

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**CARRERA DE INGENIERIA PETROLERA**



**PROYECTO DE GRADO**

**“DISEÑO Y CALCULO DEL LOOP DEL PCS PARA  
AMPLIAR LA CAPACIDAD DE TRANSPORTE DEL  
POLIDUCTO CAMIRI – SUCRE (PCS)”**

**POR: JHONNY MARCELO CHOQUE RAMIREZ**

**TUTOR: M.SC. PEDRO REYNALDO MARIN DOMINGUEZ**

**LA PAZ – BOLIVIA**

**2022**



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



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

**LICENCIA DE USO**

El usuario está autorizado a:

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

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

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

## **DEDICATORIA**

A nuestro Dios padre, a mis padres, hermanos y familiares que me fueron apoyando día a día con todo su aprecio, siempre me brindaron la ayuda cuando lo necesite y fomentaron valores que el estudio es un pilar fundamental para el crecimiento personal.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios por ayúdame en este nuevo paso cumplido en mi vida, a Ingeniero Pedro Reynaldo Marín Domínguez por guiarme en cada paso de esta nueva meta, a todos mis tribunales por toda su ayuda en la elaboración de este proyecto de grado por corregirme cuando cometí algunos errores y a mis amigos por compartir momentos gratos e inolvidables a mi lado de mi vida estudiantil en la carrera de Ingeniería Petrolera.

## INDICE GENERAL

<b>INDICE GENERAL</b> .....	<b>i</b>
<b>INDICE DE TABLAS</b> .....	<b>vii</b>
<b>INDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>viii</b>
<b>RESUMEN EJECUTIVO</b> .....	<b>xi</b>
<b>CAPITULO I</b> .....	<b>1</b>
<b>GENERALIDADES</b> .....	<b>1</b>
1.1. INTRODUCCION .....	1
1.2. ANTECEDENTES .....	2
1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	3
1.3.1. Identificación del problema .....	3
1.3.2. Formulación del problema .....	3
1.4. OBJETIVOS .....	3
1.4.1. Objetivo general.....	3
1.4.2. Objetivo específico.....	4
1.5. JUSTIFICACION .....	4
1.5.1. Justificación técnica .....	4
1.5.2. Justificación económica .....	4
1.5.3. Justificación social .....	4
1.6. ALCANCE .....	5
1.6.1. Alcance temático.....	5
1.6.2. Alcance geográfico .....	5
<b>CAPITULO II</b> .....	<b>6</b>
<b>FUNDAMENTO TEÓRICO</b> .....	<b>6</b>
2.1. Propiedades de Los Fluidos.....	6

2.1.1. Gravedad específica .....	6
2.1.2. Viscosidad .....	6
2.1.3. Presión de vapor.....	7
2.1.5. Tensión superficial .....	8
2.1.6. Cohesión.....	8
2.1.7. Capilaridad.....	8
2.1.8. Velocidad .....	9
2.2. Flujo de Fluidos en Tuberías.....	10
2.3.1. Implementación de un Loop en el poliducto.....	10
2.3.2. Agentes reductores de fricción .....	12
2.3.2.1. Funcionamiento del agente reductor de fracción .....	14
2.3.2.2. El uso de reductores de fricción.....	15
2.3.1. Estaciones de bombeo intermedias .....	15
2.4. Poliducto Camiri - Sucre .....	16
2.4.1. Descripción de las estaciones de Bombeo en el Poliducto Camiri - Sucre .....	16
2.4.1.1. Estación Chorety.....	16
2.4.1.2. Estación Monteagudo .....	17
2.4.1.3. Estación El Rosal.....	18
2.4.1.4. Estación Tarabuquillo .....	18
2.4.1.5. Estación Tapirani .....	19
2.5.1. Movilización .....	20
2.5.2. Recepción e inspección de materiales y equipos .....	20
2.5.3. Desbroce y apertura de la senda del ducto .....	20
2.5.4. Marcación del eje de la tubería.....	21

2.5.5. Desfile de tuberías .....	21
2.5.6. Soldadura e inspección de la soldadura .....	21
2.5.7. Revestimiento de la tubería .....	22
2.5.8. Inspección del revestimiento externo de la tubería .....	23
2.5.9. Apertura de la zanja.....	23
2.5.10. Bajada y tapado de la tubería .....	24
2.5.11. Señalización del ducto .....	24
2.6. PROTECCION CATODICA.....	25
2.6.1. Principios básicos de la protección catódica.....	25
2.6.2. Protección catódica por ánodos galvánicos de sacrificio .....	25
2.6.3. Protección catódica de corriente impresa (ICCP) .....	26
2.7. NORMA ASME B 31.4 .....	26
<b>CAPITULO III.....</b>	<b>27</b>
<b>ANALISIS DE LA PROYECCION DE LA DEMANDA DE HIDROCARBUROS LIQUIDOS REQUERIDOS PARA TRANSPORTAR EN POLIDUCTO CAMIRI - SUCRE.....</b>	<b>27</b>
3.1. ANALISIS DE LA DEMANDA DE HIDROCARBUROS LIQUIDOS EN EL POLIDUCTO CAMIRI – SUCRE EN EL PERIODO DE LOS PROXIMOS 20 AÑOS .....	27
3.1.1. Demanda en el poliducto Camiri – Sucre.....	27
3.1.2. Proyección de la demanda de hidrocarburos liquidas que se requieren transportar en el PCS .....	28
3.1.2.1. Predicción de la Demanda por el Modelo de Grey.....	28
3.2. ANALISIS DE LA OFERTA .....	31
<b>CAPITULO IV.....</b>	<b>33</b>
<b>APLICACIÓN PRACTICA DEL POLIDUCTO CAMIRI - SUCRE .....</b>	<b>33</b>

4.1. Diseño del Loop en el Poliducto CAMIRI – SUCRE.....	33
4.2. PERFIL LONGITUDINAL DEL LOOP EN EL POLIDUCTO CAMIRI – SUCRE .....	38
4.2.1. Caída de presión por fricción .....	38
4.2.2. Caída de presión por gravedad. ....	38
4.3. Características de Diseño del Loop en el PCS .....	47
4.3.1. Calculo del Espesor .....	47
4.4. Simulación del Loop en el PCS con Aspen Hysys v 8.8 .....	50
4.4.1. Tramo Chorety – Monteagudo .....	50
4.4.2. Tramo Monteagudo – El Rosal .....	54
4.4.3. Tramo El Rosal – Tarabuquillo .....	57
4.4.4. Tramo Tarabuquillo – Taipirani .....	60
4.4.5. Tramo Taipirani – Qhora Qhora.....	63
4.5. Análisis de Los Resultados Obtenidos con el Simulador y El Método Analítico .....	66
4.6. Análisis FODA al Proyecto .....	67
4.6.1. Fortalezas .....	67
4.6.2. Debilidades .....	67
4.6.3. Oportunidades .....	67
4.6.4. Amenazas.....	68
<b>CAPITULO V.....</b>	<b>69</b>
<b>NORMATIVA AMBIENTAL PARA LA CONSTRUCCION DE POLIDUCTOS .....</b>	<b>69</b>
5.1. Normativa Ambiental.....	69
5.1.1. Selección de Vía .....	69
5.1.2. Consideraciones en La Selección de Vía .....	70
5.1.3. Planificación y Selección de Vía .....	70



5.1.4. Levantamiento Topográfico .....	70
5.1.5. Desbroce y Nivelación del Terreno .....	71
5.1.6. Remoción y Almacenamiento del Suelo .....	71
5.1.7. Instalación y Manipuleo de La Tubería .....	72
5.1.8. Relleno de La Zanja.....	72
5.1.9. Prueba Hidrostática .....	73
5.1.10. Construcción de Ductos en Los Cruces.....	73
5.1.11. Instalación de Equipos en La Construcción del Ducto en Los Cruces	74
5.1.12. Manejo de Desechos Sólidos y Líquidos .....	74
5.1.13. Operación y Mantenimiento .....	75
5.1.14. Limpieza y Restauración del Lugar.....	75
<b>CAPÍTULO VI.....</b>	<b>77</b>
<b>ANÁLISIS ECONÓMICO .....</b>	<b>77</b>
6.1. Inversión del Proyecto.....	77
6.2. Flujo de Caja.....	78
6.3. El Valor Actual Neto .....	79
6.4. Tasa Interna de Retorno .....	79
<b>CAPITULO VII.....</b>	<b>82</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>82</b>
7.1. Conclusiones.....	82
7.2. Recomendaciones .....	83
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>84</b>
<b>Anexo A.....</b>	<b>87</b>
<b>DISEÑO MECÁNICO DE POLIDUCTOS.....</b>	<b>87</b>
<b>ANEXO B .....</b>	<b>93</b>

<b>TABLA DE TUBERIAS API 5LX-42.000 .....</b>	<b>93</b>
<b>Anexo C.....</b>	<b>97</b>
<b>PERFIL LONGITUDINAL.....</b>	<b>97</b>
<b>Anexo D.....</b>	<b>114</b>
<b>DETALLES DEL ESTUDIO ECONÓMICO .....</b>	<b>114</b>

## INDICE DE TABLAS

Tabla 3.1: Proyección de la demanda de hidrocarburos líquidos que se transportaran por el PCS.....	30
Tabla 4.1: Datos del Loop Camiri – Sucre en el tramo Chorety - Monteagudo .....	35
Tabla 4.2: Datos del Loop Camiri – Sucre en el tramo Chorety - Monteagudo .....	35
Tabla 4.3: Iteración del diámetro equivalente.....	37
Tabla 4.4: Perfil de presión en el tramo Chorety – Monteagudo .....	39
Tabla 4.5: Perfil de presión en el tramo Chorety – Monteagudo .....	40
Tabla 4.6: Caída de presión del Loop en PCS .....	41
Tabla 4.7: Características del Loop en el PCS.....	49
Tabla 4.8: Longitud y Elevaciones de tubería del Loop en el tramo Choreti - Monteagudo .....	51
Tabla 4.9: Longitud y Elevaciones de tubería del Loop en el tramo Monteagudo – El Rosal .....	54
Tabla 4.10: Longitud y Elevaciones de tubería del Loop en el tramo El Rosal - Tarabuquillo.....	57
Tabla 4.11: Longitud y Elevaciones de tubería del Loop en el tramo Tarabuquillo - Taipirani .....	60
Tabla 4.12: Longitud y Elevaciones de tubería del Loop en el tramo Taipirani – Qhora Qhora .....	63
Tabla 4.13: Características del Loop en el PCS en el tramo Choreti - Monteagudo .....	66
Tabla 4.14: Características del Loop en el PCS en el tramo Choreti - Monteagudo .....	66
Tabla 6.1: Inversión de proyecto .....	77
Tabla 6.2: Flujo de Caja del Proyecto .....	78

## INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Viscosidad de fluido newtoniano .....	6
Figura 2.2.: Cartas de la presión de vapor .....	7
Figura 2.3: Flujo laminar y turbulento .....	9
Figura 2.4: Flujo de fluidos a través de tuberías.....	10
Figura 2.5: Sistema de tuberías en paralelo.....	11
Figura 2.6: Equipo de agentes reductores de fricción .....	12
Figura 2.7: Inyección del agente reductor de fricción en una tubería .....	13
Figura 2.8: Inyección del agente reductor de fricción .....	14
Figura 2.9: Vista preliminar área de bombeo en la Estación Chorety.....	17
Figura 2.10: Vista preliminar área de bombeo en la Estación Monteagudo .....	17
Figura 2.11: Vista preliminar área de bombeo en la Estación El Rosal.....	18
Figura 2.13: Vista preliminar área de bombeo en la Estación Tarabuquillo .....	18
Figura 2.14: Vista preliminar área de bombeo en la Estación Tapirani .....	19
Figura 2.15: Construcción de Ductos .....	19
Figura 2.16: Tendido de Tuberías .....	21
Figura 2.17: Revestimiento de la Tubería .....	22
Figura 2.18: Apertura de la Zanja.....	23
Figura 3.1: Volumen transportado por el poliducto Camiri – Sucre .....	27
Figura 3.2: Proyección de la demanda.....	31
Figura 4.1: Perfil de presión del PCS en el tramo Chorety – Monteagudo .....	40
Figura 4.2: Perfil longitudinal del Loop en el poliducto PCS.....	47
Figura 4.3: Datos de alimentación del Loop en el poliducto PCS en el tramo Chorety - Monteagudo .....	50
Figura 4.4: Datos del Loop en el poliducto PCS en el tramo Choreti - Monteagudo .....	51

Figura 4.5: Loop del PCS en el tramo Choretí - Monteagudo.....	52
Figura 4.6: Datos del fluido en Monteagudo.....	52
Figura 4.7: Sistema de bombeo implementado en la ubicación Monteagudo .....	53
Figura 4.8: Datos del fluido posteriores al sistema de bombeo implementado en Monteagudo .....	53
Figura 4.9: Datos del Loop en el poliducto PCS en el tramo Monteagudo – El Rosal .....	54
Figura 4.10: Loop del PCS en el tramo Monteagudo – El Rosal .....	55
Figura 4.11: Datos del fluido en El Rosal .....	55
Figura 4.12: Sistema de bombeo implementado en la ubicación El Rosal.....	56
Figura 4.13: Datos del fluido posteriores al sistema de bombeo implementado en El Rosal .....	56
Figura 4.14: Datos del Loop en el poliducto PCS en el tramo El Rosal - Tarabuquillo .....	57
Figura 4.15: Loop del PCS en el tramo El Rosal - Tarabuquillo .....	58
Figura 4.16: Datos del fluido en Tarabuquillo .....	58
Figura 4.17: Sistema de bombeo implementado en la ubicación Tarabuquillo .....	59
Figura 4.18: Datos del fluido posteriores al sistema de bombeo implementado en Tarabuquillo.....	59
Figura 4.19: Datos del Loop en el poliducto PCS en el tramo Tarabuquillo - Taipirani .....	60
Figura 4.20: Loop del PCS en el tramo Tarabuquillo - Taipirani.....	61
Figura 4.21: Datos del fluido en Taipirani .....	61
Figura 4.22: Sistema de bombeo implementado en la ubicación Taipirani .....	62
Figura 4.23: Datos del fluido posteriores al sistema de bombeo implementado en Taipirani .....	62

Figura 4.24: Datos del Loop en el poliducto PCS en el tramo Taipirani – Qhora Qhora .....	63
Figura 4.25: Loop del PCS en el tramo Taipirani Qhora Qhora.....	64
Figura 4.26: Datos del fluido en Qhora Qhora.....	64
Figura 4.27: Loop en el PCS .....	65

## RESUMEN EJECUTIVO

El sistema de transporte por ductos con el objetivo de trasladar hidrocarburos hasta un punto objetivo desde una fuente de abastecimiento de materia prima, bajo un costo razonable con una conformidad del consumidor, En el Presente proyecto consta de 7 capítulos, desde su información del transporte por hidrocarburos por ductos hasta el análisis de viabilidad del proyecto.

En el Capítulo I, se analizó los aspectos fundamentales del proyecto, la introducción, antecedentes, objetivos y justificación del mismo.

En el Capítulo II, se realizó un repaso del fundamento teórico y las características del poliducto Camiri – Sucre.

En el Capítulo III, se analizó la proyección del volumen transportado según la demanda que se tendrá hasta 2041, esta proyección se lo realizara con el modelo de Gray.

En el Capítulo IV, se analizó el diseño de manera analítica y mediante el simulador Aspen Hysys, con ambos resultados se realizó una comparación de ambos resultados.

En el Capítulo V, es netamente teórico indicando las características que se requieren en la construcción de ductos según la normativa ambiental. Desde las consideraciones de la vía hasta la limpieza del lugar.

En el Capítulo VI, se analizó la viabilidad del proyecto con las variables económicas: TIR, VNA y el periodo de recuperación de la inversión.

En el Capítulo VII, se realizó las conclusiones y recomendaciones del proyecto.

El proyecto consta de cuatro anexos, el Anexo A es para mostrar el diseño mecánico del Loop con sus respectivas ecuaciones, el Anexo B indica la tabla de tuberías, el Anexo C tiene las características el perfil longitudinal y finalmente el Anexo D indica los detalles del estudio económico.

# CAPITULO I

## GENERALIDADES

### 1.1. INTRODUCCION

El sistema de transporte por ductos con el objetivo de trasladar hidrocarburos hasta un punto objetivo desde una fuente de abastecimiento de materia prima, estos están ampliamente diseñados para permitir el acceso a la energía a todos bajo un costo razonable con una conformidad con el medio ambiente en el proceso, esta manera de transporte no produce emisiones a la atmosfera, agua y el suelo.

En el transporte de hidrocarburos líquidos es muy común el uso de reductores de fricción en sus operaciones, pues es una las opciones más importantes de incremento de capacidad de un sistema de transporte debido a su fácil implementación a un sistema ya existente y a su apreciada capacidad de reducir las pérdidas por fricción en la tubería.

Sin embargo, se debe tener en cuenta que existe una relación entre el consumo de este reductor de fricción con el consumo energético del sistema, así como también con la forma de operación del mismo, esto implica que siempre hay una oportunidad de optimización energética si lo que se busca es ser más eficiente en la operación del ducto.

La innovación en el transporte tiende a acelerarse en todo el mundo. Los automóviles y camiones ligeros se vuelven cada vez más eficientes. Los trenes motrices de los vehículos y los combustibles utilizados están cambiando al incorporarse modelos híbridos, así como otros que utilizan gas natural, electricidad e hidrógeno.

La operación de ductos de líquidos en general es muy cara. Los costos de energía eléctrica, otros combustibles y agentes reductores de fricción (químicos asociados a la operación de ductos) están dentro de los mayores gastos para la empresa transportista. En algunos casos puede ser mayor al costo del personal.



## 1.2. ANTECEDENTES

El poliducto Camiri –Sucre, se lo conoce con las siglas OCS haciendo referencia a que aproximadamente se trataba de un oleoducto, actualmente se lo conoce como PCS haciendo referencia al uso de un poliducto.

El Poliducto Camiri – Sucre (PCS) fue construido entre 1947 y 1949, iniciando operaciones en 1949 como oleoducto. Actualmente el PCS, tiene por finalidad abastecer de combustibles a los Departamentos de Chuquisaca y Potosí transportando Diesel oíl, gasolina especial, gas licuado de petróleo, jet fuel y kerosene, cuenta con 1 estación de bombeo cabecera en Chorety – Camiri, luego son 4 estaciones intermedias en Monteagudo, El Rosal, Tarabuquillo y la estación terminal en Qhora Qhora.

La tecnología de las Unidades de Bombeo existentes, las cuales han sido diseñados para transporte petróleo, no reúnen las condiciones mínimas de seguridad por los productos que hoy en día se operan: el sistema actual de lubricación y sellos es intensivo en purgas al exterior, lo cual, al transportar Gas Licuado de Petróleo (denominado en adelante GLP) generan una atmósfera explosiva en Sala de Máquinas y alrededor atentando con la seguridad e integridad de las personas (operadoras, comunidades vecinales), bienes (estación, viviendas), medio ambiente e imagen corporativa de YPFB Transporte S.A..

Los equipos de las estaciones son obsoletos, teniendo hasta una antigüedad de 69 años los motores y bombas de marca Worthington, lo que obliga (al no contar con provisión suficiente de repuestos en el mercado) postergar y extender el intervalo entre mantenimientos preventivos o en el peor de los casos, ante la necesidad de un mantenimiento mayor se tengan que hacer fabricar las piezas en maestranzas locales o recuperar piezas desechadas anteriormente como es el caso de las bombas.

## **1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### ***1.3.1. Identificación del problema***

Una gran problemática de nuestro país en el pasado como fuente de energía se utilizaba el diésel y la gasolina, en los últimos años ha ido en aumento el consumo de hidrocarburos líquidos para diferentes sectores que van en ayuda al desarrollo del país.

Es muy importante conocer el consumo de hidrocarburos líquidos en los departamentos de Chuquisaca y Potosí y sus perspectivas futuras que se tendrá a nivel regional, conocer el comportamiento actual en el mercado para su inversión en el transporte de este fluido.

Actualmente las condiciones operativas del sistema y las facilidades que se cuentan en las estaciones del poliducto hacen que sea necesario utilizar las dos únicas unidades de bombeo en forma simultánea y paralelo para realizar el bombeo correspondiente, obteniendo una operación de 30 m<sup>3</sup>/h (4.528 BPD). Esto significa que, si alguna de las unidades de bombeo de cualquier Estación falla, por ser un sistema de bombeo en Serie, la inmediata reducción de los caudales de transporte y por ende el incumplimiento a los programas de bombeo y des-abastecimiento continuo de combustibles.

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

La ampliación de la capacidad del transporte del poliducto Camiri-Sucre (PCS) se realizará mediante un Loop el cual nos permitirá incrementar la capacidad de transporte para abastecer la demanda que se tiene de hidrocarburos líquidos en los departamentos de Chuquisaca y Potosí.

## **1.4. OBJETIVOS**

### ***1.4.1. Objetivo general***

Diseñar y calcular el Loop del PCS para ampliar la capacidad de transporte del poliducto Camiri – Sucre.

#### **1.4.2. Objetivo específico**

- Elaborar la proyección de la demanda de hidrocarburos líquidos en los departamentos de Chuquisaca y Potosí para un periodo de 20 años.
- Determinar la nueva capacidad del PCS en función a la demanda proyectada.
- Analizar los Agentes Reductores de Fricción como nueva tecnología para incrementar la capacidad de transporte del PCS.
- Analizar las variables para el diseño del Loop PCS.
- Realizar el análisis al diagrama de fases con los parámetros de operación del poliducto.
- Diseñar y simular el Loop Camiri - Sucre mediante el simulador Aspen Hysys.
- Realizar los cálculos mediante el software de simulación Aspen Hysys.
- Realizar un análisis FODA al proyecto.
- Realizar el análisis técnico - económico del proyecto.

#### **1.5. JUSTIFICACION**

##### **1.5.1. Justificación técnica**

Asegurar la continuidad operativa del sistema PCS y el abastecimiento de combustibles a las ciudades de Sucre y Potosí.

##### **1.5.2. Justificación económica**

El presente proyecto abarcara una inversión económica para nuestro país, esta inversión es necesaria, debido a que como país productor de gas natural antes de exportar este debemos velar por cada habitante boliviano que tenga acceso libre a los hidrocarburos líquidos.

##### **1.5.3. Justificación social**

Con el aumento en la capacidad de transporte de este poliducto, la construcción generada empleos directos e indirectos también se generada ingresos por conceptos de venta en el mercado interno.

La Ley de Hidrocarburos N° 3058 establece en su Artículo 10, los Principios del Régimen de los Hidrocarburos, entre los cuales se destaca el inciso d) Continuidad: que obliga a que el abastecimiento de los hidrocarburos y los servicios de transporte y distribución, aseguren satisfacer la demanda del mercado interno de manera permanente e ininterrumpida, así como el cumplimiento de los contratos de exportación.

## **1.6. ALCANCE**

### ***1.6.1. Alcance temático***

El presente proyecto en el diseño del Loop Camiri-Sucre de acuerdo a la bibliografía y a los datos que se tienen se completará a los planos actuales del poliducto, mediante el simulador Aspen Hysys analizaremos las variables del proceso de transporte en cada etapa del ducto.

### ***1.6.2. Alcance geográfico***

El proyecto de diseño del Loop Camiri-Sucre se encuentra ubicado en el departamento de Chuquisaca y Santa Cruz.

## CAPITULO II

### FUNDAMENTO TEÓRICO

#### 2.1. Propiedades de Los Fluidos

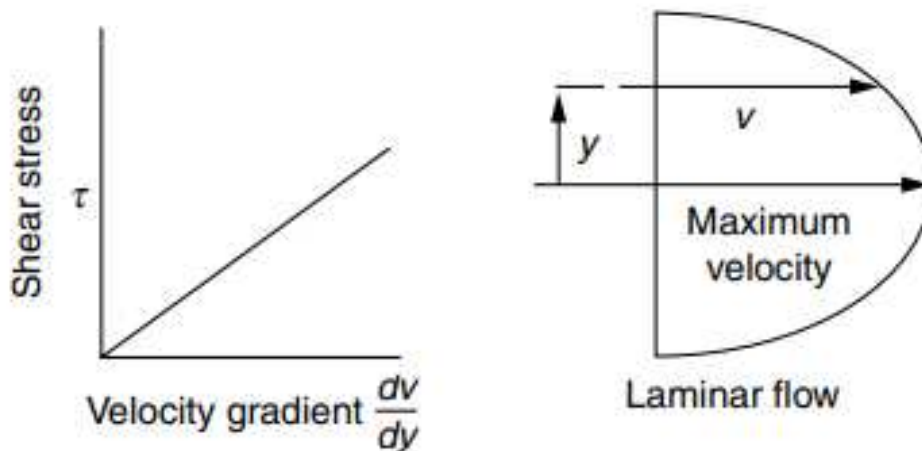
##### 2.1.1. Gravedad específica

La gravedad específica de los líquidos se puede representar como “GE”, la cual es la proporción de la densidad del fluido en relación a la densidad del agua a la temperatura de 4 C la cual tiene un valor de 1000 kg/m<sup>3</sup>, la gravedad específica tiene unidades adimensionales.

##### 2.1.2. Viscosidad

Si se aplica un esfuerzo cortante a cualquier porción de un fluido confinado, el fluido se moverá con un gradiente de velocidad con su velocidad máxima en el punto donde el esfuerzo es aplicado. Si el esfuerzo cortante local por unidad de área en cualquier punto se divide por la velocidad gradiente, la relación obtenida se define como la viscosidad del medio.

**Figura 2.1: Viscosidad de fluido newtoniano**



Fuente: (Sashi, 2006)

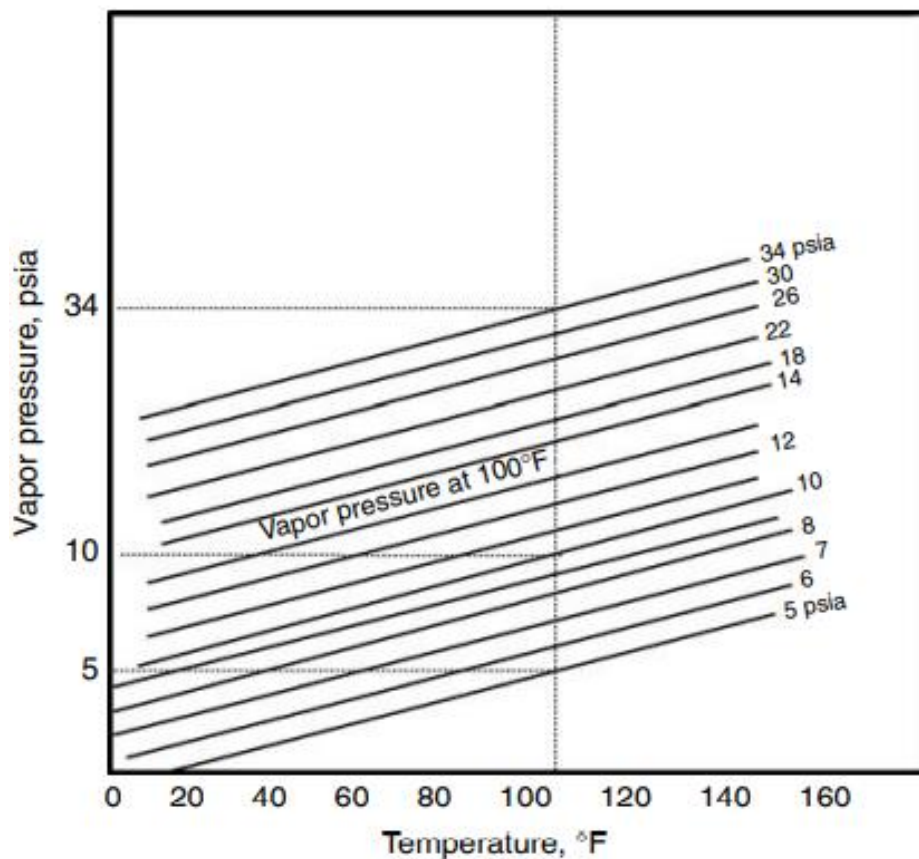
Por lo tanto, la viscosidad es una medida de la fricción interna del fluido, que tiende a oponerse a cualquier movimiento dinámico. cambio en el movimiento del fluido.

Una fuerza cortante aplicada dará como resultado una gran velocidad gradiente a baja viscosidad. El aumento de la viscosidad hace que cada capa de fluido ejerza un mayor arrastre por fricción en las capas adyacentes que a su vez disminuye el gradiente de velocidad.

### 2.1.3. Presión de vapor

La presión de vapor  $P_v$  de una sustancia pura se define como la presión ejercida por su vapor en equilibrio de fase con su líquido a una temperatura dada.  $P_v$  es una propiedad de la sustancia pura, y resulta ser idéntica a la presión de saturación  $P_{sat}$  del líquido ( $P_v = P_{sat}$ ). Debemos tener cuidado de no confundir la presión de vapor con la presión parcial. La presión parcial se define como la presión de un gas o vapor en una mezcla con otros gases.

Figura 2.2.: Cartas de la presión de vapor



Fuente: (Sashi, 2006)



Tenemos el ejemplo del aire atmosférico es una mezcla de aire seco y vapor de agua, y la atmósfera La presión es la suma de la presión parcial del aire seco y la presión parcial de vapor de agua La presión parcial del vapor de agua constituye una pequeña fracción (usualmente menos del 3 por ciento) de la presión atmosférica ya que el aire es mayormente nitrógeno y oxígeno. La presión parcial de un vapor debe ser menor o igual a la presión de vapor si no hay líquido presente.

### **2.1.5. Tensión superficial**

El límite entre una fase líquida y una fase gaseosa puede considerarse una tercera fase con propiedades distintas de las del líquido y el gas. Una imagen cualitativa de la capa superficial microscópica muestra que hay fuerzas desiguales que actúan sobre las moléculas; es decir, a bajas densidades de gas, las moléculas de la superficie se atraen lateralmente y hacia el líquido a granel, pero experimentan poca atracción en la dirección del gas a granel.

Así, la capa superficial está en tensión y tiende a contraerse al mínimo área compatible con la masa del material, las restricciones del contenedor y las fuerzas externas, por ejemplo, la gravedad.

La superficie de los líquidos tiene el comportamiento similar al de una membrana con resistencia a la ruptura, debido a esto se comprueba que existe una tensión superficial, un claro ejemplo es como una aguja se mantiene flotando sobre la superficie del agua, otro es cuando una mosca puede caminar sobre la superficie de agua.

### **2.1.6. Cohesión**

Se define como la fuerza interna que mantiene unidas a las moléculas de un cuerpo, los líquidos a condiciones ideales no existe cohesión. En el caso de los líquidos a condiciones reales sus fuerzas de cohesión son prácticamente nulas los cuales solo resiste a esfuerzos de compresión, debido a esto se lo denomina “no cohesivos”.

