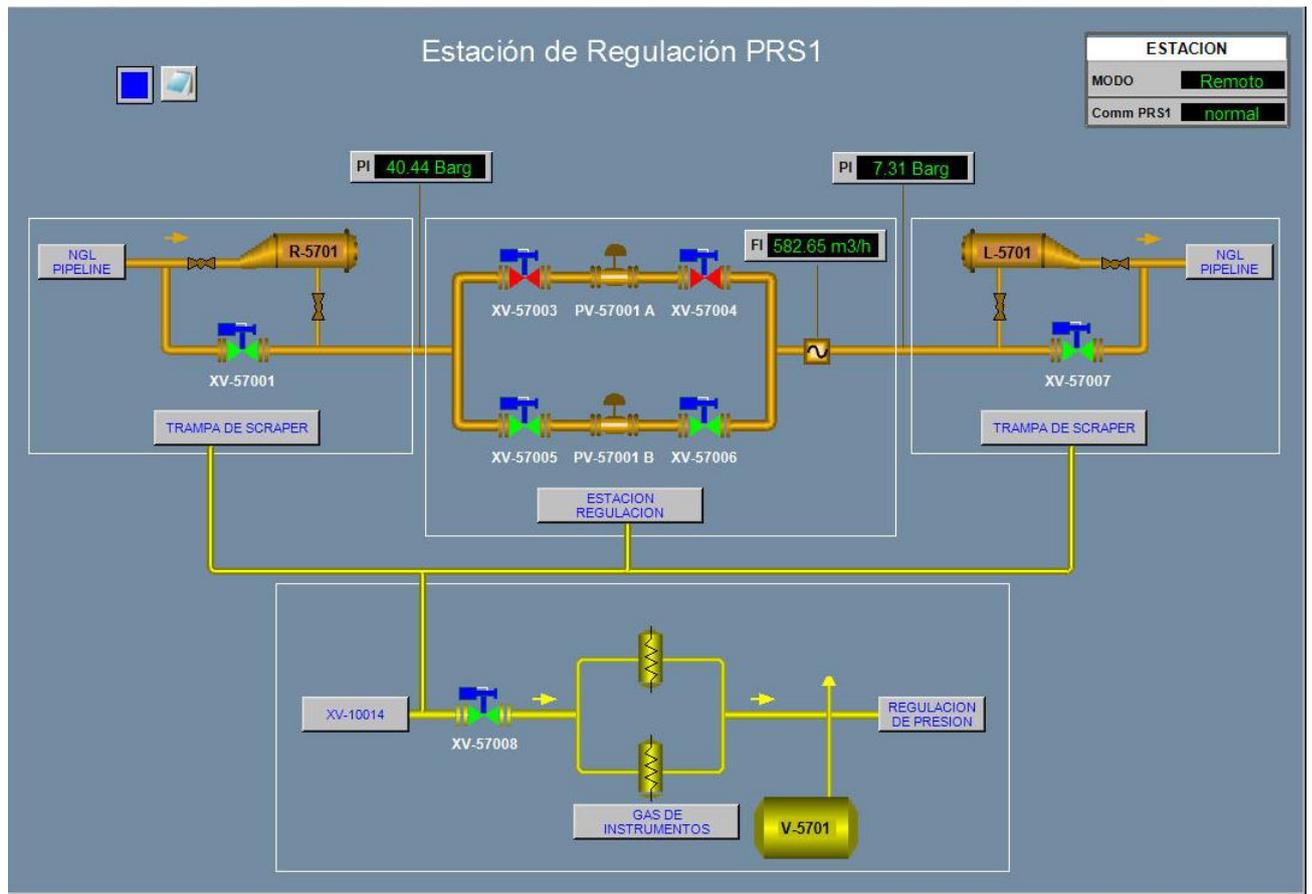


Figura 17: Diagrama de la estación reductora de presión 1 (PRS1)

Fuente: Tomado del registro de la compañía de transporte de LGN por ductos Malvinas – Pisco (2016)

Estación Reductora de Presión 2 (PRS-2)

Ubicada en el kilómetro 470.2 del poliducto Malvinas – Pisco y contiene los siguientes sistemas y equipos (Figuras 18 y 19):

- Receptor de scraper.
- Dos (2) ramales de regulación uno en operación y el otro en stand by, cada ramal consta de una válvula de control de presión, dos válvulas de bloqueo (una en cada extremo del ramal) y un filtro.
- Medidor ultrasónico de caudal para medición operativa de LGN.
- Sistema de inyección de DRA (Drag Reducer Agent).
- Sistema de alivio de presión con tanque de choque y drenaje cerrado.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

UNFV

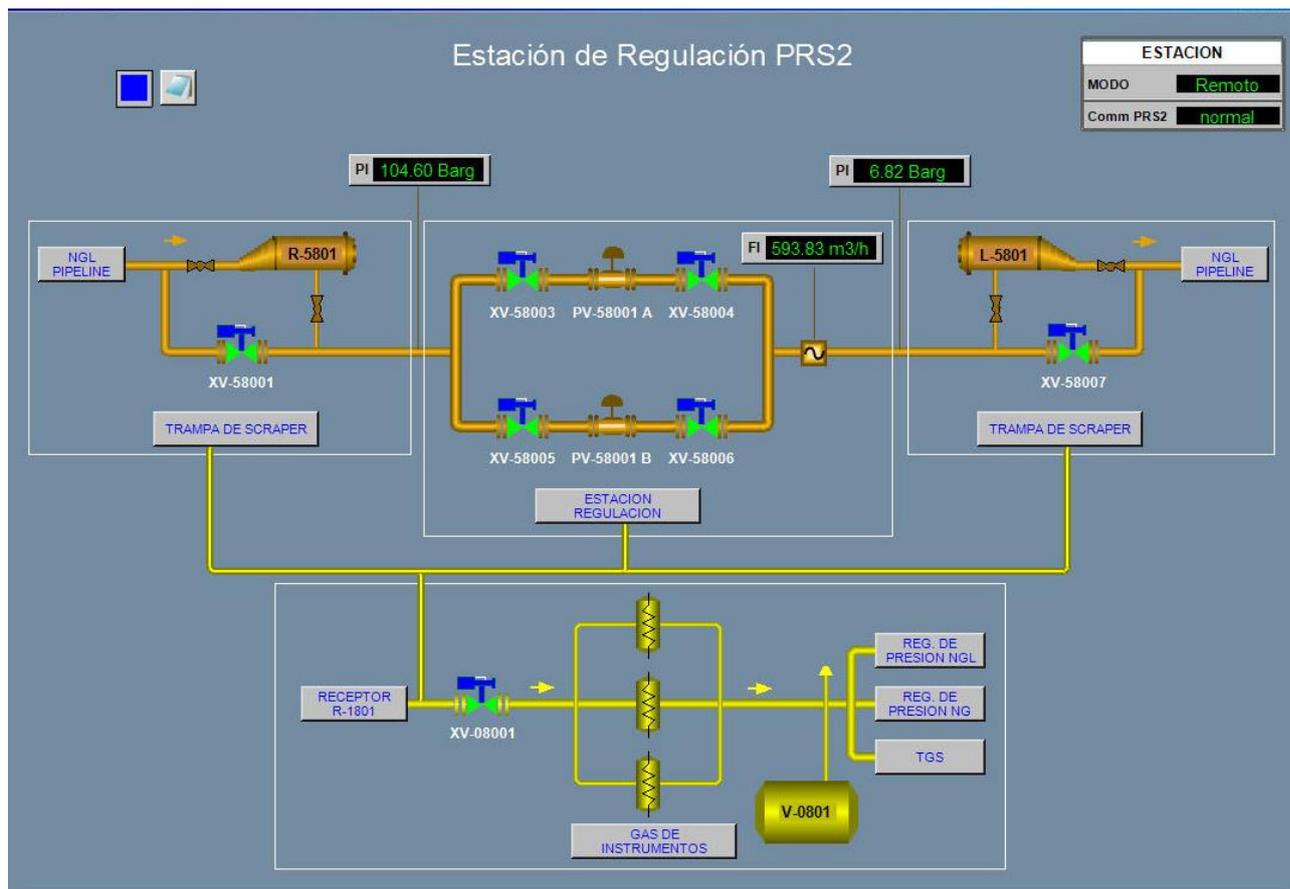


Figura 18: Diagrama de la estación reductora de presión 2 (PRS2)

Nota: En la estación PRS2 se ubica el quinto punto de inyección de DRA al poliducto Malvinas – Pisco.

Fuente: Tomado del registro de la compañía de transporte de LGN por ductos Malvinas – Pisco (2016)

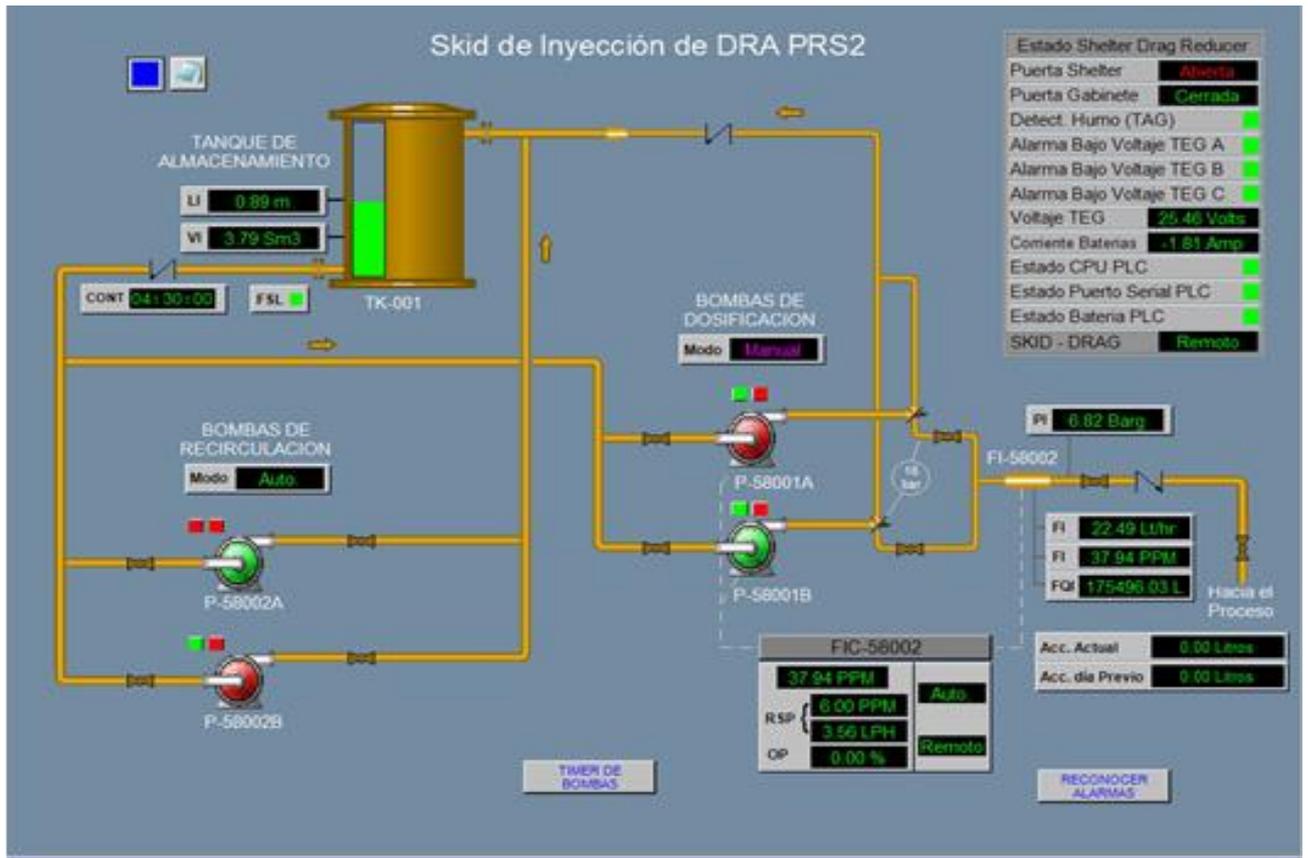


Figura 19: Diagrama del skid de inyección de DRA de PRS2

Fuente: Tomado del registro de la compañía de transporte de LGN por ductos Malvinas – Pisco (2016)

Estación Reductora de Presión 3 (PRS-3)

Ubicada en el kilómetro 557.1 del poliducto Malvinas – Pisco y contiene los siguientes sistemas y equipos (Figura 20):

- Receptor de scraper.
- Tres (3) ramales de regulación dos (2) en operación y uno en stand by, cada ramal consta de una válvula de control de presión, dos válvulas de bloqueo (una en cada extremo del ramal) y un filtro.
- Medidor ultrasónico de caudal para medición operativa de LGN.
- Sistema de drenaje cerrado.
- Sistema de alimentación de aire para control de las válvulas de regulación.

- Sistema de alimentación de nitrógeno (N₂) para los actuadores de las válvulas de bloqueo de estación.

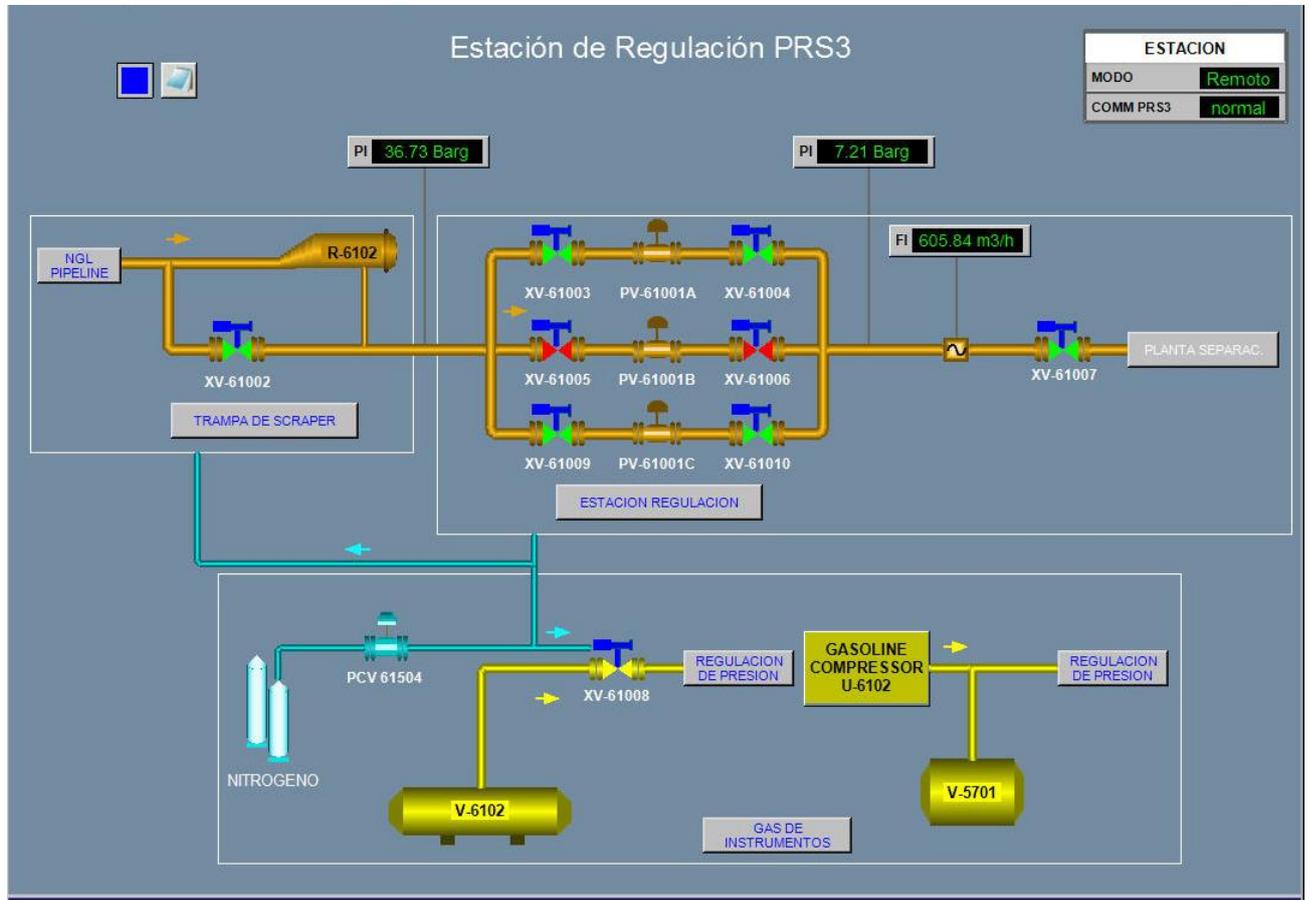


Figura 20: Diagrama de la estación reductora de presión 3 (PRS3)

Fuente: Tomado del registro de la compañía de transporte de LGN por ductos Malvinas – Pisco (2016)

Sistema de Control del Poliducto Malvinas - Pisco

El sistema de transporte de líquidos de gas natural (LGN) Malvinas – Pisco es monitoreado y controlado en su totalidad remotamente desde una Sala de Control ubicada en Lima, a través de un Sistema Integrado de Supervisión, Control y Adquisición de Datos (SCADA).

El sistema SCADA está diseñado e implementado como un alto nivel de confiabilidad,

capacidad de mantenimiento y flexibilidad, integrado a los sistemas de PLC (Controlador No olvide citar esta tesis

UNFV

Lógico Programable) de las estaciones. El sistema de SCADA se une con los Sistemas de Control de las Estaciones de bombeo, Estaciones Reductoras de Presión, Sistema de Inyección de Reductor de Fricción y las Válvulas de Bloqueo de Línea Principal para transferir las señales de dichas estaciones de campo, el estado, las alarmas críticas y la información de los parámetros operativos hacia la Sala de Control principal (MCC) y la Sala de Continencia (CCC) y a su vez, hacer llegar desde MCC o CCC los comandos de acción ejecutados por los operadores de Sala de Control hacia los equipos de campo.

Condiciones de Operación

Presión

La presión de diseño y operación del sistema de transporte Malvinas – Pisco cambia a lo largo de la tubería, debido a las grandes diferencias de elevación.

Cada sección de la tubería entre las estaciones está diseñada para soportar la presión estática total para una presión máxima al principio de la sección y estas presiones no deben ser excedidas para asegurar la integridad del sistema de transporte.

Estación	Máxima Presión @ 640 kg/m ³ (Barg)
-	
PS-1	121
PS-2	117
PS-3	90
PS-4	89.5
PRS-1	13
PRS-2	14
PRS-3	12

Tabla 4: Máxima presión de salida por estación

Fuente: Elaboración propia (2016)

De superarse las presiones máximas que se pueden alcanzar operativamente en la descarga de cada estación, se generaría el cierre automático de la estación por muy alta presión de descarga y como consecuencia de este cierre, el paro total del sistema de transporte de LGN.

Reducción

En el latín es donde se encuentra el origen etimológico del término reducción. En concreto, en dicha lengua encontramos la palabra de la que aquel emana: “reductio”. Esta se halla compuesta de tres partes claramente delimitadas:

- El prefijo “re”, que viene a indicar “hacia atrás”.
- El verbo “ducere”, que puede traducirse como “conducir”.
- El sufijo “-cion”, que es equivalente a “acción y efecto”.

La acción y efecto de reducir o reducirse recibe el nombre de reducción. El verbo reducir, por su parte, refiere a volver algo al estado que tenía con anterioridad o a estrechar, ceñir, disminuir o aminorar algo. La reducción puede estar vinculada a un estrechamiento físico o una disminución simbólica. (Pérez y Merino, 2011)

Fricción

Del latín friction, el término fricción deriva de friccionar. Este verbo refiere a frotar, restregar o rozar algo. Se conoce como fuerza de fricción a la que realiza una oposición al desplazamiento de una superficie sobre otra, o a aquella opuesta al comienzo de un movimiento. (Guayasamin, 2010)

La fricción, como fuerza, se origina por las imperfecciones entre los objetos que mantienen contacto, las cuales pueden ser minúsculas, y generan un ángulo de rozamiento.

