

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA



FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA EN PETRÓLEOS

**PROYECTO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN
PETRÓLEOS**

**“ESTUDIO PARA INCREMENTAR LA CAPACIDAD DE TRANSPORTE
DE DERIVADOS DE PETRÓLEO – ANÁLISIS HIDRÁULICO, EN EL
POLIDUCTO LIBERTAD – MANTA, OPERADO POR EP
PETROECUADOR”.**

FRANKLIN GABRIEL AMORES CRISTOBAL

LA LIBERTAD, FEBRERO 2014

**UNIVERSIDAD ESTATAL
PENÍNSULA DE SANTA ELENA**

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN PETRÓLEO.
CARRERA DE INGENIERÍA EN PETRÓLEO

**“ESTUDIO PARA INCREMENTAR LA CAPACIDAD DE TRANSPORTE
DE DERIVADOS DE PETRÓLEO – ANÁLISIS HIDRÁULICO, EN EL
POLIDUCTO LIBERTAD – MANTA, OPERADO POR EP
PETROECUADOR”.**

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO EN PETRÓLEO

AUTOR: FRANKLIN GABRIEL AMORES CRISTOBAL

TUTOR: ING. CARLOS PORTILLA LAZO

LA LIBERTAD – ECUADOR
2014

APROBACIÓN DEL TUTOR

Como Tutor de la tesis: **“ESTUDIO PARA INCREMENTAR LA CAPACIDAD DE TRANSPORTE DE DERIVADOS DE PETRÓLEO – ANÁLISIS HIDRÁULICO, EN EL POLIDUCTO LIBERTAD – MANTA, OPERADO POR EP PETROECUADOR”**, desarrollado por la estudiante Sr. Franklin Gabriel Amores Cristobal egresado de la Carrera de Ingeniería en Petróleo, Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, previo a la obtención del Título de Ingeniero en Petróleo, me permito declarar que luego de haber dirigido, estudiado y revisado, apruebo en su totalidad este trabajo de investigación.

Atentamente,

ING. CARLOS PORTILLA LAZO
TUTOR DE TESIS

DECLARACIÓN

Franklin Gabriel Amores Cristóbal, Egresado de la Escuela de Ingeniería en Petróleos, autor de la tesis titulada **“ESTUDIO PARA INCREMENTAR LA CAPACIDAD DE TRANSPORTE DE DERIVADOS DE PETRÓLEO – ANÁLISIS HIDRÁULICO, EN EL POLIDUCTO LIBERTAD – MANTA, OPERADO POR EP PETROECUADOR”**, declaro bajo juramento que el presente trabajo es de mi autoría, y que no ha sido presentado para ningún grado o calificación profesional. Las referencias bibliográficas aquí presentadas han sido consultadas para realizar este proyecto.

Cedo también los derechos de autoría a la Universidad Estatal Península de Santa Elena, Facultad de Ingeniería en Petróleos, para que realice la difusión correspondiente, bajo los reglamentos y normativa institucional actual.

Franklin Gabriel Amores Cristobal

AGRADECIMIENTO

A DIOS por sobre todas las cosas, quién me ha guiado siempre por el camino de la sabiduría y el conocimiento, quién ha sido mi fortaleza para afrontar con responsabilidad cada instante de mi vida, quién me llenó de fe para comprender que nada es imposible.

A EP PETROECUADOR, a través del Ing. Jhonson Soto, Intendente del Poliducto Libertad – Manta, quién confió en mis capacidades y me dio la oportunidad de desarrollar mi trabajo de tesis.

A los Ingenieros Sr. Carlos Portilla Lazo y Sr. Tarquino López Cadena, por su apoyo y asesoría para culminar con éxito la presente tesis, a cada uno de los Docentes que contribuyeron en mi formación académica, mi más sincera gratitud y estima.

Franklin Amores Cristobal

DEDICATORIA

El presente trabajo de tesis está dedicado a mis padres: Abg. Franklin Amores y Sra. Angelita Cristóbal, por ser los pilares fundamentales en mi vida, quienes se sacrificaron para darme lo mejor y me inculcaron valores como la honestidad, respeto y humildad.

A mi amada esposa Alexandra, por su apoyo incondicional para culminar con éxito mi carrera universitaria, a mis hijas Andrea y Cristina que son la luz de mis ojos para superarme como persona y como profesional.

A mis amigos y compañeros de clases, por compartir ideas que sirvieron de mucho en nuestra formación.

Franklin Amores Cristobal

TRIBUNAL DE GRADO

Ing. Ramón Muñoz Suárez
DECANO DE LA FACULTAD DE
CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

Ing. Alamir Álvarez Loor
DIRECTOR DE LA ESCUELA DE
INGENIERÍA EN PETRÓLEO

Ing. Carlos Portilla Lazo
PROFESOR TUTOR

Ing. Tarquino López Cadena
PROFESOR DE ÁREA

Abg. Milton Zambrano Coronado, MSc.
SECRETARIO GENERAL - PROCURADOR

ÍNDICE GENERAL

APROBACIÓN DEL TUTOR.....	III
DECLARACIÓN	IV
AGRADECIMIENTO	V
DEDICATORIA	VI
TRIBUNAL DE GRADO	VII
ÍNDICE GENERAL.....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	XII
ÍNDICE DE FIGURA	XIII
ÍNDICE DE ANEXOS.....	XIV
SIMBOLOGIA.....	XIV
RESUMEN.....	XVI
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN	1
1. EL PROBLEMA.....	3
1.1 ANTECEDENTES.....	3
1.2 HIPÓTESIS.....	4
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	4
1.4 OBJETIVOS.....	5
1.4.1 Objetivo General.....	5
1.4.2. Objetivos Específicos	5
1.5 JUSTIFICACIÓN.....	5
1.6 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	6
1.6.1 Diseño de la Investigación	6

1.6.2	MÉTODOS Y TÉCNICAS.....	7
1.6.2.1	Operación de variables.....	7
CAPÍTULO II		10
2.	FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	10
2.1	MARCO TEÓRICO.....	10
2.1.1	Propiedades de los fluidos.....	10
2.1.2	Densidad.....	10
2.1.3	Peso específico.....	11
2.1.4	Viscosidad.....	12
2.1.5	Gravedad API.....	14
2.1.6	Presión.....	15
2.1.7	Temperatura.....	17
2.1.8	Tensión superficial.....	18
2.1.9	Caudal	19
2.2	MECÁNICA DE LOS FLUÍDOS E HIDRÁULICA.....	19
2.2.1	Fundamentos del flujo de fluidos.....	20
2.2.2	Tipos de flujos de fluidos.....	20
2.2.3	Ecuación de Continuidad.....	21
2.2.4	Ecuación de la Energía	23
2.2.5	Teorema de Bernoulli.....	25
2.3	FLUJO DE FLUIDOS EN TUBERÍAS.....	26
2.4	EQUIPO DE BOMBEO	36
2.4.1	BOMBAS HIDRÁULICAS	36
2.4.2	Clasificación	37
2.4.3	Bombas dinámicas (bombas centrífugas).....	38