### **2.1.7. Capilaridad**

Otra consecuencia interesante de la tensión superficial es el efecto capilar, que es la subida o bajada de un líquido en un tubo de pequeño diámetro insertado en el líquido. Estos tubos estrechos o canales de flujo confinado se denominan capilares. El ascenso del queroseno a través de una mecha de algodón insertada en el depósito de una lámpara de queroseno se debe a este efecto.

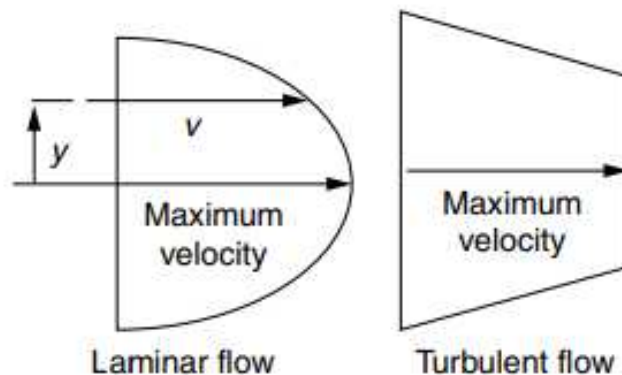
El efecto capilar también es parcialmente responsable de la subida del agua a la copa de los árboles altos. La superficie libre curva de un líquido en un tubo capilar se llama menisco.

### 2.1.8. Velocidad

La velocidad a la que un producto de petróleo fluye a través de una tubería, también referido como velocidad, es un parámetro importante en la presión de la tubería caída de cálculos. La velocidad del flujo depende del diámetro de la tubería y tasa de flujo. Si el caudal es constante a lo largo de la tubería (estable flujo) y el diámetro de la tubería es uniforme, la velocidad en cada sección transversal a lo largo de la tubería será un valor constante. (Sashi, 2006)

Sin embargo, hay una variación en velocidad a lo largo de la sección transversal de la tubería. La velocidad en la pared de la tubería será ser cero, aumentando hasta un máximo en la línea central de la tubería. El perfil de velocidades se muestra en la siguiente figura:

**Figura 2.3: Flujo laminar y turbulento**



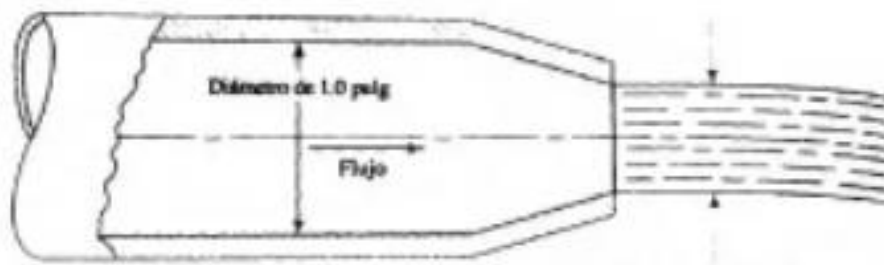
Fuente: (Sashi, 2006)



## 2.2. Flujo de Fluidos en Tuberías

El flujo de fluidos en tuberías es cuando un fluido fluye por una tubería, estos tienden a una pérdida de energía debido a factores tales como, la fricción interna en el fluido debido a la viscosidad y la presencia de accesorios. La fricción en el fluido en movimiento es un componente importante de la pérdida de energía en un conducto. Es proporcional a la energía cinética del flujo y a la relación longitud/diámetro del conductor. (Cisneros, 2015)

**Figura 2.4: Flujo de fluidos a través de tuberías**



Fuente: (Mott, 2006)

## 2.3. Incremento de La Capacidad de Transporte

La capacidad de transporte de hidrocarburos líquidos se puede realizar mediante tres métodos diferentes los cuales son:

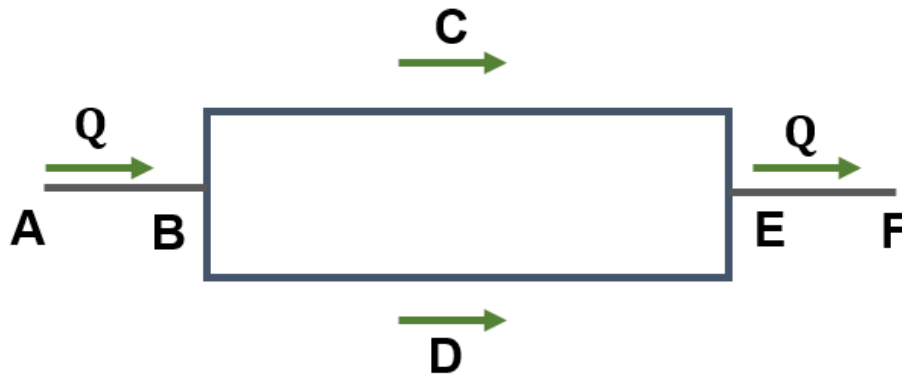
- Implementación de un Loop en el poliducto
- Inyección de agentes reductores de fricción
- Instalaciones de bombeo intermedias

### 2.3.1. Implementación de un Loop en el poliducto

Los poliductos son redes de tuberías destinadas al transporte de hidrocarburos de productos terminados. A diferencia de los oleoductos convencionales, que transportan solo petróleo crudo, los poliductos transportan una gran variedad de combustibles procesados en la refinería kerosene, naftas, Gas Oil; el transporte se realiza en paquetes sucesivos llamados baches. (Ramirez, 2006)

Los sistemas de tuberías en paralelo, que se muestra en la figura siguiente, tiene dos principios fundamentales de paralelo se debe seguir la tubería. Estos son la conservación del flujo en cualquier unión. punto y caída de presión común a través de cada ramal paralelo. (Sashi, 2006)

**Figura 2.5: Sistema de tuberías en paralelo.**



Fuente: (Sashi, 2006)

El otro requisito en tuberías paralelas se refiere a la caída de presión. en cada ramal de tuberías.

En base a esto, la caída de presión debido a la fricción en la rama BCE debe ser exactamente igual que en la rama BDE. Esto es porque ambas ramas tienen un punto de partida común (B) y un final común punto (E). Como la presión en cada uno de estos dos puntos es única valor, podemos concluir que la caída de presión en el ramal BCE y que en el ramal BDE son ambos iguales a  $P_B - P_E$ , donde  $P_B$  y  $P_E$  representan la presión en los puntos de unión B y E, respectivamente

Otra manera de realizar el análisis de la caída de presión en tuberías paralelas es el uso de un diámetro equivalente para las tuberías paralelas. Por ejemplo, en la figura anterior si la tubería AB tiene un diámetro de 14 in y se ramifica BCE y BDE tienen diámetros de 10 y 12 pulgadas, respectivamente.

Podemos encontrar algunos tubos de diámetro equivalente de la misma longitud que uno de los ramales que tendrá la misma caída de presión entre los puntos B y

C que las dos ramas. Se puede calcular un diámetro equivalente aproximado utilizando la ecuación de Darcy.

### **2.3.2. Agentes reductores de fricción**

Los reductores de fricción son conocidos como agentes reductores de fricción y mejoradores de flujo, son cualquier material que reduce la pérdida de presión por fricción durante el flujo de fluidos en un oleoducto, poliductos y líneas de flujo. Los Mejoradores de flujo han demostrado ser efectivos en varias gravedades de petróleo o incluso en derivados multifasicos. Estos pueden ofrecer más de 50 por ciento de reducción de fricción en oleoductos que operan en condiciones de flujo turbulento. (Delrio S.A.S, 2022)

El equipo que se requiere para la aplicación de los agentes reductores de fricción se muestra en la siguiente figura:

**Figura 2.6: Equipo de agentes reductores de fricción**



Fuente: (Delrio S.A.S, 2022)

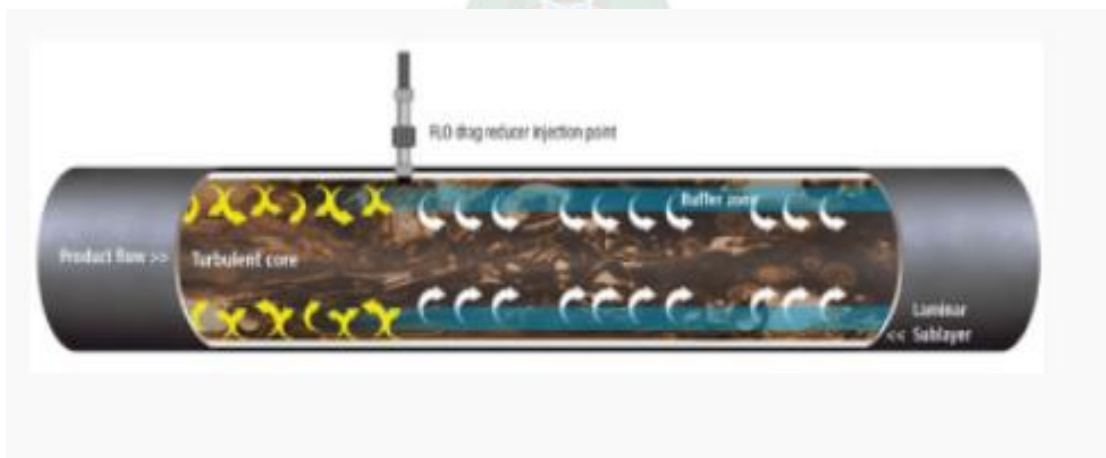
Según (MORKEN GROUP, 2022), el aumento de flujo en un poliducto mediante la utilización de agentes que reduzcan la fricción tiene los siguientes pasos:

- Análisis hidráulico del funcionamiento del poliducto.
- Ingeniería para el suministro e instalación de los equipos de inyección.
- Provisión del agente reductor de fricción (DRA).
- Servicio de inyección del aditivo.

Las características de un agente reductor de fricción según (Morken Group, 2022) son las siguientes:

- Desarrollado específicamente para aplicaciones de reducción de fricción.
- Se disuelve en el fluido del conducto.
- Reduce la fricción interna del fluido.
- No reviste la pared del conducto.
- Clasificación de toxicidad Cefas categoría C.
- De fácil manipulación.
- Utilizable en agua de mar, agua producida o nueva inyección de agua en cualquier relación de mezcla.
- Clasificación No Inflamable.
- Típicas tasas de inyección a 50 ppm, en el rango puede variar de 25 a 200 ppm.
- Efectivo cuando el número de Reynolds es mayor a 3000.

**Figura 2.7: Inyección del agente reductor de fricción en una tubería**



Fuente: (Morken Group, 2022)

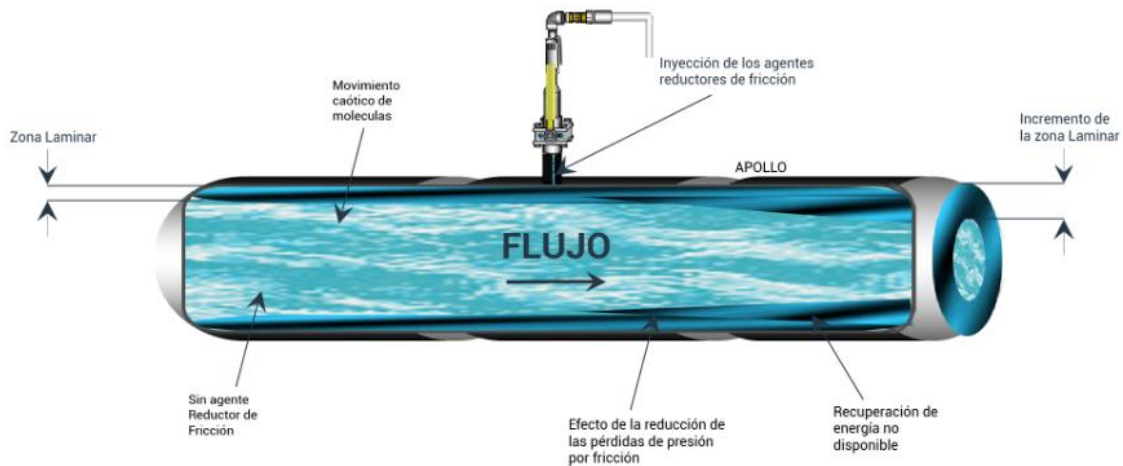
En la anterior figura se muestra la inyección de agente reductor de fricción en una tubería.

### 2.3.2.1. Funcionamiento del agente reductor de fricción

La funcionalidad de los agentes reductores de fricción es reducir la fricción que se produce entre en la pared del poliducto y el fluido por el contacto físico entre ambos, debido al flujo turbulento que tienen las moléculas del fluido, este agente reductor de fricción es un producto químico que se inyecta directamente a la tubería, una vez que actúa este agente reductor de fricción se obtiene como resultado principal el aumento del caudal de hidrocarburos que se transportan. (Apollo, 2022)

En la siguiente figura se muestra el mecanismo de inyección del agente reductor de fricción:

**Figura 2.8: Inyección del agente reductor de fricción**



Fuente: (Apollo, 2022)

Según (LSPI, 2022) su funcionamiento consiste en que la caída de presión por fricción es resultado de la resistencia que encuentra el fluido circulante que entra en contacto con la pared del ducto. En general hay dos tipos de flujo: laminar y turbulento.

- Las presiones de fricción que se observan en el flujo laminar no se pueden cambiar a menos que se cambien las propiedades físicas de los fluidos. Los



DRA actuales no cambian las propiedades de los fluidos y por lo tanto son efectivos solo en flujo turbulento.

- En la mayoría de los poliductos, el líquido fluye a través del poliducto en un régimen turbulento. Por lo tanto, los DRA actuales pueden tener un muy buen desempeño en la mayoría de las tuberías, lo cual permite realizar el tratamiento de crudo medio a liviano, crudo pesado, aplicaciones de múltiples fases y de productos refinados.

### **2.3.2.2. El uso de reductores de fricción**

El consumo de energía a nivel mundial aumenta cada día en todas las regiones, debido a este aumento se necesita implementar medidas que conducen para abastecer optimizando procesos industriales, con el fin de aligerar el impacto ambiental. Una de las medidas que se han tomado para optimizar el flujo de fluidos a través de tuberías es la reducción de la fricción que producen estos fluidos (petróleo, hidrocarburos líquidos, agua, gas, cemento, fluidos de perforación y otros), puede producir una importante reducción de energía. (4)

### **2.3.1. Estaciones de bombeo intermedias**

En una tubería con gran extensión longitudinal que transporta hidrocarburos líquidos, la presión requerida al principio para bombear cantidad de volumen puede exceder la presión operativa máxima permitida. (MAOP) de la tubería. Por lo tanto, la presión necesaria puede tener que proporcionarse por etapas en dos o más estaciones de bombeo. Por ejemplo, considere una tubería de 500 millas que bombea GLP desde una refinería hasta un sitio de almacenamiento. (Sashi, 2006)

La presión requerida en el punto de entrega es de 300 psi y la MAOP de la tubería está limitada a 1400 psi. Supongamos que los cálculos muestran que teniendo en cuenta las pérdidas por fricción y la diferencia de elevación y la presión de entrega mínima requerida, la presión requerida al comienzo de la tubería es de 3600 psi a una determinada tasa de flujo.

Dado que la presión de la tubería está limitado a 1400 psi, necesitamos proporcionar los 3600 psi requeridos instalando dos estaciones de bombeo intermedias además

de la estación de bombeo Al origen. La primera estación de bombeo operará a 1400 psi y por la vez que el GLP llega a la segunda estación de bombeo, su presión sería han bajado a la presión mínima requerida de 300 psi (para evitar vaporización de GLP).

En esta segunda estación de bombeo la presión de GLP se impulsa a 1400 psi que luego cae a 300 psi en la tercera bomba estación. Finalmente, el GLP se impulsa a 1400 psi en la tercera estación para entrega eventual a la presión requerida de 300 psi en el sitio de almacenamiento.

#### **2.4. Poliducto Camiri - Sucre**

El poliducto PCS no cuenta con puntos de inyección o salida intermedios, siendo por lo tanto un flujo de un único inicio (Camiri) y una única salida (Sucre). De esta manera el modelo del sistema contiene las características de un sistema de flujo en estado estacionario (lo que ingresa es igual a lo que sale) que transporta 3.334 BPD.

La alimentación del poliducto Camiri – Sucre es del poliducto Camiri – Santa Cruz, el cual es alimentado por la Refinería Guillermo Elder Bell. El poliducto por concepto no cuenta con ninguna Estación de Compresión, sino 5 Estaciones de Bombeo los cuales son:

- Estación de bombeo Chorety
- Estación de bombeo Monteagudo
- Estación de bombeo El Rosal
- Estación de bombeo Tarabuquillo
- Estación de bombeo Tapirani

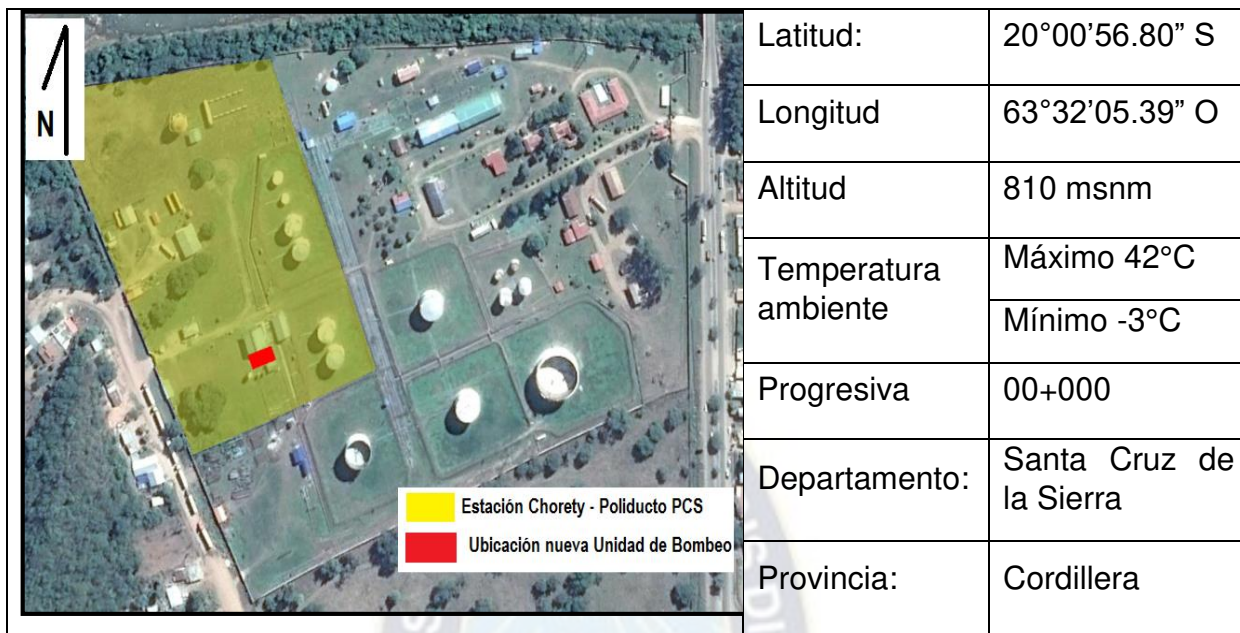
Así tampoco el sistema cuenta con líneas paralelas (loops), estaciones de reducción de presión.

##### **2.4.1. Descripción de las estaciones de Bombeo en el Poliducto Camiri - Sucre**

###### **2.4.1.1. Estación Chorety**

Las figuras siguientes ilustran la ubicación de la nueva unidad de bombeo para Estación Chorety:

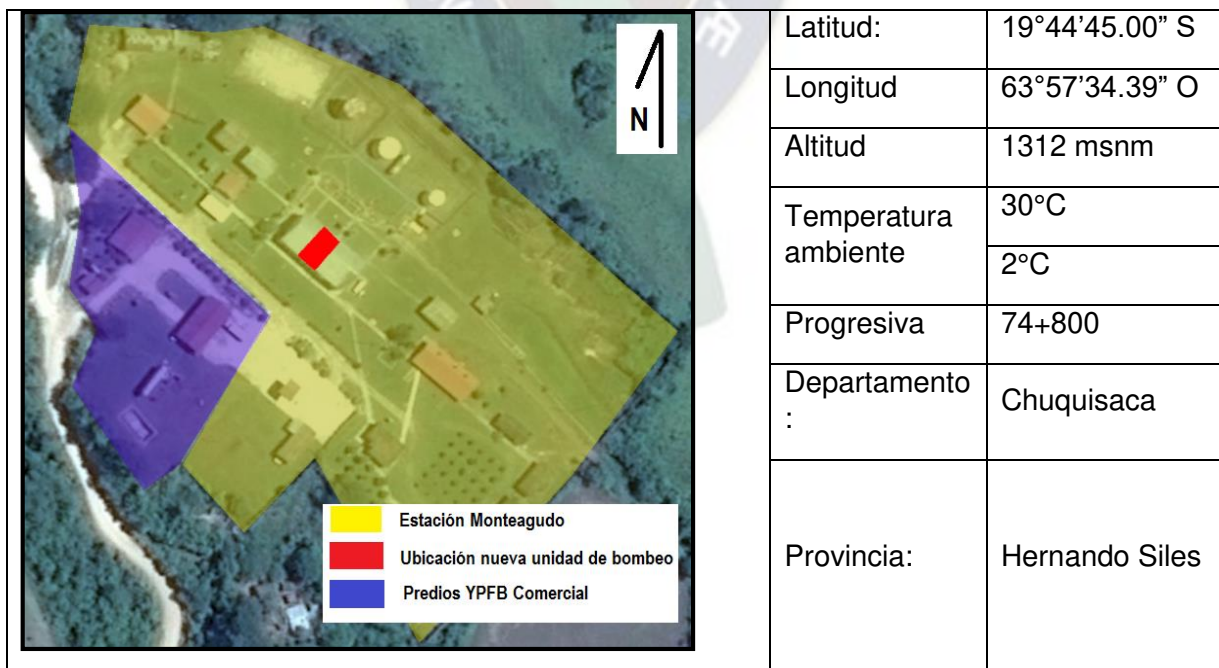
**Figura 2.9: Vista preliminar área de bombeo en la Estación Chorety**



Fuente: (YPFB, 2021)

#### 2.4.1.2. Estación Monteagudo

**Figura 2.10: Vista preliminar área de bombeo en la Estación Monteagudo**

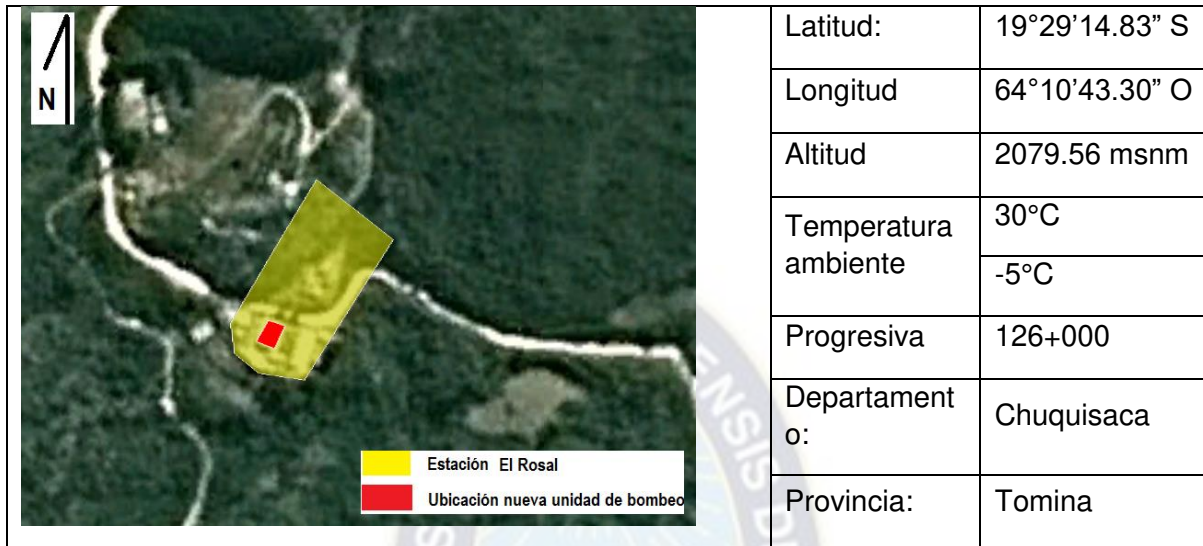


Fuente: (YPFB, 2021)



### 2.4.1.3. Estación El Rosal

Figura 2.11: Vista preliminar área de bombeo en la Estación El Rosal

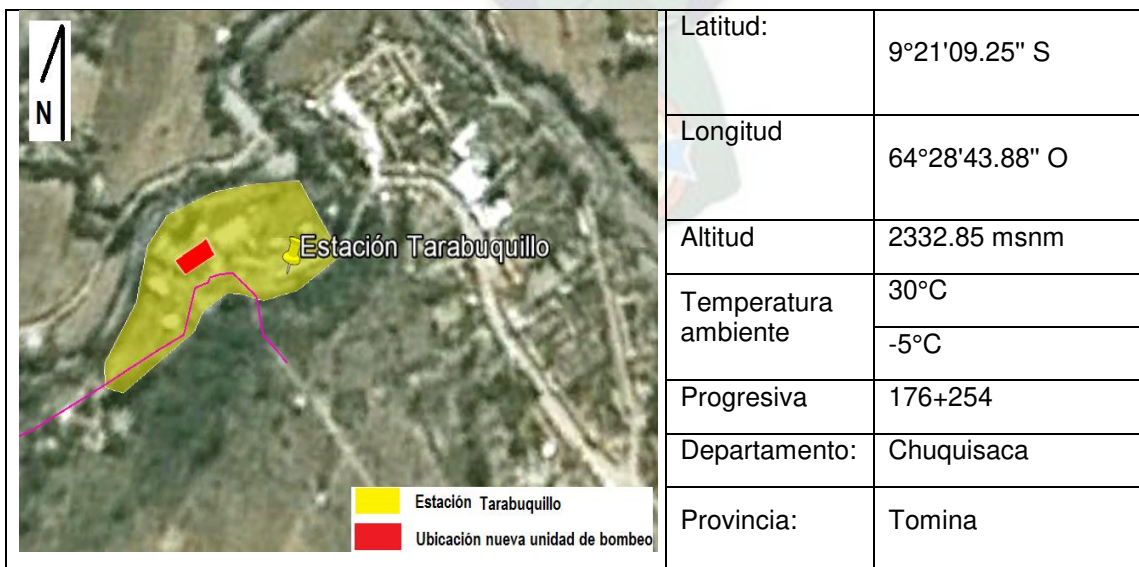


Fuente: (YPFB, 2021)

### 2.4.1.4. Estación Tarabuquillo

Similar a los puntos anteriores, mediante imagen a continuación se ilustra la ubicación geográfica para la estación Tarabuquillo:

Figura 2.13: Vista preliminar área de bombeo en la Estación Tarabuquillo

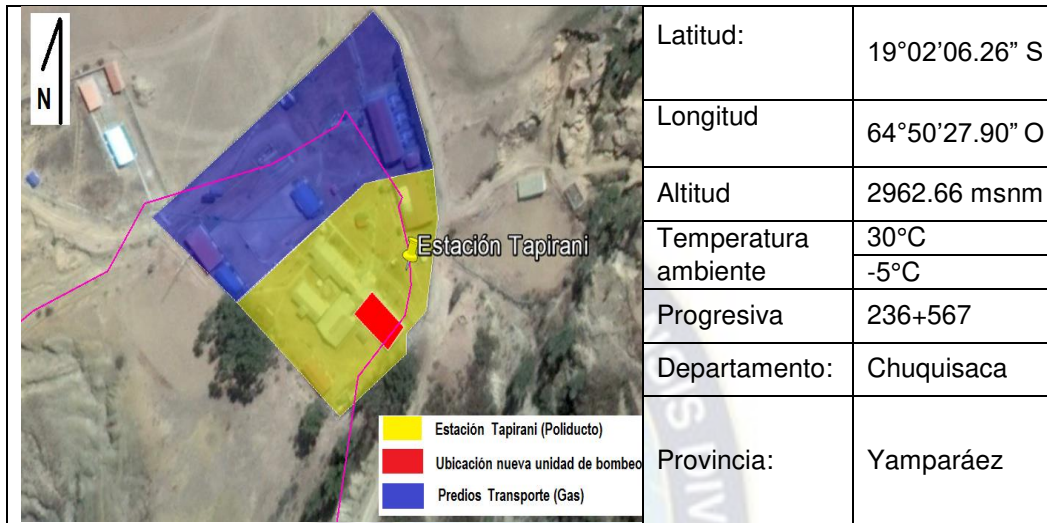


Fuente: (YPFB, 2021)

### 2.4.1.5. Estación Tapirani

Finalmente, la ubicación de la última Unidad de Bombeo se ilustra a continuación:

**Figura 2.14: Vista preliminar área de bombeo en la Estación Tapirani**



Fuente: (YPFB, 2021)

### 2.5. Construcción de Ductos

La construcción de ductos se puede visualizar mediante la siguiente figura:

**Figura 2.15: Construcción de Ductos**



Fuente: (SOLINPET S.R.L., 2022)

Las actividades de construcción de ductos para el transporte de hidrocarburos se inician con la revisión y liberación de la documentación que corresponde a la ingeniería de procedimientos constructivos y la inspección de los materiales, una vez revisado y aprobado dicha documentación se autoriza la movilización de la empresa constructora para lo cual deberán disponer los permisos de transporte correspondiente como ser excavadoras, tuberías y otros.

### **2.5.1. Movilización**

La movilización del personal como de los equipos pesados en la obra deberá contar con los permisos correspondientes y a partir de esta fecha de movilización inicia el cronograma de ejecución de la obra. Durante la movilización principalmente se contabiliza el personal de obras para el montaje de los ambientes del personal.

### **2.5.2. Recepción e inspección de materiales y equipos**

La inspección de materiales y equipos es muy importante debido que los inspectores realizan la inspección a todos los aspectos de la construcción del proyecto para asegurar que los estándares de calidad sean cumplidos. Las limpiezas y nivelaciones deben cumplir ciertos estándares; un inspector se asegura de que estos estándares sean cumplidos. Los inspectores de soldaduras chequean que las mismas estén libres de defectos. Los inspectores pueden pertenecer al personal de la empresa o a consultoras independientes. (IPL Technology & Consulting Services Inc., 1995)

### **2.5.3. Desbroce y apertura de la senda del ducto**

El desbroce de las rutas del ducto consiste en la limpieza de la vegetación considerando los aspectos ambientales cuyo ancho de la misma está en función del diámetro de la tubería, es decir deberá permitir el tránsito libre para el desfile de tuberías así también albergando la tubería correspondiente dentro del lecho de la zanja. La apertura de zanja tiene un procedimiento el cual debe cumplir de acuerdo a las normativas vigentes que se tiene en el país como indica el Reglamento al Sector de Hidrocarburos.



#### **2.5.4. Marcación del eje de la tubería**

La marcación del eje del ducto se lo realiza a través de estacas de madera aproximadamente cada 20 metros y a su vez estas estacas tienen clavos en la parte central donde se fija una cuerda para diferencial el eje correspondiente, lo cual debe ser estrictamente supervisado por el personal civil.