Es posible distinguir entre la fricción estática, que es una resistencia que necesita ser trascendida para movilizar una cosa frente a otra con la que tiene contacto, y la fricción dinámica, que es la magnitud constante que genera oposición al desplazamiento cuando éste ya se inició. En pocas palabras, el primer tipo tiene lugar cuando los cuerpos se encuentran en reposo relativo, mientras que el segundo ocurre una vez que se encuentran en movimiento (Celis, 2009)

Fuerza de fricción

La fuerza de fricción es realmente la oposición al movimiento de los cuerpos y se da en todos los medios conocidos (sólidos, líquidos y gaseosos). Atendiendo a que las superficies de los cuerpos en contacto no son idealmente lisas es imposible desaparecer esta fuerza, que en unos casos resulta necesaria reducir y en otros aumentar, ya que la fricción es una fuerza con sentido contrario a la fuerza aplicada. (Mott, 2006)

De no ser por la existencia de esta fuerza, no podríamos detenernos una vez puestos en marcha: los vehículos no avanzarían, pues la fricción sirve de apoyo a las ruedas para impulsarse y en su ausencia solo girarían sin avanzar (Otto, 2013)

Cómo se produce la fuerza de fricción

La fricción estática se diferencia de la cinética por ser mayor que ésta, ya que un cuerpo en reposo al recibir una fuerza de aplicación que va en ascenso desde un valor cero hasta un determinado valor, permanece en reposo solo hasta que la fuerza aplicada supera el valor máximo de la fricción estática. En ese momento, el cuerpo comienza a moverse y la fricción se denomina cinética.

Cuando el cuerpo está en movimiento, es posible reducir un poco la fuerza de aplicación y el movimiento se mantiene. Esto se debe a que, vencida la fricción estática, las uniones microscópicas que mantenían soldadas las superficies en contacto se rompen.

Así, cuando una persona trata de mover horizontalmente un cajón pesado, al principio le cuesta sacarlo del reposo, pero una vez que lo pone en marcha, puede ver qué fácil es continuar moviéndolo con menor esfuerzo. (Otto, 2013)

Incremento de la fuerza de fricción

Por ejemplo; en el diseño de llantas para vehículos, es necesario que la superficie de contacto con la calzada (superficie de la carretera) sea rugosa para que el vehículo no resbale y pueda detenerse casi instantáneamente al frenar. Sucede lo mismo que con la suela de los zapatos, en muchos casos debe llevar muchos grabados para evitar resbalones, sobre todo cuando el piso es bastante liso. (Burbano y Gracia, 2003)

Reducción de la fuerza de fricción

Por ejemplo; en el caso de patinaje, se hace necesario que la superficie del suelo esté hecha de hielo y el pie descansa sobre patines lisos de metal y delgados, lo que reduce la fricción y hace que el desplazamiento sea mayor. En la industria son muy utilizados la grasa y el aceite como lubricantes para reducir la fricción entre componentes y, con ello, las pérdidas de energía, lo que reduce los costos de la misma (Burbano y Gracia, 2003)

Capacidad

Facultad para tener, recibir, almacenar o dar cabida. En los negocios, en un sentido general, se suele considerar como la cantidad de producción que un sistema es capaz de

generar durante un periodo específico. El término capacidad implica el índice de producción que se puede alcanzar, por ejemplo, 300 automóviles por día, pero no dice nada de cuánto tiempo será posible sostener ese índice. Por lo tanto, no se sabe si esos 300 autos por día se refieren al máximo alcanzado un día o al promedio de seis meses. (Trujillo, 2003)

Mejor nivel de operación. Se trata del nivel de capacidad que se diseñó el proceso y por lo mismo, se refiere al volumen de producción en el cual se minimiza el costo promedio por unidad. Es difícil determinar este mínimo porque implica un complejo análisis entre la asignación de los costos para gastos fijos y el costo de las horas extra, el desgaste del equipamiento, los índices de defectos y otros costos. Según Trujillo (2003) una medida muy importante es el índice de utilización de la capacidad, el cual revela que tan cerca se encuentra la empresa del mejor punto de operación: Capacidad utilizada, mejor nivel de operación.

Capacidad del Sistema de Transporte

Es la tasa máxima de transporte de hidrocarburo factible a través del Sistema de Transporte por Ducto, durante un periodo de tiempo determinado, bajo condiciones específicas de dosificación de DRA.

De acuerdo con Dmuchowsky (2016) cuando se pretende aumentar la capacidad es necesario tener en cuenta diferentes aspectos. Los tres más importantes son:

- Dosificación adecuada del reductor de fricción en cada punto de inyección.
- Capacidad de bombeo, potencia disponible de motobombas.
- Que no presente limitaciones el sistema de transporte por indisponibilidad de equipos, estaciones o válvulas.

Unidad de Medición del LGN - Barril (bbl)

La unidad de medida internacional del petróleo y del LGN es el barril. El término barril, que significa barrica o pequeño tonel proviene del término galorromano «barriculus». El barril se utiliza tanto para el petróleo bruto, como para medir los derivados del petróleo, como la gasolina, por ejemplo.

¿A qué corresponde un barril?

A menudo, encontramos el concepto de barril expresado en abreviado con los símbolos «bl» o «bbl». El equivalente de un barril de petróleo se expresa, ante todo, en galones americanos y corresponde más concretamente a 42 galones, es decir, aproximadamente 159 litros.

El origen de «bbl» procede del primer término utilizado para hablar de este barril «blue barrel» en referencia al color azul de los primeros barriles americanos (Parra, 2009)

Reductores de Fricción en Ductos de Líquidos

La pérdida de presión por fricción o arrastre es una pérdida de energía que puede afectar económicamente la operación de un sistema de transporte de líquido. Los agentes reductores de fricción (DRA) son utilizados por algunas empresas operadoras de tubería de líquidos para minimizar la turbulencia del flujo y por tanto aumentar el rendimiento y así reducir los costos de operación por tuberías. El flujo puede aumentar considerablemente con los activos existentes, lo que mejora el retorno de la inversión de manera significativa. Gracias a su capacidad para lograr rendimientos más altos en un plazo relativamente corto, da a los operadores de ductos una alternativa en vez de adicionar potencia o realizar loops a la tubería. (Otto, 2013)

El DRA es un agente que aumenta la capacidad efectiva, su uso es costoso en el largo plazo. No obstante, es ideal para eliminar el déficit de capacidad a corto plazo o periodo pico de demanda (Sánchez, 2006)

Agente Reductor de Fricción (DRA)

Los agentes de reducción de fricción reducen la pérdida por fricción que se percibe en la pérdida de presión dentro del flujo de una tubería o ducto. Actúan como amortiguadores a lo largo del tubo, además de ser polímeros de cadenas largas que disminuyen la cantidad de energía que se pierde en la formación turbulenta cerca de las paredes del ducto.

El uso de agentes reductores de fricción permite a los operadores aumentar el flujo de la tubería utilizando la misma cantidad de energía o disminuyendo la caída de presión para el mismo caudal de fluido. Una reducción de presión en la turbulencia se puede lograr mediante la inyección de DRA dentro de la tubería o ducto. Los polímeros dentro del agente reductor absorben energía y ráfagas de líquido turbulento, reduciendo la turbulencia posterior y evitando el desperdicio de energía.

Las principales características de los agentes reductores de fricción son:

- Interactúa con la turbulencia del fluido reduciendo la liberación de energía de los mismos.
- Puede cambiar de color (debido a la exposición a la luz) pero no pierde eficiencia.
- El fluido no cambia sus propiedades y no tiene efectos adversos en los procesos y productos refinados. (Sánchez, 2006)

menor pérdida de energía y como consecuencia menor caída de presión.

Debido a las altas tasas de volumen transportado en un sistema de transporte por ductos, el fluido es totalmente turbulento, el agente reductor de fricción actúa en la zona turbulenta. La turbulencia es un conjunto de remolinos de diferentes tamaños que coexisten en la corriente del flujo. Desde un punto de vista energético, la turbulencia es un proceso de transferencia de energía en el cual los remolinos se forman a partir del flujo llevando su energía de rotación. Finalmente, esta energía mecánica de los remolinos se convierte en calor y se pierde (Sánchez, 2006)

Historia del DRA en el Transporte de Hidrocarburos Líquidos

Los mejoradores de flujo en ductos, o DRA, han sido utilizados en la industria del petróleo por muchos años. La primera aplicación de los reductores de fricción en la industria del petróleo fue para reducir la pérdida de presión en el fondo del pozo durante el bombeo de fluidos hacia el fondo del pozo para fracturar formaciones compactas. (Mohitpour, Szabo y Van Hardeveld, 2005)

La industria creadora de productos de DRA desarrolló su tecnología pionera durante la década de 1970. En 1979, probó satisfactoriamente y comercializó satisfactoriamente su primer agente reductor de fricción en un sistema de ductos, usando un producto tipo gel. Su éxito fue excepcional, llevando al sistema de transporte de 1.5 millones de barriles de petróleo por día a 2.1 millones de barriles de petróleo por día. (Mohitpour, Szabo y Van Hardeveld, 2005)

Los resultados del uso del DRA a gran escala en el sistema por ductos de transporte de Alaska desde 1979, indicó un incremento del 25% del rendimiento del petróleo crudo.

(Mohitpour, Szabo y Van Hardeveld, 2005)

Los polímeros y surfactantes son dos tipos de aditivos usados como reductores de fricción. Sin embargo, los polímeros se degradan cuando pasan por regiones de alto esfuerzo, por lo que se necesita inyectar el polímero nuevamente hasta llegar a otro cuello de botella en otra sección de la línea. (Mohitpour, Szabo y Van Hardeveld, 2005)

Sistema de inyección de DRA en poliducto Malvinas - Pisco

El uso de reductor de fricción (DRA) permite el incremento de la capacidad del sistema de transporte de hidrocarburos líquidos Malvinas – Pisco. Es muy ventajosa su fácil implementación a un sistema ya existente y a su apreciada capacidad de reducir las pérdidas por fricción en la tubería.

Dado el alto impacto operativo de su eficiente uso en el transporte y los costos operativos que éste contempla, se hace necesario conocer los efectos que tiene sobre el ducto y de qué manera se podría lograr una optimización en su consumo, salvaguardando los aspectos operacionales a fin garantizar un transporte de manera eficiente, segura y confiable.

Es importante desarrollar el análisis de sensibilidad de la inyección del DRA y su impacto en capacidad del sistema de transporte, para desarrollar la estrategia de operación en un sistema de transporte de Líquidos de Gas Natural por ductos.

En el año 2008 se instaló el sistema de inyección de reductor de fricción (DRA) al sistema de transporte por ducto ya existente Malvinas - Pisco, cuyo objetivo fue incrementar la capacidad de transporte de LGN, reduciendo las pérdidas por fricción en la tubería.

Para la realización de este proyecto se ha trabajado en tres fases: la primera fase en el año 2008 con inyección de DRA en las estaciones PS1, PS2 y PS4. La segunda fase se desarrolló entre los años 2010 y 2011 incrementándose la inyección en la estación PRS2. La tercera fase fue desarrollada en la estación de bombeo PS3 en el año 2011; cada fase manejó distintos alcances.

La planificación y el desarrollo de ingeniería que se desarrolló para las facilidades del sistema de DRA tomando en cuenta su almacenamiento, transporte y toda la infraestructura soporte que lo acompaña; así como la estandarización de los equipos y la filosofía de control para de esta manera asegurar la confiabilidad del Sistema y el suministro permanente de Agente Reductor de Fricción.

También se desarrollaron mejoras sobre aquellas locaciones construidas en la primera y segunda fases del proyecto, es decir en PS1, PS2, PS4 y PRS2.

Las mejoras incluyeron:

- Construcción de almacenes para producto reductor de fricción en estaciones.
- Modificaciones en skids de inyección de DRA y provisión de skids portátiles.
- Instalaciones de tanques de almacenamiento de DRA en estaciones.
- Modificaciones de estructuras civiles.

El poliducto Malvinas - Pisco utiliza para incrementar su capacidad de transporte de LGN un fluido Reductor de Fricción (DRA). El DRA es un polímero de alto peso molecular utilizado para facilitar el transporte de crudos, productos refinados derivados de petróleo y Líquidos de Gas Natural, ya que transforma el régimen turbulento del fluido en uno más ordenado disminuyendo así las pérdidas de energía, este ahorro de energía expresado en la disminución de presión se aprovecha para incrementar el caudal de transporte de

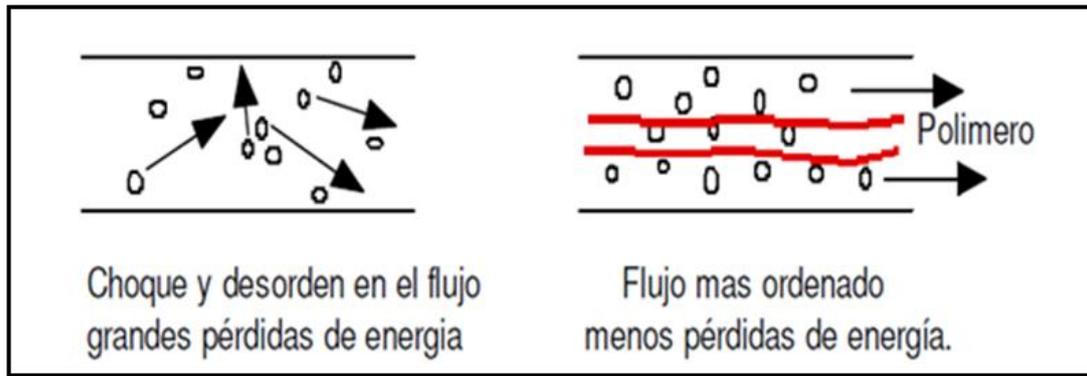


Figura 21: Diagrama de acción del reductor de fricción

Fuente: Paper uso de reductores de fricción en el transporte de líquidos de gas natural y su integración con la estrategia global de operación. Arimana (2014)

Propiedades físicas y químicas del DRA FLO MXC PIPELINE BOOSTER

Para el trabajo de investigación todas las pruebas fueron realizadas con el DRA FLO MXC PIPELINE BOOSTER (Hoja de datos de seguridad del material - Anexo 4)

Estado físico	: Líquido. [Opaco.]
Punto de Inflamación	: Vaso cerrado: 73.89°C (165°F) [SFCC]
Temperatura de autoignición	: No disponible.
Límites de inflamabilidad	: No disponible.
Color	: Blanco.
Olor	: Leve. Dulce.
pH	: No disponible.
Punto de ebullición/condensación	: No disponible.
Punto Inicial de Ebullición	: No disponible.
Punto de fusión/congelación	: No disponible.
Densidad relativa	: 0.839 (20°C)
Densidad	: 7.0121 (lbs/Galones)
Densidad de vapor Umbral del olor	: >1 [Aire= 1]
Indice de evaporación	: No disponible.
COV	: No disponible.
Viscosidad	: Dinámico (20°C): 800 cP
Solubilidad (Agua)	: No disponible.

Los agentes reductores de fricción que existen hoy en el mercado mundial no cambian las propiedades del fluido transportado por tuberías, dicho producto no presenta efectos adversos sobre las propiedades y/o composición del producto transportado y actúa eficientemente en condiciones de flujo turbulento. En la gran mayoría de los ductos de transporte de hidrocarburos líquidos, el flujo es de tipo turbulento. Por ello, los agentes reductores de fricción pueden dar muy buenos resultados en la mayoría de ellos.

Turbulencia

En términos de la dinámica de fluidos, turbulencia o flujo turbulento es un régimen de flujo caracterizado por alta convección y cambios espacio - temporales rápidos de presión y velocidad.

Los flujos no turbulentos son también llamados flujos laminares. Un flujo se puede caracterizar como laminar o turbulento observando el orden de magnitud del número de Reynolds (Brenner, 2009)

Número de Reynolds

El número de Reynolds (Re) es un número adimensional utilizado en mecánica de fluidos, diseño de reactores y fenómenos de transporte para caracterizar el movimiento de un fluido.

El número de Reynolds viene dado por:

$$Re = \frac{\rho v_s D}{\mu}$$

o equivalentemente por:

$$Re = \frac{v_s D}{\nu}$$

donde:

ρ : densidad del fluido

v_s : velocidad característica del fluido

D : diámetro de la tubería a través de la cual circula el fluido o longitud característica del sistema

μ : viscosidad dinámica del fluido

ν : viscosidad cinemática del fluido (m²/s)

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

- Para valores de $Re \leq 2100$ (para flujo interno en tuberías circulares), a este flujo se le llama flujo laminar.
- Para valores de $2100 \leq Re \leq 4000$ (para flujo interno en tuberías circulares) Este régimen se denomina de transición.
- Para valores de $Re \geq 4000$ (para flujo interno en tuberías circulares) Este régimen es llamado turbulento, es decir caracterizado por un movimiento desordenado, no estacionario y tridimensional. (Mott, 2006)

Unidad de Medición del DRA - Partes por Millón (ppm)

Partes por millón (ppm) es una unidad de medida con la que se evalúa la concentración del DRA. Se refiere a la cantidad de unidades de una determinada sustancia que hay por cada millón de unidades del conjunto. Por ejemplo, en un millón de granos de arroz, si se pintara uno de negro, este grano representaría una (1) parte por millón.

Partes por millón (ppm) es la proporción de la concentración de una sustancia con respecto a la concentración de otra, como una unidad de soluto disuelta en un millón de

unidades de disolvente. Se expresa en términos de volumen-volumen o en cualquier otra relación de unidades de medida. (Mott, 2006)

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

UNFV

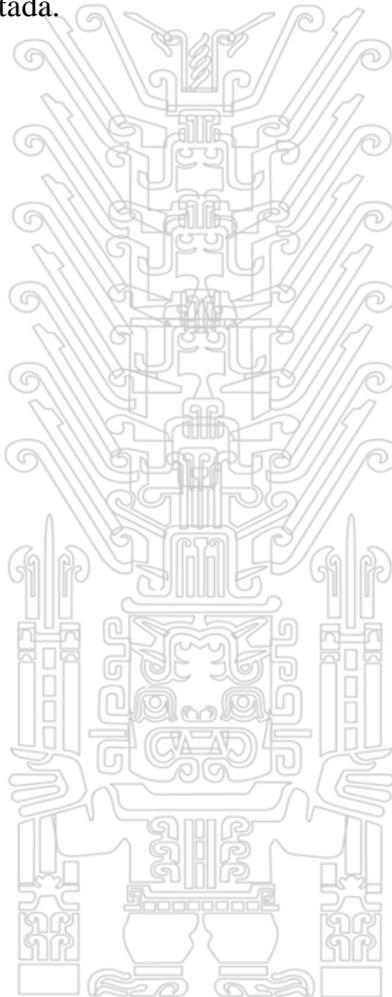
Consideraciones del DRA en el transporte de hidrocarburos líquidos

- Es una de las principales opciones de aumento de capacidad de transporte debido a su rápida implementación.
- Las cantidades requeridas de reductores de fricción dependen de los caudales de transporte de hidrocarburo líquidos.
- Los montos de inversión en la instalación de sistemas de inyección de DRA para el incremento de capacidad de ductos son bajos en comparación con otras opciones (por ejemplo: ductos paralelos).
- Altos gastos operativos debido a la compra del producto DRA y a la logística asociada al transporte del mismo.
- Los reductores de fricción son muy susceptibles a degradación (pérdida de eficiencia) por lo que se hace necesario el constante monitoreo.
- Basta solamente con que un tramo del poliducto tenga problemas de dosificación y/o eficiencia de DRA para reducir la capacidad total del mismo, por ello, se hace necesario diseñar los sistemas de inyección con redundancia y un monitoreo constante del rendimiento de dicho producto.