CAPÍTULO III.....	53
3. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.	53
3.1 ORGANIGRAMA DEL POLIDUCTO LIBERTAD – MANTA.....	53
3.2 POLIDUCTO LIBERTAD – MANTA.....	54
3.2.1. ESTACIÓN DE BOMBEO.	54
3.2.2. ESTACIÓN REDUCTORA.	56
3.2.3. MANTENIMIENTO DEL POLIDUCTO	59
3.2.4. SISTEMA DE OPERACIÓN DEL POLIDUCTO.....	60
3.2.5. PERFIL ALTIMÉTRICO Y LONGITUD REAL DEL POLIDUCTO.	62
3.2.6. CARACTERIZACIÓN DE LOS PRODUCTOS TRANSPORTADOS.	63
3.2.7. TIEMPO DE USO DE LA TUBERÍA.	68
3.2.8. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE CONSTRUCCIÓN.	68
3.2.9. RUGOSIDAD DE LA TUBERÍA.....	69
3.3 ANÁLISIS VOLUMÉTRICO.....	72
3.3.1. DEMANDA DE COMBUSTIBLE EN LA PROVINCIA DE MANABÍ.	72
3.4 LEY DE HIDROCARBUROS.....	75
3.4.1. POLÍTICA AMBIENTAL DEL POLIDUCTO LIBERTAD – MANTA.....	77
3.5 NORMAS TÉCNICAS PARA TUBERÍAS.	77
3.5.1. NORMAS API PARA TUBERÍA	77
3.5.2. NORMA ASME PARA TUBERÍA	78
CAPÍTULO IV.....	82
4. ANÁLISIS HIDRÁULICO.....	82

4.1	CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE PRESIÓN.	83
4.1.1.	Cálculo de pérdidas primarias.....	83
4.1.2.	Cálculo de pérdidas secundarias.	87
4.1.3.	Cálculo de presiones considerando alturas.	91
4.2	PARÁMETROS DE DISEÑO DE LA BOMBA.....	94
4.3	PARÁMETROS ACTUALES DE OPERACIÓN DE LA BOMBA.....	98
4.4	CÁLCULO DEL POTENCIAL NECESARIO DE BOMBEO.	99
4.5	ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS.....	109
4.6	PARÁMETROS ÓPTIMOS DE OPERACIÓN.	110
4.7	ANÁLISIS TÉCNICO Y ENERGÉTICO.	111
CAPÍTULO V		114
5.	ESTADÍSTICAS DE CONSUMO Y PROYECCIÓN DE LA DEMANDA.	114
5.1	Estudio del movimiento de los productos.	115
5.1.1.	Movimiento de combustibles “Volumen despachado desde el Terminal vs consumo en cada cantón de la Provincia de Manabí”.....	116
5.1.2.	Volumen en Tanques vs Demanda.	118
CAPÍTULO VI.....		120
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	120
6.1	CONCLUSIONES.....	120
6.2	RECOMENDACIONES.	121
BIBLIOGRAFÍA		122
ANEXOS.		123

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. Características Generales Red de Poliductos del Ecuador.....	2
TABLA 2. Clasificación del petróleo.	15
TABLA 3. Tipo de flujo según Reynolds.	28
TABLA 4. Valores de rugosidad.	32
TABLA 5. Sistemas de válvulas en el poliducto.	35
TABLA 6. Coeficiente K.	35
TABLA 7. Clasificación de las bombas hidráulicas	38
TABLA 8. Tanques y volumen de almacenamiento.....	58
TABLA 9. Características del poliducto.....	61
TABLA 10. Características Gasolina Súper.	64
TABLA 11. Características Gasolina Extra.....	65
TABLA 12. Características del Diesel 1.....	66
TABLA 13. Características Diesel 2.....	67
TABLA 14. Características Diesel Premium.....	68
TABLA 15. Tubería 5L X42.....	69
TABLA 16. Volumen de combustibles transportados en el 2013.	73
TABLA 17. Características técnicas y operativas.....	84
TABLA 18. Cálculo de pérdidas de energía por fricción.	87
TABLA 19. Cálculo de pérdidas de energía por accesorios.	89
TABLA 20. Cálculo de pérdidas de energía por cambio de dirección.	90
TABLA 21. Cálculo de pérdidas de presión.....	93
TABLA 22. Características básicas de la bomba.....	98
TABLA 23. Parámetros actuales de operación.....	99
TABLA 24. Calculo de pérdidas de energía por fricción.	102
TABLA 25. Cálculo de pérdidas de energía por accesorios.	103
TABLA 26. Cálculo de pérdidas de energía por cambio de dirección.	103
TABLA 27. Calculo de pérdidas de presión y nivel piezométrico.	104
TABLA 28. Datos óptimos de operación en el Poliducto Libertad – Manta.....	110
TABLA 29. Análisis de caudales 2012 – 2017.....	113
TABLA 30. Producción y consumo de derivados a nivel nacional.	114
TABLA 31. Importación de derivados.....	115
TABLA 32. Volumen de combustible transportado año 2013.	116
TABLA 33. Consumo de combustibles en la Provincia de Manabí.	117
TABLA 34. Detalle de los volúmenes despachados vs consumo.....	118
TABLA 35. Detalle de los combustibles en el Terminal Barbasquillo.....	118
TABLA 36. Movimiento de los combustibles mes de Diciembre 2013.....	119

ÍNDICE DE FIGURA

FIGURA 1. Red de Poliductos del Ecuador.....	1
FIGURA 2. Relación entre presiones.....	16
FIGURA 3. Acción de la tensión superficial.	18
FIGURA 4. Tipos de flujos de fluidos.....	21
FIGURA 5. Línea y tubo de corriente.....	21
FIGURA 6. Ecuación de Continuidad.	22
FIGURA 7. Balance energético en una instalación hidráulica.	24
FIGURA 8. Representación de energías en un sistema de flujo de fluidos.	25
FIGURA 9. Rugosidad en una tubería.	31
FIGURA 10. Partes de la bomba.	36
FIGURA 11. Partes principales de una bomba.	39
FIGURA 12. Principio de funcionamiento bomba centrífuga.	40
FIGURA 13. Diagrama de cargas en un sistema de bombeo.....	42
FIGURA 14. Altura efectiva de bombeo.	43
FIGURA 15. Curva ejemplo de cavitación.....	47
FIGURA 16. Curva ejemplo del rendimiento de una bomba.....	48
FIGURA 17. Curva ejemplo de eficiencia y potencial.	49
FIGURA 18. Punto de operación de una bomba.....	50
FIGURA 19. Curva ejemplo del diámetro del impulsor.	50
FIGURA 20. Curva ejemplo de la potencia requerida.....	51
FIGURA 21. Curva de eficiencia bomba 3600	52
FIGURA 22. Estación de bombeo La Libertad.....	54
FIGURA 23. Estación Reductora Barbasquillo – Manta.	56
FIGURA 24. Tanques de almacenamiento Terminal Barbasquillo.	58
FIGURA 25. Perfil del poliducto Libertad – Manta.	62
FIGURA 26. Perdidas de metal externas del Poliducto.....	70
FIGURA 27. Perdidas de metal interna del Poliducto.	71
FIGURA 28. Modo de operación por bacheo.	73
FIGURA 29. Transporte de combustibles en el año 2013.	74
FIGURA 30. Trazado en el perfil del Poliducto considerando alturas.	83
FIGURA 31. Bomba modelo 3600.	95
FIGURA 32. Selección de bomba.....	96
FIGURA 33. Curva eficiencia 3 x 4 – 8B.....	97
FIGURA 34. Red del poliducto.	105
FIGURA 35. Opciones hidráulicas.	106
FIGURA 36. Datos de la tubería.....	107
FIGURA 37. Editor curva de la bomba.	107
FIGURA 38. Tabla de resultados.....	108

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Cálculo de la presión en cada tramo del Poliducto Libertad – Manta..	123
Anexo 2 Simulación hidráulica en programa EPANET.	128
Anexo 3 Informe de novedades – análisis de integridad Petroenergy	129

SIMBOLOGIA

A	: Área.
API	: American Petroleum Institute.
ASME	: Sociedad Estadounidense de Ingenieros mecánicos.
BHP	: Potencia suministrada.
BPH	: Barriles por horas.
d	: Diámetro interior
D	: Diámetro exterior
e	: Eficiencia.
ϵ	: Rugosidad.
Ec	: Energía cinética.
Ep	: Energía potencial.
F	: Fuerza.
g	: Gravedad.
Ge	: Gravedad específica.
GPM	: Galones por minutos.
HI	: Perdidas secundarias.
hp	: Altura de presión.
Hp	: Potencia desarrollada.