#### **2.5.5. Desfile de tuberías**

El desfile de tuberías se debe realizar con los equipos correspondientes, como ser grúas o hidrogruas siempre protegiendo al revestimiento de la tubería si corresponde el mismo que deberá estar alrededor del eje de la ruta del depositados sobre bolsones de arena, bolsones de aserrín o cáscara de arroz todo esto a fin de proteger a tubería, toda la actividad deberá ser registrado por el personal de calidad que conforman la documentación denominada Databook.

**Figura 2.16: Tendido de Tuberías**



Fuente: (IPL Technology & Consulting Services Inc., 1995)

#### **2.5.6. Soldadura e inspección de la soldadura**

El procedimiento de la soldadura debe ser aprobado por el inspector de soldadura ya sea que cuente con un nivel 1 o mejor el nivel 2 en cuyo procedimiento está

establecido la actividad de la soldadura de acuerdo a la API 1104 así como el capítulo 9 del ASME.

Por otra parte, los biseles de la tubería deben ser corregidos según las recomendaciones de los códigos internacionales vigentes mediante una amoladora correspondiente y a su vez deberá cumplirse con lo establecido en el capítulo del ASME de las condiciones climatológicas lo cual debe ser usado durante las primeras horas del día previa a la soldadura, se debe calentar la tubería mediante una garrafa de GLP y el quemador correspondiente, esta actividad ya no se realiza pasado las 10:00 de la mañana.

### **2.5.7. Revestimiento de la tubería**

Las tuberías pueden ser revestidas desde fábrica que generalmente hoy en día está de moda el revestimiento tiene el objeto de proteger la tubería de la corrosión, sin embargo, se presenta la aplicación del revestimiento en el sector de las juntas de soldadura para lo cual primeramente debemos realizar la limpieza de la tubería con cepillos de acero y con lijas, luego hacer la limpieza colocar el primer

**Figura 2.17: Revestimiento de la Tubería**



Fuente: (IPL Technology & Consulting Services Inc., 1995)

### **2.5.8. Inspección del revestimiento externo de la tubería**

Con el objeto de liberar la tubería para su bajada a la zanja se deberá realizar la actividad de la inspección del revestimiento, cuyo montaje del mismo debe ser según el espesor del revestimiento y una vez liberada la tubería se procede con la actividad de bajada de tubería.

### **2.5.9. Apertura de la zanja**

Una vez liberada el revestimiento de la tubería mediante el Holiday se procede a la apertura de las zanjas donde la profundidad aproximadamente deberá ser constante según el contrato aprobado que pudiera ser 80 cm de nivel natural hasta el lomo superior de la tubería

**Figura 2.18: Apertura de la Zanja**



Fuente: (IPL Technology & Consulting Services Inc., 1995)

La verificación de la profundidad es necesario que se realice por el ayudante del operador de la excavadora cuya profundidad de la zanja debe ser necesariamente perfilada con el fin de evitar la fatiga de las tuberías, en terrenos arenosos se deberá



tener mucho cuidado en vista que los laterales se van derrumbando y peor aún en épocas de lluvia por lo que si corresponde para estabilizar la pared de las zanjas se deberá proteger mediante maderas con el objeto de proteger al personal de protección del ducto.

#### **2.5.10. Bajada y tapado de la tubería**

Para la bajada de la tubería al lecho de la zanja primeramente se deberá liberar la zanja misma donde se debe constatar el perfilaje del mismo completamente libre de materiales inadecuados, a su vez cuando así se requiera se deberá poseer una camada de arena fina para la bajada de la tubería se realiza mínimamente con dos equipos pesados como ser la excavadora y la hidrogrua con el debido cuidado correspondiente a fin de evitar daño al revestimiento externo de la tubería.

Sí corresponde se debe tapar el revestimiento de la tubería con arena fina cernida de aproximadamente 30 cm del lomo superior con una profundidad de 50 cm por el nivel natural del terreno una vez compactado se deberá colocar la cinta de señalización con la leyenda que indica polducto a de alta presión que debe ser amarilla con rayas negras una vez concluido el tendido de la tubería y de la señalización se deberá completar el tapado del mismo de la tubería

#### **2.5.11. Señalización del ducto**

La señalización del ducto es de mucha importancia en vista que posee la siguiente información:

- La progresiva del ducto
- La profundidad del ducto
- La ubicación del ducto

De la misma manera que puede estar al lado izquierdo o derecho dicha señalización celebra cuidar en vista que en el futuro pudieran atravesar el ducto por otras actividades correspondientes. Por otra parte, en los cruces especiales necesariamente se deberá instalar la señalización correspondiente como ser cruces de caminos vías férreas.

## **2.6. PROTECCION CATODICA**

La protección catódica es un método para prevenir la corrosión en estructuras metálicas enterradas y sumergidas. Permite prolongar la vida ampliamente la vida de las estructuras, obteniendo tanto altos beneficios a la seguridad y confiabilidad de las instalaciones, como significativa reducción de costos totales durante la vida de los activos.

Se emplea comúnmente para proteger numerosas estructuras contra la corrosión, como ductos, tanques, recipientes, embarcaciones, pilotes, muelles, flotadores marinos, equipos submarinos y otro gran número de aplicaciones, básicamente todas las estructuras metálicas enterradas o sumergidas.

### ***2.6.1. Principios básicos de la protección catódica***

El principio se basa en convertir áreas activas de una superficie metálica en pasivas, es decir, convertirlas en el cátodo de una celda electroquímica. Obtenga más información sobre la corrosión aquí.

Mediante el suministro de corriente impresa o galvánica, el potencial del metal se reduce, el ataque de corrosión cesa y se logra la protección contra la corrosión. Los métodos de protección catódica según la fuente de energía empleada pueden ser los siguientes:

### ***2.6.2. Protección catódica por ánodos galvánicos de sacrificio***

El método más simple para aplicar protección catódica es conectando el metal a proteger (cátodo) con otro metal que se corroe más fácilmente, para que este último actúe como ánodo. El zinc, el aluminio y el magnesio son los metales comúnmente utilizados como ánodos para proteger estructuras en acero o hierro.

Como el voltaje de activación de los ánodos de sacrificio es bajo en comparación con los ánodos de corriente impresa, los ánodos de sacrificio deben estar bien distribuidos y ubicados más cerca del área que se está protegiendo. Es factible su empleo cuando se requiere de protección puntual y la inversión en presupuesto es inferior a la requerida por sistemas de corriente impresa.



### **2.6.3. Protección catódica de corriente impresa (ICCP)**

Los sistemas ICCP (impressed current cathodic protection), utilizan energía eléctrica proporcionada por una fuente de alimentación externa de corriente continua regulada, a través de un panel de control. El panel de control regula la corriente necesaria para polarizar la superficie a proteger.

La corriente protectora se distribuye mediante ánodos inertes, especialmente diseñados, generalmente empleando un material conductor que no corroe con facilidad. Uno de los tipos de ánodos ICCP más comunes para la aplicación con los ánodos, que consiste en un sustrato de titanio (Ti) recubierto con un óxido metálico (MMO).

### **2.7. NORMA ASME B 31.4**

La norma ASME B 31.4 tiene los siguientes objetivos:

- Estudiar las variables a considerar en un proyecto de ductos.
- Entender las fases de un proyecto de transporte de hidrocarburos por tubería y lo que representa un sistema de transporte.
- Acoplar el estudio hidráulico con el diseño mecánico de un ducto.
- Entender el alcance del código API 5L para especificación de tuberías para transporte de hidrocarburos.
- Entender el alcance del código ASME B31 en aspectos de diseño, construcción, operación y mantenimiento de ductos.
- Realizar ingeniería básica para diseño hidráulico y mecánico de ductos.
- Aplicación del software en el diseño de sistemas de transporte.
- Realizar análisis de flexibilidad (integridad estructural y resistencia mecánica) en un ducto aéreo ó enterrado.
- Acoplamiento de alternativas tecnológicas para medición de caudal volumétrico y másico de líquidos y/o gases.

## CAPITULO III

### ANALISIS DE LA PROYECCION DE LA DEMANDA DE HIDROCARBUROS LIQUIDOS REQUERIDOS PARA TRANSPORTAR EN POLIDUCTO CAMIRI - SUCRE

En el presente capitulo se realizará el análisis de la proyección de la demanda de hidrocarburos líquidos en el poliducto Camiri-Sucre, tomando en cuenta la demanda de hidrocarburos líquidos desde el año 2008 al año 2021.

#### 3.1. ANALISIS DE LA DEMANDA DE HIDROCARBUROS LIQUIDOS EN EL POLIDUCTO CAMIRI – SUCRE EN EL PERIODO DE LOS PROXIMOS 20 AÑOS

##### 3.1.1. Demanda en el poliducto Camiri – Sucre

La demanda de hidrocarburos líquidos que abastece al mercado de Chuquisaca va en aumento debido al crecimiento del parque automotor y otras aplicaciones donde se requiere estos combustibles líquidos. La demanda en 2008 fue de 945,91 Mbbl para lo cual en el 2015 aumento en un 22,7 % en relación al 2008, llegando a tener un aumento de un 37,1 % para el 2021.

**Figura 3.1: Volumen transportado por el poliducto Camiri – Sucre**



Fuente: Elaboración propia en base a los datos de YPFB.

### 3.1.2. Proyección de la demanda de hidrocarburos líquidos que se requieren transportar en el PCS

La demanda de hidrocarburos líquidos en el mercado objetivo va en constante crecimiento con el aumento del parque automotor y otros, debido a estas circunstancias es muy importante predecir la demanda de hidrocarburos líquidos que se transportara por el poliducto Camiri –Sucre.

#### 3.1.2.1. Predicción de la Demanda por el Modelo de Grey

El modelo matemático de Grey nos ayuda a predecir la demanda en los próximos 20 años es un modelo estadístico e inteligente que evalúa el comportamiento que tuvo previo considerando incremento y reducción en la demanda de hidrocarburos líquidos que se requieren transportar por el poliducto Camiri – Sucre.

Mediante los siguientes pasos determinaremos la demanda en los próximos años.

Paso 1: Determinaremos las constantes m y n.

$$\begin{bmatrix} m \\ n \end{bmatrix} = \left( \begin{bmatrix} -D_{(2)}^{(1)} & 1 \\ -D_{(3)}^{(1)} & 1 \\ -D_{(4)}^{(1)} & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -D_{(k)}^{(1)} & 1 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} -D_{(2)}^{(1)} & 1 \\ -D_{(3)}^{(1)} & 1 \\ -D_{(4)}^{(1)} & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -D_{(k)}^{(1)} & 1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} -D_{(2)}^{(1)} & 1 \\ -D_{(3)}^{(1)} & 1 \\ -D_{(4)}^{(1)} & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -D_{(k)}^{(1)} & 1 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} d_{(2)}^{(0)} \\ d_{(3)}^{(0)} \\ d_{(4)}^{(0)} \\ \vdots \\ d_{(k)}^{(0)} \end{bmatrix} \right)$$

Donde:

$d_{(i)}^{(0)}$ : Demanda inicial a partir del año de referencia.

$D_{(i)}^{(1)}$ : Diferencia de demanda promedio del actual con el anterior.

Se calcula mediante la siguiente ecuación.

$$D_{(k)}^{(1)} = \frac{1}{2} [d_{(k)}^{(1)} + d_{(k-1)}^{(1)}]$$

Paso 2: El modelo para predecir la demanda.

$$x_{(k)}^{(0)} = \beta - \alpha x_{(k)}^{(1)} * (k - 1)$$

Donde:

$$\alpha = \frac{n}{1 + 0,5m}$$

$$\beta = \frac{m}{1 + 0,5m}$$

La proyección de la demanda será:

Remplazando datos determinaremos primeramente las constantes m y n:

$$\begin{bmatrix} m \\ n \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} \begin{bmatrix} -990.542 & 1 \\ -1.070.161 & 1 \\ -1.105.755 & 1 \\ -1.110.056 & 1 \\ -1.120.023 & 1 \\ -1.134.389 & 1 \\ -1.151.604 & 1 \\ -1.169.948 & 1 \\ -1.187.726 & 1 \\ -1.203.550 & 1 \\ -1.178.063 & 1 \\ -1.215.401 & 1 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} -990.542 & 1 \\ -1.070.161 & 1 \\ -1.105.755 & 1 \\ -1.110.056 & 1 \\ -1.120.023 & 1 \\ -1.134.389 & 1 \\ -1.151.604 & 1 \\ -1.169.948 & 1 \\ -1.187.726 & 1 \\ -1.203.550 & 1 \\ -1.178.063 & 1 \\ -1.215.401 & 1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} -990.542 & 1 \\ -1.070.161 & 1 \\ -1.105.755 & 1 \\ -1.110.056 & 1 \\ -1.120.023 & 1 \\ -1.134.389 & 1 \\ -1.151.604 & 1 \\ -1.169.948 & 1 \\ -1.187.726 & 1 \\ -1.203.550 & 1 \\ -1.178.063 & 1 \\ -1.215.401 & 1 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} 945.918 \\ 1.035.165 \\ 1.105.156 \\ 1.106.353 \\ 1.113.759 \\ 1.126.286 \\ 1.142.491 \\ 1.160.717 \\ 1.179.178 \\ 1.196.274 \\ 1.210.825 \\ 1.222.186 \end{bmatrix} \end{pmatrix}$$

Realizando operaciones matriciales se tiene:

$$\begin{bmatrix} n \\ m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,00000015333 \\ -2,00000414 \end{bmatrix}$$

Determinando los valores de  $\alpha$  y  $\beta$ , con los datos obtenidos anteriormente.

Para  $\alpha$ :

$$\alpha = \frac{0,00000015333}{1 + 0,5 * (-2,00000414)}$$

$$\alpha = -0,066146$$

Para  $\beta$ :

$$\beta = \frac{-2,00000414}{1 + 0,5 * (-2,00000414)}$$

$$\beta = 17.459,63$$

Una vez teniendo los valores de  $\alpha$  y  $\beta$ , elaboraremos la ecuación de comportamiento:

$$x_{(k)}^{(0)} = 17.459,63 + 0,066146 * 945.918,44 * (k - 1)$$

Ordenando y realizando operaciones:

$$x_{(k)}^{(0)} = 17.459,63 + 1.154,847 * (k - 1)$$

Realizaremos a proyección en base a esta ecuación determinada elaborando la siguiente tabla:

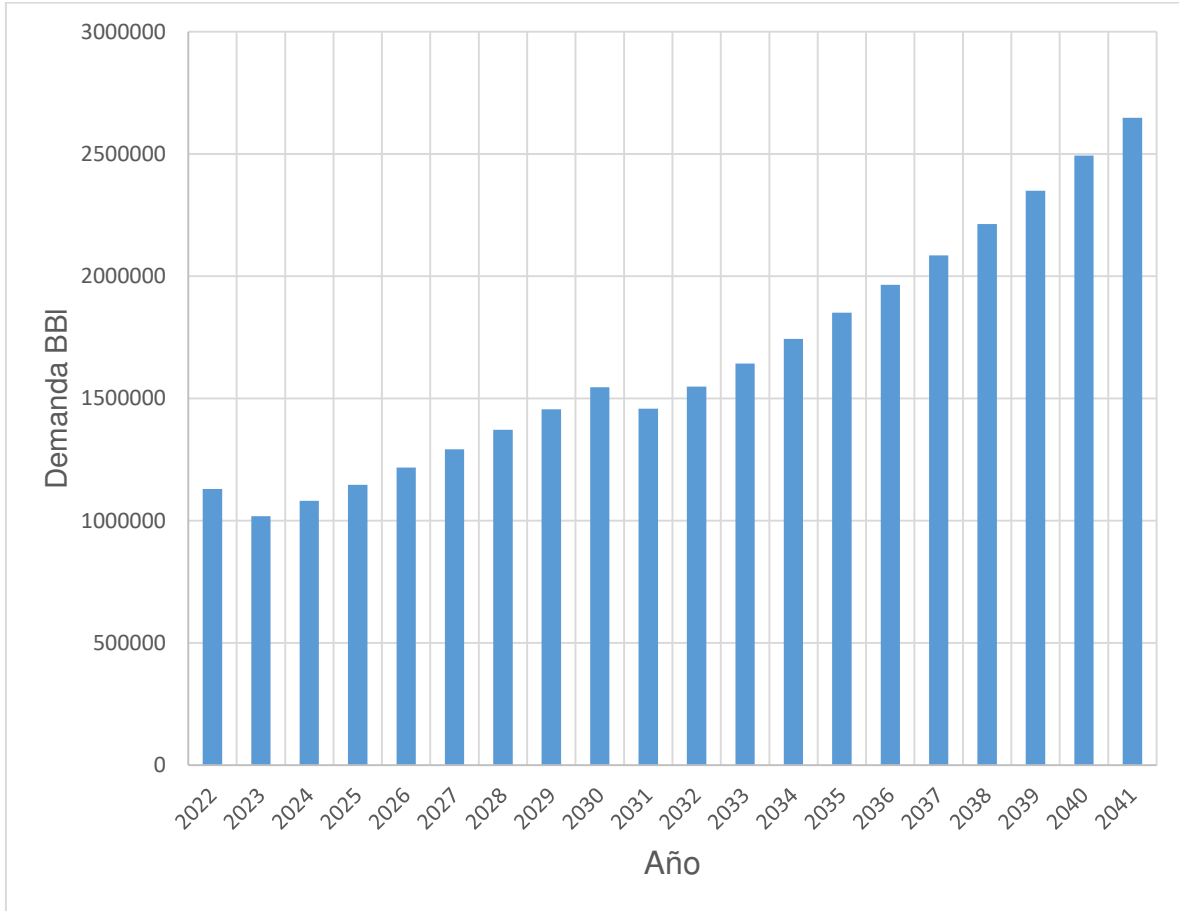
**Tabla 3.1: Proyección de la demanda de hidrocarburos líquidos que se transportaran por el PCS**

2022	1.129.881,605
2023	1.018.558,863
2024	1.081.127,601
2025	1.147.539,854
2026	1.218.031,725
2027	1.292.853,819
2028	1.372.272,137
2029	1.456.569,017
2030	1.546.044,145
2031	1.458.680,545
2032	1.548.285,381
2033	1.643.394,525
2034	1.744.346,099
2035	1.851.498,997
2036	1.965.234,156
2037	2.085.955,917
2038	2.214.093,459
2039	2.350.102,321
2040	2.494.466,030
2041	2.647.697,813

Fuente: Elaboración propia en base a los datos de YPFB.

En base al modelo de Gray se predijo la demanda de hidrocarburos líquidos que se transportaran por el PCS hasta el año 2041.

**Figura 3.2: Proyección de la demanda**



Fuente: Elaboración propia en base a los datos de YPF.

### **3.2. ANALISIS DE LA OFERTA**

En base al modelo de Gray se predice el volumen de hidrocarburos líquidos transportados a través del poliducto Camiri – Sucre en el grafico 3.2, tenemos una tasa de crecimiento en los primeros cinco años que asciende al 14,5 % en relación al año 2022, llegando a tener una tasa de crecimiento en 2030 de 36 %. En función al modelo de Gray la tasa de crecimiento que oferta el volumen de hidrocarburos líquidos llegara a 2.647,7 [MBbl] para 2041, este modelo nos ayuda a obtener resultados óptimos para cumplir la demanda en los departamentos de Chuquisaca y Potosí.

El precio de transporte de Hidrocarburos Líquidos está regulado por la normativa vigente, la empresa encargada del transporte es YPFB TRANSPORTES S.A. a través de la normativa RASSDH N° 445/2002 con la tarifa total con IVA de 2,33 [U\$/Bbl].

En base a los datos anteriores se determinará la oferta máxima que ofrece el poliducto en el año 2041.

El caudal máximo que transportará el PCS hasta el 2041 será:

$$B = 2.647.697,813 \frac{\text{Bbl}}{365 \text{ d}} * \frac{1 \text{ d}}{24 \text{ h}}$$

$$\mathbf{B = 302,36 [BPH]}$$

Hasta 2041 se requerirá transportar 302,36 BPH a través del poliducto Camiri – Sucre.





## CAPITULO IV

### APLICACIÓN PRACTICA DEL POLIDUCTO CAMIRI - SUCRE

En el presente capitulo se realizará el diseño del Loop en el poliducto Camiri-Sucre, tomando en cuenta las consideraciones explicadas en los capítulos anteriores.

#### 4.1. Diseño del Loop en el Poliducto CAMIRI – SUCRE

Diseñaremos el Loop Camiri – Sucre mediante la siguiente secuencia de pasos en función a los datos disponibles según YPFB, la secuencia de pasos se encuentra descrita a continuación;

##### Paso 1

Llevar todas las unidades al sistema equivalente.

##### Paso 2

Cálculo del diámetro equivalente para transporta el caudal de 7000 [BPD], asumiendo un factor de transmisión F=20.

$$D_{\text{equi}} = \left[ \frac{B}{0,084668 * F * \left[ \frac{P_1 - P_2 - 0,4331 * GE * (H_1 - H_2)}{L * GE} \right]^{0,5}} \right]^{\frac{1}{2,5}} \quad (4. 1)$$

Donde:

- B: Caudal de Flujo [BPH].
- F: Factor de transmisión [adimensional].
- $D_{\text{equi}}$ : Diámetro equivalente interno del poliducto [pulg].
- $P_1$ : Presión de entrada [Psia].
- $P_2$ : Presión de salida [Psia].
- GE: Gravedad especifica [adimensional].
- L: Longitud del poliducto [milla].
- $H_1$ : Elevación respecto al punto de referencia con la entrada [ft].
- $H_2$ : Elevación respecto al punto de referencia con la salida [ft].



### Paso 3

Cálculo del número de Reynolds

$$Re = 0,0238 * \left( \frac{B}{D_{\text{equi}} * \vartheta} \right) \quad (4. 2)$$

Donde:

- B: Caudal de Flujo [BPH].
- $D_{\text{equi}}$ : Diámetro equivalente interno del poliducto [pulg].
- $\vartheta$ : Viscosidad cinemática del fluido [ $\text{ft}^2/\text{s}$ ].

### Paso 4

Cálculo del factor de transmisión:

$$F_{\text{cal}} = -4 \log \left( \frac{\varepsilon_r}{3.71} + \frac{1,413 * F_{\text{asu}}}{Re} \right) \quad (4. 3)$$

Donde:

- $\varepsilon$  : Rugosidad de la tubería [pulg].
- d: Diámetro del gasoducto [pulg].

Si el factor de transmisión es diferente del factor de transmisión asumido en el paso 2, se debe realizar un proceso iterativo hasta llegar a la igualdad con un error menor.

### Paso 5

Cálculo del diámetro del Loop

El diámetro se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$D_{\text{equi}} = \left[ d_{\text{PCS}}^{\frac{1}{2,63}} + d_{\text{Loop}}^{\frac{1}{2,63}} \right]^{\frac{1}{2,63}} \quad (4. 4)$$

Donde:

- $D_{\text{equi}}$ : Diámetro equivalente interno del poliducto [pulg]
- $d_{\text{PCS}}$ : Diámetro interno del poliducto PCS [pulg]
- $d_{\text{Loop}}$ : Diámetro interno del Loop PCS [pulg]

Para realizar el cálculo del Loop en el PCS seguiremos los 5 pasos descritos anteriormente los cuales son:

- Cálculo del diámetro.
- Cálculo del número de Reynolds.
- Cálculo del factor de Fricción.

Con los siguientes datos que se tiene a continuación realizaremos el cálculo del diámetro en el tramo Chorety - Monteagudo:

**Tabla 4.1: Datos del Loop Camiri – Sucre en el tramo Chorety - Monteagudo**

Tb[R]	520,000
Pb[psia]	14,187
B [BPD]	7.200,000
P1 [psia]	800,000
P2 [psia]	100,000
GE	0,840
H1 [ft]	2.680,446
H2 [ft]	4.304,462
Tf [R]	530,00
$\varepsilon$ [in]	0,0007

Fuente: Elaboración propia en base a los datos de YPFB.

### Paso 1

Llevar todas las unidades al sistema equivalente.

**Tabla 4.2: Datos del Loop Camiri – Sucre en el tramo Chorety - Monteagudo**

Tb[R]	520,000
Pb[psia]	14,187
B [BPH]	300,000
P1 [psia]	800,000
P2 [psia]	100,000
GE	0,840
H1 [ft]	2.680,446
H2 [ft]	4.304,462
Tf [R]	530,00
$\varepsilon$ [in]	0,0007

Fuente: Elaboración propia en base a los datos de YPFB.

## Paso 2

Cálculo del diámetro equivalente para transporta el caudal de 7000 [BPD],  
asumiendo un factor de transmisión F=20.

$D_{\text{equi}}$

$$= \left[ \frac{300[\text{BPH}]}{0,084668 * 20 * \left[ \frac{800[\text{Psia}] - 100[\text{Psia}] - 0,4331 * 0,84 * (4304,462[\text{ft}] - 2680,446[\text{ft}])}{46,4[\text{milla}] * 0,84} \right]^{0,5}} \right]^{\frac{1}{2,5}}$$

$$D_{\text{equi}} = 6,455[\text{pulg}]$$

## Paso 3

Cálculo del número de Reynolds

$$Re = 0,0238 * \left( \frac{300[\text{BPH}]}{6,455[\text{pulg}] * 0,000043 \left[ \frac{\text{ft}^2}{\text{s}} \right]} \right)$$

$$Re = 25.724,528$$

## Paso 4

Cálculo del factor de transmisión:

$$F_{\text{cal}} = -4 \log \left( \frac{\frac{0,0007[\text{pulg}]}{6,455[\text{pulg}]} + \frac{1,413 * 20}{25.724,528}}{3,71} \right)$$

$$F_{\text{cal}} = 11,791$$

Si el factor de transmisión es diferente del factor de transmisión asumido en el paso 2, se debe realizar un proceso iterativo hasta llegar a la igualdad con un error menor.

Realizando el proceso iterativo se tiene la siguiente tabla:

**Tabla 4.3: Iteración del diámetro equivalente**

F asu	Deq	Re	Fcalc
20,000	6,455	25724,528	11,791
11,791	7,974	20823,651	12,337
12,337	7,831	21203,942	12,290
12,290	7,843	21171,793	12,294
12,294	7,842	21174,492	12,294
12,294	7,842	21174,265	12,294
<b>12,294</b>	<b>7,842</b>	<b>21174,284</b>	<b>12,294</b>

Fuente: Elaboración propia en base a los datos de YPFB.

El diámetro equivalente interno será:

$$D_{\text{equi}} = 7,842[\text{pulg}]$$

### Paso 5

Cálculo del diámetro del Loop

El diámetro se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$d_{\text{Loop}} = [D_{\text{equi}}^{2,63} - d_{\text{PCS}}^{2,63}]^{\frac{1}{2,63}}$$

Reemplazando datos:

$$d_{\text{Loop}} = [7,842^{2,63} - 6,151^{2,63}]^{\frac{1}{2,63}}[\text{pulg}]$$

$$d_{\text{Loop}} = 5,895[\text{pulg}]$$

El diámetro externo de la tubería según la norma API es:

$$D_{\text{ext}} = 6,625 [\text{pulg}]$$

La tabla de diámetros nominales y diámetros externos se encuentra en el anexo B.

## 4.2. PERFIL LONGITUDINAL DEL LOOP EN EL POLIDUCTO CAMIRI – SUCRE

Diseñaremos el Loop Camiri – Sucre mediante la siguiente secuencia de pasos en función a los datos disponibles según YPFB, la secuencia de cálculo será la siguiente:

- Determinación de la caída de presión por fricción.
- Determinación de la caída de presión por gravedad.

### 4.2.1. Caída de presión por fricción

La caída de presión por fricción está dada por la siguiente ecuación:

$$\Delta P = 5,914819 * 10^{-6} * f_m * \frac{L * \rho_{DO} * B^2}{D^5} \quad (4.5)$$

Donde:

- L: Longitud del ducto en ft
- $\rho_{DO}$ : Densidad del Diésel Oíl
- B: Flujo de DO en BPD
- $d_{Loop}$ : Diámetro del Loop en in

### 4.2.2. Caída de presión por gravedad.

La caída de presión por gravedad está dada por la siguiente ecuación:

$$\Delta P = \frac{\rho_{DO} * (H_1 - H_2)}{144} \quad (4.6)$$

Donde:

- $\rho_{DO}$ : Densidad del Diésel Oíl
- $H_1$ : Altura respecto del punto de entrada en ft
- $H_2$ : Altura respecto del punto de salida en ft

Realizaremos el perfil de presión en el Tramo Choreti – Monteagudo, con el cual realizamos el análisis para determinar el diámetro del Loop.