En un flujo turbulento de transporte de hidrocarburos líquidos por ductos, las moléculas de fluido se desplazan en forma totalmente aleatoria y la energía que las mueve se desperdicia en gran medida, las moléculas del polímero del DRA interactúan con la turbulencia del fluido transportado, reduciendo la liberación de energía, y en consecuencia reduciendo las pérdidas de carga, lográndose así el incremento de la capacidad de transporte. (Osinergmin, 2015)

El reductor de fricción se dosifica en la descarga de las estaciones, en el ingreso a un tramo de tubería, debido a que la cadena de DRA tiende a degradarse una vez que se obstaculiza, sea por equipos rotantes (bombas) y/o válvulas reguladoras.

Asimismo, la cantidad de DRA empleada en el transporte es proporcional al caudal que se requiera mover en el sistema, y el porcentaje de eficiencia varía proporcionalmente con la cantidad de DRA inyectada.



IV. SISTEMA DE HIPÓTESIS Y VARIABLES

Hipótesis General

El reductor de fricción influye positivamente en el incremento de la capacidad del sistema de transporte Malvinas – Pisco.

Sub - hipótesis

- Sub hipótesis 1: El reductor de fricción con dosis 12 ppm incrementa la capacidad del sistema de transporte Malvinas – Pisco en un 20%.
- Sub hipótesis 2: El reductor de fricción con dosis 27 ppm incrementa la capacidad del sistema de transporte Malvinas – Pisco en un 40%.
- Sub hipótesis 3: El reductor de fricción con dosis 48 ppm incrementa la capacidad del sistema de transporte Malvinas – Pisco en un 55%.
- Sub hipótesis 4: El reductor de fricción con dosis 80 ppm incrementa la capacidad del sistema de transporte Malvinas – Pisco en un 70%.
- Sub hipótesis 5: El reductor de fricción con dosis 90 ppm incrementa la capacidad del sistema de transporte Malvinas – Pisco en un 85%.

Identificación y clasificación de las variables

Variable independiente: X

Reductor de Fricción: polímero de cadena larga que disminuye la cantidad de energía que se pierde en la formación turbulenta cerca de las paredes del ducto. EL agente reductor de fricción reduce la pérdida energía por turbulencia que se percibe en la pérdida de presión dentro del flujo de una tubería o ducto. Actúan como amortiguadores a lo largo del tubo

(Sánchez, 2006)

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

UNFV

Variable dependiente: Y

Capacidad del Sistema de Transporte: Es la tasa máxima de transporte de hidrocarburo factible a través del sistema de transporte por ducto, durante un periodo de tiempo determinado, bajo condiciones específicas de dosificación de DRA. (Dmuchowsky, 2016)

Operacionalización de las variables

Dimensión	Indicadores	Escalas de medida
Dosis 1	12 partes por millón (12 ppm)	ppm (partes por millón)
Dosis 2	27 partes por millón (27 ppm)	
Dosis 3	48 partes por millón (48 ppm)	
Dosis 4	80 partes por millón (80 ppm)	
Dosis 5	90 partes por millón (90 ppm)	

Tabla 5 : Operacionalización de la variable reductor de fricción

Fuente: Elaboración propia (2016)

Dimensión	Indicadores	Escalas de medida
Capacidad 1	85,000 barriles por día de LGN transportado (85 MBPD).	MBPD (miles de barriles por día)
Capacidad 2	100,000 barriles por día de LGN transportado (100 MBPD).	
Capacidad 3	110,000 barriles por día de LGN transportado (110 MBPD).	
Capacidad 4	120,000 barriles por día de LGN transportado (120 MBPD).	
Capacidad 5	130,000 barriles por día de LGN transportado (130 MBPD).	

Tabla 6 : Operacionalización de la variable capacidad del sistema de transporte de LGN

Fuente: Elaboración propia (2016)

V. METODOLOGÍA

Tipo de Investigación

La investigación es de tipo básica, por cuanto su objetivo fue determinar la influencia ejercida por el reductor de fricción sobre la capacidad de transporte de líquidos de gas natural; es decir proporcionó información, lo que permitió incrementar la base teórica que se tenía sobre las variables al inicio de la investigación, lo que coincide con lo que expresó Ander-Egg (2011, p.41) sobre este tipo de investigación:

...se realiza con el propósito de acrecentar los conocimientos teóricos para el progreso de una determinada ciencia, sin interesarse directamente en sus posibles aplicaciones o consecuencias prácticas [...] las investigaciones teóricas destinadas al conocimiento de algún aspecto de la realidad o a la verificación de hipótesis son investigaciones orientadas [...] se trata de investigaciones que, dentro del marco de determinadas teorías sociales, tienen el propósito de estudiar algún aspecto de la realidad...

Nivel de Investigación

El trabajo corresponde al nivel Explicativo, porque busca explicar que el incremento de la capacidad del sistema de transporte en alguna medida se debe a la aplicación del reductor de fricción; es decir en la ocurrencia de un fenómeno, explica las causas que originan el efecto, es decir el efecto de la variable independiente sobre la variable dependiente. Al respecto Yuni y Urbano (2006) refieren que los estudios explicativos; se caracterizan por la búsqueda de las relaciones de causalidad. “Intentan determinar las relaciones de causa y efecto que subyacen a los fenómenos observados.

Diseño de investigación

No experimental, se denomina no experimental porque no se realizó experimento alguno, no se aplicó ningún tratamiento o programa, es decir, no existió manipulación de las variables observándose de manera natural los hechos o fenómenos; es decir tal y como se dan en el contexto natural.

El diseño es no experimental transversal, que según Hernández, Fernández y Baptista (2010), se refiere a la recolección de datos en un solo momento, en un tiempo único “su propósito es describir variables y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado. Es como tomar una fotografía de algo que sucede” (p.151).

Esquema del diseño

X → Y

Dónde:

X = Reductor de fricción

Y = Capacidad del sistema transporte de LGN

Método de investigación

Por cuanto la investigación respondió a un enfoque cuantitativo, correspondió emplear el método hipotético deductivo que según Hernández, Fernández y Baptista (2010), son “Los pasos a seguir, son secuenciales: se observa el fenómeno que se va a estudiar, se formula hipótesis para llevar a cabo una explicación [...] se verifica la verdad deducida y se compara con la experiencia obteniendo resultados” (p.97).

Técnicas e instrumento de investigación

La técnica que se utilizó fue la observación que es “una técnica de recolección de información consistente en la inspección y estudio de las cosas o hechos tal como acontecen en la realidad (natural o social) mediante el empleo de los sentidos” (Yuni y

Urbano, 2006, p 39).

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

UNFV

Como instrumento se utilizó la ficha de registro que es un cuadro de recogida de datos, en el que se registra los hechos descriptivos básicos de la unidad de observación y la frecuencia e intensidad en que ocurren los indicadores. (Yuni y Urbano, 2006).

Muestra

La muestra fue de tipo no probabilística por conveniencia, ya que el investigador utilizó como criterio de inclusión los caudales previstos a transportar y mediante simulación determinó la dosis teórica del DRA. Estos caudales corresponden al transporte real de los líquidos de gas natural y están asociados a la producción de Planta Malvinas.

La determinación de las dosis de DRA se realizaron mediante simulaciones a través del software Pipeline Studio de la compañía Energy Solutions.

Para ajustar el modelo en el simulador, la compañía Baker Hughes fabricante del agente reductor de fricción FLO MXC PIPELINE BOOSTER con la compañía de transporte de LGN Malvinas – Pisco elaboraron las curvas experimentales de reducción de fricción para el sistema de transporte Malvinas – Pisco en función a pruebas reales para caudales menores de 85 MBPD. Los resultados obtenidos estuvieron en función del LGN transportado, las condiciones de operación del sistema de transporte y la dosificación del DRA. De esta manera se construyó la curva base de % de reducción de fricción que debe tener el DRA FLO MXC PIPELINE BOOSTER en función a la concentración del mismo para el poliducto Malvinas – Pisco.

A partir de la curva base del DRA FLO MXC PIPELINE BOOSTER ingresada al simulador, se estimó los valores de dosificación de DRA a emplear para cada incremento esperado de capacidad del sistema de transporte Malvinas – Pisco.

El porcentaje de reducción de fricción determinado por la compañía Baker Hughes y la compañía de transporte de LGN Malvinas – Pisco obedece a la siguiente fórmula:

$$\%DR = ppm / (A*ppm + B)$$

Dónde:

%DR: Factor de reducción de fricción (%)

ppm: Dosificación de DRA inyectada en partes por millón

A = 1.08

B = 6.15

La ecuación final ajustada que usa el simulador para determinar las dosis de DRA para un caudal esperado es la siguiente:

$$\frac{Q}{\sqrt{\left(1 - \frac{ppm}{1.08 * ppm + 6.15}\right)}} = Q_1$$

Figura 22: Ecuación caudal versus dosificación de DRA

Donde:

Q : Caudal máximo de transporte sin DRA.

Q_1 : Caudal de transporte esperado con DRA

ppm: partes por millón de DRA

Nota: Si la calidad del DRA varía por ser otro producto diferente al FLO MXC PIPELINE BOOSTER, se tendría que elaborar una nueva curva base para dicha calidad de producto y determinar su % de reducción de fricción para el poliducto Malvinas - Pisco.

Para el caso de esta investigación esta variable fue controlada, es decir, no hubo cambios

en la calidad del DRA.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

UNFV

Al respecto, Hernández, Fernández y Baptista (2010) en la muestra no probabilística “las elecciones de los elementos no dependen de la probabilidad, si no de causas relacionadas con la característica de la investigación o de quien hace la muestra” (p. 241).

Muestra	Caudal de LGN previsto a transportar	Valor estimado de dosificación de DRA determinado mediante simulación
N°	(BPD)	(ppm)
1	70,000	0
2	85,000	12
3	100,000	27
4	110,000	48
5	120,000	80
6	130,000	90

Tabla 7: Resumen de muestras

Fuente: Elaboración propia (2016)



VI. RESULTADOS

Resumen de Capacidades de Transporte de LGN versus Dosificación de Reductor de Fricción del Sistema de Transporte del Líquido de Gas Natural Malvinas – Pisco.

Caudal de Transporte de LGN (BPD)	PS1 Inyección DRA (ppm)	PS2 Inyección DRA (ppm)	PS3 Inyección DRA (ppm)	PS4 Inyección DRA (ppm)	PRS2 Inyección DRA (ppm)	Inyección Total de DRA (ppm)
70,836	0	0	0	0	0	0
84,969	4.89	4.78	0	2.28	0	11.95
100,871	9.96	4.92	3	4.16	5.03	27.07
109,084	11.87	12.26	7	7.2	10.22	48.55
120,158	18.05	14.44	8	20.44	19.76	80.69
130,030	20.74	18.73	12	15.34	22.87	89.68

Tabla 8: Resumen de resultados

Fuente: Elaboración propia en función de los datos reales obtenidos del sistema SCADA de la Sala de Control que opera el Sistema de Transporte por Ducto de LGN Malvinas-Pisco.

El resultado de la investigación demostró que para cada dosificación propuesta de DRA, se alcanzó el caudal simulado de transporte de LGN en el ducto Malvinas – Pisco, es decir, para una dosificación de: 11.95, 27.07, 48.55, 80.69 y 89.68 ppm de DRA se alcanzó a transportar: 84,969; 100,871; 109,084; 120,158 y 130,030 BPD de LGN respectivamente.

De acuerdo a los resultados; se afirma que el reductor de fricción influye en el incremento de la capacidad del sistema de transporte Malvinas - Pisco. Todas las pruebas fueron desarrolladas con DRA FLO MXC PIPELINE BOOSTER utilizado por la compañía de transporte de LGN, lo cual indica; que la variable calidad del agente reductor fue

Prueba	Caudal de Transporte de LGN (BPD)	Inyección Total de DRA (ppm)	Fecha de Ejecución de la Prueba
N°			
1	70,836	0	04/07/2008
2	84,969	11.95	25/05/2010
3	100,871	27.07	27/08/2012
4	109,084	48.55	28/08/2012
5	120,158	80.69	05/11/2012
6	130,030	89.68	08/09/2012

Tabla 9: Resumen de fechas de pruebas

Fuente: Elaboración propia (2016)

Cálculo del número de Reynolds para el fluido transportado en poliducto Malvinas –
Pisco

$$Re = \frac{D \cdot v \cdot \rho}{\mu} \quad v = \frac{4Q}{\pi \cdot D^2}$$

Flujo laminar	Re < 2000
Flujo crítico	2000 < Re < 2500
Flujo de Transición	2500 < Re < 4000
Flujo turbulento total	Re < 40,000

Variables		Valores de operación	Unidades de operación	Valores para cálculo	Unidades para el cálculo
Caudal	Q =	100000	Bbl	0.184	m ³ /s
Densidad	D =	625	kg/m ³	625	kg/m ³
Díámetro	Din =	13.5	pulgadas	0.3429	m
Viscosidad	u =	0.25	cp	0.00025	Pa. s
Reynolds			Re =	1,708,119.51	

Tabla 10: Tabla de cálculo de número de Reynolds

Nota: Cálculo para caudal de 100 MBPD de LGN en el sistema de transporte Malvinas – Pisco.

Fuente: Elaboración propia (2016)

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

UNFV

Caudal de Transporte de LGN (MBPD)	Numero de Reynolds
50	854,060
60	1,024,872
70	1,195,684
80	1,366,496
90	1,537,308
100	1,708,120
110	1,878,931
120	2,049,743
130	2,220,555

Tabla 11: Resumen de números de Reynolds

Nota: para diferentes caudales de transporte de LGN del sistema de transporte Malvinas – Pisco.

Fuente: Elaboración propia (2016)

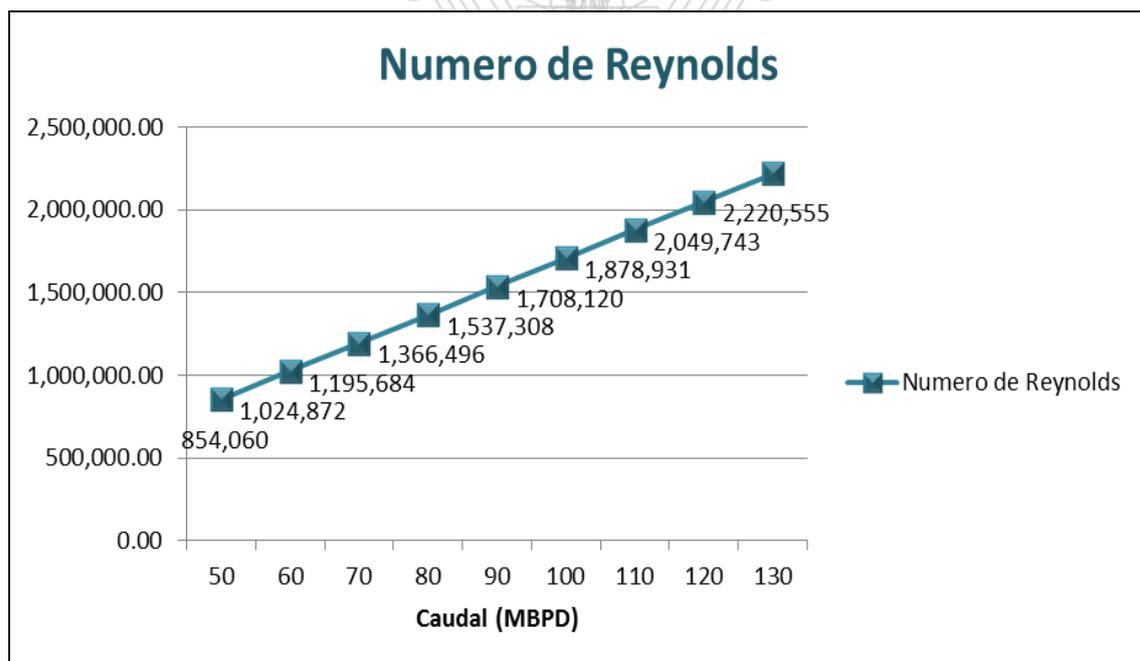


Figura 23: Resumen de cálculos de números de Reynolds

Nota: para diferentes caudales de transporte de LGN del sistema de transporte Malvinas – Pisco.

Fuente: Elaboración propia (2016)

Se concluye que el fluido transportado en el sistema de transporte Malvinas – Pisco para los caudales de la presente investigación son de régimen turbulento, debido a que el número de Reynolds calculado para el transporte de LGN es superior a 40,000.

Prueba N° 1: Caudal máximo de transporte de LGN alcanzado 70,836 BPD

Estación	Inyección de DRA (ppm)	Presión de Succión (Barg)	Presión de Descarga (Barg)	Caudal de LGN (m3/h)
PS1	0.00	21.18	115.62	488.00
PS2	0.00	16.00	113.44	469.97
PS3	0.00	8.02	85.82	469.77
PS4	0.00	12.00	85.98	468.46
PRS1	0.00	31.87	5.39	466.55
PRS2	0.00	112.78	6.81	485.11
PRS3	0.00	58.97	6.30	481.46
Caudal Neto				
	(m3/hr)	(Bls/día)		
	469.24	70,836		

Tabla 12: Capacidad máxima alcanzada 70,836 BPD

Fuente: Elaboración propia (2016)

A efectos de mostrar el performance del ducto de LGN con flujo de 70,836 BPD y los perfiles de presión entre tramos, se muestra en la Tabla 12.

El flujo de transporte objetivo de 70,000 BPD fue alcanzado y previamente establecido conociendo de antemano la capacidad de las bombas en cada estación de bombeo y la capacidad de las válvulas de control de las estaciones de regulación de presión, por extrapolación de los parámetros obtenidos en las pruebas previamente realizadas con flujos menores y simulaciones, para luego, teniendo en consideración los límites

operativos del sistema lograr dicho caudal de transporte de 70,836 BPD LGN sin

Prueba N° 2: Caudal máximo de transporte de LGN alcanzado 84,969 BPD

Estación	Inyección de DRA (ppm)	Presión de Succión (Barg)	Presión de Descarga (Barg)	Caudal de LGN (m3/h)
PS1	4.89	22.47	109.90	581.04
PS2	4.78	17.03	103.43	562.58
PS3	0.00	7.02	86.72	556.97
PS4	2.28	11.05	80.65	558.62
PRS1	0.00	36.86	6.21	527.34
PRS2	0.00	109.53	5.49	544.10
PRS3	0.00	29.48	6.89	577.19
Caudal Neto				
	(m3/hr)	(Bls/día)		
	562.86	84,969		

Tabla 13: Capacidad máxima alcanzada 84,969 BPD

Fuente: Elaboración propia (2016)

A efectos de mostrar el performance del ducto con flujo de 84,969 BPD y los perfiles de presión entre tramos, se muestra en la Tabla 13, donde se indica como inyección de reductor de fricción los siguientes valores:

- Estación PS1: 4.89 ppm
- Estación PS2: 4.78 ppm
- Estación PS4: 2.28 ppm

El flujo de transporte objetivo de 85,000 BPD estuvo muy próximo de ser alcanzado, fue establecido previamente conociendo de antemano la capacidad de las bombas en cada estación de bombeo y la capacidad de las válvulas de control de las estaciones de regulación de presión, por extrapolación de los parámetros obtenidos en las pruebas previamente realizadas con flujos menores, para luego, a través de las simulaciones determinar el incremento estimado de dosificación de DRA para cada tramo, según

corresponda, teniendo en consideración los límites operativos del sistema.

Los tramos que requirieron el agente reductor de fricción son los ya existentes PS1-PS2; PS2-PS3 y PS4-PRS1, en los cuales se inyectó este agente en dosis para el logro del mejor perfil de presiones para una óptima operación del sistema de transporte en su conjunto.

De la evaluación de cada tramo del ducto, a la luz de la verificación del performance del Sistema de Transporte, con datos reales del sistema SCADA, a mayores flujos, surge como conclusión que, con tres bombas en operación, dispuestas en paralelo en cada estación y aplicando la dosis de DRA indicada en la tabla 13 en los tramos PS1-PS2; PS2-PS3 y PS4-PRS1, el ducto de LGN podría transportar flujos hasta 84,969 BPD.