H_{rp} : Perdidas por fricción.

H_{sa} : Perdidas secundarias por accesorios.

H_{sd} : Perdidas secundarias por dirección.

K : Coeficiente de pérdidas secundarias.

KWH : Kilovatios hora.

L : Longitud.

NPSH_d: Altura neta de succión disponible.

NPSH_r: Altura neta de succión requerida.

MAOP: Máxima presión de operación.

P : Presión.

PK : Punto kilométrico.

POA : Plan operativo anual.

POB : Potencial de bombeo.

PSI : Pounds per square inch.

Q : Caudal.

Re : Numero de Reynolds.

T : Temperatura.

TDH : Carga dinámica total.

V : Volumen.

λ : Coeficiente de pérdidas primarias.

ρ : Densidad.

Υ : Peso específico.

μ : Viscosidad dinámica

v : Velocidad.

RESUMEN

El presente trabajo de tesis tiene como objetivo primordial evaluar los parámetros actuales de operación en el transporte de derivados del petróleo en el poliducto Libertad - Manta, operado por la Empresa Pública de Hidrocarburos del Ecuador EP PETROECUADOR, con la finalidad de optimizar la capacidad de transporte de combustible hacia la Provincia de Manabí.

En base al estudio hidráulico se determinaron las pérdidas de energía en el transporte de derivados a través de una tubería que tiene algunos años de operación.

Con el aumento del caudal a 231 GPM se obtuvo como resultado la reducción del tiempo de llegada de los combustibles y la reducción en la energía consumida, que representa un ahorro energético de 18.384 KWH.

Se establece como parámetros óptimos de operación trabajar con un caudal medio de 370 BPH con una presión de descarga de 1310 PSI, con el propósito de cubrir la demanda hasta el año 2015.

Es recomendable también realizar los trabajos de reparación en los puntos más críticos de la tubería determinados por el análisis de integridad, de esta manera se puede generar una operación eficiente manteniendo un transporte limpio e ininterrumpido, así como también el abastecimiento normal y oportuno de combustible ante la demanda actual y a futuro del mercado interno en la Provincia de Manabí.

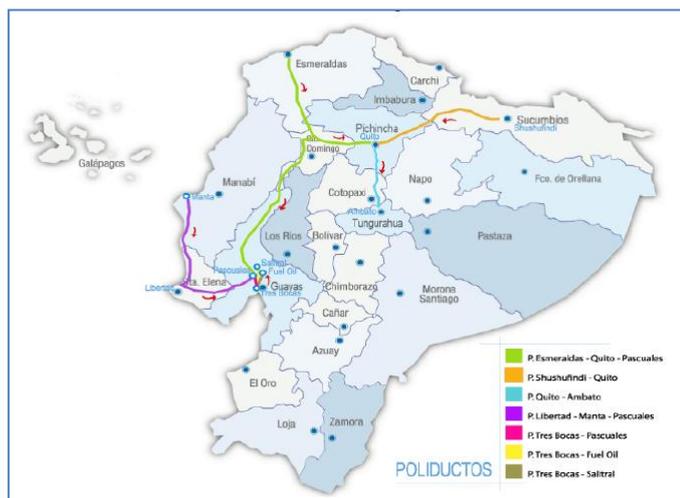
CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Siendo los combustibles actualmente de gran importancia para la economía de un País, la Empresa Pública de Hidrocarburos del Ecuador EP PETROECUADOR ha desarrollado diversas logísticas para el transporte de crudo y derivados del petróleo, a través de una red de ductos, que cubren todo el país y que operan coordinadamente.

Mediante los poliductos, que son líneas de transporte para más de un producto, se transportan los derivados desde las refinerías hasta los terminales y depósitos, donde se almacenan en grandes tanques, luego son distribuidos a las comercializadoras para la venta a los usuarios en el lugar, momento y cantidad requerida.

FIGURA 1. Red de Poliductos del Ecuador.



Fuente: Página Web EP PETROECUADOR.¹

¹Página Web EP PETROECUADOR.

La red de poliductos cuenta con aproximadamente 1.273 kilómetros de extensión, cuya capacidad de bombeo permite transportar alrededor de 358.000 barriles día de productos terminados como: gasolinas, diesel y gas licuado de petróleo, a través de 10 diferentes líneas, que ubicadas estratégicamente e interconectadas entre sí, atraviesan las tres regiones del País, abasteciendo al sector social y productivo del Ecuador.

TABLA 1. Características Generales Red de Poliductos del Ecuador.

CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS POLIDUCTOS			
POLIDUCTO	EXTENSIÓN KMS	DIÁMETRO DE TUBERÍA (PULGS.)	CAPACIDAD DE BOMBEO (BLS)
Esmeraldas - Sto. Domingo	163.9	16	60.000
Sto. Domingo - Quito	89	12	48.000
Sto. Domingo - Pascuales	275	10	38.400
Quito – Ambato	113	6	12.000
Shushufindi - Quito	303	6 – 4	10.800
Libertad - Pascuales	128	10	21.600
Libertad – Manta	170	6	8.200
Tres Bocas - Pascuales	20	12	108.000
Tres Bocas - Fuel Oil	5.5	14	48.000
Tres Bocas - Salitral	5.5	8 – 6	36.000
TOTAL	1272.9		

Fuente: Atlas Petrolero Ecuatoriano.

Los diferentes envíos dentro de la tubería se agrupan en “baches” de gran volumen. Los baches de diferentes productos derivados del petróleo se bombean uno detrás de otro, generalmente sin separación física alguna, minimizando al máximo la presencia de interface entre productos.

Para el transporte de combustible por un ducto es necesario contar con un grupo de bombeo, que ubicado estratégicamente ayuda a vencer la columna hidrostática del lugar. A lo largo de la línea existen diferentes válvulas que ayudan al normal flujo del fluido por la tubería, como también existen, estaciones reductoras para controlar la presión cuando el flujo es descendente.

1. EL PROBLEMA.

1.1 ANTECEDENTES.

En la Costa ecuatoriana se cuenta con los poliductos Libertad – Pascuales –Manta, y Tres Bocas – Pascuales. Estos dos poliductos se vuelven estratégicos para la planificación de la importación y distribución de combustibles por su ubicación geográfica, poliductos que transportan los derivados del petróleo entre los terminales La Libertad, Tres Bocas, Barbasquillo y Pascuales, dándoles la condición a los dos primeros de Terminales Marítimos, debido a las buenas condiciones que presentan las áreas donde se acoderan los buques.

Al ser el poliducto Libertad – Manta el abastecedor único de combustible para la provincia de Manabí, es necesario contar con un correcto funcionamiento de sus instalaciones por lo que, a partir de los últimos años la Empresa Pública de Hidrocarburos del Ecuador ha iniciado estudios para su mejoramiento.

El presente trabajo de tesis pretende a través de un análisis hidráulico de toda la línea, desde el despacho en la estación de bombeo La Libertad hasta la recepción de los productos en los tanques de almacenamiento en Manta, determinar parámetros óptimos de operación teniendo en cuenta los parámetros de presión, caudal, capacidad de bombeo, temperatura, etc., sustentados en el diseño de construcción y funcionamiento del poliducto.