**Tabla 4.4: Perfil de presión en el tramo Chorety – Monteagudo**

Longitud y diámetro		Caída de Presión por Gravedad				Caída de Presión por Fricción						Caída de Presión Total	La presión en los dos puntos de cada tramo	
D int	L	v [m/s]	H1 [m]	H2 [m]	dP [Psi]	L [km]	Re	Ft asu	Ft cal	f	dP [Psi]	DP [Psi]	P1	P2
6,151	14	0,3686	817	1130	-373,792651	14	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	5,40714113	-368,38551	700	331,61449
6,151	14,8	0,3686	1130	904	269,895013	0,8	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,30897949	270,203993	331,61449	601,818483
6,151	17,2	0,3686	904	1057	-182,716535	2,4	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,92693848	-181,789597	601,818483	420,028886
6,151	18	0,3686	1057	935	145,695538	0,8	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,30897949	146,004518	420,028886	566,033403
6,151	32	0,3686	935	1452	-617,414698	14	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	5,40714113	-612,007557	566,033403	-45,9741536
6,151	33	0,3686	1452	1261	228,097113	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437	228,483337	-45,9741536	182,509184
6,151	46	0,3686	1261	1322	-72,847769	13	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	5,02091676	-67,8268523	182,509184	114,682331
6,151	51,6	0,3686	1322	1178	171,968504	5,6	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	2,16285645	174,13136	114,682331	288,813692
6,151	56,1	0,3686	1178	1370	-229,291339	4,5	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	1,73800965	-227,553329	288,813692	61,2603628
6,151	69	0,3686	1370	1126	291,391076	12,9	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	4,98229432	296,37337	61,2603628	357,633733
6,151	75	0,3686	1126	1300	-207,795276	6	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	2,3173462	-205,477929	357,633733	152,155804

Fuente: Elaboración propia en base a datos de YPFB

Se elaborada el perfil de presión en el tramo Chorety – Monteagudo con los datos obtenidos en la anterior tabla, resumiendo se tiene los siguientes datos:

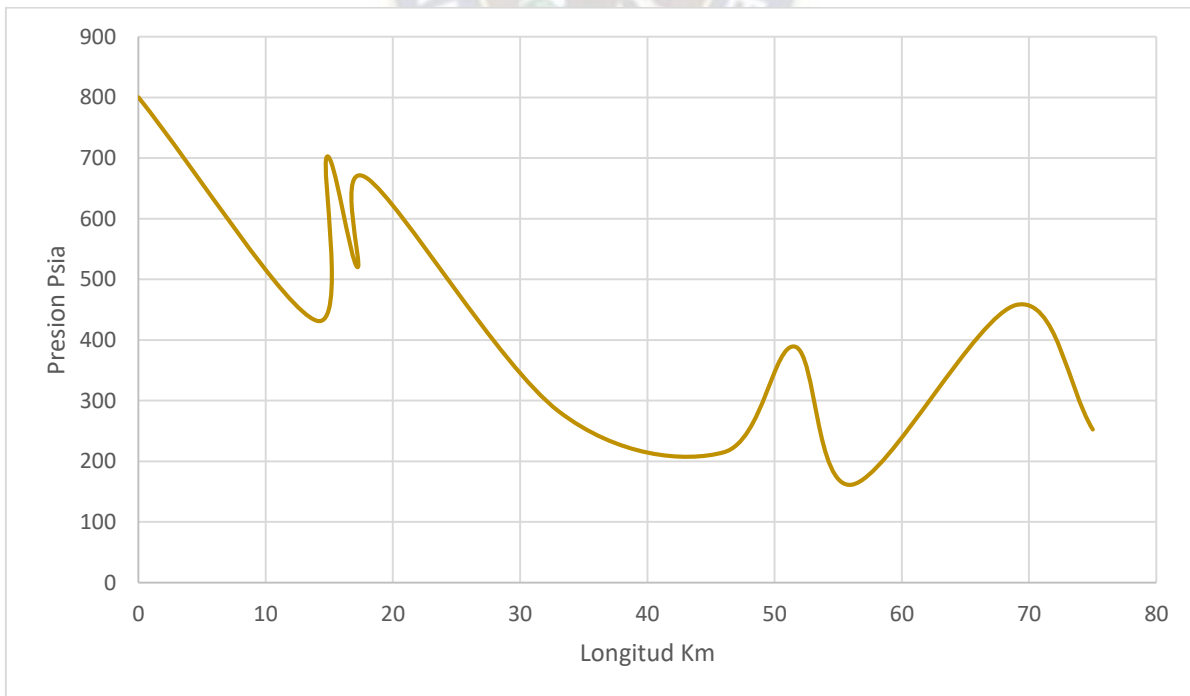
**Tabla 4.5: Perfil de presión en el tramo Chorety – Monteagudo**

L [km]	DP [Psi]
0	800,000
14	431,614
14,8	701,818
17,2	520,029
18	666,033
33	282,509
46	214,682
51,6	388,814
56,1	161,260
69	457,634
75	252,156

Fuente: Elaboración propia en base a los datos de YPFB.

El perfil de presión graficado será:

**Figura 4.1: Perfil de presión del PCS en el tramo Chorety – Monteagudo**



Fuente: Elaboración propia en base a los datos de YPFB.



En base a estas ecuaciones determinaremos la caída de presión a través de todo el Loop en el poliducto Camiri – Sucre

**Tabla 4.6: Caída de presión del Loop en PCS**

Caída de Presión por Gravedad				Caída de Presión por Fricción					
v [m/s]	H1 [m]	H2 [m]	dP [Psi]	L [km]	Re	Ft asu	Ft cal	f	dP [Psi]
0,3686	817	830	-15,5249344	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437
0,3686	830	843	-15,5249344	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437
0,3686	843	852	-10,7480315	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437
0,3686	852	870	-21,496063	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437
0,3686	870	887	-20,3018373	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437
0,3686	887	909	-26,2729659	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437
0,3686	909	926	-20,3018373	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437
0,3686	926	961	-41,7979003	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437
0,3686	961	1004	-51,351706	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437
0,3686	1004	1013	-10,7480315	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437
0,3686	1013	1039	-31,0498688	0,8	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,30897949
0,3686	1039	1104	-77,6246719	0,8	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,30897949
0,3686	1104	1157	-63,2939633	0,8	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,30897949
0,3686	1157	1104	63,2939633	0,8	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,30897949
0,3686	1104	1130	-31,0498688	0,8	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,30897949
0,3686	1130	904	269,895013	0,8	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,30897949
0,3686	904	935	-37,0209974	0,8	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,30897949
0,3686	935	970	-41,7979003	0,8	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,30897949
0,3686	970	1057	-103,897638	0,8	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,30897949
0,3686	1057	935	145,695538	0,8	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,30897949
0,3686	935	917	21,496063	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437
0,3686	917	930	-15,5249344	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437
0,3686	930	943	-15,5249344	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437
0,3686	943	952	-10,7480315	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437
0,3686	952	970	-21,496063	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437
0,3686	970	978	-9,55380577	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437
0,3686	978	1000	-26,2729659	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437
0,3686	1000	1017	-20,3018373	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437
0,3686	1017	1035	-21,496063	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437
0,3686	1035	1070	-41,7979003	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437
0,3686	1070	1239	-201,824147	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437
0,3686	1239	1452	-254,370079	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437
0,3686	1452	1239	254,370079	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437

0,3686	1239	1465	-269,895013	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437
0,3686	1465	1261	243,622047	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437
0,3686	1261	1217	52,5459318	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437
0,3686	1217	1204	15,5249344	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437
0,3686	1204	1148	66,8766404	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437
0,3686	1148	1135	15,5249344	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437
0,3686	1135	1130	5,97112861	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437
0,3686	1130	1157	-32,2440945	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437
0,3686	1157	1213	-66,8766404	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437
0,3686	1213	1148	77,6246719	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437
0,3686	1148	1104	52,5459318	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437
0,3686	1104	1104	0	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437
0,3686	1104	1104	0	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437
0,3686	1104	1200	-114,645669	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437
0,3686	1200	1322	-145,695538	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437
0,3686	1322	1191	156,44357	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437
0,3686	1191	1191	0	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437
0,3686	1191	1174	20,3018373	0,9	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,34760193
0,3686	1174	1170	4,77690289	0,9	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,34760193
0,3686	1170	1174	-4,77690289	0,9	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,34760193
0,3686	1174	1178	-4,77690289	0,9	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,34760193
0,3686	1178	1278	-119,422572	0,9	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,34760193
0,3686	1278	1274	4,77690289	0,9	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,34760193
0,3686	1274	1265	10,7480315	0,9	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,34760193
0,3686	1265	1239	31,0498688	0,9	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,34760193
0,3686	1239	1370	-156,44357	0,9	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,34760193
0,3686	1370	1191	213,766404	0,9	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,34760193
0,3686	1191	1200	-10,7480315	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437
0,3686	1200	1222	-26,2729659	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437
0,3686	1222	1274	-62,0997375	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437
0,3686	1274	1365	-108,674541	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437
0,3686	1365	1191	207,795276	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437
0,3686	1191	1257	-78,8188976	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437
0,3686	1257	1174	99,1207349	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437
0,3686	1174	1135	46,5748031	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437
0,3686	1135	1261	-150,472441	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437
0,3686	1261	1239	26,2729659	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437
0,3686	1239	1126	134,947507	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437
0,3686	1126	1126	0	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437
0,3686	1126	1126	0	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437
0,3686	1126	1183	-68,0708661	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437

0,3686	1183	1239	-66,8766404	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437
0,3686	1239	1239	0	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437
0,3686	1239	1265	-31,0498688	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437
0,3686	1265	1300	-41,7979003	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437
0,3686	1300	1361	-72,847769	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437
0,3686	1361	1396	-41,7979003	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437
0,3686	1396	1435	-46,5748031	0,9	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,34760193
0,3686	1435	1604	-201,824147	0,9	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,34760193
0,3686	1604	1743	-165,997375	0,9	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,34760193
0,3686	1743	1896	-182,716535	0,9	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,34760193
0,3686	1896	1778	140,918635	0,9	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,34760193
0,3686	1778	1639	165,997375	0,9	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,34760193
0,3686	1639	1457	217,349081	0,9	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,34760193
0,3686	1457	1396	72,847769	0,9	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,34760193
0,3686	1396	1370	31,0498688	0,9	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,34760193
0,3686	1370	1352	21,496063	0,9	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,34760193
0,3686	1352	1370	-21,496063	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437
0,3686	1370	1326	52,5459318	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437
0,3686	1326	1274	62,0997375	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437
0,3686	1274	1300	-31,0498688	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437
0,3686	1300	1274	31,0498688	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437
0,3686	1274	1291	-20,3018373	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437
0,3686	1291	1522	-275,866142	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437
0,3686	1522	1435	103,897638	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437
0,3686	1435	1165	322,440945	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437
0,3686	1165	1248	-99,1207349	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437
0,3686	1248	1278	-35,8267717	0,9	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,34760193
0,3686	1278	1317	-46,5748031	0,9	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,34760193
0,3686	1317	1213	124,199475	0,9	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,34760193
0,3686	1213	1157	66,8766404	0,9	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,34760193
0,3686	1157	1122	41,7979003	0,9	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,34760193
0,3686	1122	1078	52,5459318	0,9	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,34760193
0,3686	1078	1057	25,0787402	0,9	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,34760193
0,3686	1057	1174	-139,724409	0,9	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,34760193
0,3686	1174	1478	-363,044619	0,9	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,34760193
0,3686	1478	1248	274,671916	0,9	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,34760193
0,3686	1248	1174	88,3727034	0,6	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,23173462
0,3686	1174	1174	0	0,6	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,23173462
0,3686	1174	1174	0	0,6	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,23173462
0,3686	1174	1248	-88,3727034	0,6	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,23173462
0,3686	1248	1183	77,6246719	0,6	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,23173462

0,3686	1183	1217	-40,6036745	0,6	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,23173462
0,3686	1217	1283	-78,8188976	0,6	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,23173462
0,3686	1283	1287	-4,77690289	0,6	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,23173462
0,3686	1287	1309	-26,2729659	0,6	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,23173462
0,3686	1309	1222	103,897638	0,6	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,23173462
0,3686	1222	1261	-46,5748031	0,9	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,34760193
0,3686	1261	1265	-4,77690289	0,9	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,34760193
0,3686	1265	1548	-337,965879	0,9	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,34760193
0,3686	1548	1461	103,897638	0,9	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,34760193
0,3686	1461	1339	145,695538	0,9	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,34760193
0,3686	1339	1374	-41,7979003	0,9	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,34760193
0,3686	1374	1487	-134,947507	0,9	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,34760193
0,3686	1487	1791	-363,044619	0,9	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,34760193
0,3686	1791	1848	-68,0708661	0,9	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,34760193
0,3686	1848	1883	-41,7979003	0,9	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,34760193
0,3686	1883	1913	-35,8267717	0,9	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,34760193
0,3686	1913	1952	-46,5748031	0,9	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,34760193
0,3686	1952	1987	-41,7979003	0,9	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,34760193
0,3686	1987	2013	-31,0498688	0,9	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,34760193
0,3686	2013	2039	-31,0498688	0,9	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,34760193
0,3686	2039	2043	-4,77690289	0,9	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,34760193
0,3686	2043	2139	-114,645669	0,9	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,34760193
0,3686	2139	2187	-57,3228346	0,9	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,34760193
0,3686	2187	2191	-4,77690289	0,9	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,34760193
0,3686	2191	2209	-21,496063	0,9	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,34760193
0,3686	2209	2352	-170,774278	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437
0,3686	2352	2387	-41,7979003	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437
0,3686	2387	2391	-4,77690289	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437
0,3686	2391	2439	-57,3228346	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437
0,3686	2439	2487	-57,3228346	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437
0,3686	2487	2700	-254,370079	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437
0,3686	2700	2574	150,472441	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437
0,3686	2574	2530	52,5459318	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437
0,3686	2530	2743	-254,370079	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437
0,3686	2743	2478	316,469816	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437
0,3686	2478	2404	88,3727034	0,9	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,34760193
0,3686	2404	2352	62,0997375	0,9	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,34760193
0,3686	2352	2122	274,671916	0,9	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,34760193
0,3686	2122	2370	-296,167979	0,9	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,34760193
0,3686	2370	2287	99,1207349	0,9	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,34760193
0,3686	2287	2226	72,847769	0,9	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,34760193

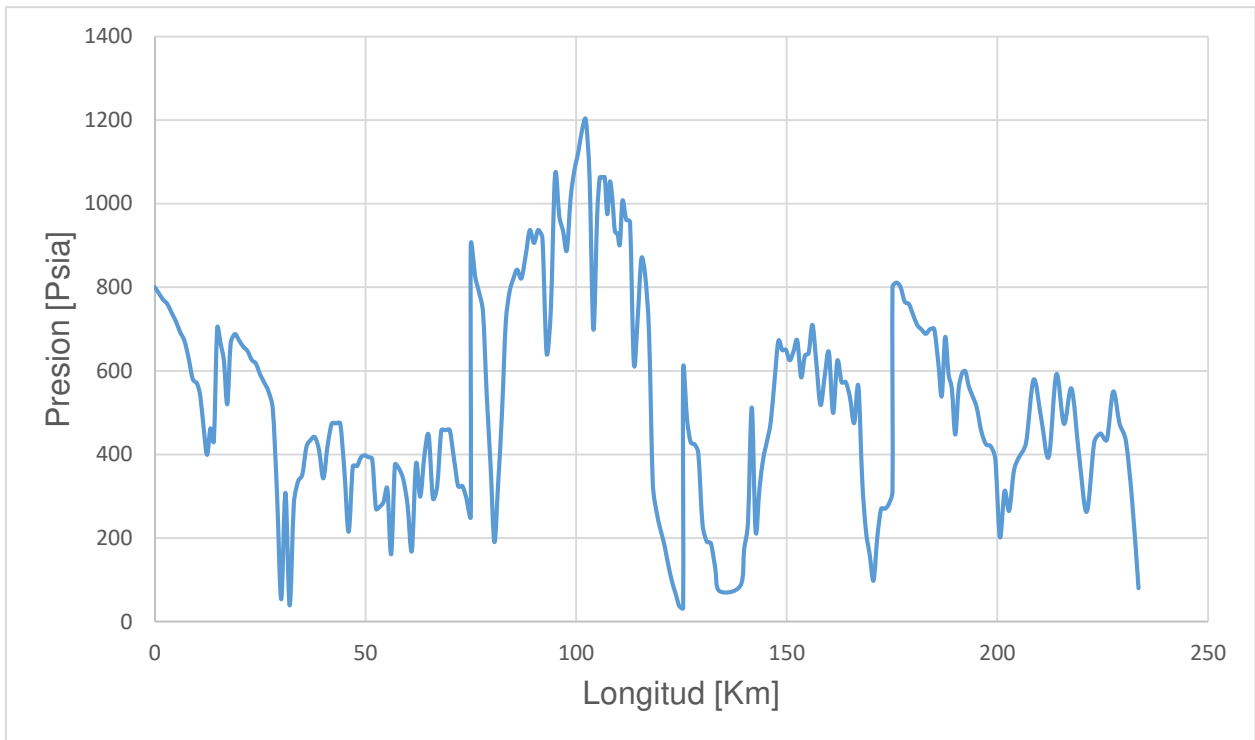


0,3686	2226	2191	41,7979003	0,9	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,34760193
0,3686	2191	2152	46,5748031	0,9	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,34760193
0,3686	2152	2070	97,9265092	0,9	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,34760193
0,3686	2070	1991	94,343832	0,9	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,34760193
0,3686	1991	2009	-21,496063	0,9	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,34760193
0,3686	2009	2009	0	0,9	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,34760193
0,3686	2009	2030	-25,0787402	0,9	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,34760193
0,3686	2030	2013	20,3018373	0,9	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,34760193
0,3686	2013	1991	26,2729659	0,9	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,34760193
0,3686	1991	2065	-88,3727034	0,9	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,34760193
0,3686	2065	2022	51,351706	0,9	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,34760193
0,3686	2022	2017	5,97112861	0,9	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,34760193
0,3686	2017	1961	66,8766404	0,9	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,34760193
0,3686	1961	2035	-88,3727034	0,9	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,34760193
0,3686	2035	2122	-103,897638	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437
0,3686	2122	2065	68,0708661	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437
0,3686	2065	2017	57,3228346	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437
0,3686	2017	2139	-145,695538	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437
0,3686	2139	2035	124,199475	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437
0,3686	2035	2078	-51,351706	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437
0,3686	2078	2078	0	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437
0,3686	2078	2109	-37,0209974	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437
0,3686	2109	2161	-62,0997375	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437
0,3686	2161	2087	88,3727034	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437
0,3686	2087	2274	-223,32021	0,9	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,34760193
0,3686	2274	2378	-124,199475	0,9	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,34760193
0,3686	2378	2426	-57,3228346	0,9	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,34760193
0,3686	2426	2478	-62,0997375	0,9	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,34760193
0,3686	2478	2391	103,897638	0,9	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,34760193
0,3686	2391	2335	66,8766404	0,9	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,34760193
0,3686	2335	2335	0	0,9	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,34760193
0,3686	2335	2326	10,7480315	0,9	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,34760193
0,3686	2326	2300	31,0498688	0,9	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,34760193
0,3686	2300	2291	10,7480315	0,9	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,34760193
0,3686	2291	2300	-10,7480315	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437
0,3686	2300	2330	-35,8267717	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437
0,3686	2330	2335	-5,97112861	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437
0,3686	2335	2357	-26,2729659	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437
0,3686	2357	2378	-25,0787402	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437
0,3686	2378	2387	-10,7480315	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437
0,3686	2387	2396	-10,7480315	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437

0,3686	2396	2387	10,7480315	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437
0,3686	2387	2387	0	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437
0,3686	2387	2457	-83,5958005	1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,38622437
0,3686	2457	2522	-77,6246719	0,8	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,30897949
0,3686	2522	2404	140,918635	0,8	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,30897949
0,3686	2404	2478	-88,3727034	0,8	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,30897949
0,3686	2478	2509	-37,0209974	0,8	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,30897949
0,3686	2509	2600	-108,674541	0,8	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,30897949
0,3686	2600	2509	108,674541	0,8	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,30897949
0,3686	2509	2478	37,0209974	0,8	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,30897949
0,3686	2478	2474	4,77690289	0,8	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,30897949
0,3686	2474	2504	-35,8267717	0,8	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,30897949
0,3686	2504	2522	-21,496063	0,8	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,30897949
0,3686	2522	2548	-31,0498688	1,1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,4248468
0,3686	2548	2596	-57,3228346	1,1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,4248468
0,3686	2596	2622	-31,0498688	1,1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,4248468
0,3686	2622	2626	-4,77690289	1,1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,4248468
0,3686	2626	2652	-31,0498688	1,1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,4248468
0,3686	2652	2809	-187,493438	1,1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,4248468
0,3686	2809	2717	109,868766	1,1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,4248468
0,3686	2717	2757	-47,7690289	1,1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,4248468
0,3686	2757	2678	94,343832	1,1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,4248468
0,3686	2678	2652	31,0498688	1,1	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,4248468
0,3686	2652	2622	35,8267717	1,8	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,69520386
0,3686	2622	2496	150,472441	1,8	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,69520386
0,3686	2496	2574	-93,1496063	1,8	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,69520386
0,3686	2574	2652	-93,1496063	1,8	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,69520386
0,3686	2652	2487	197,047244	1,8	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,69520386
0,3686	2487	2587	-119,422572	1,8	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,69520386
0,3686	2587	2517	83,5958005	1,8	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,69520386
0,3686	2517	2652	-161,220472	1,8	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,69520386
0,3686	2652	2765	-134,947507	1,8	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,69520386
0,3686	2765	2626	165,997375	1,8	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,69520386
0,3686	2626	2609	20,3018373	1,5	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,57933655
0,3686	2609	2622	-15,5249344	1,5	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,57933655
0,3686	2622	2526	114,645669	1,5	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,57933655
0,3686	2526	2591	-77,6246719	1,5	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,57933655
0,3686	2591	2626	-41,7979003	1,5	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,57933655
0,3686	2626	2748	-145,695538	1,5	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,57933655
0,3686	2748	2922	-207,795276	1,5	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,57933655
0,3686	2922	2913	10,7480315	1,5	14397,3565	20	11,7122423	0,0073	0,57933655

Fuente: Elaboración propia en base a los datos de YPF.

**Figura 4.2: Perfil longitudinal del Loop en el poliducto PCS**



Fuente: Elaboración propia en base a los datos de YPFB.

Ambos perfiles fueron elaborados para notar en que puntos tenemos mayores caídas de presión en el poliducto Camiri – Sucre. Estos perfiles fueron elaborados en base a las ecuaciones de caída de presión por fricción y por cambio de altura.

### **4.3. Características de Diseño del Loop en el PCS**

El Loop será fabricado en base a la norma API 5LX – 42 con la tensión de fluencia mínima especificada (SYMS) de 42.000 [psi], en base a esta información determinaremos el espesor del Loop del Poliducto Camiri - Sucre mediante la ecuación descrita más adelante.

#### **4.3.1. Cálculo del Espesor**

El cálculo del espesor del Loop en el PCS se determinará mediante la ecuación de Barlow que se expresa de la siguiente manera:



$$t = \frac{P * D}{2 * S * F * E * T} \quad (4.7)$$

Donde:

- t : Espesor del Loop [pulg]
- P : Presión interna del Loop [psi]
- D : Diámetro externo real del Loop [pulg]
- S : Tensión mínima de fluencia [psi]
- F : Factor de diseño de construcción [adimensional]
- E : Factor de junta longitudinal [adimensional]
- T : Factor de temperatura [adimensional]

Determinaremos el espesor del Loop con los siguientes datos:

Donde P calcularemos con un factor de seguridad del 10% la presión y

$$P = P_1 + 10\%P_1$$

$$P = 800[\text{psia}] + 0.1 * 800[\text{psia}]$$

Llevando la presión absoluta a presión manométrica es:

$$P = 865,3 [\text{psi}].$$

La tensión mínima de fluencia de acuerdo al material API 5LX-42 es

$$S = 42.000 [\text{psi}].$$

El diámetro externo real del Loop es

$$D = 6,625 [\text{pulg}].$$

El factor de construcción para el diseño de acuerdo al análisis se tiene La clase 1 y división 2 con

$$F = 0,72.$$

El factor de junta longitudinal es

$$E = 1.$$

El factor de temperatura como no existe variación de acuerdo a la norma de la misma es de

$$T = 1.$$

Reemplazando datos en la ecuación (4.7):

$$t = \frac{865,3 \text{ [psi]} * 6,625 \text{ [pulg]}}{2 * 42.000 \text{ [psi]} * 0,72 * 1 * 1}$$

$$t = 0,095 \text{ [pulg]}$$

El espesor real de acuerdo a la norma y según el anexo B es:

$$t_{\text{real}} = 0,125 \text{ [pulg]}$$

El diámetro interno real se calcula con la siguiente ecuación:

$$d_{\text{real}} = D_{\text{real}} - 2 * t_{\text{real}} \quad (4.8)$$

Reemplazando datos en la ecuación (4.8) se tiene:

$$d_{\text{real}} = 6,625 \text{ [pulg]} - 2 * 0,125 \text{ [pulg]}$$

$$d_{\text{real}} = 6,375 \text{ [pulg]}$$

El diseño del Loop en el PCS es satisfactorio debido a que se tiene que el diámetro real es mayor al diámetro calculado analíticamente mediante las ecuaciones correspondientes.

$$d_{\text{real}} > d_{\text{calculado}}$$

**Tabla 4.7: Características del Loop en el PCS**

Caudal [BPH]	152
Caudal máximo [BPH]	160
Diámetro nominal [pulg]	6
Diámetro externo [pulg]	6.625
Espesor [pulg]	0,125
Material	API-5LX 42
SYMS [psig]	42000
Caída de presión [psia/ft]	0.0306
SYMS [psig]	42000

Fuente: Elaboración propia.

Las características del Loop PCS son favorables para su implementación, una característica muy importante es que se puede ampliar su caudal hasta 160 [BPH], el diámetro nominal es de 6 [pulgadas], la tubería es de acero con el material API – 5LX 42 y su SYMS es de 42.000 [psig].

#### 4.4. Simulación del Loop en el PCS con Aspen Hysys v 8.8

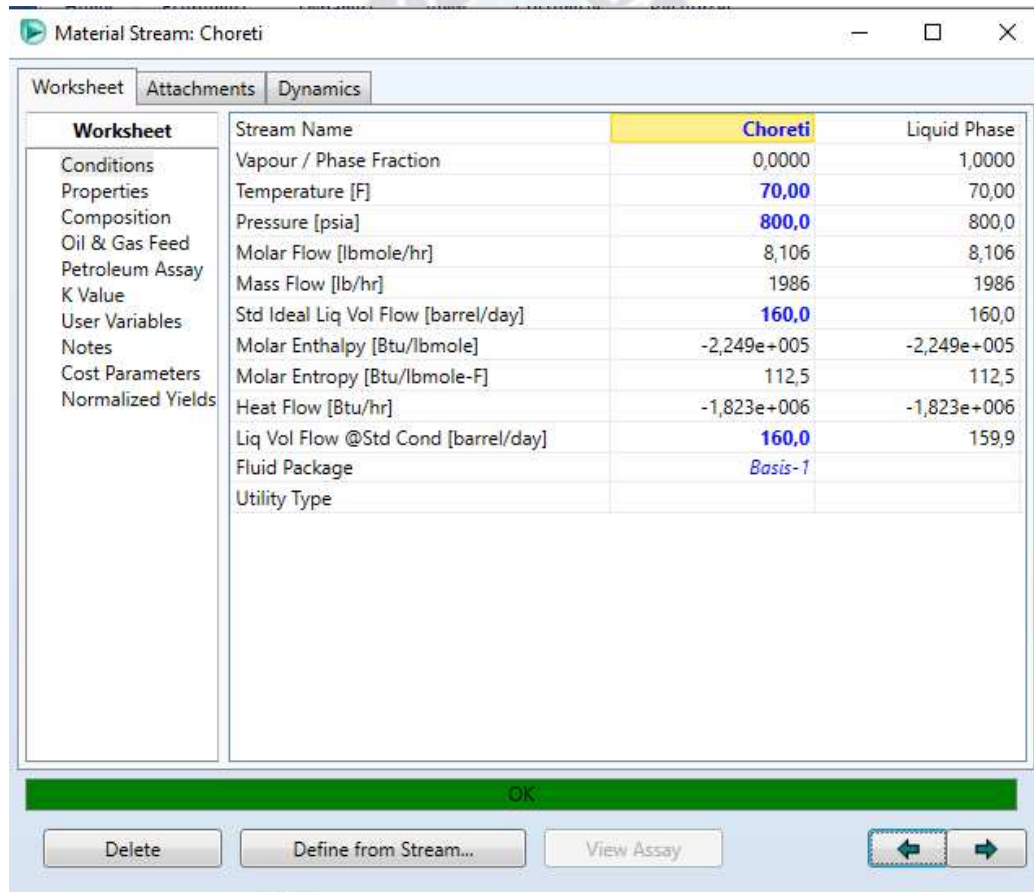
El proceso de simulación del poliducto fue realizado en base a los datos obtenidos en YPFB y criterios según el diseño del poliducto.

Ingresaremos los datos del diseño analítico en el simulador con el siguiente orden:

##### 4.4.1. Tramo Chorety – Monteagudo

Los datos de alimentación son los siguientes:

**Figura 4.3: Datos de alimentación del Loop en el poliducto PCS en el tramo Chorety - Monteagudo**



Worksheet	Stream Name	Choreti	Liquid Phase
Conditions	Vapour / Phase Fraction	0,0000	1,0000
Properties	Temperature [F]	70,00	70,00
Composition	Pressure [psia]	800,0	800,0
Oil & Gas Feed	Molar Flow [lbmole/hr]	8,106	8,106
Petroleum Assay	Mass Flow [lb/hr]	1986	1986
K Value	Std Ideal Liq Vol Flow [barrel/day]	160,0	160,0
User Variables	Molar Enthalpy [Btu/lbmole]	-2,249e+005	-2,249e+005
Notes	Molar Entropy [Btu/lbmole-F]	112,5	112,5
Cost Parameters	Heat Flow [Btu/hr]	-1,823e+006	-1,823e+006
Normalized Yields	Liq Vol Flow @Std Cond [barrel/day]	160,0	159,9
	Fluid Package	Basis-1	
	Utility Type		

Fuente: Elaboración propia en base al Simulador Aspen Hysys v 8.8.

En base a estos datos de alimentación, como siguiente paso realizaremos la simulación del Loop en el tramo Chorety – Monteagudo.

La siguiente tabla nos muestra los segmentos de tubería con respecto a la variación de la altura en el trazo del Loop.

**Tabla 4.8: Longitud y Elevaciones de tubería del Loop en el tramo Choreti - Monteagudo**

L [km]	H [m]
0	817
14	1130
14,8	904
17,2	1057
18	935
32	1452
33	1261
46	1322
51,6	1178
56,1	1370
69	1126
75	1300

Fuente: Elaboración propia en base a los datos de YPFB.

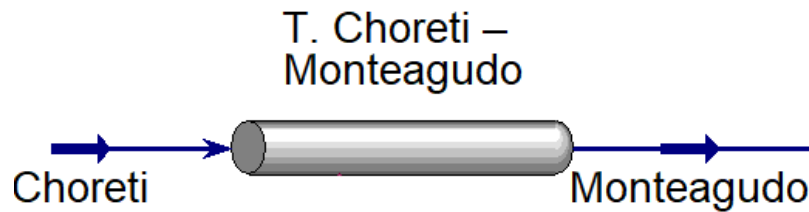
Completamos los datos de los segmentos de la tubería en el simulador, lo cual se puede evidenciar en la siguiente figura:

**Figura 4.4: Datos del Loop en el poliducto PCS en el tramo Choreti - Monteagudo**

Property	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Segment	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Fitting/Pipe	Pipe	Pipe	Pipe	Pipe	Pipe	Pipe	Pipe	Pipe	Pipe	Pipe	Pipe
Length/Equivalent Length	4,593e-004	2625	7874	2625	4,593e-004	3281	4,265e-004	1,837e-004	1,476e-004	1,290e-004	1,969e-004
Elevation Change	-1027	741,5	-508,0	400,3	-1696	626,6	-200,1	472,4	-629,9	800,5	-570,9
Outer Diameter	6,625	6,625	6,625	6,625	6,625	6,625	6,625	6,625	6,625	6,625	6,625
Inner Diameter	6,065	6,065	6,065	6,065	6,065	6,065	6,065	6,065	6,065	6,065	6,065
Material	Mild Steel	Mild Steel	Mild Steel	Mild Steel	Mild Steel	Mild Steel	Mild Steel	Mild Steel	Mild Steel	Mild Steel	Mild Steel
Roughness	1,500e-004	1,500e-004	1,500e-004	1,500e-004	1,500e-004	1,500e-004	1,500e-004	1,500e-004	1,500e-004	1,500e-004	1,500e-004
Pipe Wall Conductivity	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00
Increments	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
Fitting/lo	<empty>	<empty>	<empty>	<empty>	<empty>	<empty>	<empty>	<empty>	<empty>	<empty>	<empty>

Fuente: Elaboración propia en base al Simulador Aspen Hysys v 8.8.