Prueba N° 2: Incremento porcentual de la capacidad del sistema de transporte de LGN

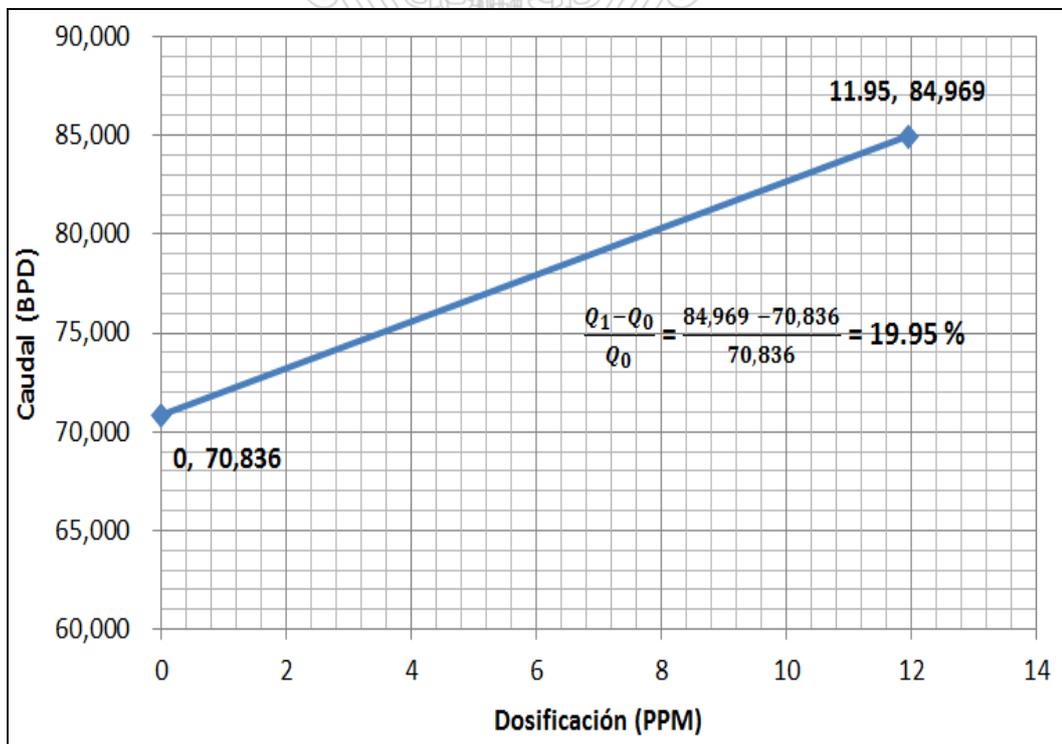


Figura 24: Incremento de capacidad en 19.95% para 11.95 ppm de DRA

Prueba N° 3: Caudal máximo de transporte de LGN alcanzado 100,871 BPD

Estación	Inyección de DRA (ppm)	Presión de Succión (Barg)	Presión de Descarga (Barg)	Caudal de LGN (m ³ /h)
PS1	9.96	25.00	119.75	668.20
PS2	4.92	16.99	113.65	668.57
PS3	3.00	7.50	85.31	666.52
PS4	4.16	11.01	87.18	668.57
PRS1	0.00	30.88	7.43	636.34
PRS2	5.03	99.69	5.85	635.92
PRS3	0.00	23.84	6.87	649.48
Caudal Neto				
	(m ³ /hr)	(Bls/día)		
	668.20	100,871		

Tabla 14: Capacidad máxima alcanzada 100,871 BPD

Fuente: Elaboración propia (2016)

A efectos de mostrar el performance del ducto con flujo de 100,871 BPD y los perfiles de presión entre tramos, se muestra en la Tabla 14, donde se indica como inyección de reductor de fricción los siguientes valores:

Estación PS1: 9.96 ppm

Estación PS2: 4.92 ppm

Estación PS3: 3.00 ppm

Estación PS4: 4.16 ppm

Estación PRS2: 5.03 ppm

El flujo de transporte objetivo de 100,000 BPD fue alcanzado y establecido previamente conociendo de antemano la capacidad de las bombas en cada estación de bombeo y la capacidad de las válvulas de control de las estaciones de regulación de presión, por

flujos menores, para luego, a través de las simulaciones determinar el incremento estimado de dosificación de DRA para cada tramo, según corresponda, teniendo en consideración los límites operativos del sistema.

Los tramos que usaron el agente reductor de fricción son los ya existentes PS1-PS2; PS2-PS3, PS3-PS4, PS4-PRS1, y PRS2-PRS3, en los cuales se inyectó este agente en dosis para el logro del mejor perfil de presiones para una óptima operación del sistema de transporte en su conjunto.

De la evaluación de cada tramo del ducto, a la luz de la verificación del performance del Sistema de Transporte, con datos reales del SCADA, a mayores flujos, surge como conclusión que con cuatro bombas en operación en PS1 y PS2, y con tres bombas en operación en PS3 y PS4, dispuestas en paralelo en cada estación y aplicando DRA en los tramos PS1-PS2; PS2-PS3, PS3-PS4, PS4-PRS1, y PRS2-PRS3, de acuerdo a las dosis de DRA indicadas en la tabla 14, el ducto de LGN podría transportar flujos hasta 100,871 BPD.

Prueba N° 3: Incremento porcentual de la capacidad del sistema de transporte de LGN

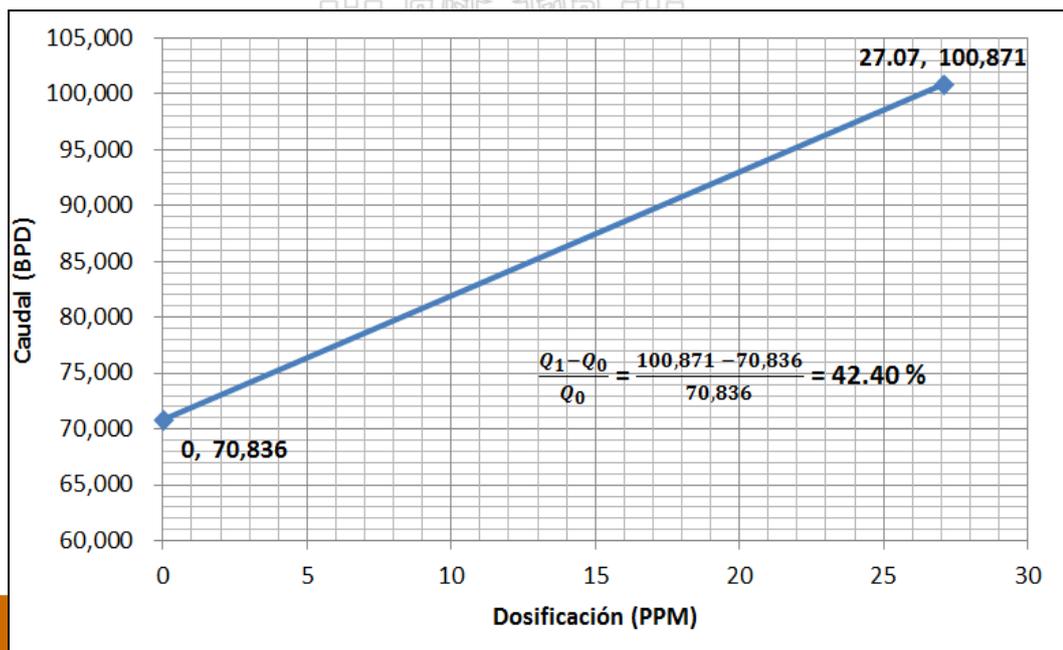


Figura 25. Incremento de capacidad en 42.40% para 27.07 ppm de DRA

Tesis publicada con autorización de UNFV
No olvide citar esta tesis

Fuente: Elaboración propia (2016)

UNFV

Prueba N° 4: Caudal máximo de transporte de LGN alcanzado 109,084 BPD

Estación	Inyección de DRA (ppm)	Presión de Succión (Barg)	Presión de Descarga (Barg)	Caudal de LGN (m3/h)
PS1	11.87	24.99	116.42	722.60
PS2	12.26	18.99	106.08	726.17
PS3	7.00	7.03	85.38	722.86
PS4	7.20	12.04	77.56	730.48
PRS1	0.00	32.20	5.31	691.43
PRS2	10.22	91.70	8.12	692.91
PRS3	0.00	30.90	7.25	719.07
Caudal Neto				
	(m3/hr)	(Bls/día)		
	722.60	109,084		

Tabla 15: Capacidad máxima alcanzada 109,084 BPD

Fuente: Elaboración propia (2016)

A efectos de mostrar el performance del ducto con flujo de 109,084 BPD y los perfiles de presión entre tramos, se muestra en la Tabla 15, donde se indica como inyección de reductor de fricción los siguientes valores:

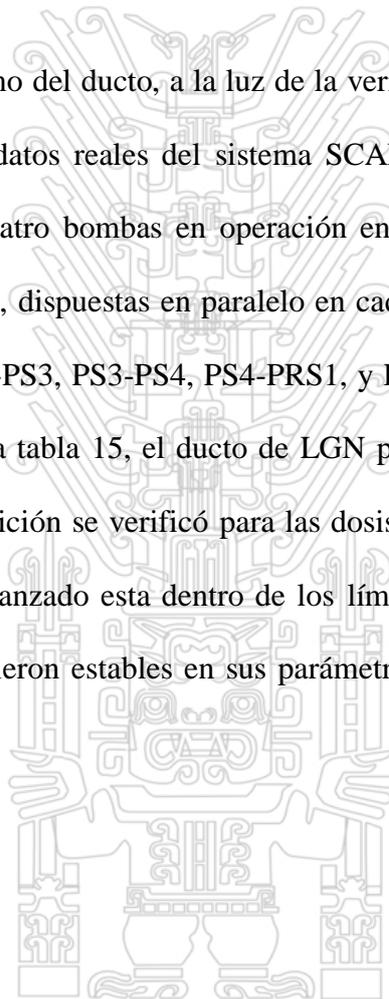
- Estación PS1: 11.87 ppm
- Estación PS2: 12.26 ppm
- Estación PS3: 7.00 ppm
- Estación PS4: 7.20 ppm
- Estación PRS2: 10.22 ppm

El flujo de transporte objetivo de 110,000 BPD estuvo muy cerca de ser alcanzado, fue establecido conociendo de antemano la capacidad de las bombas en cada estación de bombeo y la capacidad de las válvulas de control de las estaciones de regulación de presión, por extrapolación de los parámetros obtenidos en las pruebas previamente

incremento estimado de dosificación de DRA para cada tramo, según corresponda, teniendo en consideración los límites operativos del sistema.

Los tramos que usaron el agente reductor de fricción son los ya existentes PS1-PS2; PS2-PS3, PS3-PS4, PS4-PRS1, y PRS2-PRS3, en los cuales se inyectó este agente en dosis para el logro del mejor perfil de presiones para una óptima operación del sistema de transporte en su conjunto.

De la evaluación de cada tramo del ducto, a la luz de la verificación del performance del Sistema de Transporte, con datos reales del sistema SCADA, a mayores flujos, surge como conclusión que con cuatro bombas en operación en PS1, y con tres bombas en operación en PS2, PS3 y PS4, dispuestas en paralelo en cada estación y aplicando DRA en los tramos PS1-PS2; PS2-PS3, PS3-PS4, PS4-PRS1, y PRS2-PRS3, de acuerdo a las dosis de DRA indicadas en la tabla 15, el ducto de LGN podría transportar flujos hasta 109,084 BPD. Para esta condición se verificó para las dosis de DRA inyectadas en cada tramo el perfil de presión alcanzado esta dentro de los límites admisibles de operación. Todas las motobombas estuvieron estables en sus parámetros de presión, temperatura y vibración.



Prueba N° 4: Incremento porcentual de la capacidad del sistema de transporte de LGN

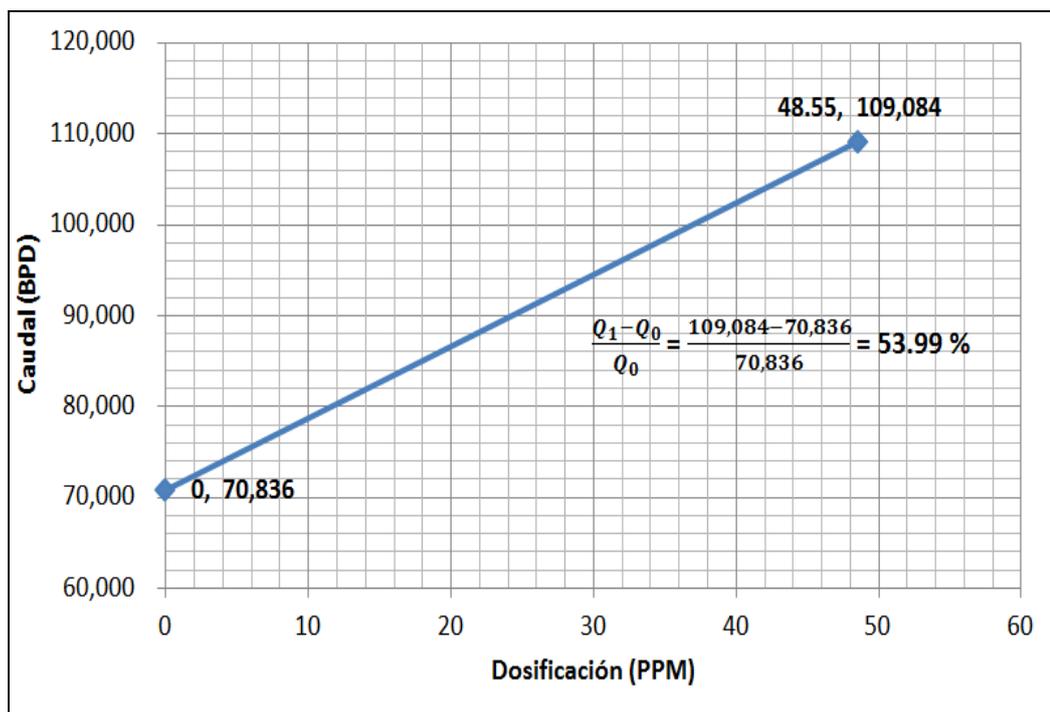


Figura 26: Incremento de capacidad en 53.99% para 48.55 ppm de DRA

Fuente: Elaboración propia (2016)

Prueba N° 5: Caudal máximo de transporte de LGN alcanzado 120,158 BPD

Estación	Inyección de DRA (ppm)	Presión de Succión (Barg)	Presión de Descarga (Barg)	Caudal de LGN (m3/h)
PS1	18.05	23.98	113.76	796.09
PS2	14.44	16.52	108.12	799.67
PS3	8.00	6.97	85.54	803.24
PS4	20.44	10.97	80.93	796.92
PRS1	0.00	28.58	7.48	760.50
PRS2	19.76	86.66	6.75	750.64
PRS3	0.00	29.91	7.76	789.34
Caudal Neto				
	(m3/hr)	(Bls/día)		
	795.96	120,158		

Tabla 16: Capacidad máxima alcanzada 120,158 BPD

Fuente: Elaboración propia (2016)

Tesis publicada con autorización de la UNFV
No olvide citar esta tesis



A efectos de mostrar el performance del ducto con flujo de 120,158 BPD y los perfiles de presión entre tramos, se muestra en la Tabla 16, donde se indica como inyección de reductor de fricción los siguientes valores:

- Estación PS1: 18.05 ppm
- Estación PS2: 14.44 ppm
- Estación PS3: 8.00 ppm
- Estación PS4: 20.44 ppm
- Estación PRS2: 19.76 ppm

El flujo de transporte objetivo de 120,000 BPD fue alcanzado y establecido previamente conociendo de antemano la capacidad de las bombas en cada estación de bombeo y la capacidad de las válvulas de control de las estaciones de regulación de presión, por extrapolación de los parámetros obtenidos en las pruebas previamente realizadas con flujos menores, para luego, a través de las simulaciones determinar el incremento estimado de dosificación de DRA para cada tramo, según corresponda, teniendo en consideración los límites operativos del sistema.

Los tramos que usaron el agente reductor de fricción son los ya existentes PS1-PS2; PS2-PS3, PS3-PS4, PS4-PRS1, y PRS2-PRS3, en los cuales se inyectó este agente reductor de fricción en dosis indicadas en la tabla 16 para el logro del mejor perfil de presiones para una óptima operación del sistema de transporte en su conjunto.

De la evaluación de cada tramo del ducto, a la luz de la verificación del performance del Sistema de Transporte, con datos reales del sistema SCADA, a mayores flujos, surge como conclusión que con cinco bombas en operación en PS1, y con cuatro bombas en operación en PS2, PS3 y PS4, dispuestas en paralelo en cada estación y aplicando DRA

en los tramos PS1-PS2; PS2-PS3, PS3-PS4, PS4-PRS1, y PRS2-PRS3, de acuerdo a lo indicado en la tabla 16, el ducto de LGN podría transportar flujos hasta 120,158 BPD.

Para esta condición se verificó para las dosis de DRA inyectados en cada tramo el perfil de presión alcanzado esta dentro de los límites admisibles de operación. Todas las motobombas estuvieron estables en sus parámetros de presión, temperatura y vibración.

Prueba N° 5: Incremento porcentual de la capacidad del sistema de transporte de LGN

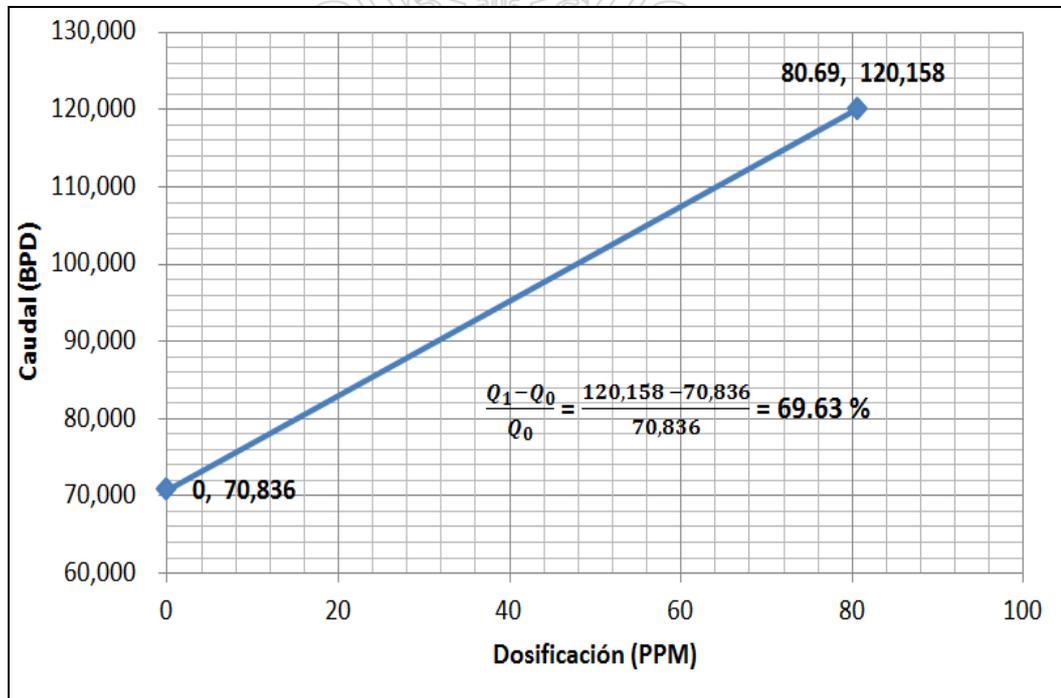


Figura 27: Incremento de capacidad en 69.63 % para 80.69 ppm de DRA

Fuente: Elaboración propia (2016)

Prueba N° 6: Caudal máximo de transporte de LGN alcanzado 130,028 BPD

Estación	Inyección de DRA (ppm)	Presión de Succión (Barg)	Presión de Descarga (Barg)	Caudal de LGN (m3/h)
PS1	20.74	23.35	111.03	861.34
PS2	18.73	16.00	107.97	863.42
PS3	12.00	6.98	86.41	863.45
PS4	15.34	10.97	83.63	867.13
PRS1	0.00	35.01	5.64	824.90
PRS2	22.87	77.06	7.02	821.99
PRS3	0.00	30.15	7.84	848.75
Caudal Neto				
	(m3/hr)	(Bl/día)		
	861.34	130,028		

Tabla 17: Capacidad máxima alcanzada 130,028 BPD

Fuente: Elaboración propia (2016)

A efectos de mostrar el performance del ducto con flujo de 130,028 BPD y los perfiles de presión entre tramos, se muestra en la Tabla 17, donde se indica como inyección de reductor de fricción los siguientes valores:

- Estación PS1: 20.74 ppm
- Estación PS2: 18.73 ppm
- Estación PS3: 12.00 ppm
- Estación PS4: 15.34 ppm
- Estación PRS2: 22.87 ppm

El flujo de transporte objetivo de 130,000 BPD fue alcanzado y establecido previamente conociendo de antemano la capacidad de las bombas en cada estación de bombeo y la capacidad de las válvulas de control de las estaciones de regulación de presión, por extrapolación de los parámetros obtenidos en las pruebas previamente realizadas con

estimado de dosificación de DRA para cada tramo, según corresponda, teniendo en consideración los límites operativos del sistema.