1.2 HIPÓTESIS.

El incremento de la demanda de combustible determinado por el sostenido crecimiento poblacional e industrial de la Provincia de Manabí, requiere de un abastecimiento constante y seguro de derivados del petróleo en buenas condiciones de calidad.

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

El poliducto Libertad – Manta inicia sus operaciones en 1990 de forma normal, abasteciendo de combustible a la Provincia de Manabí. Los principales productos que transportan son: Gasolina Extra, Destilado 1, Diesel 2, y Diesel Premium.

Al tener aproximadamente 24 años de operación y no contar con información de prueba hidráulica realizada, se hace necesario conocer el estado actual de todo el sistema.

El actual estudio pretende mejorar el rendimiento del sistema del poliducto Libertad – Manta con la aplicación de la hidráulica de fluidos, para establecer parámetros operacionales adecuados, tales como la presión de descarga y el caudal necesario para que las bombas trabajen eficientemente; buscando principalmente devolver la confiabilidad del sistema de bombeo y mejorar los parámetros de operación con el fin de disminuir el tiempo de descarga de los productos limpios en el Terminal Barbasquillo.

Es necesario conocer la importancia del fortalecimiento de la red Nacional de Poliductos, ya que ésta es la manera más eficiente, segura y económica de transportar combustibles; además garantiza el pronto abastecimiento de estos recursos en la extensión nacional.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General

Determinar las condiciones bajo las cuales el sistema de poliducto Libertad – Manta pueda satisfacer la demanda actual de combustibles en la Provincia de Manabí y proyectada para la construcción de la Refinería del Pacífico.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Determinar el estado actual del Sistema del poliducto.
- Definir las condiciones bajo las cuales se pueda mejorar la eficiencia, eficacia y seguridad en el transporte de derivados de petróleo.
- Realizar un estudio hidráulico en base a pérdidas de energía en tuberías y a la variación topográfica del sector.
- Identificar la capacidad y funcionamiento de las bombas en la estación de bombeo del poliducto.

1.5 JUSTIFICACIÓN.

El presente estudio tiene como objetivo fundamental obtener información para realizar un análisis hidráulico del poliducto Libertad – Manta, con el propósito de determinar los parámetros óptimos de operación de todo el sistema, lo que generaría una operación eficiente manteniendo un transporte limpio e ininterrumpido, así como también el abastecimiento normal y oportuno de combustible ante la demanda actual y a futuro del mercado interno en la Provincia de Manabí.

El estudio formará parte del fortalecimiento de la misión que debe cumplir la Gerencia de almacenamiento y transporte, que es de gestionar el transporte y almacenamiento de hidrocarburos con alcance nacional, preservando el ambiente y garantizando el cumplimiento de las metas fijada en la política empresarial, con estándares de calidad, cantidad, seguridad, oportunidad, y rentabilidad.

1.6 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

1.6.1 Diseño de la Investigación

Toda investigación requiere una selección adecuada del tema objeto del estudio, de un buen planteamiento de la problemática a solucionar y de la definición del método científico que se utilizará para llevar a cabo dicha investigación. Entre los métodos más utilizadas están la investigación documental y la investigación de campo, las mismas que serán utilizadas en el desarrollo de la presente tesis.

Investigación documental.

La investigación documental se basa en la recopilación de antecedentes a través de fuentes bibliográficas, iconográficas, y magnéticas, donde el investigador fundamenta y complementa su investigación.

Mediante la investigación documental se analizará la información más relevante del poliducto Libertad – Manta, para realizar un diagnóstico actual de las condiciones de operación para el transporte de combustible.

Investigación de campo.

La investigación de campo es la que se realiza directamente en el medio donde se presenta el fenómeno de estudio, mediante la entrevista, la encuesta, la observación y la experimentación.

En la investigación de campo se realizará la observación directa del funcionamiento de todo el sistema de bombeo, con la finalidad de conocer los aspectos inherentes a su comportamiento y características; se harán toma de datos de presiones en los diferentes puntos de control del poliducto y caracterización de los diferentes productos transportados.

1.6.2 MÉTODOS Y TÉCNICAS.

1.6.2.1 Operación de variables.

A través de la variable dependiente e independiente, podemos definir el problema objeto de nuestro estudio; establecer los aspectos relacionados para realizar la investigación y los indicadores que determinaran el resultado deseado.

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL/ASPECTOS DIMENSIONES	INDICADOR
Transporte y almacenamiento de derivados de petróleo	Abastecimiento normal y constante de combustibles	Caracterización de los productos transportados	Propiedades de los fluidos
			Análisis volumétrico
		Mecánica de los fluidos e hidráulica	Fundamentos del flujo de fluidos
			Flujo de fluidos en tuberías
Análisis hidráulico del poliducto Libertad – Manta	Optimización de la operación en el transporte de derivados de petróleo	Pérdidas de energía en la tubería	Sistema de bombeo
			Factores que influyen en la pérdida de energía en tuberías
		Determinación de los parámetros óptimos de operación	Parámetros de diseño vs parámetros reales de operación
			Caracterización de resultados

Elaborado por: Franklin Amores.

1.2.3. RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN.

1.2.3.1. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

La recolección de la información debe realizarse utilizando un proceso planeado paso a paso, para que, de forma coherente se puedan obtener resultados que contribuyan favorablemente al logro de los objetivos propuestos. Para realizar el presente estudio se recurrirá a la información primaria e información secundaria.

Información Primaria

La información primaria es aquella que el investigador recoge directamente a través de un contacto inmediato con su objeto de análisis.

La información primaria para nuestro estudio será un monitoreo continuo y eficaz de las variables de presión, temperatura, caudal, características físicas de los fluidos que son transportados, registros de operación y parámetros de construcción del poliducto.

Información Secundaria

La información secundaria es aquella que el investigador recoge a partir de investigaciones ya hechas por otros investigadores con propósitos diferentes.

Para la presente investigación, la información secundaria se la obtiene en manuales de operación, libros de textos, apuntes técnicos, e investigación en el internet.

1.2.3.2. Técnicas para análisis y discusión de datos.

Toda la información obtenida será registrada en hojas de cálculo para elaborar tablas y gráficos estadísticos. La discusión de los resultados será basada en los datos obtenidos por la información primaria y secundaria, así como también en resultados presentados por el simulador y la hoja de cálculo elaborada para el presente estudio.

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1 MARCO TEÓRICO.

2.1.1 Propiedades de los fluidos.

Los fluidos son agregaciones de moléculas, que debido a su poca cohesión intermolecular carecen de forma propia y adopta la forma del recipiente que lo contiene.

Los fluidos pueden dividirse en líquidos y gases, con la diferencia que los líquidos son prácticamente incompresibles, ocupan un volumen definido y tienen superficies libres, mientras que los gases son compresibles y se expanden hasta ocupar todas las partes del recipiente que los contiene.

Las propiedades de un fluido son las que definen el comportamiento y características del mismo, tanto en reposo como en movimiento, algunas de estas propiedades son exclusivas de los fluidos y otras son típicas de todas las sustancias.

2.1.2 Densidad.

La densidad es una de las propiedades más habituales y útiles en el estudio de los fluidos: relaciona la masa de una porción de fluido y el volumen que esta porción ocupa, así se puede concluir que, entre más masa tenga un cuerpo en un mismo volumen, mayor será su densidad.

Se define con la siguiente ecuación:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \text{Ec. 1.1}$$

Dónde:

ρ : Densidad

m: Masa

V: Volumen

La densidad depende de la temperatura y la presión en todos los fluidos. Para una presión dada, si la temperatura aumenta la densidad disminuye, mientras que si disminuye, es la densidad la que aumenta. En cambio, para una temperatura dada, si la presión aumenta, la densidad también lo hace, disminuyendo cuando la presión lo hace.