**Figura 4.5: Loop del PCS en el tramo Choreti - Monteagudo**



Fuente: Elaboración propia en base al Simulador Aspen Hysys v 8.8.

Los datos de salida son los siguientes:

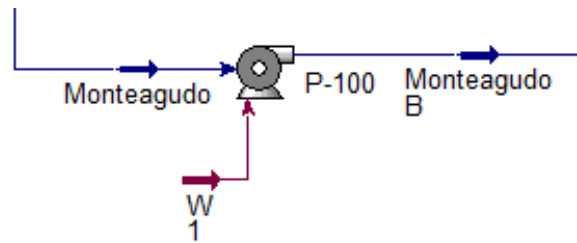
**Figura 4.6: Datos del fluido en Monteagudo**

Worksheet	Stream Name	Monteagudo	Liquid Phase
Conditions	Vapour / Phase Fraction	0,0000	1,0000
Properties	Temperature [F]	69,25	69,25
Composition	Pressure [psia]	215,2	215,2
Oil & Gas Feed	Molar Flow [lbmole/hr]	8,106	8,106
Petroleum Assay	Mass Flow [lb/hr]	1986	1986
K Value	Std Ideal Liq Vol Flow [barrel/day]	160,0	160,0
User Variables	Molar Enthalpy [Btu/lbmole]	-2,255e+005	-2,255e+005
Notes	Molar Entropy [Btu/lbmole-F]	112,5	112,5
Cost Parameters	Heat Flow [Btu/hr]	-1,828e+006	-1,828e+006
Normalized Yields	Liq Vol Flow @Std Cond [barrel/day]	159,9	159,9
	Fluid Package	Basis-1	
	Utility Type		

Fuente: Elaboración propia en base al Simulador Aspen Hysys v 8.8.

La estación de bombeo implementada en Monteagudo incrementa la energía para el transporte de hidrocarburos líquidos, se tiene en la siguiente figura:

**Figura 4.7: Sistema de bombeo implementado en la ubicación Monteagudo**



P-100		
Delta P	850,0	psi
Power	3,094	hp
Feed Pressure	215,2	psia
Product Pressure	1065	psia
Molar Flow	8,106	lbmole/hr

Fuente: Elaboración propia en base al Simulador Aspen Hysys v 8.8.

**Figura 4.8: Datos del fluido posteriores al sistema de bombeo implementado en Monteagudo**

Worksheet	Stream Name	Monteagudo B	Liquid Phase
Conditions	Vapour / Phase Fraction	0,0000	1,0000
Properties	Temperature [F]	71,78	71,78
Composition	Pressure [psia]	1065	1065
Oil & Gas Feed	Molar Flow [lbmole/hr]	8,106	8,106
Petroleum Assay	Mass Flow [lb/hr]	1986	1986
K Value	Std Ideal Liq Vol Flow [barrel/day]	160,0	160,0
User Variables	Molar Enthalpy [Btu/lbmole]	-2,245e+005	-2,245e+005
Notes	Molar Entropy [Btu/lbmole-F]	112,8	112,8
Cost Parameters	Heat Flow [Btu/hr]	-1,820e+006	-1,820e+006
Normalized Yields	Liq Vol Flow @Std Cond [barrel/day]	160,0	159,9
	Fluid Package	Basis-1	
	Utility Type		

Fuente: Elaboración propia en base al Simulador Aspen Hysys v 8.8.



#### 4.4.2. Tramo Monteagudo – El Rosal

En base a estos datos de alimentación, como siguiente paso realizaremos la simulación del Loop en el tramo Monteagudo – El Rosal.

La siguiente tabla nos muestra los segmentos de tubería con respecto a la variación de la altura en el trazo del Loop.

**Tabla 4.9: Longitud y Elevaciones de tubería del Loop en el tramo Monteagudo – El Rosal**

L [km]	H [m]
75	1300
80,6	1896
91	1274
93	1522
106,8	1174
113,7	1548
120	1883
126,3	2139

Fuente: Elaboración propia en base a los datos de YPFB.

Completamos los datos de los segmentos de la tubería en el simulador, lo cual se puede evidenciar en la siguiente figura:

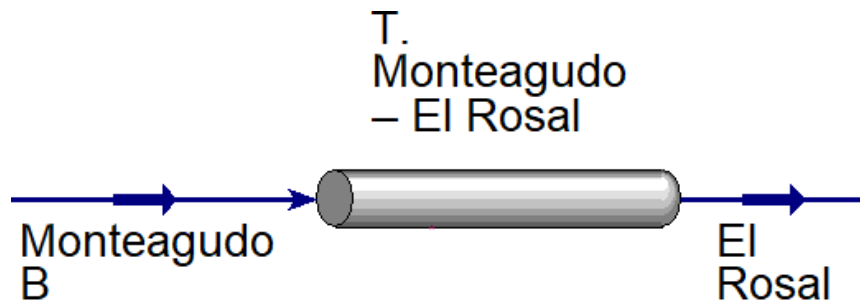
**Figura 4.9: Datos del Loop en el poliducto PCS en el tramo Monteagudo – El Rosal**

Property	1	2	3	4	5	6	7
Segment	1	2	3	4	5	6	7
Fitting/Pipe	Pipe	Pipe	Pipe	Pipe	Pipe	Pipe	Pipe
Length/Equivalent Length	1,837e+004	3,412e+004	6562	4,528e+004	2,264e+004	2,067e+004	2,067e+004
Elevation Change	1955	-2041	813,6	-1142	1227	1099	839,9
Outer Diameter	6,625	6,625	6,625	6,625	6,625	6,625	6,625
Inner Diameter	6,065	6,065	6,065	6,065	6,065	6,065	6,065
Material	Mild Steel	Mild Steel	Mild Steel	Mild Steel	Mild Steel	Mild Steel	Mild Steel
Roughness	1,500e-004	1,500e-004	1,500e-004	1,500e-004	1,500e-004	1,500e-004	1,500e-004
Pipe Wall Conductivity	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00
Increments	5	5	5	5	5	5	5
Fitting/No	<empty>	<empty>	<empty>	<empty>	<empty>	<empty>	<empty>

Fuente: Elaboración propia en base al Simulador Aspen Hysys v 8.8.

El poliducto simulado en el tramo Monteagudo – El Rosal se muestra a continuación:

**Figura 4.10: Loop del PCS en el tramo Monteagudo – El Rosal**



Fuente: Elaboración propia en base al Simulador Aspen Hysys v 8.8.

Los datos de salida son los siguientes:

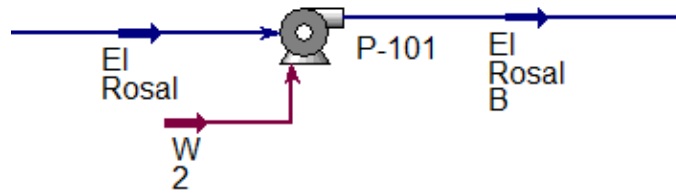
**Figura 4.11: Datos del fluido en El Rosal**

Worksheet	Stream Name	El Rosal	Liquid Phase
Conditions	Vapour / Phase Fraction	0,0000	1,0000
Properties	Temperature [F]	70,89	70,89
Composition	Pressure [psia]	51,47	51,47
Oil & Gas Feed	Molar Flow [lbmole/hr]	8,106	8,106
Petroleum Assay	Mass Flow [lb/hr]	1986	1986
K Value	Std Ideal Liq Vol Flow [barrel/day]	160,0	160,0
User Variables	Molar Enthalpy [Btu/lbmole]	-2,254e+005	-2,254e+005
Notes	Molar Entropy [Btu/lbmole-F]	112,8	112,8
Cost Parameters	Heat Flow [Btu/hr]	-1,827e+006	-1,827e+006
Normalized Yields	Liq Vol Flow @Std Cond [barrel/day]	159,9	159,9
	Fluid Package	Basis-1	
	Utility Type		

Fuente: Elaboración propia en base al Simulador Aspen Hysys v 8.8.

La estación de bombeo implementada en El Rosal incrementa la energía para el transporte de hidrocarburos líquidos, se tiene en la siguiente figura:

**Figura 4.12: Sistema de bombeo implementado en la ubicación El Rosal**



P-101		
Delta P	450,0	psi
Power	1,641	hp
Feed Pressure	51,47	psia
Product Pressure	501,5	psia
Molar Flow	8,106	lbmole/hr

Fuente: Elaboración propia en base al Simulador Aspen Hysys v 8.8.

**Figura 4.13: Datos del fluido posteriores al sistema de bombeo implementado en El Rosal**

Worksheet	Stream Name	El Rosal B	Liquid Phase
Conditions	Vapour / Phase Fraction	0,0000	1,0000
Properties	Temperature [F]	72,24	72,24
Composition	Pressure [psia]	501,5	501,5
Oil & Gas Feed	Molar Flow [lbmole/hr]	8,106	8,106
Petroleum Assay	Mass Flow [lb/hr]	1986	1986
K Value	Std Ideal Liq Vol Flow [barrel/day]	160,0	160,0
User Variables	Molar Enthalpy [Btu/lbmole]	-2,249e+005	-2,249e+005
Notes	Molar Entropy [Btu/lbmole-F]	113,0	113,0
Cost Parameters	Heat Flow [Btu/hr]	-1,823e+006	-1,823e+006
Normalized Yields	Liq Vol Flow @Std Cond [barrel/day]	159,9	159,9
	Fluid Package	Basis-1	
	Utility Type		

Fuente: Elaboración propia en base al Simulador Aspen Hysys v 8.8.

#### 4.4.3. Tramo El Rosal – Tarabuquillo

En base a estos datos de alimentación, como siguiente paso realizaremos la simulación del Loop en el tramo El Rosal - Tarabuquillo.

La siguiente tabla nos muestra los segmentos de tubería con respecto a la variación de la altura en el trazo del Loop.

**Tabla 4.10: Longitud y Elevaciones de tubería del Loop en el tramo El Rosal - Tarabuquillo**

L [km]	H [m]
126,3	2139
131	2387
135	2700
145,3	2191
156,1	1961
170,6	2478
176	2291

Fuente: Elaboración propia en base a los datos de YPFB.

Completamos los datos de los segmentos de la tubería en el simulador, lo cual se puede evidenciar en la siguiente figura:

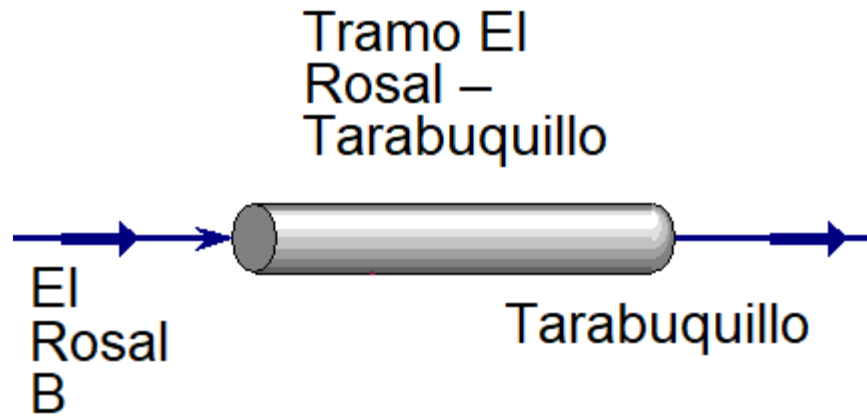
**Figura 4.14: Datos del Loop en el poliducto PCS en el tramo El Rosal - Tarabuquillo**

Segment	1	2	3	4	5	6
Fitting/Pipe	Pipe	Pipe	Pipe	Pipe	Pipe	Pipe
Length/Equivalent Length	1,542e+004	1,312e+004	3,379e+004	3,543e+004	4,757e+004	1,772e+004
Elevation Change	813,6	1027	-1670	-754,6	1696	-613,5
Outer Diameter	6,625	6,625	6,625	6,625	6,625	6,625
Inner Diameter	6,065	6,065	6,065	6,065	6,065	6,065
Material	Mild Steel	Mild Steel	Mild Steel	Mild Steel	Mild Steel	Mild Steel
Roughness	1,500e-004	1,500e-004	1,500e-004	1,500e-004	1,500e-004	1,500e-004
Pipe Wall Conductivity	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00
Increments	5	5	5	5	5	5
FittingNo	<empty>	<empty>	<empty>	<empty>	<empty>	<empty>

Fuente: Elaboración propia en base al Simulador Aspen Hysys v 8.8.

El poliducto simulado en el tramo El Rosal - Tarabuquillo se muestra a continuación:

**Figura 4.15: Loop del PCS en el tramo El Rosal - Tarabuquillo**



Fuente: Elaboración propia en base al Simulador Aspen Hysys v 8.8.

Los datos de salida son los siguientes:

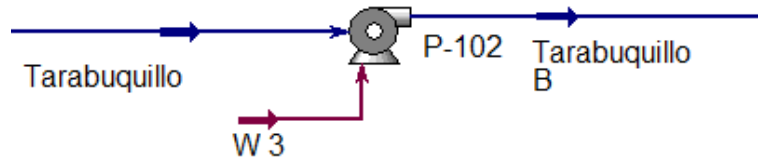
**Figura 4.16: Datos del fluido en Tarabuquillo**

Worksheet	Stream Name	Tarabuquillo	Liquid Phase
Conditions	Vapour / Phase Fraction	0,0000	1,0000
Properties	Temperature [F]	72,18	72,18
Composition	Pressure [psia]	317,3	317,3
Oil & Gas Feed	Molar Flow [lbmole/hr]	8,106	8,106
Petroleum Assay	Mass Flow [lb/hr]	1986	1986
K Value	Std Ideal Liq Vol Flow [barrel/day]	160,0	160,0
User Variables	Molar Enthalpy [Btu/lbmole]	-2,250e+005	-2,250e+005
Notes	Molar Entropy [Btu/lbmole-F]	113,1	113,1
Cost Parameters	Heat Flow [Btu/hr]	-1,824e+006	-1,824e+006
Normalized Yields	Liq Vol Flow @Std Cond [barrel/day]	159,9	159,9
	Fluid Package	Basis-1	
	Utility Type		

Fuente: Elaboración propia en base al Simulador Aspen Hysys v 8.8.

La estación de bombeo implementada en Tarabuquillo incrementa la energía para el transporte de hidrocarburos líquidos, se tiene en la siguiente figura:

**Figura 4.17: Sistema de bombeo implementado en la ubicación Tarabuquillo**



P-102		
Delta P	500,0	psi
Power	1,821	hp
Feed Pressure	317,3	psia
Product Pressure	817,3	psia
Molar Flow	8,106	lbmole/hr

Fuente: Elaboracion propia en base al Simulador Aspen Hysys v 8.8.

**Figura 4.18: Datos del fluido posteriores al sistema de bombeo implementado en Tarabuquillo**

Worksheet	Stream Name	Tarabuquillo B	Liquid Phase
Vapour / Phase Fraction		0,0000	1,0000
Temperature [F]		73,67	73,67
Pressure [psia]		817,3	817,3
Molar Flow [lbmole/hr]		8,106	8,106
Mass Flow [lb/hr]		1986	1986
Std Ideal Liq Vol Flow [barrel/day]		160,0	160,0
Molar Enthalpy [Btu/lbmole]		-2,245e+005	-2,245e+005
Molar Entropy [Btu/lbmole-F]		113,3	113,3
Heat Flow [Btu/hr]		-1,820e+006	-1,820e+006
Liq Vol Flow @Std Cond [barrel/day]		159,9	159,9
Fluid Package		Basis-1	
Utility Type			

Fuente: Elaboracion propia en base al Simulador Aspen Hysys v 8.8.



#### 4.4.4. Tramo Tarabuquillo – Taipirani

En base a estos datos de alimentación, como siguiente paso realizaremos la simulación del Loop en el tramo Tarabuquillo - Taipirani.

La siguiente tabla nos muestra los segmentos de tubería con respecto a la variación de la altura en el trazo del Loop.

**Tabla 4.11: Longitud y Elevaciones de tubería del Loop en el tramo Tarabuquillo - Taipirani**

L [km]	H [m]
176	2291
183	2396
186	2457
190	2600
200,6	2809
217,6	2517
226	2622
236,5	2913

Fuente: Elaboración propia en base a los datos de YPFB.

Completamos los datos de los segmentos de la tubería en el simulador, lo cual se puede evidenciar en la siguiente figura:

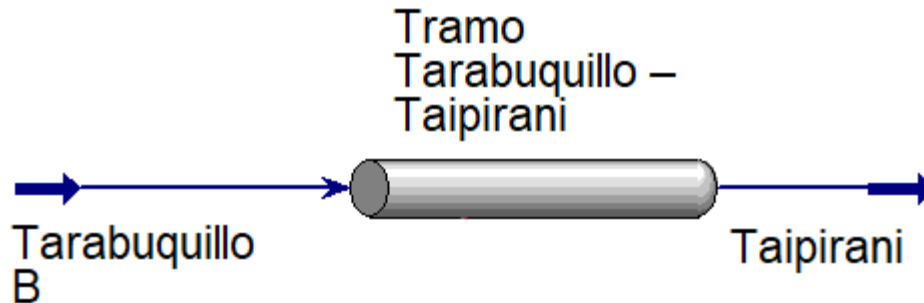
**Figura 4.19: Datos del Loop en el poliducto PCS en el tramo Tarabuquillo - Taipirani**

Segment	1	2	3	4	5	6	7
Fitting/Pipe	Pipe	Pipe	Pipe	Pipe	Pipe	Pipe	Pipe
Length/Equivalent Length	2,297e+004	9843	1,312e+004	3,478e+004	5,577e+004	2,756e+004	3,445e+004
Elevation Change	885,8	200,1	469,2	685,7	-958,0	954,7	
Outer Diameter	6.625	6.625	6.625	6.625	6.625	6.625	6.625
Inner Diameter	6.065	6.065	6.065	6.065	6.065	6.065	6.065
Material	Mild Steel	Mild Steel	Mild Steel	Mild Steel	Mild Steel	Mild Steel	Mild Steel
Roughness	1,500e-004	1,500e-004	1,500e-004	1,500e-004	1,500e-004	1,500e-004	1,500e-004
Pipe Wall Conductivity	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00
Increments	5	5	5	5	5	5	5
Fitting/No	<empty>	<empty>	<empty>	<empty>	<empty>	<empty>	<empty>

Fuente: Elaboración propia en base al Simulador Aspen Hysys v 8.8.

El poliducto simulado en el tramo Tarabuco - Taipirani se muestra a continuación:

**Figura 4.20: Loop del PCS en el tramo Tarabuquillo - Taipirani**



Fuente: Elaboración propia en base al Simulador Aspen Hysys v 8.8.

Los datos de salida son los siguientes:

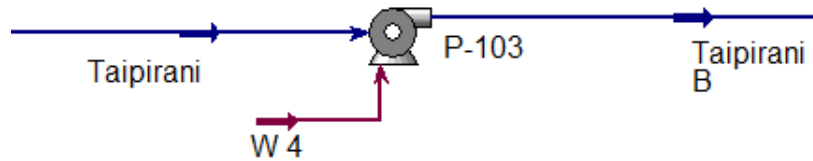
**Figura 4.21: Datos del fluido en Taipirani**

Worksheet	Stream Name	Taipirani	Liquid Phase
Conditions	Vapour / Phase Fraction	0,0000	1,0000
Properties	Temperature [F]	72,86	72,86
Composition	Pressure [psia]	66,33	66,33
Oil & Gas Feed	Molar Flow [lbmole/hr]	8,106	8,106
Petroleum Assay	Mass Flow [lb/hr]	1986	1986
K Value	Std Ideal Liq Vol Flow [barrel/day]	160,0	160,0
User Variables	Molar Enthalpy [Btu/lbmole]	-2,252e+005	-2,252e+005
Notes	Molar Entropy [Btu/lbmole-F]	113,2	113,2
Cost Parameters	Heat Flow [Btu/hr]	-1,825e+006	-1,825e+006
Normalized Yields	Liq Vol Flow @Std Cond [barrel/day]	159,9	159,9
	Fluid Package	Basis-1	
	Utility Type		

Fuente: Elaboración propia en base al Simulador Aspen Hysys v 8.8.

La estación de bombeo implementada en Taipirani incrementa la energía para el transporte de hidrocarburos líquidos, se tiene en la siguiente figura:

**Figura 4.22: Sistema de bombeo implementado en la ubicación Taipirani**



P-103		
Delta P	300,0	psi
Power	1,095	hp
Feed Pressure	66,33	psia
Product Pressure	366,3	psia
Molar Flow	8,106	lbmole/hr

Fuente: Elaboración propia en base al Simulador Aspen Hysys v 8.8.

**Figura 4.23: Datos del fluido posteriores al sistema de bombeo implementado en Taipirani**

Worksheet	Stream Name	Value	Unit
Conditions	Vapour / Phase Fraction	0,0000	
Properties	Temperature [F]	73,76	73,76
Composition	Pressure [psia]	366,3	366,3
Oil & Gas Feed	Molar Flow [lbmole/hr]	8,106	8,106
Petroleum Assay	Mass Flow [lb/hr]	1986	1986
K Value	Std Ideal Liq Vol Flow [barrel/day]	160,0	160,0
User Variables	Molar Enthalpy [Btu/lbmole]	-2,248e+005	-2,248e+005
Notes	Molar Entropy [Btu/lbmole-F]	113,4	113,4
Cost Parameters	Heat Flow [Btu/hr]	-1,823e+006	-1,823e+006
Normalized Yields	Liq Vol Flow @Std Cond [barrel/day]	159,9	159,9
	Fluid Package	Basis-1	
	Utility Type		

Fuente: Elaboración propia en base al Simulador Aspen Hysys v 8.8.

#### 4.4.5. Tramo Taipirani – Qhora Qhora

En base a estos datos de alimentación, como siguiente paso realizaremos la simulación del Loop en el tramo Taipirani – Qhora Qhora.

La siguiente tabla nos muestra los segmentos de tubería con respecto a la variación de la altura en el trazo del Loop.

**Tabla 4.12: Longitud y Elevaciones de tubería del Loop en el tramo Taipirani – Qhora Qhora**

L [km]	H [m]
236,5	2913
241,4	3183
246,5	2974
248,2	3178
253,3	3252
263,4	2835
266,2	3022
272,4	2813
279,2	3100
291,4	2900
296,8	2961
304	2739

Fuente: Elaboración propia en base a los datos de YPFB.

Completamos los datos de los segmentos de la tubería en el simulador, lo cual se puede evidenciar en la siguiente figura:

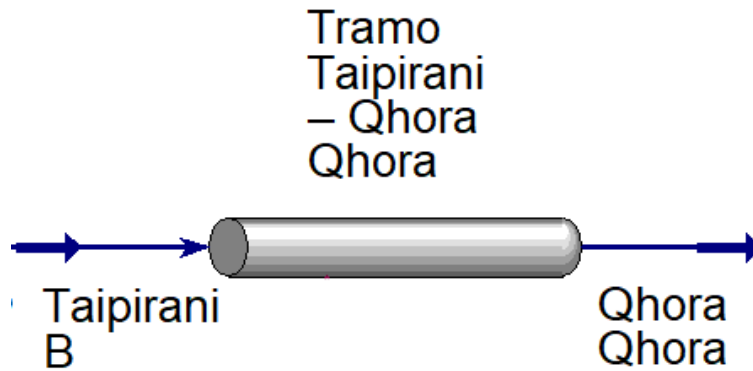
**Figura 4.24: Datos del Loop en el poliducto PCS en el tramo Taipirani – Qhora Qhora**

Segment	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Fitting/Pipe	Pipe	Pipe	Pipe	Pipe	Pipe	Pipe	Pipe	Pipe	Pipe	Pipe	Pipe
Length/Equivalent Length	1,608e+004	1,673e+004	5577	1,673e+004	3,314e+004	9186	2,934e+004	2,231e+004	4,003e+004	1,772e+004	2,362e+004
Elevation Change	885,8	-685,7	669,3	242,8	-1368	613,5	-685,7	941,6	-656,2	200,1	-728,3
Outer Diameter	6,625	6,625	6,625	6,625	6,625	6,625	6,625	6,625	6,625	6,625	6,625
Inner Diameter	6,065	6,065	6,065	6,065	6,065	6,065	6,065	6,065	6,065	6,065	6,065
Material	Mild Steel	Mild Steel	Mild Steel	Mild Steel	Mild Steel	Mild Steel	Mild Steel	Mild Steel	Mild Steel	Mild Steel	Mild Steel
Roughness	1,500e-054	1,500e-054	1,500e-054	1,500e-054	1,500e-054	1,500e-054	1,500e-054	1,500e-054	1,500e-054	1,500e-054	1,500e-054
Pipe Wall Conductivity	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00
Increments	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
FittingNo	<empty>	<empty>	<empty>	<empty>	<empty>	<empty>	<empty>	<empty>	<empty>	<empty>	<empty>

Fuente: Elaboración propia en base al Simulador Aspen Hysys v 8.8.

El poliducto simulado en el tramo Tarabuco - Taipirani se muestra a continuación:

**Figura 4.25: Loop del PCS en el tramo Taipirani Qhora Qhora**



Fuente: Elaboración propia en base al Simulador Aspen Hysys v 8.8.

Los datos de salida son los siguientes:

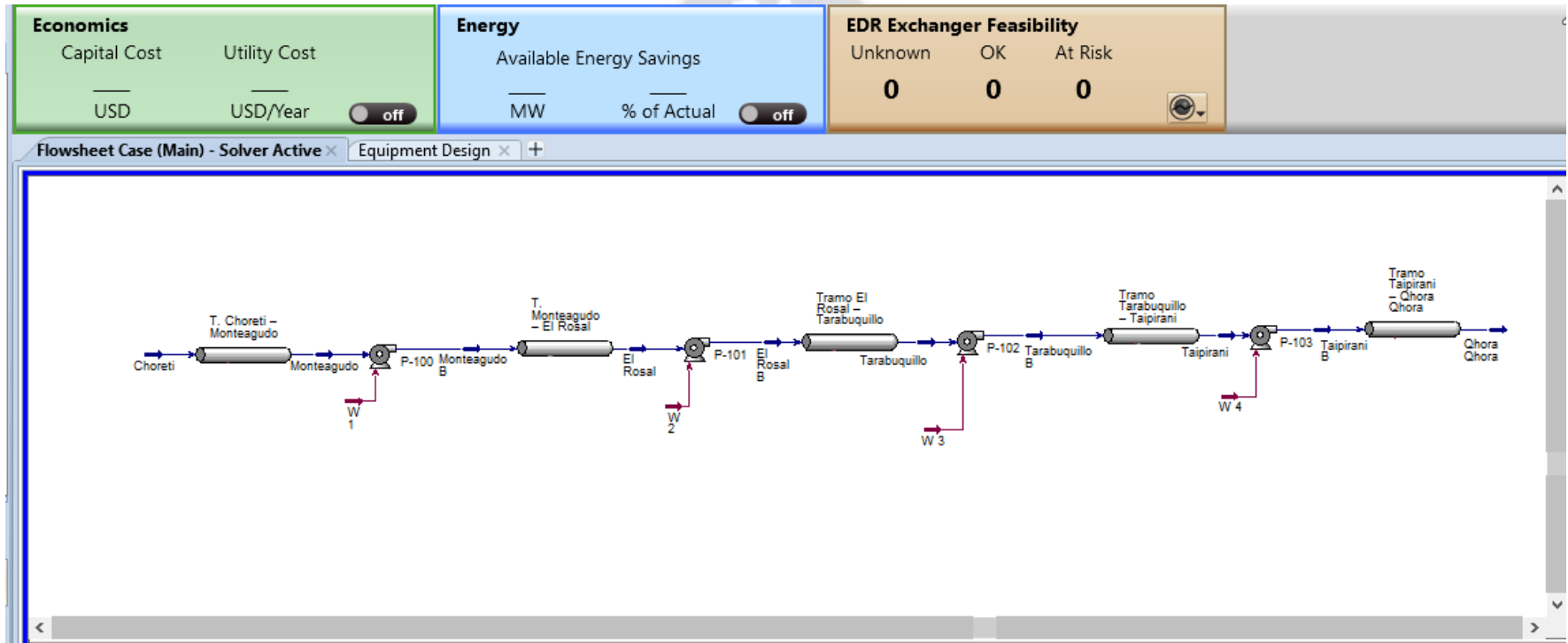
**Figura 4.26: Datos del fluido en Qhora Qhora**

Worksheet	Stream Name	Qhora Qhora	Liquid Phase
Conditions	Vapour / Phase Fraction	0,0000	1,0000
Properties	Temperature [F]	73,12	73,12
Composition	Pressure [psia]	155,6	155,6
Oil & Gas Feed	Molar Flow [lbmole/hr]	8,106	8,106
Petroleum Assay	Mass Flow [lb/hr]	1986	1986
K Value	Std Ideal Liq Vol Flow [barrel/day]	160,0	160,0
User Variables	Molar Enthalpy [Btu/lbmole]	-2,251e+005	-2,251e+005
Notes	Molar Entropy [Btu/lbmole-F]	113,3	113,3
Cost Parameters	Heat Flow [Btu/hr]	-1,825e+006	-1,825e+006
Normalized Yields	Liq Vol Flow @Std Cond [barrel/day]	159	159,9
	Fluid Package	Basis-1	
	Utility Type		

Fuente: Elaboración propia en base al Simulador Aspen Hysys v 8.8.

Los resultados de la simulación con el simulador Aspen Hysys v 8.8 para el poliducto Camiri - Sucre con el diseño del Loop se muestran en la siguiente figura:

**Figura 4.27: Loop en el PCS**



Fuente: Elaboración propia en base al Simulador Aspen Hysys v 8.8.



Los datos del Loop en el tramo Choreti – Monteagudo obtenidos mediante el simulador Aspen Hysys v 8.8 se muestran en la siguiente tabla a continuación:

**Tabla 4.13: Características del Loop en el PCS en el tramo Choreti - Monteagudo**

Caudal [BPH]	152
Caudal máximo [MMPCD]	160
Diámetro nominal [pulg]	6
Diámetro externo [pulg]	6.625
Espesor [pulg]	0,188
Material	API-5LX 42
SYMS [psig]	42000

Fuente: Elaboración propia en base a los datos de YPFB.

#### 4.5. Análisis de Los Resultados Obtenidos con el Simulador y El Método Analítico

Los resultados obtenidos por ambos métodos de cálculo de las características del Loop Camiri – Sucre en el tramo Choreti - Monteagudo se pueden observar en la siguiente tabla

**Tabla 4.14: Características del Loop en el PCS en el tramo Choreti - Monteagudo**

Parámetros	Analítico	Simulador	Diferencia %
Caudal [BPH]	152	152	0
Caudal máximo [BPH]	160	160	0
Diámetro nominal [pulg]	6	6	6
Diámetro externo [pulg]	6.625	6.625	6
Espesor [pulg]	0,125	0.188	26,4
Material	API-5LX 42	API-5LX 42	
SYMS [psig]	42.000	42.000	0
Caída de presión [psia/ft]	0,0306	0,0258	15,7

Fuente: Elaboración propia en base a los datos de YPFB.