Los tramos que usaron el agente reductor de fricción son los ya existentes PS1-PS2; PS2-PS3, PS3-PS4, PS4-PRS1, y PRS2-PRS3, en los cuales se inyectó este agente reductor de fricción en dosis indicadas en la tabla 17 para el logro del mejor perfil de presiones para una óptima operación del sistema de transporte en su conjunto.

De la evaluación de cada tramo del ducto, a la luz de la verificación del performance del Sistema de Transporte, con datos reales del sistema SCADA, a mayores flujos, surge como conclusión que con cuatro bombas en operación en PS1, PS2, PS3 y PS4, dispuestas en paralelo en cada estación y aplicando DRA en los tramos PS1-PS2; PS2-PS3, PS3-PS4, PS4-PRS1, y PRS2-PRS3, de acuerdo a las dosis indicadas en la tabla 17, el ducto de LGN podría transportar flujos hasta 130,028 BPD.

Para esta condición se verificó para las dosis de DRA inyectados en cada tramo el perfil de presión alcanzado esta dentro de los límites admisibles de operación. Todas las motobombas estuvieron estables en sus parámetros de presión, temperatura y vibración.

Prueba N° 6: Incremento porcentual de la capacidad del sistema de transporte de LGN

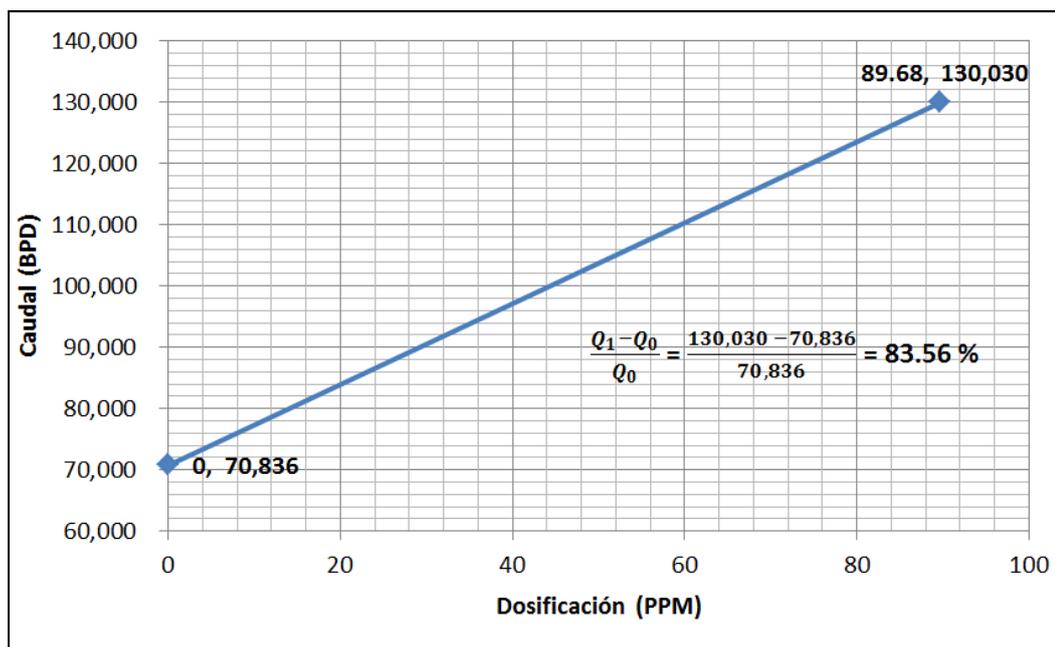


Figura 28: Incremento de capacidad en 83.56 % para 89.68 ppm de DRA

Fuente: Elaboración propia (2016)

Resumen de capacidad máxima alcanzada en el sistema de transporte de LGN

Dosificación por Estaciones (ppm)							
Caudal LGN diario (BPD)	PS1 (ppm)	PS2 (ppm)	PS3 (ppm)	PS4 (ppm)	PRS2 (ppm)	Total (ppm)	Total, Totes de DRA /Año
70,836	0	0	0	0	0	0	0.0
84,969	4.89	4.78	0	2.28	0	11.95	59.9
100,871	9.96	4.92	3	4.16	5.03	27.07	161.1
109,084	11.87	12.26	7	7.2	10.22	48.55	312.4
120,158	18.05	14.44	8	20.44	19.76	80.69	572.0
130,030	20.74	18.73	12	15.34	22.87	89.68	688.0

Tabla 18: Dosificación por estación y capacidad máxima alcanzada

Nota: El volumen de cada tote es 985 litros.

Fuente: Elaboración propia (2016)

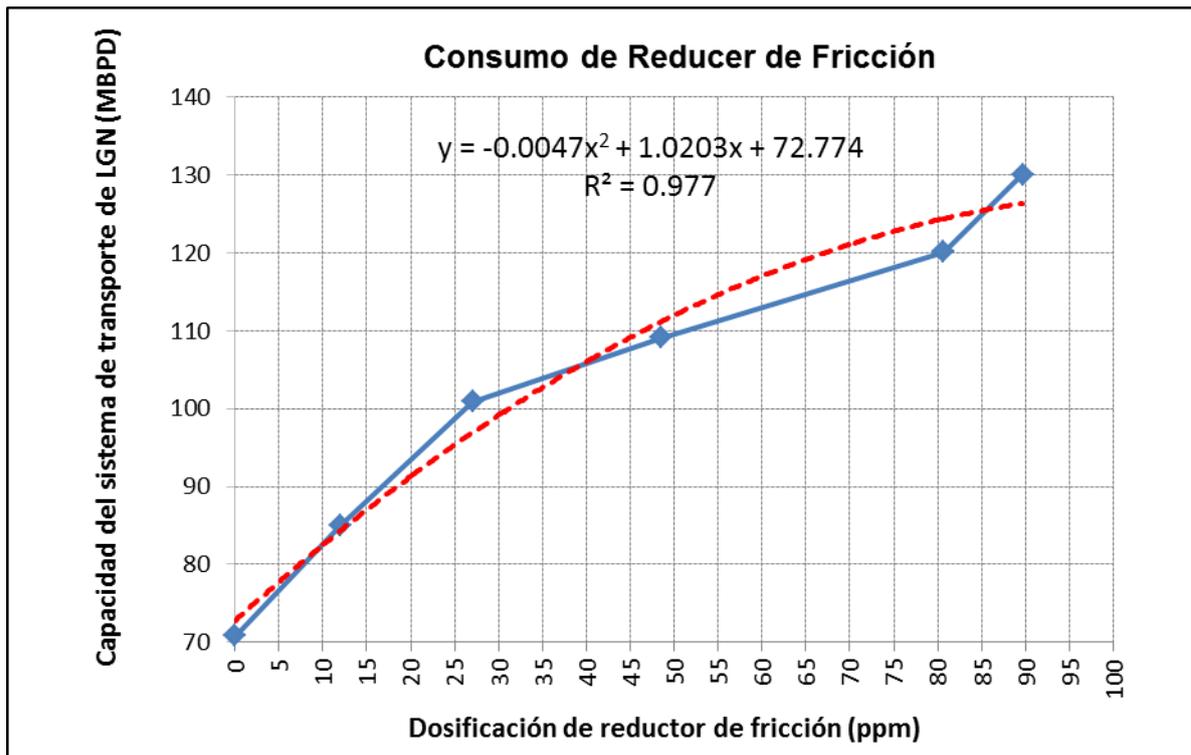


Figura 29: Capacidad del sistema de transporte de LGN por dosificación de DRA

Fuente: Elaboración propia (2016)

Ecuación polinomial

$$y = -0.0047x^2 + 1.0203x + 72.774$$

$$R^2 = 0.977$$

Dónde:

y = Capacidad del sistema transporte de LGN

x = Dosificación de reductor de fricción (DRA)

Ho: El reductor de fricción no influye significativamente en la capacidad del sistema de transporte de LGN por ducto Malvinas - Pisco, 2016.

Ha: El reductor de fricción influye significativamente en la capacidad del sistema de

Resumen del modelo			
R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Sig.
0.9884	0.977	0.919	0.047
La variable independiente: Dosificación de reductor de fricción.			
La variable dependiente: Capacidad del sistema de transporte de LGN.			

Tabla 19: Resumen del modelo

Fuente: Elaboración propia (2016)

Interpretación:

Los resultados del análisis estadístico dan cuenta de la existencia de una relación $r = 0,9884$ entre las variables: dosificación de reductor de fricción y capacidad del sistema de transporte LGN. Este grado de correlación indica que la relación entre las variables es positiva y con un nivel de correlación muy alta. La significancia de $p=0,047$ muestra que p es menor a $0,05$, lo que permite señalar que la relación es significativa.

Se concluye que: La dosificación del reductor de fricción tiene relación positiva y significativa con la capacidad del sistema de transporte de LGN por ducto Malvinas - Pisco, 2016.

Mediante la prueba de regresión simple se determinó que el R^2 fue de 0.977 , por tanto, se estima que la dosificación del reductor de fricción influyó en el 97.7% sobre la capacidad del sistema de transporte de LGN por ducto Malvinas - Pisco. En tal sentido, se acepta la hipótesis de investigación y se rechaza la hipótesis nula.

Análisis costo - beneficio

De acuerdo a los resultados obtenidos en las pruebas de “caudal máximo de transporte de LGN alcanzado” se presenta el análisis costo - beneficio.

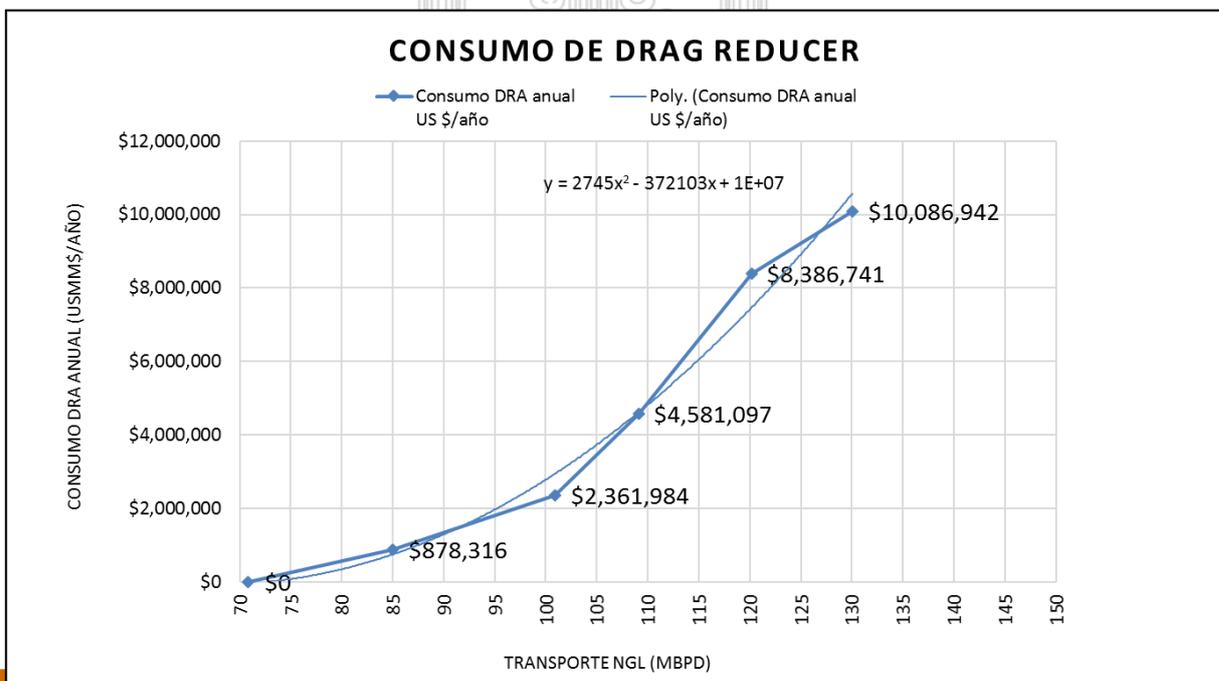
Consumo anual de DRA por caudal de LGN transportado

Ítem	Caudal de LGN Diario (BPD)	Dosificación Total requerida (ppm)	Total, (Totes/Año)	Consumo DRA anual (US \$/año)
1	70,836	0	0.0	\$0
2	84,969	11.95	59.9	\$878,316
3	100,871	27.07	161.1	\$2,361,984
4	109,084	48.55	312.4	\$4,581,097
5	120,158	80.86	572.0	\$8,386,741
6	130,030	89.68	688.0	\$10,086,942

Tabla 20: Gastos por consumo anual de DRA (US \$)

Nota: Precio referencial por tote 14,662 dólares (Julio 2017)

Fuente: Elaboración propia (2016)



Tesis publicada con autoría propia. No olvide citar esta tesis

Figura 30: Gasto por consumo anual de DRA (US \$)

Fuente: Elaboración propia (2016)

UNFV

Ingresos por año por incremento de transporte de LGN

Ítem	Caudal LGN Diario (BPD)	Diferencia de volumen transportado (BPD)	Tarifa por barril de LGN transportado - Precio Julio 2017	Ingreso por año por transporte de LGN
1	70,836	-	\$4.65	-
2	84,969	14,133		\$ 23,987,022
3	100,871	30,035		\$ 50,976,906
4	109,084	38,247		\$ 64,915,104
4	120,158	49,322		\$ 83,711,172
5	130,028	59,191		\$ 100,462,631

Tabla 21: Ingresos por año por transporte de LGN (US \$)

Fuente: elaboración propia (2016)

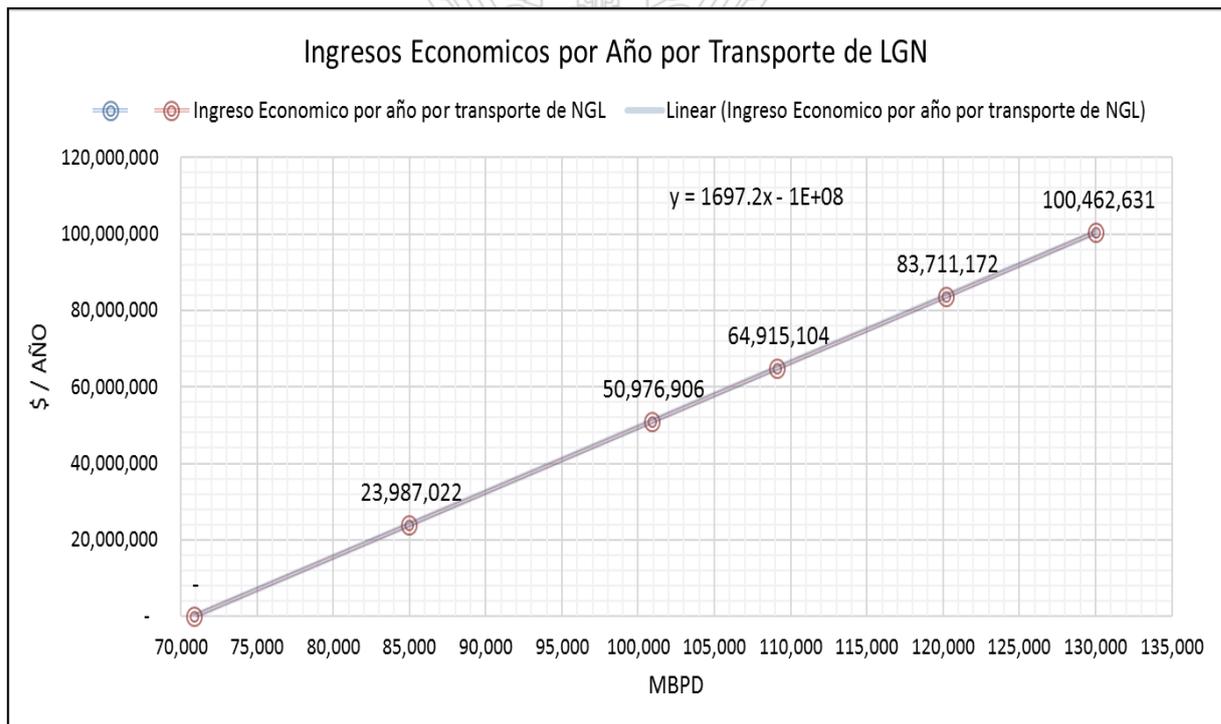


Figura 31: Ingresos por año por transporte de LGN (US \$)

Fuente: Elaboración propia (2016)

Costos fijos de las instalaciones de los 05 skids de DRA

- Costo del skid DRA: 300,000 dólares (por unidad, puesto en Lima)
- Costo del tanque DRA: 60,000 dólares (por unidad, puesto en Lima)
- Costo de ingeniería: 70,000 dólares
- Costo de instalación física del skid y tanque: 1,350,000 dólares

Costo total por skid instalado al sistema de transporte de LGN = 1,780,000 dólares

Costo total de los 5 skid de instalados al sistema de transporte de LGN = 8,900,000 dólares

Análisis de ingresos económicos por incremento de transporte de LGN a 95 MBPD

El transporte promedio LGN del año 2016 fue de 95 MBPD, para este caudal se determinó un costo del producto DRA de 2,000,000 dólares por año y los ingresos por el incremento de transporte de LGN fueron de 40,000,000 dólares por año aproximadamente.

Resumen de Costo - Beneficio	
Inversión inicial de equipos más instalación de los 05 skids de DRA	\$ 8,900,000
Costo de producto DRA por año para 95 MBPD de transporte de LGN	\$ 2,000,000
Ingresos por año por incremento en el transporte de LGN de 70 a 95 MBPD	\$ 40,000,000

Tabla 22: Resumen de costo - beneficio

Notas:

- Para el análisis no se consideró los costos variables por operación, mantenimiento y logística del reductor de fricción.
- Los ingresos económicos varían en función al volumen de LGN transportado.

Fuente: Elaboración propia (2016)

Como se observa en la tabla 22 los resultados para 95 MBPD de transporte de LGN presentan grandes beneficios económicos.

Los ingresos económicos por el incremento de transporte de LGN de 70 a 95 MBPD son altos respecto a los costos fijos iniciales de instalación de los 05 skids de DRA y los costos variables por el uso del producto DRA, esto se debe a que el sistema de inyección de DRA se instaló sobre el sistema de transporte de LGN por ductos ya existente, evitó altos gastos iniciales de construcción de instalaciones mayores como Loop (ductos paralelos) o estaciones de bombeo intermedias. La inyección de DRA permitió incrementar la capacidad del sistema de transporte Malvinas – Pisco hasta en un 83.56% pasando de 70,836 BPD a 130,030 BPD en un con mínimo requerimiento de infraestructura.