2.1.3 Peso específico.

El peso específico de una sustancia, es su peso por unidad de volumen, y depende de la aceleración de la gravedad, así como del lugar. Siendo de gran importancia en la estática de fluidos.

$$\gamma = \rho * g \quad \text{Ec. 1.2}$$

Dónde:

γ : Peso específico

ρ : Densidad de la sustancia

g : Aceleración de la gravedad

Para el presente caso, el transporte de derivados de petróleo se lo realiza en un sistema de tuberías cerrado, donde la gravedad no afecta al flujo de los fluidos, considerando.

$$\gamma = \rho$$

2.1.4 Viscosidad.

La viscosidad de un fluido es aquella propiedad que determina la cantidad de resistencia opuesta a las fuerzas cortantes, y esta se debe primordialmente a las interacciones entre las moléculas de un fluido. En los líquidos, el pequeño rozamiento existente entre capas adyacentes se denomina viscosidad, y esta disminuye al aumentar la temperatura, pero no se ve afectada apreciablemente por las variaciones de presión. La viscosidad se trata de una propiedad muy importante en ingeniería ya que liga el movimiento del fluido con el efecto que este tiene sobre la superficie por la que transcurre.

La viscosidad es una característica fundamental que influye directamente en el tipo de flujo que se mueve en la tubería, mientras más viscoso sea el fluido el comportamiento de este se regirá a un flujo laminar, caso contrario será turbulento.

La ley de viscosidad de Newton establece que para una tasa dada de deformación angular del fluido, el esfuerzo cortante es directamente proporcional a la viscosidad y se la conoce como viscosidad absoluta o dinámica(μ).

$$\mu = \frac{\tau}{\frac{dv}{dy}} \quad \text{Ec. 1.3}$$

Dónde:

μ : Viscosidad absoluta

τ : Esfuerzo cortante

$\frac{dv}{dy}$: Gradiente de velocidad

Otra forma para expresar la viscosidad es calculando la viscosidad cinemática que es la relación de viscosidad absoluta con la densidad.

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad \text{Ec. 1.4}$$

Dónde:

ν : Viscosidad cinemática

μ : Viscosidad dinámica

ρ : Densidad

Unidades para la viscosidad dinámica

Pa.s o Kg/(m.s)

Slug / (pie.s)

POISE = gr / (cm.s)

Unidades para la viscosidad cinemática

m² / seg

pie² / seg

STOKE = cm² / seg

2.1.5 Gravedad API.

La gravedad API, o grados API, de sus siglas en inglés American Petroleum Institute, es una medida de densidad que en comparación con el agua, precisa cuán pesado o liviano es el petróleo.

La fórmula inferida y usada para determinar esta propiedad es la siguiente:

$$API = \frac{141,5}{Ge a 60^{\circ}F} - 131,5 \quad \text{Ec. 1.5}$$

La importancia de los grados API en el campo petrolero, influye mucho ya que con ello podemos analizar el petróleo en cuanto a su densidad relativa y por medio de este análisis se pueda concluir que cuanto más liviano es un crudo y más alta es su gravedad API, mejor es su calidad y mayor es su precio.

TABLA 2.Clasificación del petróleo.

CRUDO	GRADOS API
LIVIANO	> 32°
MEDIANO	22 - 32° API
PESADO	10 - 22° API

2.1.6 Presión

La presión se define como la cantidad de fuerza ejercida sobre un área unitaria de una sustancia, esto se puede establecer con la siguiente ecuación:

$$P = \frac{F}{A} \quad \text{Ec. 1.6}$$

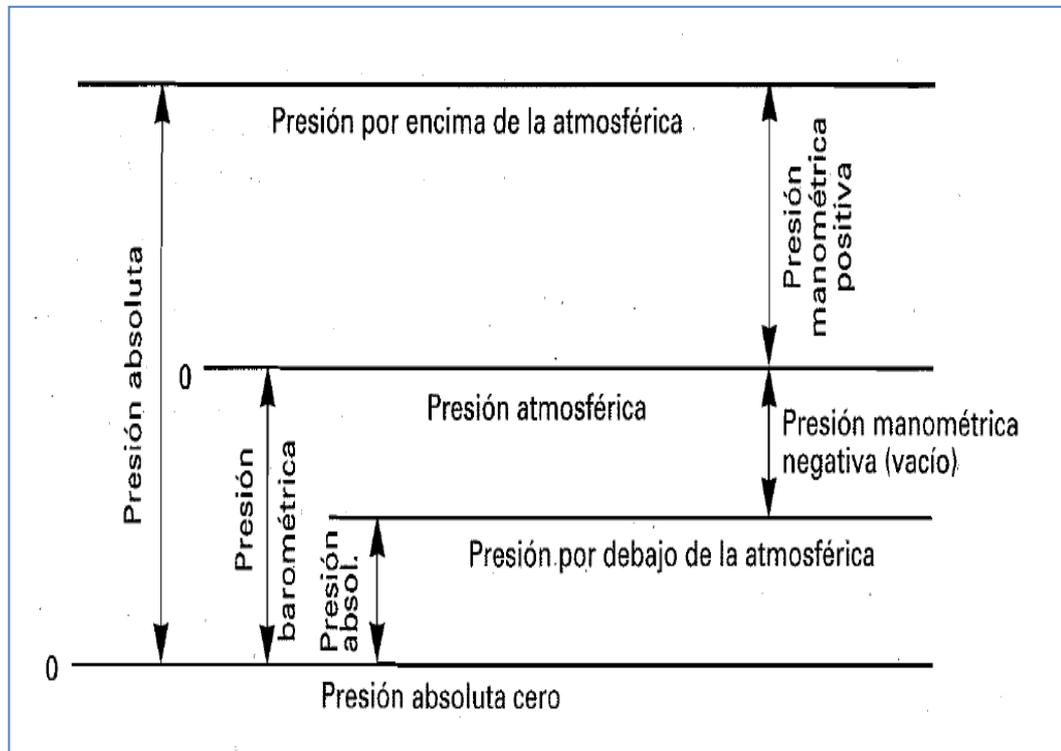
La presión de un fluido se transmite en igual intensidad en todas las direcciones y en un fluido confinado entre fronteras sólidas actúa perpendicularmente a la frontera.

Las unidades más usadas de presión en el Sistema Ingles son: Pounds per square inch (PSI)= Lb/pulg², y el Pascal (Pa) = N/m²

En un sistema de poliductos el combustible se mueve de un lugar de mayor energía (mayor presión) a uno de menor energía (menor presión).

Al realizar cálculos que involucren la presión de un fluido, se deben efectuar con alguna presión de referencia, siendo normalmente la atmosférica, la presión que arroja la medición del fluido se denomina presión manométrica. La presión que se mide en relación con un vacío perfecto se denomina presión absoluta.

FIGURA 2. Relación entre presiones.



Fuente: Robert H. Perry, Manual del Ingeniero Químico.²

La ecuación que relaciona los dos sistemas de medición de la presión es:

$$P_{abs} = P_{man} + P_{atm}$$

Dónde:

P_{abs} : Presión absoluta

P_{man} : Presión manométrica

P_{atm} : Presión atmosférica

²Robert H. Perry, Manual del Ingeniero Químico.

2.1.7 Temperatura.

Podemos definir a la temperatura como un escalar que representa la actividad interna (escala microscópica) de una sustancia. Este concepto está ligado al transporte de energía en forma de calor.

Dos regiones en contacto térmico que se encuentran a la misma temperatura no tienen transporte de calor entre ellas. Esta es la condición de equilibrio térmico que establece la ley cero de la termodinámica.