En la tabla anterior se observa diferencias porcentuales aceptables en los resultados obtenidos por ambos métodos para las variables de espesor, presión y temperatura se tiene una considerable diferencia debido a los diferentes paquetes de fluidos que se tiene en el simulador y el método analítico.

Los valores obtenidos fueron favorables para el tramo analizado debido a la topografía del terreno por el cual se realizó el trazo del poliducto paralelo. Un factor muy importante fue la caída de presión a través del tramo elegido para su diseño, la diferencia porcentual fue de 16%, lo cual se considera aceptable debido las ecuaciones que incluye en el simulador.

#### **4.6. Análisis FODA al Proyecto**

El análisis FODA realizado al proyecto es el siguiente:

##### **4.6.1. Fortalezas**

- Bolivia es productor de hidrocarburos, con leyes que tienen el objetivo de abastecer a la población.
- Disponibilidad de hidrocarburos para transportar a todos los departamentos.
- Ampliación de la capacidad de transporte con el objetivo de abastecer a los departamentos de Chuquisaca y Potosí.
- Confiabilidad con el mercado interno.

##### **4.6.2. Debilidades**

- Bolivia no tiene acceso a algunas poblaciones por la topografía del lugar.
- Debido a la ley de hidrocarburos las empresas privadas no realizan inversiones en nuestro país para abastecer a poblaciones que no se tiene mucho acceso.
- Desconfianza de los inversionistas.

##### **4.6.3. Oportunidades**

- Crecimiento en la demanda interna de hidrocarburos líquidos.
- Exportación a países fronterizos en la región.

- Crecimiento del mercado debido al requerimiento de las empresas industriales.

#### **4.6.4. Amenazas**

- La baja inversión en la exploración de nuevas reservas
- Conflictos políticos.
- Acuerdos de los municipios con el estado.



## CAPITULO V

### NORMATIVA AMBIENTAL PARA LA CONSTRUCCION DE POLIDUCTOS

#### 5.1. Normativa Ambiental

La normativa ambiental es analizada en base al Reglamento al Sector de Hidrocarburos, teniendo como puntos importantes los siguientes aspectos:

- ✓ Selección de Vía
- ✓ Consideraciones en La Selección de Vía
- ✓ Planificación y Selección de Vía
- ✓ Levantamiento Topográfico
- ✓ Desbroce y Nivelación del Terreno
- ✓ Remoción y Almacenamiento del Suelo
- ✓ Instalación y Manipuleo de La Tubería
- ✓ Relleno de La Zanja
- ✓ Prueba Hidrostática
- ✓ Construcción de Ductos en Los Cruces
- ✓ Instalación de Equipos en La Construcción del Ducto en Los Cruces
- ✓ Manejo de Desechos Sólidos y Líquidos
- ✓ Operación y Mantenimiento
- ✓ Limpieza y Restauración del Lugar

##### 5.1.1. Selección de Vía

Para la selección de la vía, la Responsable debe asegurar:

- a) Que la vía seleccionada sea elegida en base a un análisis de varias opciones de rutas, para reducir los impactos físicos, biológicos, culturales y socioeconómicos.
- b) Que cuando exista la necesidad de construir derechos de vía nuevos, esta acción se realice ensanchando los ya existentes, a fin de no afectar áreas adicionales. Igualmente, con carácter previo a la construcción de nuevas rutas de acceso, deberán usarse los caminos anteriormente construidos.

### **5.1.2. Consideraciones en La Selección de Vía**

Durante el proceso de selección de la vía, la Responsable debe evitar la construcción del ducto sobre:

- a) áreas que tengan un conocido valor arqueológico y cultural. Antes de la construcción, la ruta seleccionada deberá ser evaluada por un arqueólogo calificado, a fin de determinar la existencia de recursos arqueológicos y culturales.
- b) Zonas de alta sensibilidad ambiental tales como: hábitat de fauna silvestre, comunidades de plantas raras y únicas, zonas de recarga de agua subterránea.
- c) áreas en las que se presume dificultad para la revegetación y la restauración de la superficie del terreno.

### **5.1.3. Planificación y Selección de Vía**

Durante la planificación y selección de la vía la Responsable debe:

- a) Diseñar los caminos de acceso a la ruta del ducto, para reducir la alteración que pueda causarse al drenaje natural del terreno.
- b) Mantener una zona de protección adyacente a los ríos, arroyos y lagos a fin de no alterar el suelo y la vegetación, conservando una distancia de por lo menos 100 metros entre el derecho de vía y los cuerpos de agua. Esta distancia no será aplicable en caso de que el ducto cruce cualquiera de los citados cuerpos de agua.

### **5.1.4. Levantamiento Topográfico**

Para el levantamiento topográfico del derecho de vía, la Responsable debe:

- a) Asegurar que el personal asignado a las labores de topografía realice su trabajo marcando y delimitando los lugares definidos que son de interés arqueológico y cultural, para evitar daños a estos recursos.
- b) Establecer un ancho para el derecho de vía que contemple las dimensiones mínimas permitidas establecidas en el anexo No 5 del presente Reglamento.

c) Marcar los límites laterales del derecho de vía con estacas y banderolas. Esta acción debe continuar durante toda la fase de construcción.

#### **5.1.5. Desbroce y Nivelación del Terreno**

Para el desbroce y nivelación del terreno, la Responsable debe:

- a) Limpiar solamente con herramientas manuales las áreas cercanas a los cruces de agua hasta una distancia de 100 metros, así como las pendientes con inclinaciones mayores a 30%.
- b) Utilizar maquinaria que minimice la alteración de la superficie y la compactación del terreno. El uso de vehículos debe restringirse a los caminos de acceso e instalaciones dentro de los límites del derecho de vía.
- c) Ubicar las áreas de almacenamiento de vegetación, a una distancia mínima de 100 metros de los cuerpos de agua.
- d) Prohibir la tala de árboles dentro de los 100 metros adyacentes a los cuerpos de agua evitando disponer en estos la vegetación cortada.
- e) Prohibir la tala de árboles que se encuentren fuera del derecho de vía, excepto cuando se presenten riesgos para las operaciones.
- f) Disponer en forma apropiada la vegetación cortada, para cuyo efecto podrá ser picada, troceada y desparramada a fin de evitar la erosión y fomentar la revegetación del lugar.
- g) Detener las actividades si se descubren lugares de valor arqueológico o cultural, durante el desbroce u operación, hasta que la autoridad pertinente haya sido informada y adopte medidas que aseguren la protección y/o el rescate de estos recursos

#### **5.1.6. Remoción y Almacenamiento del Suelo**

Para la remoción y almacenamiento del suelo, la Responsable debe:

- a) Depositar dentro del derecho de vía, durante la operación de nivelación, todo el suelo para uso futuro en actividades de restauración. El retiro del suelo deberá limitarse al ancho de la zanja abierta para la tubería.



- b) Prohibir la disposición del suelo en los cuerpos de agua y fuera del derecho de vía.
- c) Retirar y almacenar selectivamente el suelo, sin mezclar éste con la tierra que posteriormente será extraída de la zanja, debiendo mantenerse un mínimo de un metro de distancia entre el lugar donde se encuentran el suelo y la tierra.

#### **5.1.7. Instalación y Manipuleo de La Tubería**

Para la instalación y manipuleo de la tubería, la Responsable debe:

- a) Enterrar la tubería por debajo del suelo, en caso de que ésta no sea área.
- b) Reducir el tiempo a transcurrir entre la apertura de la zanja, la instalación de la tubería y el rellenado, para evitar que ésta se halle abierta durante un tiempo prolongado.
- c) Evitar la erosión en el área adyacente a la zanja por descarga de agua extraída proveniente de ésta.
- d) Proceder a instalar la tubería inmediatamente de abierta la zanja en los lugares con nivel freático alto, para evitar la acumulación de agua dentro de ésta.
- e) Disponer la tubería de forma que, a intervalos escogidos, se permita el paso de animales, el acceso de vehículos y el drenaje superficial.
- f) Prohibir la disposición de los electrodos de soldadura usados, sobre el derecho de vía o dentro de la zanja.

#### **5.1.8. Relleno de La Zanja**

Para el relleno de la zanja, la Responsable debe:

- a) Realizar esta operación con la misma tierra antes de la reposición del suelo. En ningún caso se dispondrán los desechos o restos de madera dentro de la zanja.
- b) Iniciar el relleno de la zanja inmediatamente después de instalada la tubería, para evitar que la misma permanezca abierta durante un tiempo prolongado.

- c) Construir barreras impermeables, para conducir el flujo de agua infiltrada hacia la superficie del terreno y posteriormente fuera del derecho de vía.
- d) Instalar desagües en la zanja para facilitar el drenaje subterráneo.

#### **5.1.9. Prueba Hidrostática**

Para las pruebas hidrostática, la Responsable debe:

- a) Obtener la aprobación de la AAC en el EIA, para la utilización del agua.
- b) Realizar las pruebas hidrostáticas de manera que se preserve la seguridad pública, informando a la población que, podría ser eventualmente afectada en las áreas donde se realizarán estas actividades.
- c) Asegurarse de que las tuberías colocadas en los cruces de ríos o en áreas ambientalmente sensitivas con carácter previo a su instalación, no presenten defectos para evitar operaciones de reparación posteriores.
- d) Limitar la extracción de agua a una cantidad que no sobrepase el 10 % del volumen de cuerpos de agua estáticos, tales como lagos o lagunas, ni el 10 % del flujo de cuerpos de agua dinámicos tales como ríos o arroyos.
- e) Proteger los recursos piscícolas, donde los hubiere, utilizando rejillas en la toma de agua para evitar la entrada de peces a ésta.
- f) Ubicar los lugares de extracción de agua a una distancia mínima de dos kilómetros aguas arriba de las tomas de agua potable.
- g) Descargar el agua usada en las pruebas, aguas abajo de las tomas de agua potable, en la misma cuenca de la que fue extraída, sin causar erosión en las orillas o áreas circundantes.
- h) Analizar el agua de las pruebas hidrostática antes de la descarga, para asegurar que no contenga contaminantes tales como: inhibidores de corrosión, biocidas, glicol u otros químicos. Si esto ocurriera, el agua deberá ser previamente tratada antes de la descarga o reinyección.

#### **5.1.10. Construcción de Ductos en Los Cruces**

Durante la construcción de los ductos en los cruces de agua la Responsable debe:

- a) Obtener la aprobación de la AAC como parte del EEIA, antes de la construcción del ducto. La aprobación debe indicar el tipo de, procedimiento de construcción usado y las medidas de protección y restauración que serán implementadas.
- b) Realizar esta operación en el menor tiempo posible, para minimizar los impactos al ambiente acuático.
- c) Enterrar la tubería por debajo del nivel de profundidad máximo del lecho del río, cubriéndola por lo menos con 1.5 metros de material en el punto más alto de la tubería.
- d) instalar tapones y detener la excavación de las zanjas, para evitar el ingreso de agua con lodo en las proximidades de los cuerpos de agua.
- e) implementar medidas de control de erosión, para evitar la introducción de sedimentos en los cuerpos de agua adyacentes.
- f) Retirar todos los desechos de construcción del área de los cruces de agua, disponiéndolos mediante la aplicación de los procedimientos descritos en el EEIA.
- g) Prohibir lavar la maquinaria en los cuerpos de agua.
- h) Prohibir la descarga de combustibles, lubricantes o químicos en los cuerpos de agua.

#### **5.1.11. Instalación de Equipos en La Construcción del Ducto en Los Cruces**

En caso de que el ducto cruce cuerpos de agua, la Responsable deberá proceder a la instalación de válvulas de apertura y cierre en los lugares de entrada y salida de estos cuerpos, para evitar los derrames que pudieran presentarse.

#### **5.1.12. Manejo de Desechos Sólidos y Líquidos**

Para el manejo de desechos sólidos y líquidos, la Responsable debe:

- a) Retirar diariamente, en cuanto sea posible, todos los desechos del derecho de vía.
- b) Recolectar todos los desechos de los campamentos temporales. En los casos en los que sea posible su incineración, dicha operación será efectuada

mediante el uso de instalaciones debidamente equipadas con mecanismos de control de emisiones.

- c) Retirar los contenedores y barriles usados, enviándolos en lo posible al proveedor.
- d) Equipar todos los campamentos con sistemas aprobados para el tratamiento de aguas servidas. En ningún caso se deben descargar dichas aguas sobre la superficie del terreno o en los cuerpos de agua adyacentes, excepto cuando se haya realizado el correspondiente tratamiento y se cumpla con los límites permisibles.
- e) Prohibir el rociado de aceites usados sobre los caminos para evitar la emisión de polvo a la atmósfera.
- f) Almacenar los productos químicos sobre una plataforma impermeable, la cual deberá contar con muros cortafuego, para evitar descargas en caso de derrames.
- g) Eliminar los desechos provenientes de la limpieza de los ductos, mediante el uso de tratamientos de bioremediación o disponiéndolos únicamente en ubicaciones aprobadas para rellenos sanitarios.

#### **5.1.13. Operación y Mantenimiento**

Durante la fase de operación y mantenimiento, la Responsable debe inspeccionar y monitorear las actividades, de acuerdo con lo establecido en el Plan de Aplicación y Seguimiento Ambiental, que además debe incluir información sobre:

- a) Inspección de fugas y factores que afecten la operación.
- b) Situaciones en las que se hayan producido fugas y derrames.
- c) Inspección de los lugares donde los ductos crucen cuerpos de agua, para verificar que las medidas de control de erosión hayan sido efectuadas correctamente a fin de evaluar la restauración de las orillas y el lecho del río.
- d) Inspección de los resultados de la revegetación.
- e) Inspección de áreas sensibles o de alto riesgo, además de la implementación de medidas de mitigación de impacto ambiental.

#### **5.1.14. Limpieza y Restauración del Lugar**

Para la limpieza y restauración del lugar, la Responsable debe:

- a) Reacondicionar todo terreno en el derecho de vía a fin de restablecer sus propiedades y posterior uso.
- b) Restablecer el derecho de vía con una cubierta vegetal a tiempo de proceder a la nivelación del terreno.
- c) Restaurar todos los drenajes superficiales a su condición original o equivalente.



## CAPÍTULO VI

### ANÁLISIS ECONÓMICO

#### 6.1. Inversión del Proyecto

En la implementación del Loop en el poliducto Camiri - Sucre se debe realizar la viabilidad económica. Es muy importante analizar la viabilidad económica del proyecto analizando todos los costos en el proyecto y para ello se debe determinar la inversión del proyecto.

Con la implementación del Loop en el Poliducto Camiri – Sucre se ampliará la capacidad de transporte de hidrocarburos líquidos para beneficiar a los departamentos de Chuquisaca y ciudades aledañas que efectúan crecimientos en la demanda de gas natural.

**Tabla 6.1: Inversión de proyecto**

Detalle	Costo [MM\$]
Logística	2.490.000
Obras Civiles	983.000
Restauración del Derecho de Vía	1.685.000
Obras Mecánicas	3.650.000
Obras Especiales	2.500.000
Protección Catódica	380.000
Puesta en marcha y Sistemas de aterramiento	579.284
Provisión de equipos y Materiales	1.540.000
Actividades complementarias	620.000
Material de construcción	10.000.000
<b>Total</b>	<b>24.427.284</b>

Fuente: Elaborado en base a (Altamirano, 2018) & (Castañares, 2012)

En la tabla 6.1 se determinó el costo total de la inversión en el presente proyecto tendrá un costo total de 24,427 [MM\$], los diversos costos detallados se encuentran en el anexo D.



## 6.2. Flujo de Caja

El flujo de caja en el proyecto nos ayudara a determinar las variables para analizar si es rentable el proyecto, este informe muestra los ingresos y salidas de dinero durante todo el tiempo planificado de la vida del proyecto.

**Tabla 6.2: Flujo de Caja del Proyecto**

Año	Ingreso bruto [\$u\$]	Costos de Mantenimiento [\$u\$]	Utilidad Bruta [\$u\$]	Impuestos [\$u\$]	Flujo de Caja neto [\$u\$]	Flujo de caja acumulado [\$u\$]
					-24.427.284	
1	4.830.702,00	108.945,06	4.721.756,94	1180439,235	3.541.317,71	-20.885.966
2	4.830.702,00	108.945,06	4.721.756,94	1180439,235	3.541.317,71	-17.344.649
3	4.830.702,00	108.945,06	4.721.756,94	1180439,235	3.541.317,71	-13.803.331
4	4.830.702,00	108.945,06	4.721.756,94	1180439,235	3.541.317,71	-10.262.013
5	4.830.702,00	108.945,06	4.721.756,94	1180439,235	3.541.317,71	-6.720.695
6	4.830.702,00	108.945,06	4.721.756,94	1180439,235	3.541.317,71	-3.179.378
7	4.830.702,00	108.945,06	4.721.756,94	1180439,235	3.541.317,71	361.940
8	4.830.702,00	108.945,06	4.721.756,94	1180439,235	3.541.317,71	3.903.258
9	4.830.702,00	108.945,06	4.721.756,94	1180439,235	3.541.317,71	7.444.575
10	4.830.702,00	108.945,06	4.721.756,94	1180439,235	3.541.317,71	10.985.893
11	4.830.702,00	108.945,06	4.721.756,94	1180439,235	3.541.317,71	14.527.211
12	4.830.702,00	108.945,06	4.721.756,94	1180439,235	3.541.317,71	18.068.528
13	4.830.702,00	108.945,06	4.721.756,94	1180439,235	3.541.317,71	21.609.846
14	4.830.702,00	108.945,06	4.721.756,94	1180439,235	3.541.317,71	25.151.164
15	4.830.702,00	108.945,06	4.721.756,94	1180439,235	3.541.317,71	28.692.482
16	4.830.702,00	108.945,06	4.721.756,94	1180439,235	3.541.317,71	32.233.799
17	4.830.702,00	108.945,06	4.721.756,94	1180439,235	3.541.317,71	35.775.117
18	4.830.702,00	108.945,06	4.721.756,94	1180439,235	3.541.317,71	39.316.435
19	4.830.702,00	108.945,06	4.721.756,94	1180439,235	3.541.317,71	42.857.752
20	4.830.702,00	108.945,06	4.721.756,94	1180439,235	3.541.317,71	46.399.070

Fuente: Elaboración propia en base a (Gonzales, 2012) & (Castañares, 2012)

Es la sistematización de la información sobre la inversión inicial, inversión durante la etapa de operación, los ingresos y egresos operacionales y de producción, y el valor de rescate del proyecto. La estructura de un flujo de caja se construye sobre una tabla compuestas por columnas en las cuales se registran los ingresos y egresos en efectivo.

### 6.3. El Valor Actual Neto

El valor presente neto es el valor presente de los flujos de efectivo a la tasa de rendimiento requerida de su proyecto en comparación con su inversión inicial”, en términos prácticos se puede decir, es un método para calcular su retorno de la inversión, para un proyecto o gasto. Al observar todo el dinero que espera hacer a partir de la inversión y convertir esos rendimientos en dólares de hoy, puede decidir si el proyecto tiene rentabilidad.

El VNA se puede calcular mediante la ecuación (6.1):

$$VNA = \sum_{i=1}^n \frac{F_t}{(1+i)^t} - I \quad (6.1)$$

Donde:

- $F_t$ : Flujo de caja en el periodo t.
- n: Numero de periodos.
- I: La inversión en el proyecto.
- i: Tasa de oportunidad.

Reemplazando datos en la ecuación (5,1) a una tasa de oportunidad del 10%.

$$VNA = 46.399.070 \text{ [\$u\$]}$$

Analizando el valor del VNA de acuerdo al flujo de caja elaborado tenemos un VNA mayor a cero, lo cual nos indica que el proyectador será rentable y producirá ganancias.

### 6.4. Tasa Interna de Retorno

Una tasa interna de rendimiento es una tasa de interés que equipara el valor actual de un flujo de efectivo a cero. Cuando es único, proporciona información valiosa sobre el retorno de la inversión y a menudo se ve como una medida de eficiencia.

- $TIR >$  Tasa de oportunidad, es un proyecto factible.
- $TIR <$  Tasa de oportunidad, es un proyecto no factible.
- $TIR =$  Tasa de oportunidad, es un proyecto no factible.

La tasa interna de retorno se calcula con la ecuación (5.2), donde el valor actual neto es cero:

$$\sum_{i=1}^n \frac{F_t}{(1 + TIR)^t} - I = 0 \quad (6.2)$$

Donde:

- $F_t$ : Flujo de caja en el periodo t.
- n: Numero de periodos.
- I: La inversión en el proyecto.

Reemplazando datos en la ecuación (6.2) se tiene:

$$TIR = 0.13$$

El TIR en valor porcentual será:

$$TIR = 13 \text{ [\%]}$$

El valor obtenido del TIR es el doble del valor de la tasa de oportunidad, lo cual nos indica que la implementación de este proyecto tendrá factibilidad.

### 6.5. Plazo de Recuperación

$$PR = t_i + \left| \frac{\text{Flujo de caja acumulado}_i}{\text{Flujo de caja neto en el siguiente periodo}} \right| \quad (6.3)$$

Donde:

- T: El periodo i en el cual mediante el flujo de caja se estima su recuperación.
- i: es el valor en el periodo.

Reemplazando datos en la ecuación (6.3):

$$\mathbf{PR = 8 \text{ [años]}}$$

El plazo de recuperación de la inversión en el presente proyecto será en un periodo aproximado de 15 años.

El estudio económico realizado a la implementación del Loop en el poliducto Camiri – Sucre nos indica resultados favorables de los cuales según el VNA tenemos rentabilidad, según el TIR el proyecto el factible con un plazo de recuperación de aproximadamente 8 años.



## CAPITULO VII

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 7.1. Conclusiones

- La proyección de la demanda de hidrocarburos líquidos en sus diferentes derivados fue muy importante para determinar la nueva capacidad a la cual se va a ampliar el poliducto Camiri - Sucre, el modelo utilizado fue el Modelo Gray que nos dio resultados favorables y obtuvimos una capacidad de 302 [BPH] el cual difiere en 2 [%] al cual YPFB determino mediante diferentes estudios.
- La ampliación del poliducto Camiri - Sucre tiene oportunidades de ampliar la oferta de hidrocarburos líquidos para servir el consumo en sus diferentes categorías a los habitantes en los departamentos de Chuquisaca y ciudades aledañas, y este aumento cumplirá la demanda con el crecimiento de las redes de gas en ambos departamentos.
- Se realizó el análisis FODA para la implementación del Loop del PCS, analizando los detalles de acuerdo a la realidad en la que se encuentra el país, en especial de los departamentos de Chuquisaca y Potosi con el constante crecimiento del consumo industrial y las diferentes categorías.
- Se realizó el diseño del Loop con la ecuación para terreno montañoso determinando el diámetro nominal del 6 [pulg], el espesor y diámetro externo según las normas son 0,125 y 6.625 [pulg] respectivamente, el material de la tubería es el API -5LX 42 y la caída de presión tuvo una diferencia porcentual de 15,7 % la cual no difiere de gran manera respecto al método analítico.
- El estudio económico fue satisfactorio, nos indica que el proyecto es factible para su construcción del Loop, el valor actual neto del proyecto analizando para un periodo de 20 años es rentable cual nos indica que tenemos un proyecto rentable, se determinó la tasa interna de retorno y el plazo de retorno, lo cual nos indicó que es proyecto se recuperada en un plazo máximo de 8 años siendo un proyecto factible para su implementación.

## 7.2. Recomendaciones

- El análisis de la proyección de la demanda se realizó mediante el modelo Gray, este modelo nos dio resultados favorables, pero se recomienda analizar otros modelos para determinar la demanda, lo cual es muy importante para analizar diversos comportamientos de la misma y ver un mejor panorama del consumo de hidrocarburos líquidos.
- En este proyecto no se realizó un análisis de manera completa debido a la limitación de datos, muchos datos son restringidos por Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos, se requiere optimizar el máximo flujo de hidrocarburos líquidos que se puede entregar en Sucre analizando la implementación de estaciones de bombeo intermedias.
- Se recomienda a la carrera de Ingeniería Petrolera realizar un convenio con Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos establecer un convenio para analizar los diferentes sistemas de transportes en el país, con el objetivo de mejorar la distribución y el mantenimiento de los gasoductos, poliductos y oleoductos disponibles en el país, es importante velar por el abastecimiento a cada uno de los bolivianos.



## BIBLIOGRAFÍA

1. Altamirano, V. (2018). (Licenciatura en Ingeniería en Petróleo, Gas y Procesos). *Diseño e Ingeniería básica del gasoducto de alimentación a la Planta de Urea y Amoniaco (PAU)*. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia.
2. Apollo. (2 de Mayo de 2022). *Agentes Reductores de Fricción ¿Cómo funcionan?* Obtenido de Apollo: <https://apollo.mx/reductores-de-friccion/>
3. Castañares Yapour, F. (2012). (Proyecto de Grado para obtener La Licenciatura en Ingeniero en Petróleo, Gas y Procesos). *Diseño del Poliducto Chorety - Villamontes "PCY"*. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz.
4. Cisneros, A. (2015). Alexander Cisneros. *ACADEMIA*, 8.
5. Delrio S.A.S. (24 de Mayo de 2022). *Oleoductos*. Obtenido de Delrio S.A.S: <https://delrio.com.co/oleoductos/#:~:text=Los%20reductores%20de%20fricci%C3%B3n%20tambi%C3%A9n%20conocidos%20como%20agentes,e n%20un%20oleoducto%20poliductos%20y%20l%C3%ADneas%20de%20flujo.>
6. Gallo López, R. (2015). (Tesis de Grado). *Sistema de gestión de seguridad y salud ocupacional, en la operación y mantenimiento de un sistema de transporte de hidrocarburos por ductos*. Sistema de gestión de seguridad y salud ocupacional, en la operación y mantenimiento de un sistema de transporte de hidrocarburos por ductos, Lima.
7. Garaicochea Petrirena, F., Bernal Huicochea, C., & Lopez Ortis, O. (1991). *Transporte de Hidrocarburos por Ductos*. Mexico D.F.: Colegio de Ingenieros Petroleros de México A.C.
8. Garaicochea, F. (1985). *Apuntes de Transporte de Hidroca*. Mexico D.F.: UNAM.

9. Gonzales Vazquez, J. L. (2020). *Ingenieria de Ductos Transporte de Hidrocarburos*. Mexico: Edicion del Autor.
10. Gonzales, M. (2012). (Licenciatura en Ingenieria en Petroleo, Gas y Procesos). *Diseño del gasoducto ramal "El Portillo Monte Sud (GREPMS)" en la ciudad de Tarija*. Universidad Mayor de San Andres, La Paz, Bolívis.
11. IPL Technology & Consulting Services Inc. (1995). *Construccion de Oleoductos*. Canada: 7th Floor IPL Tower.
12. LSPI. (30 de Abril de 2022). *Acerca del DRA y como funciona*. Obtenido de A Berkshire Hathaway Company: <https://www.liquidpower.es/what-is-dra/about-dra-and-how-it-works/>
13. MORKEN GROUP. (24 de Mayo de 2022). *Agente Reductor de Friccion*. Obtenido de MORKEN GROUP: [https://www.morkengroup.com/case\\_study/agente-reductor-de-friccion/](https://www.morkengroup.com/case_study/agente-reductor-de-friccion/)
14. Morken Group. (24 de Mayo de 2022). *Agente reductor de friccion para ductos que transporten agua*. Obtenido de Morken Group: <https://www.morkengroup.com/agente-reductor-de-friccion-para-ductos-de-transporte-de-agua/>
15. Mott, R. (2006). *Mecanica de Fluidos* (Sexta ed.). Mexico-Argentina: Pearson.
16. Ramirez, E. (2006). (Trabajo de grado para la Licenciatura en Ingenieria Quimica). *El transporte de combustibles líquidos por los poliductos de ECOPETROL y su optimización en el manejo de baches*. Universidad Pedagogica Nacional, Bogota, Colombia.
17. Sánchez Obregón, A. E. (2014). (Tesis de Grado). *Metodología para implementar un sistema de gestión de integridad en ductos de transporte de Gas Natural*. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.
18. Sashi, E. (2006). *Piping Calculations Manual*. New York-Chicago: McGraw-Hill.

19. SOLINPET S.R.L. (23 de Octubre de 2022). *Servicios Industriales y Petroleros*. Obtenido de Construcción y Mantenimiento de Ductos: [https://solinpet.com/thw\\_inustrial/construccion-y-mantenimiento-de-ductos/](https://solinpet.com/thw_inustrial/construccion-y-mantenimiento-de-ductos/)
20. Vidal Guarniz, K. (s.f.). (Tesis de Grado). *Sistemas de información geográfica (SIG) Sistema de transporte de hidrocarburos por ductos (STD)*. Universidad Nacional Federico Villarreal, Camisea.

## Anexo A

### DISEÑO MECÁNICO DE POLIDUCTOS

El diseño de un poliducto implica cálculos hidráulicos para determinar el tamaño óptimo de la tubería y el distanciamiento de las estaciones de bombeo.