Otros beneficios:

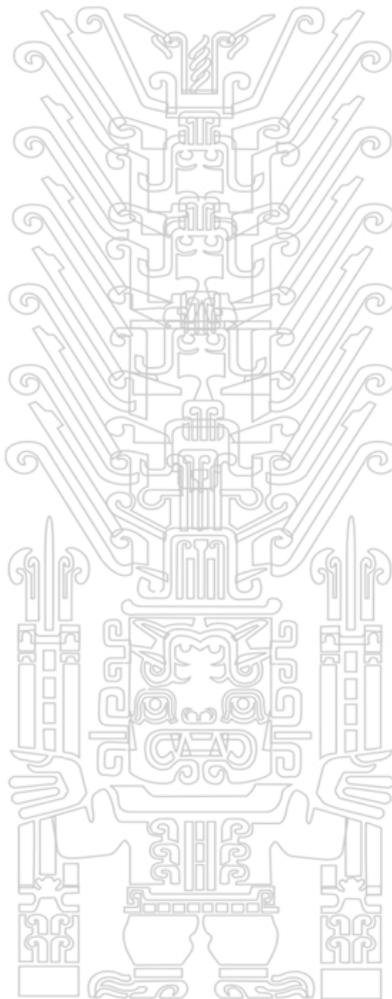
- Generó ahorro de costos para la compañía de transporte de LGN al evitar instalaciones mayores como Loop (ductos paralelos) o estaciones de bombeo intermedias. Los montos de inversión en la instalación de sistemas de inyección de DRA para el incremento de capacidad de ductos son bajos en comparación con las otras opciones.
- Redujo el impacto al ambiente y a las comunidades del área de influencia durante su etapa de instalación de los skids de DRA, debido al mínimo requerimiento de infraestructura que requiere el montaje de los skids de DRA.
- Permite transportar mayores volúmenes de hidrocarburos líquidos hacia la Costa del Perú, donde se ubican los grandes centros de consumo del mercado interno peruano, generando mayores ingresos económicos locales y nacionales y contribuyendo con el bienestar económico y social del Perú.
- Permite reducir la dependencia de Perú en la compra de derivados de hidrocarburos líquidos (GLP) y mejorar la matriz energética del país con el

uso de hidrocarburos más livianos.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

UNFV

- Reduce el riesgo de incumplimiento y pago de penalidades de la compañía de transporte de LGN Malvinas – Pisco, por los volúmenes de LGN comprometidos a transportar.



VII. DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Del análisis desarrollado en el presente trabajo se deduce lo siguiente:

De acuerdo a los resultados estadísticos se observa que el reductor de fricción influye positivamente en el incremento de la capacidad del sistema de transporte Malvinas – Pisco. Resultado que coincide con los resultados encontrados por Contreras (2014) quien afirma que dentro de las alternativas existentes para el incremento de la capacidad de transporte de hidrocarburos líquidos en un Sistema de Transporte por ductos el Reductor de Fricción es una de las alternativas más eficaces y que asegura una operación eficiente, segura y confiable acorde a los estándares de la industria. Así también con los resultados de Manco (2014) quien afirma que la inyección de Reductor de Fricción garantiza el incremento de capacidad de transporte y que este proceso es de mucha importancia para la operación del sistema de transporte de LGN del poliducto Malvinas Pisco.

En cuanto a la inyección del reductor de fricción con dosis 11.95 ppm se observa que influye en un 19.95%, en el incremento de la capacidad del sistema de transporte, en tal sentido se afirma que bajo esta dosis el sistema de transporte por ductos Malvinas – Pisco está en condiciones de transportar líquido de gas natural hasta 84,969 BPD. Resultado que coincide con los resultados encontrados por Arimana (2014) quien afirma que en el sistema de transporte de LGN se puede establecer una dosificación de DRA para cada régimen de transporte a fin de optimizar su consumo y lograr el incremento de capacidad.

Con relación a la inyección del reductor de fricción con dosis 27.07 ppm se observa que influye en un 42.40%, en el incremento de la capacidad del sistema de transporte, en tal

sentido se afirma que bajo esta dosis el sistema de transporte por ductos Malvinas – Pisco

está en condiciones de transportar líquido de gas natural hasta 100,871 BPD. Resultado que coincide con los resultados encontrados por Arimana (2014) quien afirma que en el sistema de transporte de LGN se puede establecer una dosificación de DRA para cada régimen de transporte a fin de optimizar su consumo y lograr el incremento de capacidad.

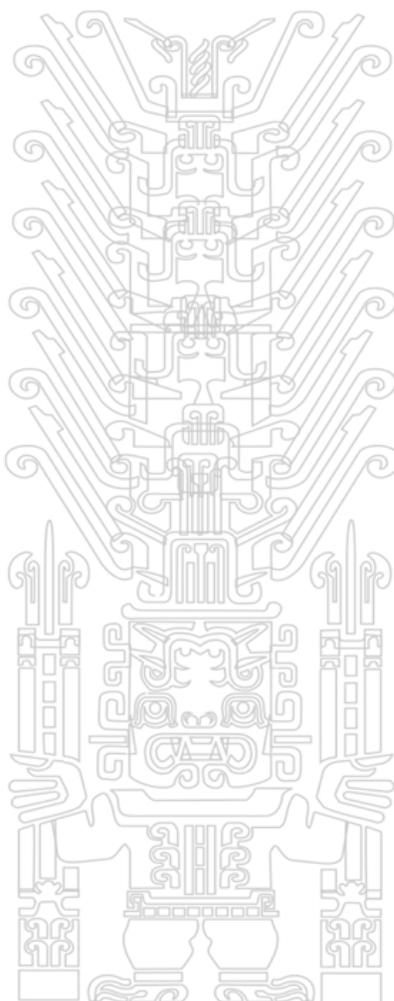
En referencia a la inyección del reductor de fricción con dosis 48.55 ppm se observa que influye en un 53.99%, en el incremento de la capacidad del sistema de transporte, en tal sentido se afirma que bajo esta dosis el sistema de transporte por ductos Malvinas – Pisco está en condiciones de transportar líquido de gas natural hasta 109,084 BPD. Resultado que coincide con los resultados encontrados por Arimana (2014) quien afirma que en el sistema de transporte de LGN se puede establecer una dosificación de DRA para cada régimen de transporte a fin de optimizar su consumo y lograr el incremento de capacidad.

Con relación a la inyección del reductor de fricción con dosis 80.69 ppm se observa que influye en un 69.63%, en el incremento de la capacidad del sistema de transporte, en tal sentido se afirma que bajo esta dosis el sistema de transporte por ductos Malvinas – Pisco está en condiciones de transportar líquido de gas natural hasta 120,158 BPD. Resultado que coincide con los resultados encontrados por Arimana (2014) quien afirma que en el sistema de transporte de LGN se puede establecer una dosificación de DRA para cada régimen de transporte a fin de optimizar su consumo y lograr el incremento de capacidad.

Finalmente, con relación a la inyección del reductor de fricción con dosis 89.68 ppm se observa que influye en un 83.56%, en el incremento de la capacidad del sistema de transporte, en tal sentido se afirma que bajo esta dosis el sistema de transporte por ductos

Malvinas – Pisco está en condiciones de transportar líquido de gas natural hasta 130,030

BPD. Resultado que coincide con los resultados encontrados por Arimana (2014) quien afirma que en el sistema de transporte de LGN se puede establecer una dosificación de DRA para cada régimen de transporte a fin de optimizar su consumo y lograr el incremento de capacidad.



VIII. CONCLUSIONES

Respecto a las hipótesis se demuestra la siguiente relación:

Con relación al objetivo general: El reductor de fricción influye positivamente en el incremento de la capacidad del sistema de transporte Malvinas – Pisco.

Se determinó que el Reductor de Fricción influye en el incremento de capacidad del sistema de transporte de LGN en el poliducto Malvinas – Pisco. Por lo tanto, se aceptó la hipótesis de investigación y se rechazó la hipótesis nula.

Con relación al objetivo específico 1: El reductor de fricción con dosis 11.95 ppm incrementa la capacidad del sistema de transporte Malvinas – Pisco.

Se determinó que el Reductor de Fricción influye en un 19.95%, en el incremento de capacidad del sistema de transporte de LGN en el poliducto Malvinas – Pisco. Siendo el resultado de capacidad del sistema de transporte 84,969 BPD. Por lo tanto, se aceptó la hipótesis de investigación y se rechazó la hipótesis nula.

Con relación al objetivo específico 2: El reductor de fricción con dosis 27.07 ppm incrementa la capacidad del sistema de transporte Malvinas – Pisco.

Se determinó que el Reductor de Fricción influye en un 42.40%, en el incremento de capacidad del sistema de transporte de LGN en el poliducto Malvinas – Pisco. Siendo el resultado de capacidad del sistema de transporte 100,871 BPD. Por lo tanto, se aceptó la hipótesis de investigación y se rechazó la hipótesis nula.

Con relación al objetivo específico 3: El reductor de fricción con dosis 48.55 ppm incrementa la capacidad del sistema de transporte Malvinas – Pisco.

Se determinó que el Reductor de Fricción influye en un 53.99%, en el incremento de capacidad del sistema de transporte de LGN en el poliducto Malvinas – Pisco. Siendo el resultado de capacidad del sistema de transporte 109,084 BPD. Por lo tanto, se aceptó la hipótesis de investigación y se rechazó la hipótesis nula.

Con relación al objetivo específico 4: El reductor de fricción con dosis 80.69 ppm incrementa la capacidad del sistema de transporte Malvinas – Pisco.

Se determinó que el Reductor de Fricción influye en un 69.63%, en el incremento de capacidad del sistema de transporte de LGN en el poliducto Malvinas – Pisco. Siendo el resultado de capacidad del sistema de transporte 120,158 BPD. Por lo tanto, se aceptó la hipótesis de investigación y se rechazó la hipótesis nula.

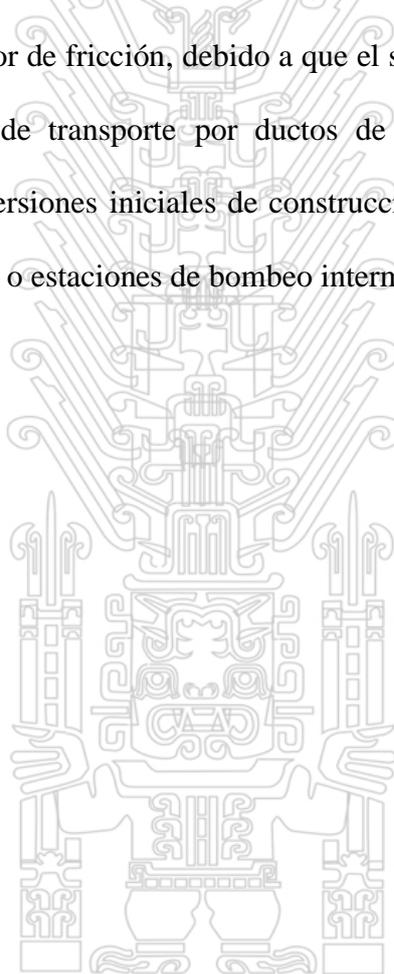
Con relación al objetivo específico 5: El reductor de fricción con dosis 89.68 ppm incrementa la capacidad del sistema de transporte Malvinas – Pisco.

Se determinó que el Reductor de Fricción influye en un 83.56%, en el incremento de capacidad del sistema de transporte de LGN en el poliducto Malvinas – Pisco. Siendo el resultado de capacidad del sistema de transporte 130,028 BPD. Por lo tanto, se aceptó la hipótesis de investigación y se rechazó la hipótesis nula.

Con relación a la calidad del agente reductor de fricción FLO MXC PIPELINE BOOSTER: si se varia la calidad o se cambia de producto DRA, el % de reducción de fricción podría ser diferente, es decir que la calidad del producto si influiría en la capacidad del sistema de transporte. Para la investigación se trabajó con el reductor de

fricción FLO MXC PIPELINE BOOSTER de la compañía Baker Hughes para todas las pruebas de incremento de capacidad del sistema de transporte de LGN Malvinas – Pisco, esta variable fue controlada, es decir, la calidad de DRA fue la misma para todas las pruebas, no fue cambiada.

Con relación al costo – beneficio: Los resultados confirman que para 95 MBPD de transporte de LGN, los ingresos económicos son altos respecto a los costos fijos y variables en el uso del reductor de fricción, debido a que el sistema de inyección de DRA se instaló sobre el sistema de transporte por ductos de LGN Malvinas – Pisco ya existente, que evitó altas inversiones iniciales de construcción de instalaciones mayores como Loop (ductos paralelos) o estaciones de bombeo intermedias.



IX. RECOMENDACIONES

En función de los resultados obtenidos se recomienda que la empresa responsable del transporte de LGN Malvinas Pisco continúe operando el sistema de transporte con inyección del Reductor de Fricción en función al volumen de LGN a transportar, ya que se ha demostrado que el reductor de fricción influye positivamente en el incremento de la capacidad del sistema de transporte.

Se recomienda usar el reductor de fricción con dosis 11.95 ppm para transportar 84,969 BPD de LGN en el sistema de transporte Malvinas – Pisco.

Se sugiere usar el reductor de fricción con dosis 27.07 ppm para transportar 100,871 BPD de LGN en el sistema de transporte Malvinas – Pisco.

Se sugiere usar el reductor de fricción con dosis 48.55 ppm para transportar 109,084 BPD de LGN en el sistema de transporte Malvinas – Pisco.

Se sugiere usar el reductor de fricción con dosis 80.69 ppm para transportar 120,158 BPD de LGN en el sistema de transporte Malvinas – Pisco.

Se sugiere usar el reductor de fricción con dosis 89.68 ppm para transportar 130,030 BPD de LGN en el sistema de transporte Malvinas – Pisco.

Se recomienda seguir utilizando el agente reductor FLO MXC PIPELINE BOOSTER de

la empresa Baker Hughes en el sistema de transporte de LGN Malvinas – Pisco para

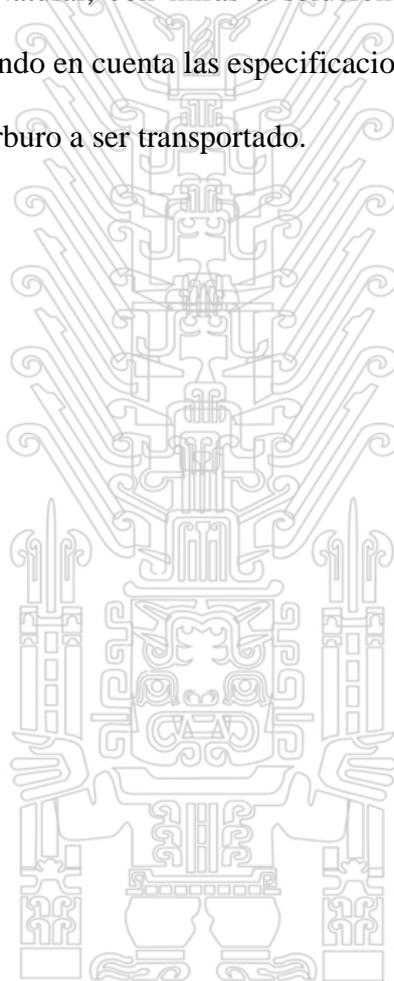
Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

incrementar su capacidad hasta 130,030 BPD.

UNFV

Se recomienda realizar estudios y pruebas de otros agentes reductores de fricción a fin de evaluar su rendimiento en el incremento de capacidad del Sistema de Transporte de LGN Malvinas - Pisco.

Se recomienda replicar esta experiencia en otros sistemas de transporte de hidrocarburos líquidos por ductos para el transporte de petróleo crudo, productos refinados derivados de petróleo y líquidos de Gas Natural, con miras a solucionar problemas que limitan su capacidad de transporte, teniendo en cuenta las especificaciones del reductor de fricción y las características del hidrocarburo a ser transportado.



X. FUENTES DE INFORMACIÓN

- Ander Egg, E. (2011). *Aprender a investigar: nociones básicas para la investigación social*, 1a ed. - Córdoba: Brujas, 190 p.
- Arimana, C. (2014). *Uso de reductores de fricción en el transporte de líquidos de gas natural y su integración con la estrategia global de operación*. Lima: VIII Ingepet 2014.
- Bernardo, J., y Caldero, J. (2000). *Investigación cuantitativa*. Madrid: RIALP, S.A.
- Brenner R. (2009). *La economía de la turbulencia global*. España: Akal
- Burbano, S. y Gracia, C. (2003). *Física General*. México: Tébar
- Celis, G. (2009). *Mecánica estructural estática*. México: Universidad Iberoamericana, A.C.
- Contreras, A. (2014). *Evaluación técnica / económica de alternativas para el incremento de la capacidad en sistemas de transporte por ductos de hidrocarburos líquidos*. Lima: VIII Ingepet 2014.
- Dmuchowsky, J. (2016). *Actas del Primer Congreso Argentino de Transporte*. Argentina: UBA
- Guayasamin, G. (2010). *Física: Ciencia Fundamental*. EE. UU.: Exlibris Corporation
- Hernández, Fernández y Baptista (2010). *Metodología de la investigación científica*. México: Mc Graw-Hill.
- Manco, T. (2014). *Desarrollo de ingeniería para mejorar la confiabilidad y optimización del sistema de dosificación de DRA en el STD por ductos de TGP*. VIII Ingepet 2014.
- Marcelo, J. (2006). *Gas natural licuado tecnología y mercado*. Argentina: Instituto

- McCabe W. y Smith J. (1981) *Operaciones básicas de ingeniería química*. Barcelona: Reverté S.A.
- Mohitpour, M., Szabo, J. y Van Hardeveld, T. (2005). *Pipeline Operation & Maintenance: A practical Approach*. New York: ASME PRESS.
- Mott, R. (2006). *Mecánica de fluidos*. México: Pearson
- Osinergmin (2015). *Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería*.
http://gasnatural.osinerg.gob.pe/contenidos/consumidores_industriales/alcance_lab_ores-transporte_gas_natural_liquidos.html
- Otto, L. (2013) *Fuerza de fricción*: EE. UU.: Exlibris Corporation
- Parra, E. (2009). *Petróleo y Gas Natural*. España: Akal
- Pérez, J. y Merino, M. (2011). *Definición de reducción*. EE. UU.: Mc Graw-Hill.
- Sánchez, E. (2006). *El comportamiento económico del mercado del petróleo*. España: Diaz de Santos
- Trujillo, R. (2003). *Hidrocarburos manejo seguro*. Colombia: Ecoe Ediciones
- Yuni, J. y Urbano, C. (2006) *Técnicas para investigar: recursos metodológicos para la preparación de proyectos de investigación*. Córdoba: Brujas.