Existen dos escalas de temperaturas o dos formas de expresar el estado relativo de la materia:

- Temperaturas absolutas
- Temperaturas relativas

Las escalas absolutas expresan la temperatura de tal forma que su valor cero, es equivalente al estado ideal de las moléculas de esa porción de materia en estado estático.

Las escalas relativas son aquellas que se refieren a valores preestablecidos o patrones en base a los cuales fue establecida una escala de uso común.

En el sistema métrico decimal, las escalas relativas y absolutas son:

- Escala Celsius (relativa)
- Escala Fahrenheit (relativa)
- Escala Kelvin (absoluta)
- Escala Rankine (absoluta)

Ecuaciones utilizadas:

$$^{\circ}\text{C} = \frac{5}{9} (^{\circ}\text{F} - 32)$$

$$^{\circ}\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273$$

$$^{\circ}\text{R} = ^{\circ}\text{F} + 460$$

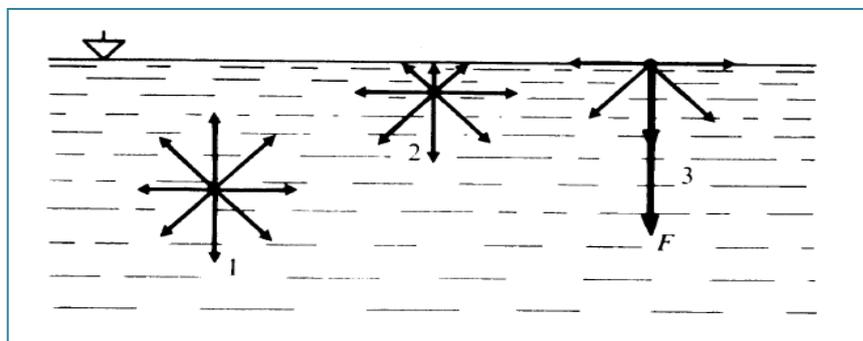
2.1.8 Tensión superficial.

La tensión superficial es una fuerza que produce efectos de tensión en la superficie de los líquidos, allí donde el fluido entra en contacto con otro fluido no miscible, debido a que las fuerzas de cohesión de las moléculas que están en el interior del líquido se atraen entre sí en todas direcciones, menos en la superficie.

COHESIÓN: Término que describe las fuerzas atractivas existentes entre moléculas del mismo tipo.

ADHESIÓN: Término que describe las fuerzas atractivas entre moléculas de tipo diferente.

FIGURA 3. Acción de la tensión superficial.



Fuente: Claudio Mataix, Mecánica de fluidos y maquinas hidráulicas.³

³Claudio Mataix, Mecánica de fluidos y maquinas hidráulicas Cap.2.

La fuerza de cohesión hace que la fuerza resultante sobre las moléculas interiores sea nula, en la superficie aparecerá una fuerza resultante hacia el interior del fluido debido a la descompensación de las fuerzas de cohesión.

Para deformar la superficie se deberá realizar cierta cantidad de trabajo ya que existe una fuerza actuando sobre la superficie. Así, se podría decir que sobre la superficie existe cierta cantidad de energía potencial acumulada, por lo tanto, la energía potencial por unidad de superficie se definirá como el coeficiente de tensión superficial:

2.1.9 Caudal

Caudal es el volumen de fluido por unidad de tiempo que pasa a través de una sección transversal a la corriente, entonces:

$$Q = A.V \quad \text{Ec. 1.7}$$

Las unidades más utilizadas son:

$$1Q = 1\text{m}^3/\text{seg.}$$

$$1Q = 1\text{Bls}/\text{día}$$

$$1Q = 1\text{GPM}$$

2.2 MECÁNICA DE LOS FLUÍDOS E HIDRÁULICA

La mecánica de los fluidos es parte de la mecánica aplicada que estudia las leyes del comportamiento de los fluidos en equilibrio, *hidrostática* y en movimiento, *hidrodinámica*.

2.2.1 Fundamentos del flujo de fluidos.

El flujo de fluidos es complejo y no siempre puede ser estudiado de forma exacta mediante el análisis matemático, contrariamente a lo que sucede con los sólidos, las partículas de un fluido en movimiento pueden tener diferentes velocidades y estar sujetas a distintas aceleraciones. Tres principios fundamentales que se aplican al flujo de fluidos son:

A – El principio de conservación de la masa, a partir del cual se establece la ecuación de continuidad.

B – El principio de la energía cinética, a partir del cual se deducen ciertas ecuaciones aplicables al flujo, y

C – El principio de la cantidad de movimiento, a partir del cual se deducen ecuaciones para calcular las fuerzas dinámicas ejercidas por los fluidos en movimiento.

2.2.2. Tipos de flujos de fluidos.

El flujo de un fluido puede ser permanente o no permanente, uniforme o no uniforme, laminar o turbulento.

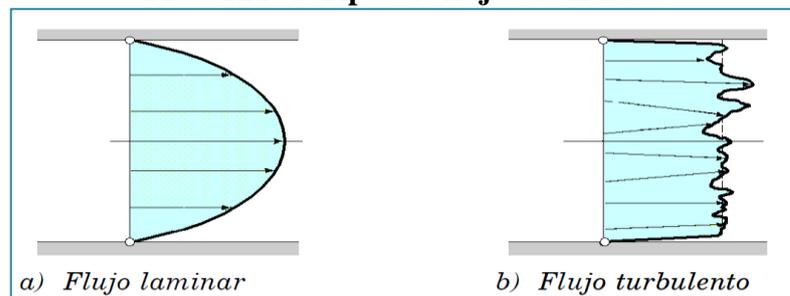
Flujo Permanente: si en cualquier punto del espacio por donde circula el fluido no varían con el tiempo las características de éste, en particular su velocidad y su presión. Un flujo es no permanente cuando las condiciones en un punto cualquiera del fluido varían con el tiempo.

Flujo Uniforme: tiene lugar cuando el módulo, la dirección, y el sentido de la velocidad no varían de un punto a otro del fluido. El flujo de líquidos bajo presión a través de tuberías de diámetro constante y gran longitud es uniforme tanto si el régimen es permanente como si es no permanente. El flujo es no uniforme cuando

la velocidad, la profundidad, la presión, varían de un punto a otro en la región del flujo.

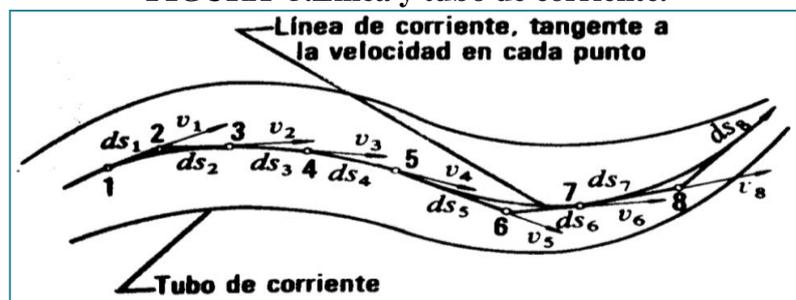
Flujo Laminar: El flujo laminar se caracteriza por un movimiento ordenado de las partículas del fluido, existiendo líneas de corriente y trayectorias bien definidas. El flujo es turbulento si al incrementarse tanto la velocidad, el movimiento de un fluido se da en forma caótica, donde las partículas del mismo se mueven desordenadamente.

FIGURA 4. Tipos de flujos de fluidos.



Las líneas de corriente son curvas imaginarias dibujadas a través de un fluido en movimiento y que indican la dirección de éste en los diversos puntos del flujo fluido, la tangente en un punto de la curva representa la dirección de la velocidad de las partículas fluidas en dicho punto. Un tubo de corriente está constituido por una región parcial del flujo fluido delimitada por un grupo de líneas de corrientes que lo confinan.