Para diseñar apropiadamente un poliducto uno debe entender las condiciones que afectan el fluido en el poliducto, las características de la tubería específicamente:

- El diámetro interno
- La longitud
- La rugosidad de la superficie de la pared interna

Las propiedades físicas del fluido:

- Viscosidad
- Densidad
- Presión de vapor
- Punto de fluidez
- Compresibilidad
- Temperatura a la cual se encuentra el fluido
- La tasa de flujo

#### VARIABLES DE LA SIMULACIÓN DE TRANSPORTE

En la simulación de transporte de hidrocarburos líquidos existen varias ecuaciones como se puede mencionar a continuación

$$B = 0,084668 * F * d^{2,5} * \left[ \frac{P_1 - P_2 - 0,4331 * GE * (H_1 - H_2)}{L * GE} \right]^{0,5}$$

Donde:

- B: Caudal de Flujo [BPH]
- F: Factor de transmisión [adimensional]
- d: Diámetro interno del poliducto [pulg]

- $P_1$ : Presión de entrada [Psia]
- $P_2$ : Presión de salida [Psia]
- GE: Gravedad específica [adimensional]
- L: Longitud del poliducto [milla]
- $H_1$ : Elevación respecto al punto de referencia con la entrada [ft]
- $H_2$ : Elevación respecto al punto de referencia con la salida [ft]

El factor de fricción para el transporte de hidrocarburos líquidos está en función del número de Reynolds donde esta variable está dada por la siguiente ecuación:

$$Re = 0,0238 * \left( \frac{B}{d * \vartheta} \right)$$

Donde:

- B: Caudal de Flujo [BPH]
- d: Diámetro interno del poliducto [pulg]
- $\vartheta$ : Viscosidad cinemática del fluido [ft<sup>2</sup>/s]

### Factor de transmisión

El factor de transmisión se determina utilizando la ecuación de ColeBrook White para flujo turbulento, la cual está dada por:

$$F = -4 \log \left( \frac{\epsilon_r}{3.71} + \frac{1,413 * F}{Re} \right)$$

### Otras ecuaciones para el determinar el flujo

#### Ecuación de Hetzel

La ecuación de Hetzel está dada por la siguiente expresión:

$$B = 1,413 * F * \left( \frac{d^{2,729}}{\rho^{0,4236} * \mu^{0,153}} \right) * \left[ \frac{P_1 - P_2 - 0,4331 * GE * (H_1 - H_2)}{L * GE} \right]^{0,576}$$

Donde:

- B: Caudal de Flujo [BPH]

- F: Factor de transmisión [adimensional]
- d: Diámetro interno del poliducto [pulg]
- P<sub>1</sub>: Presión de entrada [Psia]
- P<sub>2</sub>: Presión de salida [Psia]
- GE: Gravedad específica [adimensional]
- L: Longitud del poliducto [milla]
- H<sub>1</sub>: Elevación respecto al punto de referencia con la entrada [ft]
- H<sub>2</sub>: Elevación respecto al punto de referencia con la salida [ft]
- $\vartheta$ : Viscosidad cinemática del fluido [ft<sup>2</sup>/s]
- $\rho$ : La densidad del fluido [lb/ft<sup>3</sup>]

El factor de transmisión está dado por:

$$F = 3,315 * Re^{0,1325}$$

### Ecuación de Aude

La ecuación de Aude está dada por la siguiente expresión:

$$B = 1,413 * F * \left( \frac{d^{2,656}}{\vartheta^{0,104}} \right) * \left[ \frac{P_1 - P_2 - 0,4331 * GE * (H_1 - H_2)}{L * GE} \right]^{0,552}$$

Donde:

- B: Caudal de Flujo [BPH]
- F: Factor de transmisión [adimensional]
- d: Diámetro interno del poliducto [pulg]
- P<sub>1</sub>: Presión de entrada [Psia]
- P<sub>2</sub>: Presión de salida [Psia]
- GE: Gravedad específica [adimensional]
- L: Longitud del poliducto [milla]
- H<sub>1</sub>: Elevación respecto al punto de referencia con la entrada [ft]
- H<sub>2</sub>: Elevación respecto al punto de referencia con la salida [ft]
- $\vartheta$ : Viscosidad cinemática del fluido [ft<sup>2</sup>/s]



El factor de transmisión está dado por:

$$F = 5,05 * Re^{0,094}$$

### Presión de diseño para los hidrocarburos líquidos

La presión de diseño está dada por la siguiente ecuación:

$$P = \frac{2 * S * t}{D} * F * E * T$$

Donde:

- S : Factor de tensión admisible
- t : Espesor de la pared del poliducto
- D : Diámetro externo del poliducto
- F : Factor de diseño
- E : Factor de junta longitudinal
- T : Factor de temperatura
- P : Presión interna de diseño del poliducto
- d : Diámetro interno de la tubería

### Factor de temperatura

**Tabla a.2: Factor de temperatura**

Temperatura [°C]	Temperatura [°F]	Factor de disminución T
121	<250	1
149	300	0,967
177	350	0,933
204	400	0,900
232	450	0,867

Fuente: (Sashi, 2006)

### Factor de junta longitudinal

El factor de junta longitudinal está en función del método de fabricación de la tubería. La tabla del factor longitudinal es la siguiente:

**Tabla a.3: Factor de junta longitudinal**

<b>Especificación No.</b>	<b>Clase de tubería</b>	<b>Factor E</b>
ASTM A 53	Sin costura	1,00
	Soldado por Resistencia Eléctrica	1,00
	Soldada a Tope en Horno: Soldadura Continua	0,60
ASTM A 106	Sin costura	1,00
ASTM A 134	Soldadura con Electro Fusión con Arco	0,80
ASTM A 135	Soldado por Resistencia Eléctrica	1,00
ASTM A 139	Soldado por Electro Fusión	0,80
ASTM A 211	Tubería de Acero Soldado en Espiral	0,80
ASTM A 333	Sin costura	1,00
	Soldado por Resistencia Eléctrica	1,00
ASTM A 381	Soldadura por Arco Doble Sumergido	1,00
ASTM A 671	Soldado por Electro Fusión	
	Clases 13, 23, 33, 43, 53	0,80
	Clases 12, 22, 32, 42, 52	1,00
ASTM A 672	Soldado por Electro Fusión	
	Clases 13, 23, 33, 43, 53	0,80
	Clases 12, 22, 32, 42, 52	1,00
API 5L	Sin costura	1,00
	Soldado por Resistencia Eléctrica	1,00
	Soldado por Electro Fulguración	1,00
	Soldado por Arco Sumergido	1,00
	Soldado a Tope en Horno	0,60

Fuente: (Sashi, 2006)

### **Facto de Diseño**

El factor de diseño es denominado también factor de construcción, depende de acuerdo al tipo de construcción que toma en cuenta en el derecho de vía, en las cuales tiene mucha importancia el análisis de las construcciones de viviendas y

otros bienes inmuebles cercanas al poliducto. En la siguiente tabla se tiene los valores que adquiere el factor de diseño.

**Tabla a.4: Factor de diseño.**

<b>Clasificación de Localización</b>	<b>Factor de Diseño F</b>	<b>Construcciones</b>
Clase 1	0,72	0->10
Clase 2	0,6	11->45
Clase 3	0,5	46->
Clase 4	0,4	Edificios, supermercado y cines.

Fuente: (Sashi, 2006)

## ANEXO B

### TABLA DE TUBERIAS API 5LX-42.000

Nominal Size [in]	Outside Diameter [in]	Weight [lb/ft]	Wall Thickness [in]	Estándar Mill Test Pressure [Psi]	85% of Mill Test Pressure [Psi]	Internal Pressure to Stress to Yield [Psi]
4,00	4,50	5,84	0,13	1.740,00	1.479,00	2.889,00
		6,55	0,14	1.960,00	1.666,00	3.259,00
		7,25	0,16	2.170,00	1.844,00	3.605,00
		7,94	0,17	2.390,00	2.032,00	3.975,00
		8,64	0,19	2.610,00	2.218,00	4.345,00
		9,32	0,20	2.820,00	2.397,00	4.692,00
		10,00	0,22	3.000,00	2.550,00	5.061,00
		10,79	0,24	3.000,00	2.550,00	5.477,00
		11,35	0,25	3.000,00	2.550,00	5.778,00
		12,67	0,28	3.000,00	2.550,00	6.494,00
		13,98	0,31	3.000,00	2.550,00	7.211,00
		14,98	0,34	3.000,00	2.550,00	7.788,00
		18,98	0,44	3.000,00	2.550,00	10.123,00
		22,52	0,53	3.000,00	2.550,00	12.272,00
27,54	0,67	3.000,00	2.550,00	15.577,00		
6,00	6,63	8,68	0,13	1.480,00	1.258,00	1.962,00
		9,74	0,14	1.660,00	1.411,00	2.213,00
		10,79	0,16	1.840,00	1.564,00	2.449,00
		11,85	0,17	2.030,00	1.726,00	2.700,00
		12,89	0,19	2.220,00	1.887,00	2.951,00
		13,92	0,20	2.390,00	2.032,00	3.187,00
		14,97	0,22	2.580,00	2.193,00	3.438,00
		17,02	0,25	2.950,00	2.508,00	3.925,00
		18,97	0,28	3.000,00	2.550,00	4.395,00
		21,07	0,31	3.000,00	2.550,00	4.898,00
		23,06	0,34	3.000,00	2.550,00	5.400,00
		25,03	0,38	3.000,00	2.550,00	5.887,00
		28,57	0,43	3.000,00	2.550,00	6.782,00
		32,71	0,50	3.000,00	2.550,00	7.849,00
		36,12	0,56	3.000,00	2.550,00	8.822,00
40,05	0,63	3.000,00	2.550,00	9.811,00		
45,34	0,72	3.000,00	2.550,00	11.286,00		

Nominal Size [in]	Outside Diameter [in]	Weight [lb/ft]	Wall Thickness [in]	Estándar Mill Test Pressure [Psi]	85% of Mill Test Pressure [Psi]	Internal Pressure to Stress to Yield [Psi]
8,00	8,63	16,90	0,19	1.710,00	1.454,00	2.267,00
		18,27	0,20	1.840,00	1.565,00	2.448,00
		19,64	0,22	1.990,00	1.692,00	2.641,00
		22,36	0,25	2.270,00	1.930,00	3.014,00
		24,70	0,28	2.510,00	2.134,00	3.340,00
		27,74	0,31	2.830,00	2.406,00	3.762,00
		28,55	0,32	2.920,00	2.482,00	3.883,00
		30,40	0,34	3.000,00	2.550,00	4.148,00
		33,04	0,38	3.000,00	2.550,00	4.522,00
		38,26	0,44	3.000,00	2.550,00	5.281,00
		43,39	0,50	3.000,00	2.550,00	6.029,00
		48,44	0,56	3.000,00	2.550,00	6.777,00
		53,40	0,63	3.000,00	2.550,00	7.536,00
		60,69	0,72	3.000,00	2.550,00	8.670,00
10,00	10,75	21,15	0,19	1.550,00	1.318,00	1.819,00
		22,88	0,20	1.670,00	1.420,00	1.962,00
		24,60	0,22	1.810,00	1.538,00	2.119,00
		28,04	0,25	2.060,00	1.751,00	2.419,00
		31,20	0,28	2.300,00	1.995,00	2.699,00
		34,24	0,31	2.530,00	2.150,00	2.970,00
		38,20	0,34	2.830,00	2.406,00	3.328,00
		40,48	0,37	3.000,00	2.550,00	3.531,00
		48,19	0,44	3.000,00	2.550,00	4.237,00
		54,74	0,50	3.000,00	2.550,00	2.837,00
		61,20	0,56	3.000,00	2.550,00	5.437,00
		67,59	0,63	3.000,00	2.550,00	6.047,00
		77,00	0,72	3.000,00	2.550,00	6.956,00

Nominal Size [in]	Outside Diameter [in]	Weight [lb/ft]	Wall Thickness [in]	Estándar Mill Test Pressure [Psi]	85% of Mill Test Pressure [Psi]	Internal Pressure to Stress to Yield [Psi]
12,00	12,75	25,16	0,19	1.310,00	1.114,00	1.533,00
		27,22	0,20	1.410,00	1.198,00	1.656,00
		29,28	0,22	1.520,00	1.292,00	1.789,00
		33,38	0,25	1.740,00	1.479,00	2.039,00
		37,45	0,28	1.950,00	1.658,00	2.292,00
		41,51	0,31	2.170,00	1.844,00	2.545,00
		43,77	0,33	2.290,00	1.946,00	2.692,00
		45,55	0,34	2.390,00	2.032,00	2.806,00
		49,56	0,38	2.600,00	2.210,00	3.059,00
		53,56	0,41	2.820,00	2.397,00	3.312,00
		57,53	0,44	3.000,00	2.550,00	3.573,00
		65,42	0,50	3.000,00	2.550,00	4.078,00
		73,22	0,56	3.000,00	2.550,00	4.584,00
		80,94	0,63	3.000,00	2.550,00	5.098,00
		88,57	0,69	3.000,00	2.550,00	5.612,00
96,12		3.000,00	2.550,00	6.118,00		
14,00	14,00	30,93	0,21	1.330,00	1.130,00	1.560,00
		32,20	0,22	1.390,00	1.182,00	1.627,00
		36,71	0,25	1.580,00	1.343,00	2.857,00
		41,21	0,28	1.780,00	1.513,00	2.087,00
		45,68	0,31	1.980,00	1.683,00	2.317,00
		50,14	0,34	2.180,00	1.853,00	2.555,00
		54,57	0,38	2.370,00	2.014,00	2.786,00
		58,98	0,41	2.570,00	2.184,00	3.016,00
		63,37	0,44	2.770,00	2.354,00	3.254,00
		67,74	0,47	2.970,00	2.524,00	3.484,00
		72,09	0,50	3.000,00	2.550,00	3.714,00
		80,73	0,56	3.000,00	2.550,00	4.175,00
		89,28	0,63	3.000,00	2.550,00	4.643,00
		97,75	0,69	3.000,00	2.550,00	5.111,00
		106,13	0,75	3.000,00	2.550,00	5.571,00



Nominal Size [in]	Outside Diameter [in]	Weight [lb/ft]	Wall Thickness [in]	Estándar Mill Test Pressure [Psi]	85% of Mill Test Pressure [Psi]	Internal Pressure to Stress to Yield [Psi]
16,00	16,00	34,25	0,20	1.130,00	960,00	1.320,00
		36,87	0,22	1.220,00	1.037,00	1.424,00
		42,05	0,25	1.390,00	1.182,00	1.625,00
		47,22	0,28	1.560,00	1.326,00	18.247,00
		52,38	0,31	1.730,00	1.470,00	2.028,00
		57,48	0,34	1.910,00	1.624,00	2.236,00
		62,58	0,38	2.080,00	1.768,00	2.438,00
		67,66	0,41	2.250,00	1.912,00	2.639,00
		72,72	0,44	2.430,00	2.066,00	2.847,00
		77,75	0,47	2.600,00	2.210,00	3.049,00
		82,77	0,50	2.770,00	2.354,00	3.250,00
		92,74	0,56	3.000,00	2.550,00	3.653,00
		102,63	0,63	3.000,00	2.550,00	4.063,00
		112,43	0,69	3.000,00	2.550,00	4.472,00
122,15	0,75	3.000,00	2.550,00	4.875,00		
18,00	18,00	41,54	0,22	1.070,00	910,00	1.265,00
		47,39	0,25	1.230,00	1.046,00	1.444,00
		53,22	0,28	1.380,00	1.173,00	1.624,00
		59,03	0,31	1.540,00	1.309,00	1.803,00
		64,82	0,34	1.690,00	1.436,00	1.988,00
		70,59	0,38	1.850,00	1.572,00	2.167,00
		76,34	0,41	2.000,00	1.700,00	23.466,00
		82,06	0,44	2.160,00	1.836,00	2.531,00
		87,77	0,47	2.310,00	1.964,00	2.710,00
		93,45	0,50	2.460,00	2.091,00	2.889,00
		104,76	0,56	2.760,00	2.346,00	3.247,00
		115,98	0,63	3.000,00	2.550,00	3.611,00
		127,12	0,69	3.000,00	2.550,00	3.975,00
		138,17	0,75	3.000,00	2.550,00	4.333,00
149,15	0,81	3.000,00	2.550,00	4.692,00		

## Anexo C

### PERFIL LONGITUDINAL

Re	d [in]	F as	F cal	v [m/s]	H1 [m]	H2 [m]	dP [Psi]	L [km]	Ft cal	f	dP [Psi]	DP [Psi]	P1 [Psi]	P2 [Psi]
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	817	830	15,524934 4	1	11,712242 3	0,0073	0,3862243 7	15,1387100 2	800	784,86129
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	830	843	15,524934 4	1	11,712242 3	0,0073	0,3862243 7	15,1387100 2	784,86129	769,72258
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	843	852	10,748031 5	1	11,712242 3	0,0073	0,3862243 7	10,3618071 3	769,72258	759,36077 3
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	852	870	-21,496063	1	11,712242 3	0,0073	0,3862243 7	21,1098386 3	759,360772 8	738,25093 4
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	870	887	20,301837 3	1	11,712242 3	0,0073	0,3862243 7	-19,9156129	738,250934 2	718,33532 1
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	887	909	26,272965 9	1	11,712242 3	0,0073	0,3862243 7	25,8867415 1	718,335321 3	692,44858
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	909	926	20,301837 3	1	11,712242 3	0,0073	0,3862243 7	-19,9156129	692,448579 8	672,53296 7
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	926	961	41,797900 3	1	11,712242 3	0,0073	0,3862243 7	-41,4116759	672,532966 9	631,12129 1
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	961	1004	-51,351706	1	11,712242 3	0,0073	0,3862243 7	50,9654816 7	631,121291	580,15580 9
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1004	1013	10,748031 5	1	11,712242 3	0,0073	0,3862243 7	10,3618071 3	580,155809 3	569,79400 2
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1013	1039	31,049868 8	0,8	11,712242 3	0,0073	0,3089794 9	30,7408892 7	569,794002 2	539,05311 3

14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1039	1104	- 77,624671 9	0,8	11,712242 3	0,0073	0,3089794 9	- 77,3156924 2	539,053112 9	461,73742
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1104	1157	- 63,293963 3	0,8	11,712242 3	0,0073	0,3089794 9	- 62,9849837 6	461,737420 5	398,75243 7
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1157	1104	63,293963 3	0,8	11,712242 3	0,0073	0,3089794 9	63,6029427 5	398,752436 7	462,35537 9
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1104	1130	- 31,049868 8	0,8	11,712242 3	0,0073	0,3089794 9	- 30,7408892 7	462,355379 5	431,61449
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1130	904	269,89501 3	0,8	11,712242 3	0,0073	0,3089794 9	270,203992 6	431,614490 2	701,81848 3
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	904	935	- 37,020997 4	0,8	11,712242 3	0,0073	0,3089794 9	- 36,7120178 8	701,818482 8	665,10646 5
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	935	970	- 41,797900 3	0,8	11,712242 3	0,0073	0,3089794 9	- 41,4889207 7	665,106464 9	623,61754 4
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	970	1057	- 103,89763 8	0,8	11,712242 3	0,0073	0,3089794 9	- 103,588658 3	623,617544 2	520,02888 6
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1057	935	145,69553 8	0,8	11,712242 3	0,0073	0,3089794 9	146,004517 6	520,028885 9	666,03340 3
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	935	917	- 21,496063 1	1	11,712242 3	0,0073	0,3862243 7	- 21,8822873 6	666,033403 4	687,91569 1
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	917	930	- 15,524934 4	1	11,712242 3	0,0073	0,3862243 7	- 15,1387100 2	687,915690 8	672,77698 1
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	930	943	- 15,524934 4	1	11,712242 3	0,0073	0,3862243 7	- 15,1387100 2	672,776980 8	657,63827 1
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	943	952	- 10,748031 5	1	11,712242 3	0,0073	0,3862243 7	- 10,3618071 3	657,638270 7	647,27646 4
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	952	970	- -21,496063 1	1	11,712242 3	0,0073	0,3862243 7	- 21,1098386 3	647,276463 6	626,16662 5
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	970	978	- 9,5538057 7	1	11,712242 3	0,0073	0,3862243 7	- 9,16758140 8	626,166625	616,99904 4
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	978	1000	- 26,272965 9	1	11,712242 3	0,0073	0,3862243 7	- 25,8867415 1	616,999043 6	591,11230 2

14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1000	1017	- 20,301837 3	1	11,712242 3	0,0073	0,3862243 7	-19,9156129	591,112302 1	571,19668 9
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1017	1035	-21,496063	1	11,712242 3	0,0073	0,3862243 7	21,1098386 3	571,196689 2	550,08685 1
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1035	1070	- 41,797900 3	1	11,712242 3	0,0073	0,3862243 7	-41,4116759	550,086850 5	508,67517 5
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1070	1239	- 201,82414 7	1	11,712242 3	0,0073	0,3862243 7	201,437922 6	508,675174 6	307,23725 2
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1239	1452	- 254,37007 9	1	11,712242 3	0,0073	0,3862243 7	253,983854 4	307,237252	53,253397 7
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1452	1239	254,37007 9	1	11,712242 3	0,0073	0,3862243 7	254,756303 1	53,2533976 5	308,00970 1
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1239	1465	- 269,89501 3	1	11,712242 3	0,0073	0,3862243 7	269,508788 8	308,009700 8	38,500912
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1465	1261	243,62204 7	1	11,712242 3	0,0073	0,3862243 7	244,008271 6	38,500912	282,50918 4
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1261	1217	52,545931 8	1	11,712242 3	0,0073	0,3862243 7	52,9321561 2	282,509183 6	335,44134
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1217	1204	15,524934 4	1	11,712242 3	0,0073	0,3862243 7	15,9111587 5	335,441339 7	351,35249 8
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1204	1148	66,876640 4	1	11,712242 3	0,0073	0,3862243 7	67,2628647 9	351,352498 5	418,61536 3
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1148	1135	15,524934 4	1	11,712242 3	0,0073	0,3862243 7	15,9111587 5	418,615363 3	434,52652 2
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1135	1130	5,9711286 1	1	11,712242 3	0,0073	0,3862243 7	6,35735297 5	434,526522	440,88387 5
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1130	1157	- 32,244094 5	1	11,712242 3	0,0073	0,3862243 7	31,8578701 2	440,883875	409,02600 5
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1157	1213	- 66,876640 4	1	11,712242 3	0,0073	0,3862243 7	66,4904160 5	409,026004 9	342,53558 9
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1213	1148	77,624671 9	1	11,712242 3	0,0073	0,3862243 7	78,0108962 8	342,535588 8	420,54648 5
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1148	1104	52,545931 8	1	11,712242 3	0,0073	0,3862243 7	52,9321561 2	420,546485 1	473,47864 1
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1104	1104	0	1	11,712242 3	0,0073	0,3862243 7	0,38622436 6	473,478641 2	473,86486 6

14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1104	1104	0	1	11,712242 3	0,0073	0,3862243 7	0,38622436 6	473,864865 6	474,25109
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1104	1200	- 114,64566 9	1	11,712242 3	0,0073	0,3862243 7	114,259444 9	474,25109	359,99164 5
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1200	1322	- 145,69553 8	1	11,712242 3	0,0073	0,3862243 7	145,309313 7	359,991645	214,68233 1
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1322	1191	156,44357	1	11,712242 3	0,0073	0,3862243 7	156,829793 9	214,682331 3	371,51212 5
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1191	1191	0	1	11,712242 3	0,0073	0,3862243 7	0,38622436 6	371,512125 3	371,89835
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1191	1174	20,301837 3	0,9	11,712242 3	0,0073	0,3476019 3	20,6494392	371,898349 6	392,54778 9
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1174	1170	4,7769028 9	0,9	11,712242 3	0,0073	0,3476019 3	5,12450481 7	392,547788 8	397,67229 4
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1170	1174	- 4,7769028 9	0,9	11,712242 3	0,0073	0,3476019 3	4,42930095 8	397,672293 6	393,24299 3
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1174	1178	- 4,7769028 9	0,9	11,712242 3	0,0073	0,3476019 3	4,42930095 8	393,242992 7	388,81369 2
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1178	1278	- 119,42257 2	0,9	11,712242 3	0,0073	0,3476019 3	119,074970 2	388,813691 7	269,73872 1
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1278	1274	4,7769028 9	0,9	11,712242 3	0,0073	0,3476019 3	5,12450481 7	269,738721 5	274,86322 6
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1274	1265	10,748031 5	0,9	11,712242 3	0,0073	0,3476019 3	11,0956334 3	274,863226 3	285,95886
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1265	1239	31,049868 8	0,9	11,712242 3	0,0073	0,3476019 3	31,3974707	285,958859 7	317,35633
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1239	1370	- -156,44357	0,9	11,712242 3	0,0073	0,3476019 3	156,095967 6	317,356330 4	161,26036 3
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1370	1191	213,76640 4	0,9	11,712242 3	0,0073	0,3476019 3	214,114006 1	161,260362 8	375,37436 9
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1191	1200	- 10,748031 5	1	11,712242 3	0,0073	0,3862243 7	10,3618071 3	375,374368 9	365,01256 2
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1200	1222	- 26,272965 9	1	11,712242 3	0,0073	0,3862243 7	25,8867415 1	365,012561 8	339,12582

14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1222	1274	- 62,099737 5	1	11,712242 3	0,0073	0,3862243 7	- 61,7135131 7	339,125820 3	277,41230 7
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1274	1365	- 108,67454 1	1	11,712242 3	0,0073	0,3862243 7	- 108,288316 3	277,412307 1	169,12399 1
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1365	1191	207,79527 6	1	11,712242 3	0,0073	0,3862243 7	208,1815	169,123990 8	377,30549 1
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1191	1257	- 78,818897 6	1	11,712242 3	0,0073	0,3862243 7	- 78,4326732 7	377,305490 8	298,87281 7
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1257	1174	99,120734 9	1	11,712242 3	0,0073	0,3862243 7	99,5069592 7	298,872817 5	398,37977 7
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1174	1135	46,574803 1	1	11,712242 3	0,0073	0,3862243 7	46,9610275 2	398,379776 8	445,34080 4
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1135	1261	- 150,47244 1	1	11,712242 3	0,0073	0,3862243 7	- 150,086216 6	445,340804 3	295,25458 8
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1261	1239	26,272965 9	1	11,712242 3	0,0073	0,3862243 7	26,6591902 5	295,254587 7	321,91377 8
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1239	1126	134,94750 7	1	11,712242 3	0,0073	0,3862243 7	135,333730 9	321,913777 9	457,24750 9
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1126	1126	0	1	11,712242 3	0,0073	0,3862243 7	0,38622436 6	457,247508 9	457,63373 3
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1126	1126	0	1	11,712242 3	0,0073	0,3862243 7	0,38622436 6	457,633733 2	458,01995 8
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1126	1183	- 68,070866 1	1	11,712242 3	0,0073	0,3862243 7	- 67,6846417 8	458,019957 6	390,33531 6
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1183	1239	- 66,876640 4	1	11,712242 3	0,0073	0,3862243 7	- 66,4904160 5	390,335315 8	323,8449 4
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1239	1239	0	1	11,712242 3	0,0073	0,3862243 7	0,38622436 6	323,844899 8	324,23112 4
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1239	1265	- 31,049868 8	1	11,712242 3	0,0073	0,3862243 7	- -30,6636444	324,231124 1	293,56748
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1265	1300	- 41,797900 3	1	11,712242 3	0,0073	0,3862243 7	- -41,4116759	293,567479 7	252,15580 4
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1300	1361	- -72,847769	1	11,712242 3	0,0073	0,3862243 7	- 72,4615446 6	900	827,53845 5

14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1361	1396	- 41,797900 3	1	11,712242 3	0,0073	0,3862243 7	-41,4116759	827,538455 3	786,12677 9
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1396	1435	- 46,574803 1	0,9	11,712242 3	0,0073	0,3476019 3	46,2272012 2	786,126779 4	739,89957 8
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1435	1604	- 201,82414 7	0,9	11,712242 3	0,0073	0,3476019 3	201,476545 1	739,899578 2	538,42303 3
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1604	1743	- 165,99737 5	0,9	11,712242 3	0,0073	0,3476019 3	165,649773 4	538,423033 2	372,77326
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1743	1896	- 182,71653 5	0,9	11,712242 3	0,0073	0,3476019 3	182,368933 5	372,773259 8	190,40432 6
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1896	1778	140,91863 5	0,9	11,712242 3	0,0073	0,3476019 3	141,266237 1	190,404326 3	331,67056 3
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1778	1639	165,99737 5	0,9	11,712242 3	0,0073	0,3476019 3	166,344977 3	331,670563 4	498,01554 1
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1639	1457	217,34908 1	0,9	11,712242 3	0,0073	0,3476019 3	217,696683 3	498,015540 6	715,71222 4
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1457	1396	72,847769	0,9	11,712242 3	0,0073	0,3476019 3	73,1953709 6	715,712223 9	788,90759 5
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1396	1370	31,049868 8	0,9	11,712242 3	0,0073	0,3476019 3	31,3974707	788,907594 9	820,30506 6
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1370	1352	21,496063	0,9	11,712242 3	0,0073	0,3476019 3	21,8436649 2	820,305065 6	842,14873
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1352	1370	-21,496063	1	11,712242 3	0,0073	0,3862243 7	21,1098386 3	842,148730 5	821,03889 2
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1370	1326	52,545931 8	1	11,712242 3	0,0073	0,3862243 7	52,9321561 2	821,038891 9	873,97104 8
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1326	1274	62,099737 5	1	11,712242 3	0,0073	0,3862243 7	62,4859619	873,971048	936,45701
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1274	1300	- 31,049868 8	1	11,712242 3	0,0073	0,3862243 7	-30,6636444 9	936,457009 9	905,79336 5
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1300	1274	31,049868 8	1	11,712242 3	0,0073	0,3862243 7	31,4360931 3	905,793365 5	937,22945 9
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1274	1291	- 20,301837 3	1	11,712242 3	0,0073	0,3862243 7	-19,9156129	937,229458 6	917,31384 6



14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1291	1522	- 275,86614 2	1	11,712242 3	0,0073	0,3862243 7	- 275,479917 4	917,313845 7	641,83392 8
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1522	1435	103,89763 8	1	11,712242 3	0,0073	0,3862243 7	104,283862 2	641,833928 4	746,11779 1
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1435	1165	322,44094 5	1	11,712242 3	0,0073	0,3862243 7	322,827169 2	746,117790 5	1068,9449 6
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1165	1248	- 99,120734 9	1	11,712242 3	0,0073	0,3862243 7	- 98,7345105 4	1068,94496	970,21044 9
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1248	1278	- 35,826771 7	0,9	11,712242 3	0,0073	0,3476019 3	- 35,4791697 2	970,210449 2	934,73127 9
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1278	1317	- 46,574803 1	0,9	11,712242 3	0,0073	0,3476019 3	- 46,2272012 2	934,731279 5	888,50407 8
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1317	1213	124,19947 5	0,9	11,712242 3	0,0073	0,3476019 3	124,547077 3	888,504078 3	1013,0511 6
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1213	1157	66,876640 4	0,9	11,712242 3	0,0073	0,3476019 3	67,2242423 5	1013,05115 5	1080,2754
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1157	1122	41,797900 3	0,9	11,712242 3	0,0073	0,3476019 3	42,1455021 9	1080,27539 8	1122,4209
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1122	1078	52,545931 8	0,9	11,712242 3	0,0073	0,3476019 3	52,8935336 9	1122,4209 3	1175,3144 3
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1078	1057	25,078740 2	0,9	11,712242 3	0,0073	0,3476019 3	25,4263420 9	1175,31443 4	1200,7407 8
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1057	1174	- 139,72440 9	0,9	11,712242 3	0,0073	0,3476019 3	- 139,376807 5	1200,74077 6	1061,3639 7
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1174	1478	- 363,04461 9	0,9	11,712242 3	0,0073	0,3476019 3	- 362,697017 5	1061,36396 8	698,66695 1
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1478	1248	274,67191 6	0,9	11,712242 3	0,0073	0,3476019 3	275,019517 9	698,666950 6	973,68646 9
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1248	1174	88,372703 4	0,6	11,712242 3	0,0073	0,2317346 2	88,6044380 3	973,686468 5	1062,2909 1
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1174	1174	0	0,6	11,712242 3	0,0073	0,2317346 2	0,23173462 7	1062,29090 7	1062,5226 4
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1174	1174	0	0,6	11,712242 3	0,0073	0,2317346 2	0,23173462 1	1062,52264 1	1062,7543 8
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1174	1248	- 88,372703 4	0,6	11,712242 3	0,0073	0,2317346 2	- 88,1409687 9	1062,75437 6	974,61340 7