XI. ANEXOS

Anexo 1: Matriz de consistencia

Título: Influencia del reductor de fricción en la capacidad del sistema de transporte de líquidos de gas natural Malvinas – Pisco

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLE	METODOLOGIA
<p>Problema General:</p> <p>¿Cómo influye el reductor de fricción en la capacidad del Sistema de Transporte de Líquidos de Gas Natural Malvinas – Pisco?</p>	<p>Objetivo General:</p> <p>Determinar la influencia del reductor de fricción en la capacidad del sistema de transporte Malvinas – Pisco.</p>	<p>Hipótesis General:</p> <p>El reductor de fricción influye positivamente en el incremento de la capacidad del sistema de transporte Malvinas – Pisco.</p>	<p>Variables:</p> <p>Variable Independiente: Reductor de Fricción.</p> <p>Indicadores:</p> <p>X1 – 12 partes por millón (12 ppm) X2 – 27 partes por millón (27 ppm) X3 – 48 partes por millón (48 ppm) X4 – 80 partes por millón (80 ppm) X5 – 90 partes por millón (90 ppm)</p> <p>Variable Dependiente:</p> <p>Capacidad del Sistema de Transporte.</p> <p>Indicadores:</p> <p>Y1 – 85,000 barriles por día de LGN transportado (85 mbpd). Y2 – 100,000 barriles por día de LGN transportado (100 mbpd). Y3 – 110,000 barriles por día de LGN transportado (110 mbpd). Y4 – 120,000 barriles por día de LGN transportado (120 mbpd). Y5 – 130,000 barriles por día de LGN transportado (130 mbpd).</p>	<p>Tipo de Estudio:</p> <p>Básica</p> <p>Diseño de Estudio:</p> <p>No Experimental – Correlacional Causal</p> <p>Diagrama:</p> <p>Vi → Vd</p> <p>Vi = Reductor de Fricción. Vd = Capacidad del Sistema de Transporte.</p> <p>Método:</p> <p>Hipotético Deductivo</p>
<p>Problema Específico:</p> <p>¿Cómo influye el reductor de fricción con una dosis de 12 ppm en la capacidad del Sistema de Transporte Malvinas-Pisco?</p> <p>¿Cómo influye el reductor de fricción con una dosis de 27 ppm en la capacidad del Sistema de Transporte Malvinas-Pisco?</p> <p>¿Cómo influye el reductor de fricción con una dosis de 48 ppm en la capacidad del Sistema de Transporte Malvinas-Pisco?</p> <p>¿Cómo influye el reductor de fricción con una dosis de 80 ppm en la capacidad del Sistema de Transporte Malvinas-Pisco?</p> <p>¿Cómo influye el reductor de fricción con una dosis de 90 ppm en la capacidad del Sistema de Transporte Malvinas-Pisco?</p>	<p>Objetivo Específico:</p> <p>Determinar la influencia del reductor de fricción para una dosis de 12 ppm en la capacidad de transporte Malvinas – Pisco.</p> <p>Determinar la influencia del reductor de fricción para una dosis de 27 ppm en la capacidad de transporte Malvinas – Pisco.</p> <p>Determinar la influencia del reductor de fricción para una dosis de 48 ppm en la capacidad de transporte Malvinas – Pisco.</p> <p>Determinar la influencia del reductor de fricción para una dosis de 80 ppm en la capacidad de transporte Malvinas – Pisco.</p> <p>Determinar la influencia del reductor de fricción para una dosis de 90 ppm en la capacidad de transporte Malvinas – Pisco.</p>	<p>Hipótesis Específica:</p> <p>El reductor de fricción con dosis 12 ppm incrementa la capacidad del sistema de transporte Malvinas – Pisco en 20%.</p> <p>El reductor de fricción con dosis 27 ppm incrementa la capacidad del sistema de transporte Malvinas – Pisco en 40%.</p> <p>El reductor de fricción con dosis 48 ppm incrementa la capacidad del sistema de transporte Malvinas – Pisco en 55%.</p> <p>El reductor de fricción con dosis 80 ppm incrementa la capacidad del sistema de transporte Malvinas – Pisco en 70%.</p> <p>El reductor de fricción con dosis 90 ppm incrementa la capacidad del sistema de transporte Malvinas – Pisco en 85%.</p>		

Anexo 2: Pantallas resumen del sistema de transporte de LGN

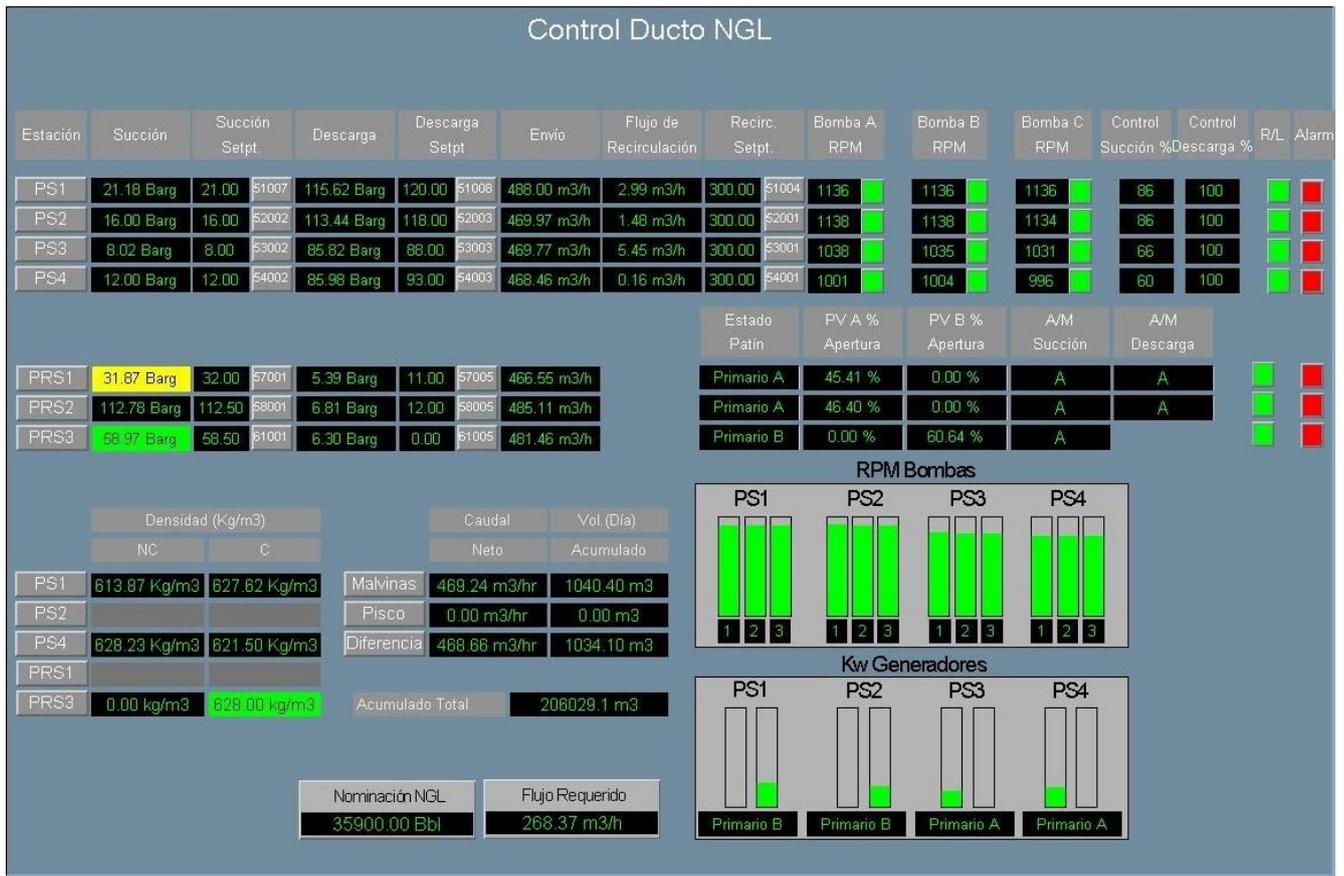


Figura 32: Pantalla resume ducto LGN – 70,836 BPD.

Prueba N°1 desarrollada el 04/07/08

Fuente: Tomado del registro de la compañía de transporte de LGN por ductos Malvinas – Pisco (2008)

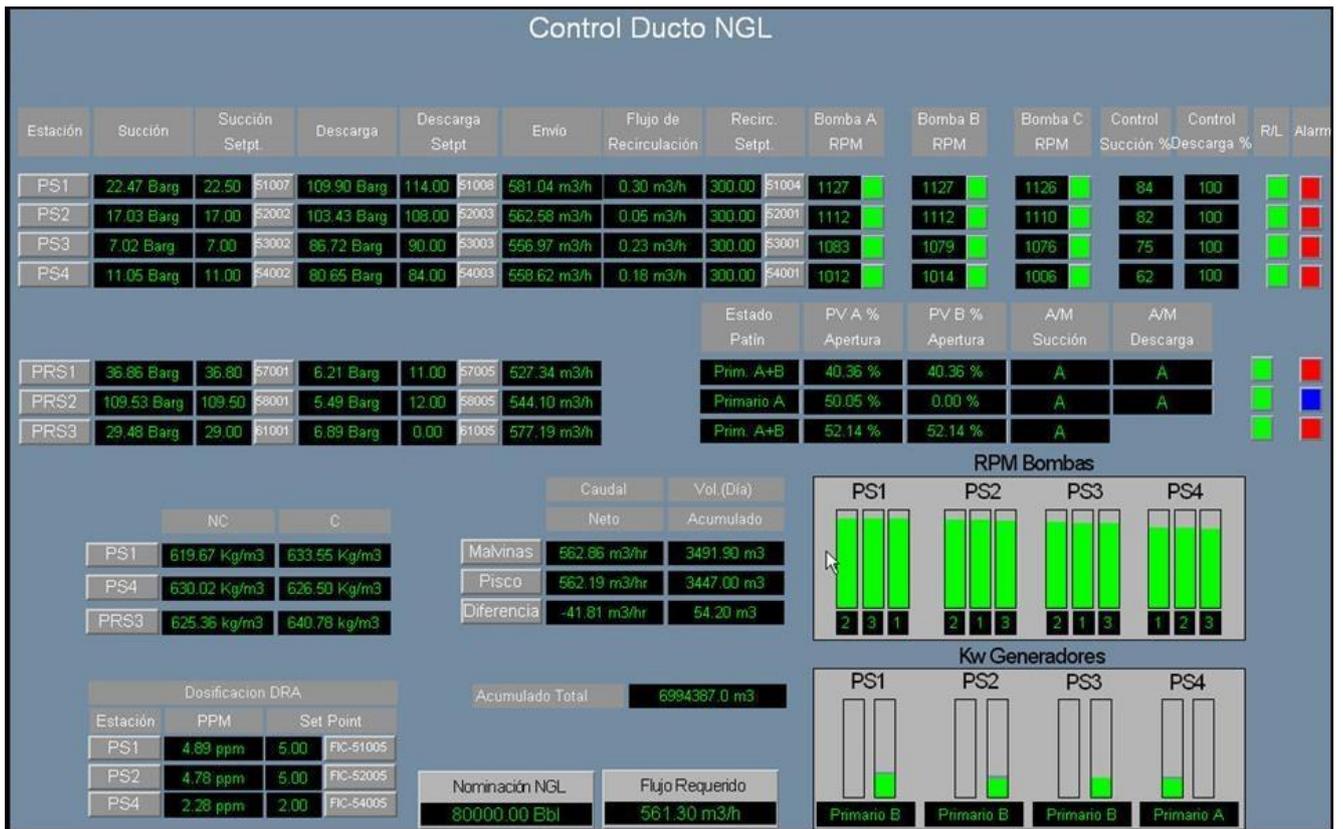


Figura 33: Pantalla resume ducto LGN – 84,969 BPD.

Prueba N° 2 desarrollada el 25/05/10

Fuente: Tomado del registro de la compañía de transporte de LGN por ductos Malvinas – Pisco (2010)



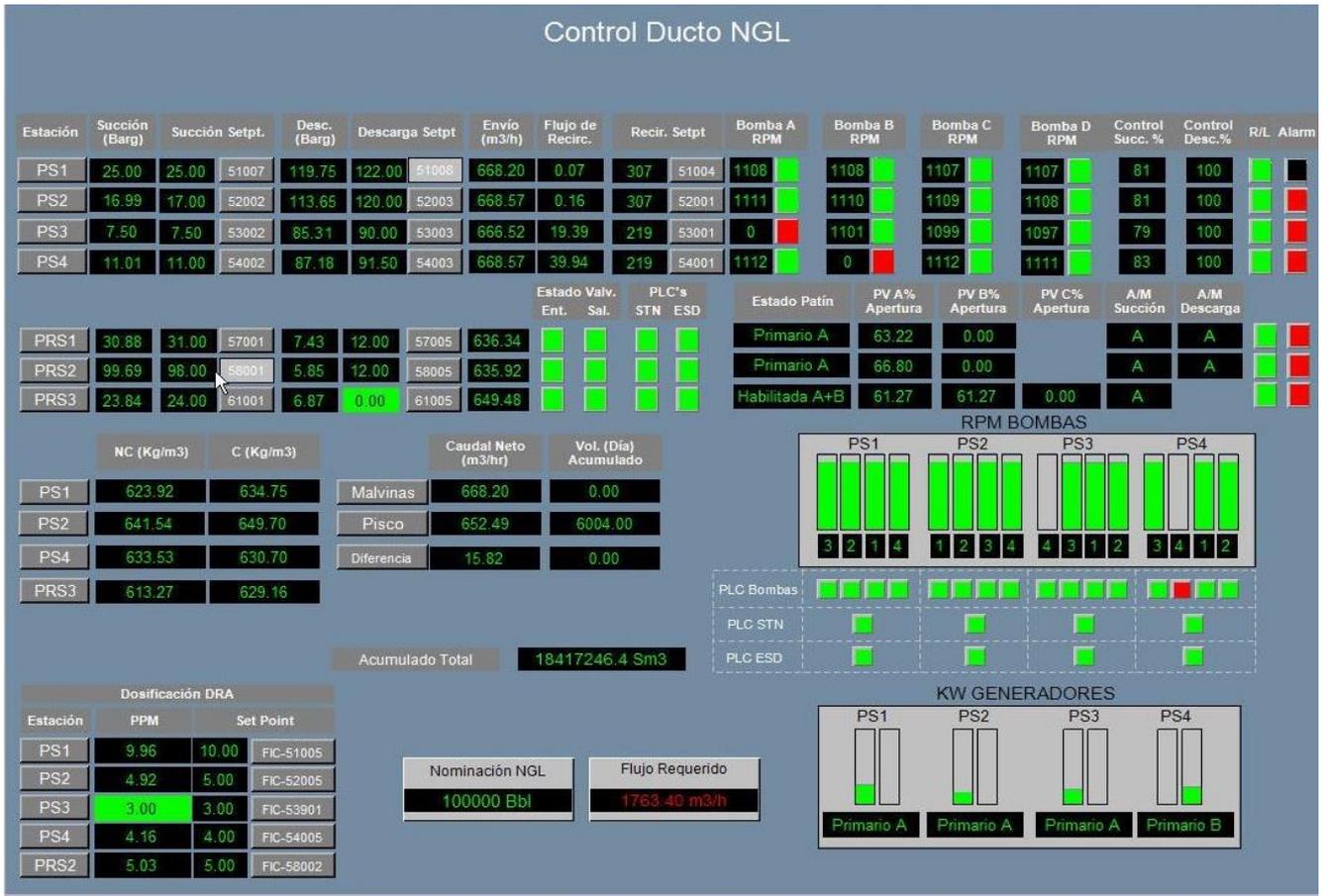


Figura 34: Pantalla resume ducto LGN – 100,871 BPD.

Prueba N° 3 desarrollada el 27/08/12

Fuente: Tomado del registro de la compañía de transporte de LGN por ductos Malvinas – Pisco (2012)

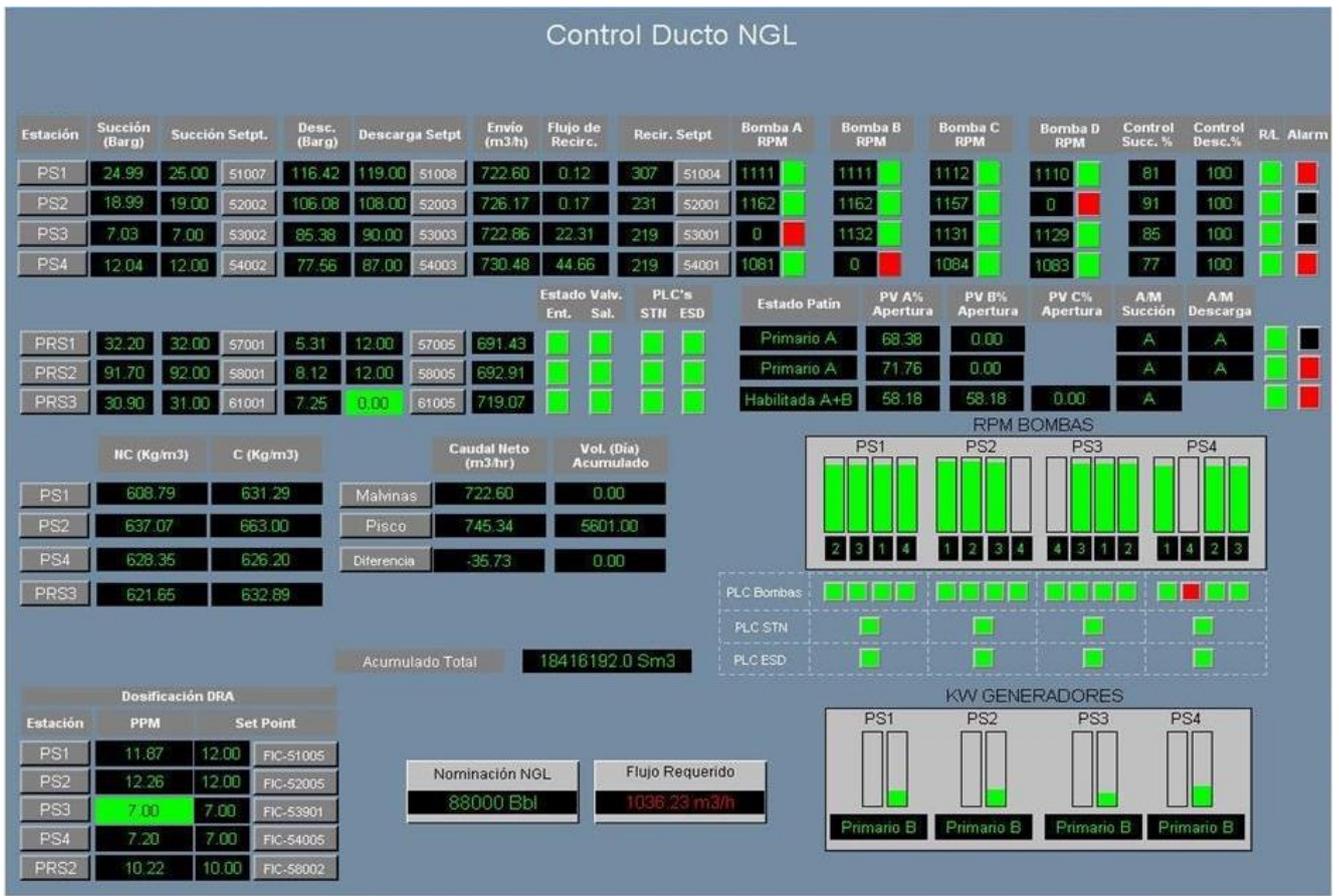


Figura 35: Pantalla resume ducto LGN – 109,084 BPD.