FIGURA 5. Línea y tubo de corriente.

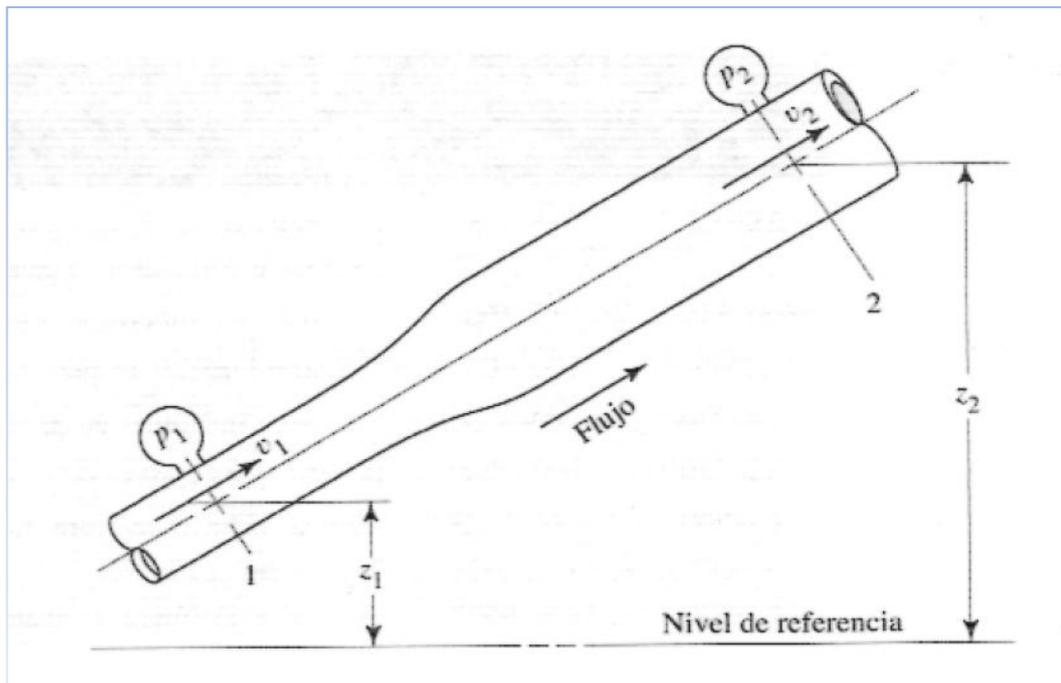


Fuente: Claudio Mataix, Mecánica de fluidos y maquinas hidráulicas.

2.2.3. Ecuación de Continuidad.

La ecuación de continuidad es una consecuencia del principio de conservación de la masa, para un flujo permanente, la cantidad de fluido que circula a través de cualquier sección de una corriente de fluido por unidad de tiempo es constante.

FIGURA 6. Ecuación de Continuidad.



Fuente: Robert L. Mott, Mecánica de fluidos.⁴

En términos de flujo másico se expresa:

$$\begin{aligned}m_1 &= m_2 \\m &= \rho AV \\ \rho_1 A_1 V_1 &= \rho_2 A_2 V_2\end{aligned}$$

⁴Robert L. Mott, Mecánica de fluidos Cap. 6.

Si el fluido que circula es un líquido incompresible, entonces los términos son iguales. Así la ecuación se convierte en:

$$Q = A_1V_1 = A_2V_2 = \text{constante} \quad (\text{m}^3 / \text{seg.}) \quad \text{Ec. 1.8}$$

2.2.4. Ecuación de la Energía

Cuando se analiza el flujo de un fluido en una tubería se deben tomar siempre en consideración tres formas de energías:

Energía de Posición. Debido a su elevación, es la energía necesaria para elevar un fluido a una posición de referencia. Si la masa del fluido es elevada a una posición Z arriba de la altura de referencia la energía requerida es:

$$E_E = wz \quad \text{Ec. 1.9}$$

Dónde:

w: Peso del fluido

z: Distancia medida desde el punto de referencia

Energía Cinética. Debido a su velocidad, la energía cinética de la masa del fluido es la capacidad de hacer un trabajo en virtud de su velocidad. Es expresada como:

$$E_C = \frac{wv^2}{2g} \quad \text{Ec. 1.10}$$

Dónde:

w: Peso del fluido

v: Velocidad media

g: Gravedad

Energía Potencial. Representa la cantidad de trabajo necesario para mover el fluido a través de cierta sección contra la presión, se calcula por medio de:

$$E_p = \frac{wp}{\gamma} \quad \text{Ec. 1.11}$$

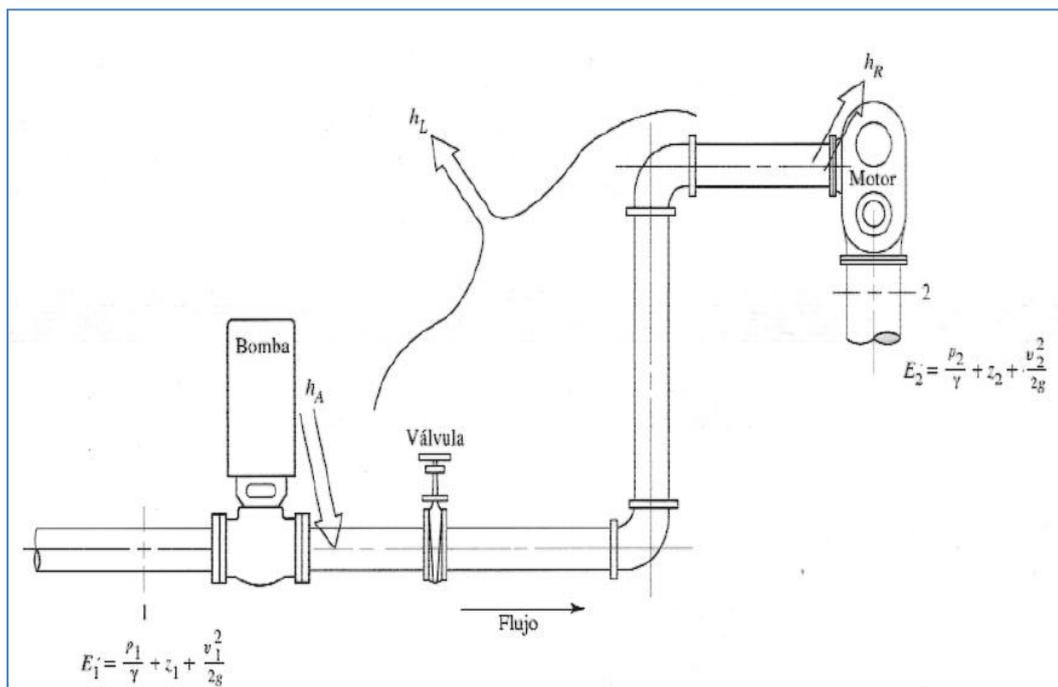
Dónde:

w: Peso del fluido

p: Presión en cualquier sección de la tubería

γ : Peso específico

FIGURA 7. Balance energético en una instalación hidráulica.



Fuente: Robert L. Mott, Mecánica de fluidos.⁵

⁵ Robert L. Mott, Mecánica de fluidos Cap. 7.

La energía total o la energía contenida por unidad de peso del fluido a través de una tubería están dadas por la suma de la energía cinética, energía potencial, y energía de posición.