14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1248	1183	77,624671 9	0,6	11,712242 3	0,0073	0,2317346 2	77,8564065 4	974,613407	1052,4698 1
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1183	1217	- 40,603674 5	0,6	11,712242 3	0,0073	0,2317346 2	- 40,3719399 2	1052,46981 4	1012,0978 7
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1217	1283	- 78,818897 6	0,6	11,712242 3	0,0073	0,2317346 2	- 78,5871630 2	1012,09787 4	933,51071 1
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1283	1287	- 4,7769028 9	0,6	11,712242 3	0,0073	0,2317346 2	- 4,54516826 7	933,510710 6	928,96554 2
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1287	1309	- 26,272965 9	0,6	11,712242 3	0,0073	0,2317346 2	- 26,0412312 6	928,965542 3	902,92431 1
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1309	1222	103,89763 8	0,6	11,712242 3	0,0073	0,2317346 2	104,129372 4	902,924311 1	1007,0536 8
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1222	1261	- 46,574803 1	0,9	11,712242 3	0,0073	0,3476019 3	- 46,2272012 2	1007,05368 3	960,82648 2
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1261	1265	- 4,7769028 9	0,9	11,712242 3	0,0073	0,3476019 3	- 4,42930095 8	960,826482 3	956,39718 1
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1265	1548	- 337,96587 9	0,9	11,712242 3	0,0073	0,3476019 3	- 337,618277 3	956,397181 3	618,77890 4
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1548	1461	103,89763 8	0,9	11,712242 3	0,0073	0,3476019 3	104,245239 7	618,778904	723,02414 4
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1461	1339	145,69553 8	0,9	11,712242 3	0,0073	0,3476019 3	146,04314	723,024143 7	869,06728 4
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1339	1374	- 41,797900 3	0,9	11,712242 3	0,0073	0,3476019 3	- 41,4502983 3	869,067283 7	827,61698 5
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1374	1487	- 134,94750 7	0,9	11,712242 3	0,0073	0,3476019 3	- 134,599904 6	827,616985 3	693,01708 1
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1487	1791	- 363,04461 9	0,9	11,712242 3	0,0073	0,3476019 3	- 362,697017 5	693,017080 7	330,32006 3
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1791	1848	68,070866 1	0,9	11,712242 3	0,0073	0,3476019 3	- 67,7232642 1	330,320063 2	262,59679 9
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1848	1883	- 41,797900 3	0,9	11,712242 3	0,0073	0,3476019 3	- 41,4502983 3	262,596799	221,14650 1

14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1883	1913	- 35,826771 7	0,9	11,712242 3	0,0073	0,3476019 3	- 35,4791697 2	221,146500 7	185,66733 1
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1913	1952	- 46,574803 1	0,9	11,712242 3	0,0073	0,3476019 3	- 46,2272012 2	185,667331	139,44013
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1952	1987	- 41,797900 3	0,9	11,712242 3	0,0073	0,3476019 3	- 41,4502983 3	139,440129 7	97,989831 4
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1987	2013	- 31,049868 8	0,9	11,712242 3	0,0073	0,3476019 3	- 30,7022668 4	97,9898314	67,287564 6
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2013	2039	- 31,049868 8	0,9	11,712242 3	0,0073	0,3476019 3	- 30,7022668 4	67,2875645 7	36,585297 7
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2039	2043	- 4,7769028 9	0,9	11,712242 3	0,0073	0,3476019 3	- 4,42930095 8	36,5852977 3	32,155996 8
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2043	2139	- 114,64566 9	0,9	11,712242 3	0,0073	0,3476019 3	- 114,298067 4	600	485,70193 3
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2139	2187	- 57,322834 6	0,9	11,712242 3	0,0073	0,3476019 3	- 56,9752327 2	485,701932 6	428,7267
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2187	2191	- 4,7769028 9	0,9	11,712242 3	0,0073	0,3476019 3	- 4,42930095 8	428,726699 9	424,29739 9
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2191	2209	- -21,496063	0,9	11,712242 3	0,0073	0,3476019 3	- 21,1484610 6	424,297399	403,14893 8
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2209	2352	- 170,77427 8	1	11,712242 3	0,0073	0,3862243 7	- 170,388053 8	403,148937 9	232,76088 4
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2352	2387	- 41,797900 3	1	11,712242 3	0,0073	0,3862243 7	- -41,4116759	232,760884 1	191,34920 8
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2387	2391	- 4,7769028 9	1	11,712242 3	0,0073	0,3862243 7	- 4,39067852 1	191,349208 2	186,95853
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2391	2439	- 57,322834 6	1	11,712242 3	0,0073	0,3862243 7	- 56,9366102 8	186,958529 6	130,02191 9

14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2439	2487	- 57,322834 6	1	11,712242 3	0,0073	0,3862243 7	- 56,9366102 8	130,021919 4	73,085309 1
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2487	2700	- 254,37007 9	1	11,712242 3	0,0073	0,3862243 7	- 253,983854 4	73,0853090 8	180,89854 5
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2700	2574	150,47244 1	1	11,712242 3	0,0073	0,3862243 7	150,858665 3	180,898545 3	-30,03988
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2574	2530	52,545931 8	1	11,712242 3	0,0073	0,3862243 7	52,9321561 2	30,0398799 9	22,892276 1
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2530	2743	- 254,37007 9	1	11,712242 3	0,0073	0,3862243 7	- 253,983854 4	22,8922761 4	231,09157 8
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2743	2478	316,46981 6	1	11,712242 3	0,0073	0,3862243 7	316,856040 6	231,091578 2	85,764462 4
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2478	2404	88,372703 4	0,9	11,712242 3	0,0073	0,3476019 3	88,7203053 4	85,7644624	174,48476 8
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2404	2352	62,099737 5	0,9	11,712242 3	0,0073	0,3476019 3	62,4473394 6	174,484767 7	236,93210 7
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2352	2122	274,67191 6	0,9	11,712242 3	0,0073	0,3476019 3	275,019517 9	236,932107 2	511,95162 5
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2122	2370	- 296,16797 9	0,9	11,712242 3	0,0073	0,3476019 3	- 295,820377 1	511,951625 1	216,13124 8
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2370	2287	99,120734 9	0,9	11,712242 3	0,0073	0,3476019 3	99,4683368 4	216,131248 1	315,59958 5
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2287	2226	72,847769 0,9	0,9	11,712242 3	0,0073	0,3476019 3	73,1953709 6	315,599584 9	388,79495 6
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2226	2191	41,797900 3	0,9	11,712242 3	0,0073	0,3476019 3	42,1455021 9	388,794955 9	430,94045 8
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2191	2152	46,574803 1	0,9	11,712242 3	0,0073	0,3476019 3	46,9224050 8	430,940458 1	477,86286 3
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2152	2070	97,926509 2	0,9	11,712242 3	0,0073	0,3476019 3	98,2741111 2	477,862863 1	576,13697 4
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2070	1991	94,343832 0,9	0,9	11,712242 3	0,0073	0,3476019 3	94,6914339 5	576,136974 3	670,82840 8
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	1991	2009	-21,496063 0,9	0,9	11,712242 3	0,0073	0,3476019 3	- 21,1484610 6	670,828408 2	649,67994 7
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2009	2009	0	0,9	11,712242 3	0,0073	0,3476019 3	0,34760193	649,679947 1	650,02754 9

14397,356	6,15		11,712252				-					-			
5	1	20	1	0,3686	2009	2030	25,078740	0,9	11,712242	0,0073	0,3476019	24,7311382	650,027549	625,29641	
							2		3		3	3	1	1	
14397,356	6,15		11,712252				20,301837		11,712242		0,3476019		625,296410		
5	1	20	1	0,3686	2030	2013	3	0,9	3	0,0073	3	20,6494392	8	645,94585	
14397,356	6,15		11,712252				26,272965		11,712242		0,3476019		26,6205678		672,56641
5	1	20	1	0,3686	2013	1991	9	0,9	3	0,0073	3	1	645,94585	8	
14397,356	6,15		11,712252				-		11,712242		0,3476019		-		
5	1	20	1	0,3686	1991	2065	88,372703	0,9	3	0,0073	3	88,0251014	672,566417	584,54131	
							4					8	9	6	
14397,356	6,15		11,712252				-		11,712242		0,3476019		-		
5	1	20	1	0,3686	2065	2022	51,351706	0,9	3	0,0073	3	51,6993079	584,541316	636,24062	
							1					7	4	4	
14397,356	6,15		11,712252				5,9711286		11,712242		0,3476019		6,31873053	636,240624	642,55935
5	1	20	1	0,3686	2022	2017	1	0,9	3	0,0073	3	9	3	5	
14397,356	6,15		11,712252				66,876640		11,712242		0,3476019		67,2242423	642,559354	709,78359
5	1	20	1	0,3686	2017	1961	4	0,9	3	0,0073	3	5	9	7	
14397,356	6,15		11,712252				-		11,712242		0,3476019		-		
5	1	20	1	0,3686	1961	2035	88,372703	0,9	3	0,0073	3	88,0251014	709,783597	621,75849	
							4					8	2	6	
14397,356	6,15		11,712252				-		11,712242		0,3862243		-		
5	1	20	1	0,3686	2035	2122	103,89763	1	3	0,0073	7	103,511413	621,758495	518,24708	
							8					4	7	2	
14397,356	6,15		11,712252				68,070866		11,712242		0,3862243		68,4570905	518,247082	586,70417
5	1	20	1	0,3686	2122	2065	1	1	3	0,0073	7	1	3	3	
14397,356	6,15		11,712252				57,322834		11,712242		0,3862243		57,7090590	586,704172	644,41323
5	1	20	1	0,3686	2065	2017	6	1	3	0,0073	7	1	8	2	
14397,356	6,15		11,712252				-		11,712242		0,3862243		-		
5	1	20	1	0,3686	2017	2139	145,69553	1	3	0,0073	7	145,309313	644,413231	499,10391	
							8					7	8	8	
14397,356	6,15		11,712252				124,19947		11,712242		0,3862243		124,585699	499,103918	623,68961
5	1	20	1	0,3686	2139	2035	5	1	3	0,0073	7	4	1	8	
14397,356	6,15		11,712252				-		11,712242		0,3862243		-		
5	1	20	1	0,3686	2035	2078	-51,351706	1	3	0,0073	7	50,9654816	623,689617	572,72413	
												7	6	6	
14397,356	6,15		11,712252				0	1	11,712242		0,3862243		0,38622436	572,724135	
5	1	20	1	0,3686	2078	2078			3	0,0073	7	6	9	573,11036	
14397,356	6,15		11,712252				-		11,712242		0,3862243		-		
5	1	20	1	0,3686	2078	2109	37,020997	1	3	0,0073	7	36,6347730	573,110360	536,47558	
							4					1	3	7	
14397,356	6,15		11,712252				-		11,712242		0,3862243		-		
5	1	20	1	0,3686	2109	2161	62,099737	1	3	0,0073	7	61,7135131	536,475587	474,76207	
							5					7	3	4	
14397,356	6,15		11,712252				88,372703		11,712242		0,3862243		88,7589277	474,762074	563,52100
5	1	20	1	0,3686	2161	2087	4	1	3	0,0073	7	8	1	2	

14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2087	2274	-223,32021	0,9	11,712242 3	0,0073	0,3476019 3	-222,972608	563,521001 9	340,54839 4
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2274	2378	124,19947 5	0,9	11,712242 3	0,0073	0,3476019 3	123,851873 1	340,548393 8	216,69652 1
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2378	2426	57,322834 6	0,9	11,712242 3	0,0073	0,3476019 3	56,9752327 2	216,696520 7	159,72128 8
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2426	2478	62,099737 5	0,9	11,712242 3	0,0073	0,3476019 3	-61,7521356	159,721288	97,969152 4
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2478	2391	103,89763 8	0,9	11,712242 3	0,0073	0,3476019 3	104,245239 7	97,9691523 8	202,21439 2
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2391	2335	66,876640 4	0,9	11,712242 3	0,0073	0,3476019 3	67,2242423 5	202,214392 1	269,43863 4
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2335	2335	0	0,9	11,712242 3	0,0073	0,3476019 3	0,34760193	269,438634 5	269,78623 6
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2335	2326	10,748031 5	0,9	11,712242 3	0,0073	0,3476019 3	11,0956334 3	269,786236 4	280,88187
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2326	2300	31,049868 8	0,9	11,712242 3	0,0073	0,3476019 3	31,3974707	280,881869 8	312,27934 1
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2300	2291	10,748031 5	0,9	11,712242 3	0,0073	0,3476019 3	11,0956334 3	800	811,09563 3
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2291	2300	10,748031 5	1	11,712242 3	0,0073	0,3862243 7	10,3618071 3	811,095633 4	800,73382 6
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2300	2330	35,826771 7	1	11,712242 3	0,0073	0,3862243 7	35,4405472 9	800,733826 3	765,29327 9
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2330	2335	5,9711286 1	1	11,712242 3	0,0073	0,3862243 7	5,58490424 3	765,293279	759,70837 5
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2335	2357	26,272965 9	1	11,712242 3	0,0073	0,3862243 7	25,8867415 1	759,708374 8	733,82163 3
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2357	2378	25,078740 2	1	11,712242 3	0,0073	0,3862243 7	24,6925157 9	733,821633 3	709,12911 7
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2378	2387	10,748031 5	1	11,712242 3	0,0073	0,3862243 7	10,3618071 3	709,129117 5	698,76731
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2387	2396	10,748031 5	1	11,712242 3	0,0073	0,3862243 7	10,3618071 3	698,767310 3	688,40550 3

14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2396	2387	10,748031 5	1	11,712242 3	0,0073	0,3862243 7	11,1342558 6	688,405503 2	699,53975 9
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2387	2387	0	1	11,712242 3	0,0073	0,3862243 7	0,38622436 6	699,539759 1	699,92598 3
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2387	2457	- 83,595800 5	1	11,712242 3	0,0073	0,3862243 7	- 83,2095761 6	699,925983 4	616,71640 7
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2457	2522	- 77,624671 9	0,8	11,712242 3	0,0073	0,3089794 9	- 77,3156924 2	616,716407 3	539,40071 5
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2522	2404	140,91863 5	0,8	11,712242 3	0,0073	0,3089794 9	141,227614 7	539,400714 8	680,62833
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2404	2478	- 88,372703 4	0,8	11,712242 3	0,0073	0,3089794 9	- 88,0637239 2	680,628329 5	592,56460 6
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2478	2509	- 37,020997 4	0,8	11,712242 3	0,0073	0,3089794 9	- 36,7120178 8	592,564605 6	555,85258 8
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2509	2600	- 108,67454 1	0,8	11,712242 3	0,0073	0,3089794 9	- 108,365561 2	555,852587 7	447,48702 7
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2600	2509	108,67454 1	0,8	11,712242 3	0,0073	0,3089794 9	108,983520 2	447,487026 5	556,47054 7
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2509	2478	37,020997 4	0,8	11,712242 3	0,0073	0,3089794 9	37,3299768 7	556,470546 7	593,80052 4
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2478	2474	4,7769028 9	0,8	11,712242 3	0,0073	0,3089794 9	5,08588238 6	593,800523 6	598,88640 6
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2474	2504	- 35,826771 7	0,8	11,712242 3	0,0073	0,3089794 9	- 35,5177921 6	598,886405 9	563,36861 4
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2504	2522	-21,496063	0,8	11,712242 3	0,0073	0,3089794 9	-21,1870835	563,368613 8	542,18153
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2522	2548	- 31,049868 8	1,1	11,712242 3	0,0073	0,4248468	- 30,6250219 6	542,181530 3	511,55650 8
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2548	2596	- 57,322834 6	1,1	11,712242 3	0,0073	0,4248468	- 56,8979878 4	511,556508 3	454,65852
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2596	2622	- 31,049868 8	1,1	11,712242 3	0,0073	0,4248468	- 30,6250219 6	454,658520 5	424,03349 9
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2622	2626	- 4,7769028 9	1,1	11,712242 3	0,0073	0,4248468	- 4,35205608 4	424,033498 5	419,68144 2



14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2626	2652	- 31,049868 8	1,1	11,712242 3	0,0073	0,4248468	- 30,6250219 6	419,681442 4	389,05642
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2652	2809	- 187,49343 8	1,1	11,712242 3	0,0073	0,4248468	- 187,068591 5	389,056420 5	201,98782 9
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2809	2717	109,86876 6	1,1	11,712242 3	0,0073	0,4248468	110,293613 2	201,987829	312,28144 2
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2717	2757	- 47,769028 9	1,1	11,712242 3	0,0073	0,4248468	- 47,3441820 7	312,281442 2	264,93726
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2757	2678	94,343832	1,1	11,712242 3	0,0073	0,4248468	94,7686788 2	264,937260 1	359,70593 9
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2678	2652	31,049868 8	1,1	11,712242 3	0,0073	0,4248468	31,4747155 7	359,705938 9	391,18065 4
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2652	2622	35,826771 7	1,8	11,712242 3	0,0073	0,6952038 6	36,5219755 1	391,180654 5	427,70263
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2622	2496	150,47244 1	1,8	11,712242 3	0,0073	0,6952038 6	151,167644 8	427,70263	578,87027 5
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2496	2574	- 93,149606 3	1,8	11,712242 3	0,0073	0,6952038 6	- 92,4544024 4	578,870274 8	486,41587 2
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2574	2652	- 93,149606 3	1,8	11,712242 3	0,0073	0,6952038 6	- 92,4544024 4	486,415872 4	393,96147
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2652	2487	197,04724 4	1,8	11,712242 3	0,0073	0,6952038 6	197,742448	393,961469 9	591,70391 8
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2487	2587	- 119,42257 2	1,8	11,712242 3	0,0073	0,6952038 6	- 118,727368 3	591,703917 9	472,97655
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2587	2517	83,595800 5	1,8	11,712242 3	0,0073	0,6952038 6	84,2910043 8	472,976549 6	557,26755 4
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2517	2652	- 161,22047 2	1,8	11,712242 3	0,0073	0,6952038 6	- 160,525268 6	557,267553 9	396,74228 5
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2652	2765	- 134,94750 7	1,8	11,712242 3	0,0073	0,6952038 6	- 134,252302 7	396,742285 4	262,48998 3
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2765	2626	165,99737 5	1,8	11,712242 3	0,0073	0,6952038 6	166,692579 2	262,489982 7	429,18256 2
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2626	2609	20,301837 3	1,5	11,712242 3	0,0073	0,5793365 5	20,8811738 2	429,182561 8	450,06373 6

14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2609	2622	- 15,524934 4	1,5	11,712242 3	0,0073	0,5793365 5	- 14,9455978 3	450,063735 7	435,11813 8
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2622	2526	114,64566 9	1,5	11,712242 3	0,0073	0,5793365 5	115,225005 8	435,118137 8	550,34314 4
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2526	2591	- 77,624671 9	1,5	11,712242 3	0,0073	0,5793365 5	- 77,0453353 7	550,343143 7	473,29780 8
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2591	2626	- 41,797900 3	1,5	11,712242 3	0,0073	0,5793365 5	- 41,2185637 1	473,297808 3	432,07924 5
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2626	2748	- 145,69553 8	1,5	11,712242 3	0,0073	0,5793365 5	- 145,116201 5	432,079244 6	286,96304 3
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2748	2922	- 207,79527 6	1,5	11,712242 3	0,0073	0,5793365 5	- -207,215939	286,963043 1	79,747104
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2922	2913	10,748031 5	1,5	11,712242 3	0,0073	0,5793365 5	11,3273680 5	79,7471040 4	91,074472 1
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2913	2913	0	1,5	11,712242 3	0,0073	0,5793365 5	0,57933654 9	91,0744720 8	91,653808 6
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2913	3130	- 259,14698 2	1,5	11,712242 3	0,0073	0,5793365 5	- 258,567645 1	1000	741,43235 5
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	3130	3039	108,67454 1	1,7	11,712242 3	0,0073	0,6565814 2	109,331122 1	741,432354 9	850,76347 7
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	3039	3183	- 171,96850 4	1,7	11,712242 3	0,0073	0,6565814 2	- 171,311922 5	850,763477	679,45155 5
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	3183	3057	150,47244 1	1,7	11,712242 3	0,0073	0,6565814 2	151,129022 4	679,451554 5	830,58057 7
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	3057	3009	57,322834 6	1,7	11,712242 3	0,0073	0,6565814 2	57,9794160 7	830,580576 9	888,55999 3
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	3009	2974	41,797900 3	1,7	11,712242 3	0,0073	0,6565814 2	42,4544816 9	888,559992 9	931,01447 5
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2974	3178	- 243,62204 7	1,7	11,712242 3	0,0073	0,6565814 2	- 242,965465 8	931,014474 6	688,04900 9
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	3178	3130	57,322834 6	1,7	11,712242 3	0,0073	0,6565814 2	57,9794160 7	688,049008 8	746,02842 5
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	3130	3213	- 99,120734 9	1,7	11,712242 3	0,0073	0,6565814 2	- 98,4641534 9	746,028424 9	647,56427 1

14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	3213	3252	- 46,574803 1	1,7	11,712242 3	0,0073	0,6565814 2	- 45,9182217 3	647,564271 4	601,64605 9
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	3252	3130	145,69553 8	1,7	11,712242 3	0,0073	0,6565814 2	146,352119 5	601,646049 7	747,99816 9
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	3130	3130	0	1,4	11,712242 3	0,0073	0,5407141 1	0,54071411 3	747,998169 1	748,53888 3
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	3130	3130	0	1,4	11,712242 3	0,0073	0,5407141 1	0,54071411 3	748,538883 3	749,07959 7
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	3130	3235	- 125,39370 1	1,4	11,712242 3	0,0073	0,5407141 1	- 124,852986 7	749,079597 4	624,22661 1
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	3235	3161	88,372703 4	1,4	11,712242 3	0,0073	0,5407141 1	88,9134175 2	624,226610 7	713,14002 8
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	3161	3074	103,89763 8	1,4	11,712242 3	0,0073	0,5407141 1	104,438351 9	713,140028 2	817,57838 3
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	3074	2835	285,41994 8	1,4	11,712242 3	0,0073	0,5407141 1	285,960661 6	817,578380 1	1103,5390 4
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2835	3017	- 217,34908 1	1,4	11,712242 3	0,0073	0,5407141 1	- 216,808367 3	1103,53904 2	886,73067 4
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	3017	3022	- 5,9711286 1	1,4	11,712242 3	0,0073	0,5407141 1	- 5,43041449 6	886,730674 5	881,30026 6
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	3022	2935	103,89763 8	1,4	11,712242 3	0,0073	0,5407141 1	104,438351 9	881,30026 7	985,73861 2
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2935	2904	37,020997 4	1,4	11,712242 3	0,0073	0,5407141 1	37,5617114 9	985,738611 9	1023,3003 2
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2904	2861	51,351706 6	1,7	11,712242 3	0,0073	0,6565814 2	52,0082874 6	1023,30032 3	1075,3086 1
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2861	2813	57,322834 6	1,7	11,712242 3	0,0073	0,6565814 2	57,9794160 7	1075,30861 1	1133,2880 3
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2813	2930	- 139,72440 9	1,7	11,712242 3	0,0073	0,6565814 2	- -139,067828 7	1133,28802 7	994,22019 9
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2930	2970	- 47,769028 9	1,7	11,712242 3	0,0073	0,6565814 2	- 47,1124474 5	994,220198 9	947,10775 1
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2970	2970	0	1,7	11,712242 3	0,0073	0,6565814 2	0,65658142 3	947,107751 5	947,76433 3
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2970	3100	- 155,24934 4	1,7	11,712242 3	0,0073	0,6565814 2	- 154,592762 4	947,764332 9	793,17157 7

14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	3100	3022	93,149606 3	1,7	11,712242 3	0,0073	0,6565814 2	93,8061877 2	793,171570 5	886,97775 8
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	3022	3009	15,524934 4	1,7	11,712242 3	0,0073	0,6565814 2	16,1815158 1	886,977758 2	903,15927 4
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	3009	2991	21,496063	1,7	11,712242 3	0,0073	0,6565814 2	22,1526444 1	903,159274	925,31191 8
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2991	3039	- 57,322834 6	1,7	11,712242 3	0,0073	0,6565814 2	- 56,6662532 2	925,311918 4	868,64566 5
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	3039	3004	41,797900 3	1,8	11,712242 3	0,0073	0,6952038 6	42,4931041 2	868,645665 2	911,13876 9
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	3004	2996	9,5538057 7	1,8	11,712242 3	0,0073	0,6952038 6	10,2490096 3	911,138769 3	921,38777 9
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2996	2900	114,64566 9	1,8	11,712242 3	0,0073	0,6952038 6	115,340873 2	921,387778 9	1036,7286 5
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2900	2796	124,19947 5	1,8	11,712242 3	0,0073	0,6952038 6	124,894678 9	1036,72865 2	1161,6233 3
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2796	2800	- 4,7769028 9	1,8	11,712242 3	0,0073	0,6952038 6	- 4,08169902 8	1161,62333 1	1157,5416 3
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2800	2961	- 192,27034 1	1,8	11,712242 3	0,0073	0,6952038 6	- 191,575137 3	1157,54163 2	965,96649 5
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2961	2935	31,049868 8	1,8	11,712242 3	0,0073	0,6952038 6	31,7450726 3	965,966494 6	997,71156 7
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2935	2748	223,32021	1,8	11,712242 3	0,0073	0,6952038 6	224,015413 8	997,711567 3	1221,7269 8
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2748	2870	- 145,69553 8	1,8	11,712242 3	0,0073	0,6952038 6	- 145,000334 2	1221,72698 1	1076,7266 5
14397,356 5	6,15 1	20	11,712252 1	0,3686	2870	2739	156,44357	1,8	11,712242 3	0,0073	0,6952038 6	157,138773 4	1076,72664 7	1233,8654 2

Fuente: Elaboración Propia en base a datos YPFB.

## Anexo D

### DETALLES DEL ESTUDIO ECONÓMICO

Los costos del proyecto como: la movilización general, la ingeniería de detalle, la instalación de los campamentos para el trabajo de la parte operativa y la desmovilización al final del proyecto.

**Tabla d.1: Costo de Logística en el proyecto**

Detalle	Costo [\$\$]
Movilización General	220.000,00
Validación general de la Ingeniería de Detalle	100.000,00
Levantamiento de preventivas y Plan de restauración	100.000,00
Instalación del campamento	250.000,00
Instalación del área de trabajo	350.000,00
Desmovilización	200.000,00
Provisión de combustibles para fiscalización	25.000,00
Total	1.245.000,00

Fuente: Elaborado en base a (Altamirano, 2018) & (Castañares, 2012)

### Costo por Obras Civiles

Los costos por obras civiles se describen en la siguiente tabla:

**Tabla d.2: Costo por Obras Civiles**

Detalle	Costo [\$\$]
Replanteo topográfico en línea	90.000,00
Construcción de derecho de vía paralelo al ducto	90.000,00
Evaluación de la zanja	95.000,00
Bajado de tubería y rellenar la zanja	210.000,00
Señalizaciones de DDV	10.000,00
Señalización de cruces y otros	4.000,00
Construcción de Válvulas y otros.	100.000,00
Áreas de Trampa	75.000,00
Estación de Medición y Control	60.000,00
Total	734.000,00

Fuente: Elaborado en base a (Altamirano, 2018) & (Castañares, 2012)

Son los gastos en el proyecto que ayudan a ejecutar los trabajos civiles, los gastos son por concepto de construcción, excavación, la instalación de señalizaciones, transporte de maquinaria, bajado de tubería y tapado de zanja.

### Costo por Restauración del Derecho de Vía

**Tabla d.3: Costo por Restauración del Derecho de Vía**

Detalle	Costo [Su\$]
Recomposición mecánica del Derecho de Vía	205.000,00
Protección superficial - Canales de suelo de cemento	400.000,00
Protección de taludes y riveras de suelo de cemento	40.000,00
Muros de contención con sacos de suelo de cemento	30.000,00
Gaviones y Colchonetas de Gavión	250.000,00
Reforestación en el M.A.	220.000,00
<b>Total</b>	<b>1.145.000,00</b>

Fuente: Elaborado en base a (Altamirano, 2018) & (Castañares, 2012)

### Costo por Obras mecánicas

**Tabla d.4: Costo por Obras mecánicas**

Detalle	Costo [Su\$]
Transporte, distribución y curvado de cañería	150.000
Soldadura de tubería	800.000
Inspección de juntas soldadas	100.000
Revestimiento de juntas soldadas	150.000
Instalaciones superficiales	700.000
Total	1.900.000

Fuente: Elaborado en base a (Altamirano, 2018) & (Castañares, 2012)

### Costo por Obras Especiales

**Tabla d.5: Costo por Obras Especiales**

Detalle	Costo [Su\$]
Cruce de carreteras, caminos y ríos	1.050.000
Cruce de terreno anegadizo con contrapeso y otros	200.000
Total	1.250.000

Fuente: Elaborado en base a (Altamirano, 2018) & (Castañares, 2012)

### **Costo por Protección Catódica**

Es muy importante en la implementación del proyecto la inversión por protección catódica con el objetivo de proteger de la corrosión a la tubería durante el transporte de hidrocarburos por ductos, los cuales se realizan a través de lechos de ánodos acorde a lo establecido por la norma NACE.

**Tabla d.6: Costo por Protección Catódica**

<b>Detalle</b>	<b>Costo [\$\$]</b>
Provisión del lecho, equipos y materiales	20.000
Instalación de las estaciones de pruebas catódicas y Puesta en operación	170.000
Total	190.000

Fuente: Elaborado en base a (Altamirano, 2018) & (Castañares, 2012)

### **Costo por Puesta en Marcha y Sistema de aterramiento**

Es muy importante considerar en la inversión los sistemas de aterramiento debido a que estos sistemas conducen la desviación de la corriente a tierra para evitar que las personas se electrocuten durante la construcción del poliducto.

**Tabla d.7: Costo por Puesta en Marcha y Sistema de aterramiento**

<b>Detalle</b>	<b>Costo [\$\$]</b>
Prueba hidrostática y secado del poliducto	186.105
Puesta en operación del poliducto	53.537
Dimensionamiento de sistemas de aterramiento y Instalación	50.000
Total	289.642

Fuente: Elaborado en base a (Altamirano, 2018) & (Castañares, 2012)

### **Costo por Provisión de equipos y materiales**

Los costos por provisión de equipos son:



**Tabla d.8: Costo por Provisión de equipos y materiales**

<b>Detalle</b>	<b>Costo [Su\$]</b>
Provisión de material mecánico y termo contraíbles	450.000,00
Compras externas y Data Book	320.000,00
Total	770.000,00

Fuente: Elaborado en base a (Altamirano, 2018) & (Castañares, 2012)

### **Costo por Actividades Complementarias**

Los costos por actividades complementarias son:

**Tabla d.9: Costo por Actividades Complementarias**

<b>Detalle</b>	<b>Costo [Su\$]</b>
Cuadrilla civil general	120.000
Cuadrilla mecánica general	190.000
Total	310.000

Fuente: Elaborado en base a (Altamirano, 2018) & (Castañares, 2012)