Prueba N° 4 desarrollada el 28/08/12

Fuente: Tomado del registro de la compañía de transporte de LGN por ductos Malvinas – Pisco (2012)

Anexo 3: Ficha de registro

FICHA DE REGISTRO				
Muestra	Teórica		Registro Real	
	Dosificación de DRA resultado de simulación	Caudal a Transportar de LGN	Dosificación Real de DRA Inyectado al STD	Caudal Real Transportado
1				
2				
3				
4				
5				
6				

Figura 38: Ficha de registro

Fuente: Elaboración propia





HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD DEL MATERIAL

1. Identificación del producto y la compañía

Nombre del producto	: FLO MXC PIPELINE BOOSTER
Proveedor	: Baker Petrolite A Baker Hughes Company 12645 W. Airport Blvd. Sugar Land, TX 77478 Para Información y Hojas de Seguridad del Producto: 800-231-3606 (8:00 a.m. - 5:00 p.m. cst, Lunes – Viernes) 281-276-5400
Usos del material	: FLO MXC Especial: Aditivo Reductor de Fricción en
Código	: conductos.
Fecha de validación	: 6/4/2012.
Fecha de impresión	: 6/4/2012.
Versión	: 1
Nombre del responsable	: Asuntos Reguladores Globales - Telephone 281-276-5400 o 800-231-3606
En caso de emergencia	: CHEMTREC: 800-424-9300 (ESTADOS UNIDOS 24 horas) Baker Petrolite: 800-231-3606 (Norteamérica 24 horas) CANUTEC: 613-996-6666 (Canada 24 hour) Chemtrec Internacional: 01-703-527-3887 (24 horas Internacional) CHEMTREC Int'l 01-703-527-3887 (América latina 24 horas) Venezuela 58-212-277-2222 (Venezuela 24 horas)

2. Identificación de peligros

Estado físico	: Líquido. [Opaco.]
Olor	: Leve. Dulce.
Color	: Blanco.
Visión general de la Emergencia	: ¡ATENCIÓN! LIQUIDO Y VAPOR COMBUSTIBLE. LA INHALACIÓN CAUSA DOLOR DE CABEZA, MAREOS, SOMNOLENCIA Y NÁUSEAS Y PUEDE PROVOCAR LA PÉRDIDA DE CONSCIENCIA. CAUSA IRRITACIÓN DEL TRACTO RESPIRATORIO. PUEDE SER NOCIVO SI ES ABSORBIDO POR LA PIEL. PUEDE CAUSAR IRRITACIÓN OCULAR Y EPITELIAL. EL CONTACTO PROLONGADO O REPETIDO PUEDE RESECAR LA PIEL Y CAUSAR IRRITACIÓN. NOCIVO O FATAL SI SE INGIERE. PUEDE PENETRAR EN PULMONES Y CAUSAR DAÑO. CONTIENE MATERIAL QUE PUEDE CAUSAR DAÑO A ÓRGANOS DIANA, DE ACUERDO A LOS DATOS EN ANIMALES. PELIGRO DE ASPIRACIÓN. En las temperaturas elevadas, los vapores pueden formar una mezcla inflamable o explosiva con aire. Puede formar mezclas explosivas en las temperaturas en o sobre el punto de inflamación. Las descargas estáticas pueden causar la ignición o la explosión cuando el envase no es consolidado. Mantener alejado del calor, chispas y llamas. No respire los vapores o nieblas. No ingerir. Procurar que no se introduzca en los ojos. Evite el contacto con la piel y la ropa. Use sólo con ventilación adecuada. Mantener el contenedor bien cerrado y sellado hasta el momento de usarlo. Lávese completamente después del manejo. Los vapores pueden desplazarse a la fuente de encendido y hacer retroceder la llama. Para evitar fuego o explosión, disipar electricidad estática durante la transferencia poniendo a tierra y uniendo los envases y el equipo antes de transferir el material.
Vías de absorción	: Contacto cutáneo. Contacto con los ojos. Inhalación.
Efectos agudos potenciales en la salud	
Inhalación	: Puede causar una depresión del sistema nervioso central (SNC). Irrita las vías respiratorias.
Ingestión	: Puede causar una depresión del sistema nervioso central (SNC). Peligro de aspiración si se ingiere. Puede alcanzar los pulmones y causar daños.

2. Identificación de peligros

- Piel** : Nocivo por contacto con la piel. Moderadamente irritante para la piel.
Ojos : Moderadamente irritante para los ojos.

Efectos crónicos potenciales en la salud

- Efectos crónicos** : Contiene material que puede causar daño a órganos diana, de acuerdo a los datos en animales. El contacto prolongado o repetido puede desengrasar la piel y conducir a irritación, agrietamiento y/o dermatitis.
- Órganos vitales** : Contiene material que puede causar daño a los órganos siguientes: membranas mucosas, tracto respiratorio superior, piel, ojos, sistema nervioso central (SNC).

Signos/síntomas de sobreexposición

- Inhalación** : irritación del tracto respiratorio, náusea o vómito, tos, dolor de cabeza, somnolencia/cansancio, mareo/vértigo, inconsciencia
- Ingestión** : náusea o vómito
- Piel** : irritación, enrojecimiento, sequedad, agrietamiento
- Ojos** : irritación, lagrimeo, enrojecimiento
- Condiciones médicas agravadas por sobreexposición** : Desórdenes preexistentes implicando cualquier órgano diana que se encuentre en riesgo mencionado en esta FDS pueden ser agravados por la sobreexposición a este producto.

Veá la sección 11 para la Información Toxicológica

3. Composición/información sobre los componentes

<u>Nombre</u>	<u>Número CAS</u>	<u>%</u>
Alquilo alcohol	Secreto de fabricación.	17 - 46
Hexilenglicol	107-41-5	24 - 53
Alfa-olefina	Secreto de fabricación.	1 - 5
Alfa-olefina	Secreto de fabricación.	1 - 5

4. Medidas de primeros auxilios

- Contacto con los ojos** : Obtenga atención médica inmediatamente. Lave abundantemente con agua por lo menos 15 minutos, levantando los párpados superior e inferior de vez en cuando.
- Contacto con la piel** : En caso de contacto, lave abundante con agua por lo menos durante 15 minutos mientras se quita la ropa contaminada y los zapatos. Lavar la ropa antes de volver a usarla. Limpiar el calzado completamente antes de volver a usarlo. Obtenga atención médica inmediatamente.
- Inhalación** : Transladar a la persona afectada al aire libre. Si no hay respiración, ésta es irregular u ocurre un paro respiratorio, el personal capacitado debe proporcionar respiración artificial u oxígeno. Aflojar todo lo que pudiera estar apretado, como el cuello de una camisa, una corbata, un cinturón. Obtenga atención médica inmediatamente.
- Ingestión** : Lave la boca con agua. No inducir al vómito a menos que lo indique expresamente el personal médico. No suministrar nada por vía oral a una persona inconsciente. Obtenga atención médica inmediatamente.
- Protección del personal de primeros auxilios** : No se tomará ninguna medida que implique algún riesgo personal o que no contemple el entrenamiento adecuado. Si se sospecha que los vapores continúan presentes, la persona encargada del rescate deberá usar una máscara adecuada o un aparato de respiración autónoma. Sería peligroso a la persona que proporcione ayuda dar resucitación boca-a-boca. Úsense indumentaria y guantes de protección adecuados. Quítese la ropa y calzado contaminados.

Información adicional

Si el producto es ingerido y el vomito ocurre naturalmente, hacer que la persona se incline hacia adelante a los efectos de reducir el riesgo de aspiración dentro de los pulmones.

5 . Medidas de lucha contra incendios

- Inflamabilidad del producto** : Líquido combustible. En caso de incendio o calentamiento, ocurrirá un aumento de presión y el recipiente estallará, con el riesgo de que ocurra una explosión. El vapor o gas es más pesado que el aire y se extenderá por el suelo. Los vapores pueden acumularse en áreas bajas o cerradas o desplazarse una distancia considerable hacia la fuente de encendido y producir un retroceso de llama.
- Medios de extinción**
- Apropiado(s)** : Utilizar polvo químico seco, CO₂, agua pulverizada o espuma (neblina).
- No apropiado(s)** : No usar chorro de agua.
- Riesgos especiales de exposición** : En caso de incendio, aísle rápidamente la zona evacuando a todas las personas de las proximidades del lugar del incidente. No se tomará ninguna medida que implique algún riesgo personal o que no contemple el entrenamiento adecuado. Desplazar los contenedores lejos del incendio si esto puede hacerse sin riesgo. Use agua pulverizada para refrigerar los envases expuestos al fuego.
- Productos de descomposición térmica peligrosos** : dióxido de carbono, monóxido de carbono, óxidos del nitrógeno
- Equipo de protección especial para los bomberos** : Los bomberos deben llevar equipo de protección apropiado y un equipo de respiración autónomo con una máscara facial completa que opere en modo de presión positiva.

6 . Medidas en caso de vertido accidental

- Precauciones personales** : No se tomará ninguna medida que implique algún riesgo personal o que no contemple el entrenamiento adecuado. Evacuar los alrededores. No deje que entre el personal innecesario y sin protección. No toque o camine sobre el material derramado. Apagar todas las fuentes de ignición. Ni bengalas, ni humo, ni llamas en el área de riesgo. No respire los vapores o nieblas. Proporcione ventilación adecuada. Llevar un aparato de respiración apropiado cuando el sistema de ventilación sea inadecuado. Use el equipo de protección personal adecuado (vea la Sección 8).
- Precauciones ambientales** : Evite la dispersión del material derramado, su contacto con el suelo, el medio acuático, los desagües y las alcantarillas.
- Métodos para limpieza**
- Derrame pequeño** : Detener la fuga si esto no presenta ningún riesgo. Retire los envases del área del derrame. Absorber con un material inerte. Use herramientas a prueba de chispas y equipo a prueba de explosión. Disponga por medio de un contratista autorizado para la disposición.
- Gran derrame** : Detener la fuga si esto no presenta ningún riesgo. Retire los envases del área del derrame. Aproximarse al vertido en el sentido del viento. Rodee con diques el vertido e impida que el producto llegue al sistema de alcantarillado y a las aguas superficiales o subterráneas. Notifíquelo a las autoridades. (Consulte la sección 12 sobre riesgos del medio ambiente y la 13 para información sobre el desechado) Detener y recoger los derrames con materiales absorbentes no combustibles, como arena, tierra, vermiculita o tierra de diatomeas, y colocar el material en un envase para desecharlo de acuerdo con las normativas locales (ver la sección 13). Use herramientas a prueba de chispas y equipo a prueba de explosión. Disponga por medio de un contratista autorizado para la disposición. El material absorbente contaminado puede presentar el mismo riesgo que el producto derramado. Nota: Véase la sección 1 para información de contacto de emergencia y la sección 13 para eliminación de desechos.

7 . Manejo y Almacenamiento

- Manipulación** : Use el equipo de protección personal adecuado (vea la Sección 8). Está prohibido comer, beber o fumar en los lugares donde se manipula, almacena o trata este producto. Las personas que trabajan con este producto deberán lavarse las manos y la cara antes de comer, beber o fumar. No respire los vapores o nieblas. No ingerir. Evite el contacto con los ojos, la piel y la ropa. Use sólo con ventilación adecuada. Mantener alejado del calor, chispas, llamas al descubierto, o de cualquier otra fuente de ignición. Use equipo eléctrico (de ventilación, iluminación y manipulación de materiales) a prueba de explosiones. Utilizar herramientas antichispa. Evitar la acumulación de cargas electrostáticas. Para evitar fuego o explosión, disipar electricidad estática durante la

6/4/2012.

FLOMXC

3/7

7. Manejo y Almacenamiento

transferencia poniendo a tierra y uniendo los envases y el equipo antes de transferir el material. Los envases vacíos retienen residuos del producto y pueden ser peligrosos. No vuelva a usar el envase.

- Almacenamiento** :
- Conservar de acuerdo con las normas locales. Almacenar en un área separada y homologada. Almacénese en un área seca, fresca y bien ventilada, lejos de los materiales incompatibles (véase sección 10). Eliminar todas las fuentes de ignición. Mantener separado de materiales oxidantes. Mantener el contenedor bien cerrado y sellado hasta el momento de usarlo. Los envases que han sido abiertos deben cerrarse cuidadosamente y mantenerse en posición vertical para evitar derrames. No almacenar en contenedores sin etiquetar. Utilícese un envase de seguridad adecuado para evitar la contaminación del medio ambiente.

8. Controles de exposición/protección personal

Límites de exposición laboral		TWA (8 horas)			LMPE-CT (15 mins)			Ceiling			Notations
Ingredientes:	Nombre de la lista	ppm	mg/m ³	Otro	ppm	mg/m ³	Otro	ppm	mg/m ³	Otro	
Hexilenglico	US ACGIH	-	-	-	-	-	-	25	121	-	
I Alfa-olefina	US ACGIH	50	-	-	-	-	-	-	-	-	

Consultar a los responsables locales competentes para conocer los valores mínimos considerados como aceptables.

Solamente los componentes de este producto con límites de exposición establecidos aparecen en la caja arriba.

- Procedimientos recomendados de control** :
- Si este producto contiene ingredientes con límites de exposición, puede ser necesaria la supervisión personal, del ambiente de trabajo o biológica para determinar la efectividad de la ventilación o de otras medidas de control y/o la necesidad de usar equipo respiratorio protector.
- Medidas técnicas** :
- Use sólo con ventilación adecuada. Utilizar recintos de proceso, sistemas de ventilación locales, u otros procedimientos de ingeniería para mantener la exposición del obrero a los contaminantes aerotransportados por debajo de todos los límites recomendados o estatutarios. Utilizar equipo de ventilación anti-exposición.
- Medidas higiénicas** :
- Lave las manos, antebrazos y cara completamente después de manejar productos químicos, antes de comer, fumar y usar el lavabo y al final del período de trabajo. Verifique que las estaciones de lavado de ojos y duchas de seguridad se encuentren cerca de las estaciones de trabajo. Quitar la ropa contaminada y lavarla antes de volverla a usar.
- Respiratoria** :
- Si un gravamen de riesgo indica es necesario, utiliza un respirador correctamente cabido, purificador de aire o suministrado del aire que se conforma con un estándar aprobado. La selección del respirador se debe basar en el conocimiento previo de los niveles, los riesgos de producto y los límites de trabajo de seguridad del respirador seleccionado.
- Manos** :
- Guantes químicamente resistentes.
- Ojos** :
- Anteojos de la seguridad de los productos químicos del desgaste. Cuando visera material de transferencia del desgaste además de anteojos de la seguridad de los productos químicos.
- Piel** :
- Póngase manguitos largos y otra ropa protectora para evitar el contacto repetido o prolongado con la piel.

9. Propiedades físicas y químicas

Estado físico	: Líquido. [Opaco.]
Punto de Inflamación	: Vaso cerrado: 73.89°C (165°F) [SFCC]
Temperatura de autoignición	: No disponible.
Límites de inflamabilidad	: No disponible.
Color	: Blanco.
Olor	: Leve. Dulce.
pH	: No disponible.
Punto de ebullición/condensación	: No disponible.
Punto Inicial de Ebullición	: No disponible.
Punto de fusión/congelación	: No disponible.
Densidad relativa	: 0.839 (20°C)
Densidad	: 7.0121 (lbs/Galones)
Densidad de vapor	: >1 [Aire= 1]
Umbral del olor	: No disponible.
Índice de evaporación	: No disponible.
COV	: No disponible.
Viscosidad	: Dinámico (20°C): 800 cP
Solubilidad (Agua)	: No disponible.
Presión de vapor	: No disponible.
Punto de fluidez	: -31.11°C (-24°F)
Coefficiente de partición (LogKow)	: No disponible.

10. Datos sobre la estabilidad y la reactividad

Estabilidad química	: El producto es estable.
Posibilidad de reacciones peligrosas	: En condiciones normales de almacenamiento y uso, no ocurre reacción peligrosa.
Polimerización peligrosa	: Bajo condiciones normales de almacenamiento y uso, no ocurrirá una polimerización peligrosa.
Condiciones que deben evitarse	: Evitar todas las fuentes posibles de ignición (chispa o llama). No someta a presión, corte, suelde, suelde con latón, taladre, esmerile o esponja los envases al calor o fuentes térmicas. No permita que el vapor se acumule en áreas bajas o cerradas.
Materiales que deben evitarse	: Reactivo o incompatible con los siguientes materiales: materiales oxidantes.
Productos de descomposición peligrosos	: Bajo condiciones normales de almacenamiento y uso, no se deben producir productos de descomposición peligrosos.
Condiciones de reactividad	: Inflamable en la presencia de los siguientes materiales o condiciones: llamas abiertas, chispas y descargas estáticas y calor.

11. Información toxicológica

Toxicidad aguda

Nombre de producto o ingrediente	Resultado	Especies	Dosis	Exposición
Alquilo alcohol	DL50 Dérmica	Conejo	2000 mg/kg	-
	DL50 Oral	Rata	5000 mg/kg	-
Hexilenglicol	DL50 Oral	Rata	>3200 mg/kg	-
	DL50 Dérmica	Conejo	7890 mg/kg	-
Alfa-olefina	DL50 Oral	Rata	3700 mg/kg	-
	DL50 Dérmica	Conejo	10000 mg/kg	-
Alfa-olefina	DL50 Oral	Rata	10000 mg/kg	-
	DL50 Dérmica	Conejo	>2000 mg/kg	-

6/4/2012.

FLOMXC

5/7

11 . Información toxicológica

DL50 Oral	Rata	>5600 mg/kg	-
CL50 Inhalación Vapor	Rata	32000 ppm	4 horas
CL50 Inhalación Gas.	Rata	32000 ppm	4 horas

Toxicidad crónica Observaciones

1) Alquilo alcohol

No disponible.

2) Hexilenglicol

El Hexilen Glicol es un componente de este producto. El hexilen glicol afectó la fertilidad de los machos en ratas a las que se suministró vía oral, dosis de 148 to 190 mg/kg/día durante 130 días. (Clayton & Clayton, 1982).

3) Alfa-olefina

No disponible.

4) Alfa-olefina

No disponible.

12 . Información ecológica

Ecotoxicidad acuática

<u>Nombre de producto o ingrediente</u>	<u>Resultado</u>	<u>Especies</u>	<u>Exposición</u>
Alquilo alcohol	Agudo CL50 12200 a 12900 ug/L Agua fresca	Pez - Fathead minnow - Pimephales promelas - Juvenile (Fledgling, Hatchling, Weanling) - 28 a 34 días - 0.12 g	96 horas
Hexilenglicol	Agudo EC50 2800000 a 3200000 ug/L Agua fresca	Dafnia - Pulga de agua - Ceriodaphnia reticulata - LARVAE - <24 horas	48 horas
Alfa-olefina	Agudo CL50 8000000 a 9100000 ug/L Agua de mar	Pez - Bleak - Alburnus alburnus - 8 cm	96 horas
	Crónico NOEC 10 mg/L Agua fresca	Dafnia - Pulga de agua - Daphnia magna - <24 horas	48 horas
	Crónico NOEC 10 mg/L Agua fresca	Pez - Zebra danio - Danio rerio - Young - 4 a 6 semanas - 3 cm	96 horas
<u>Conclusión/Sumario</u>	: No disponible.		
<u>Biodegradabilidad</u>	: No disponible.		
<u>Conclusión/Sumario</u>	: No disponible.		

13. Consideraciones sobre la eliminación

Eliminación de los desechos : Se debe evitar o minimizar la generación de desechos cuando sea posible. Los envases vacíos o los revestimientos pueden retener residuos del producto. Elimínense los residuos del producto y sus recipientes con todas las precauciones posibles. Disponga del sobrante y productos no reciclables por medio de un contratista autorizado para la disposición. La eliminación de este producto, sus soluciones y cualquier derivado deben cumplir siempre con los requisitos de la legislación de protección del medio ambiente y eliminación de desechos y todos los requisitos de las autoridades locales. Evite la dispersión del material derramado, su contacto con el suelo, el medio acuático, los desagües y las alcantarillas.

La eliminación debe ser de acuerdo con las leyes y regulaciones nacionales, regionales y locales correspondientes.

Refiérase a la Sección 7: MANEJO Y ALMACENAMIENTO y Sección 8: CONTROL DE EXPOSICIÓN Y PROTECCIÓN PERSONAL para información adicional sobre el manejo y la protección de los empleados.

6/4/2012.

FLOMXC

6/7

Fecha de impresión : 6/4/2012.

Indica la información que ha cambiado desde la edición de la versión anterior.

Aviso al lector

NOTA: La información de esta MSDS es basada en datos que son considerados precisos. Sin embargo, Baker Hughes no presenta ningún tipo de garantía, bien sea expresa o implícita de la precisión o integridad de esta información.

Las condiciones o métodos de manejo, almacenamiento, uso y disposición final del producto están fuera de nuestro control y posiblemente fuera de nuestro conocimiento. Por esta y otras razones, no asumimos responsabilidad y expresamente negamos responsabilidad por pérdida, daño y costo relacionados o alguna forma asociados con el manejo, almacenamiento y disposición final de este Producto.

Este MSDS fue preparado y es para ser usado para este producto. Si el producto es usado como componente de otro producto, esta información de MSDS puede no ser aplicable.

6/4/2012.

FLOMXC

7/7

Fuente: Tomado del registro de la compañía de transporte de LGN por ductos Malvinas – Pisco.