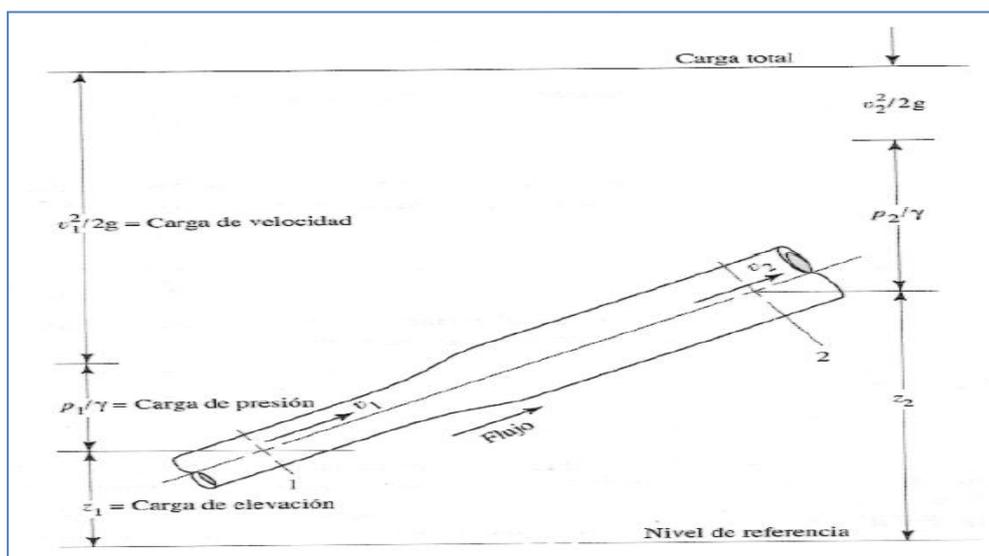
$$E_T = wz + \frac{wv^2}{2g} + \frac{wp}{\gamma}$$

$$E_T = E_E + E_C + E_P \quad \text{Ec. 1.12}$$

2.2.5. Teorema de Bernoulli.

El teorema de Bernoulli expresa la ley de conservación de la energía para un fluido en movimiento, la cual puede presentarse en tres formas, energía de posición, energía de presión, y la energía debido a su velocidad. Durante el movimiento de un fluido, una forma de energía puede transformarse en otra, pero la energía total del sistema queda siempre invariable.

FIGURA 8. Representación de energías en un sistema de flujo de fluidos.



Fuente: Robert L. Mott, Mecánica de fluidos.⁶

⁶ Robert L. Mott, Mecánica de fluidos Cap. 6.

La ecuación de Bernoulli toma en cuenta los cambios en la carga de elevación, carga de presión, y carga de velocidad entre dos puntos en un sistema de flujo de fluidos, asumiendo que no hay pérdidas o adiciones de energía entre los dos puntos, por lo que la carga total permanece constante.

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + Z_2 \quad \text{Ec. 1.13}$$

Procedimiento para aplicar la ecuación de Bernoulli.⁷

1. Decidir cuáles son los términos conocidos y cuales deben calcularse.
2. Determinar cuáles son las dos secciones del sistema que se usarán para escribir la ecuación de Bernoulli.
3. Escribir la ecuación de Bernoulli para las dos secciones elegidas en el sistema, es importante que la ecuación se escriba en la dirección del flujo.
4. Es necesario ser explícito en la denominación de los subíndices de los términos de la carga de presión, carga de elevación y carga de velocidad en la ecuación de Bernoulli, en un esquema del sistema hay que señalar la posición de los puntos de referencia.
5. Simplificar la ecuación, si es posible.
6. Despejar de la ecuación, en forma algebraica el término que se busca.
7. Sustituir cantidades conocidas y calcular el resultado con unidades consistentes en todos los cálculos.

2.3 FLUJO DE FLUIDOS EN TUBERÍAS.

Los fluidos reales se distinguen de los ideales porque estos poseen una cierta viscosidad, que debido a su movimiento originan fuerzas cortantes entre las partículas fluidas, las paredes del contorno y entre las diferentes capas de fluido.

⁷Robert L. Mott, Mecánica de fluidos Pag. 169.

Existen dos tipos de flujos en el caso de fluidos reales, estos se llaman flujo laminar y flujo turbulento, ambos tipos de flujos vienen gobernados por leyes distintas.

El número de Reynolds

El comportamiento de un fluido, en particular en lo que se refiere a las pérdidas de energía, depende de que el flujo sea laminar o turbulento, el número de Reynolds permite caracterizar la naturaleza del fluido.

$$Re = \frac{\rho v d}{\mu} \qquad \text{Ec. 1.14}$$

Dónde:

d : Diámetro de un conducto

v : Velocidad media

μ : Viscosidad absoluta

ρ : Densidad

Los flujos son turbulentos si tienen números de Reynolds grandes debido a una velocidad elevada y/o una viscosidad baja, y aquellos fluidos con viscosidad alta y/o que se mueven a velocidades bajas, tendrán números de Reynolds bajos y tenderán a comportarse como flujo laminar.

TABLA 3. Tipo de flujo según Reynolds.

TIPO DE FLUJO	Re
Flujo laminar	Re < 2000
Flujo de transición	2000 > Re > 4000
Flujo turbulento	Re > 4000

2.3.1. Fuerzas desarrolladas por los fluidos en movimiento.

Siempre que una corriente de fluido se desvía de su dirección inicial o su velocidad cambia se requiere una fuerza que efectúe dicho cambio, por tal motivo, el conocimiento de las fuerzas ejercidas por los fluidos en movimiento son de gran importancia en el análisis y diseño de dispositivos tales como bombas, turbinas, hélices, cuerpos en movimientos y multitud de dispositivos hidráulicos.

Es frecuente que se utilice la segunda ley del movimiento de Newton para expresar este concepto en forma matemática; su forma más común es:

$$F = ma \quad (\text{cuerpos sólidos})$$

$$F = ma = m \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (\text{movimiento de fluidos})$$

Como $m/\Delta t$ se interpreta como el flujo másico el cual se denota con el símbolo M y este se relaciona con el flujo volumétrico Q por medio de la relación.

$$M = \rho Q$$

Entonces la ecuación se convierte en

$$F = (m/\Delta t) \Delta v = M\Delta v = \rho Q\Delta v \quad \text{Ec. 1.15}$$

Forma general de la ecuación de fuerza que se emplea en problemas de flujos.

2.3.2. Resistencia de los fluidos

Por el principio de acción y reacción, la resistencia que un sólido experimenta al moverse en un fluido es fundamentalmente igual a la resistencia que un fluido experimenta al moverse en el interior de un sólido, como una tubería.

Las pérdidas de cargas en las tuberías son de dos clases: primarias y secundarias.

2.3.3. Resistencia de superficie (pérdidas primarias).

Las pérdidas primarias son las pérdidas de superficie, tienen lugar en flujo uniforme por lo tanto en los tramos de tubería de sección constante.

Pérdidas por fricción.

En base a experimentos realizados en tuberías, se ha demostrado que las pérdidas de cargas debido a la fricción está en función de la velocidad y de la longitud del tubo, la formula fundamental que se utiliza para el cálculo de flujos en tuberías es la ecuación de Darcy – Weisbach.

$$H_{rp} = \lambda \frac{L V^2}{d 2g} \quad \text{Ec. 1.16}$$

Y en función del caudal se expresa:

$$H_{rp} = 0,0828 \lambda L \frac{Q^2}{D^5} \quad \text{Ec. 1.17}$$

H_{rp} : Pérdida de carga primaria

λ : Coeficiente de pérdida de carga primaria

L: Longitud de la tubería

d: Diámetro interno

D: Diámetro externo

V: Velocidad media del fluido

Coeficiente de pérdidas primarias

El coeficiente de pérdida de carga es función de dos variables adimensionales: el número de Reynolds y la rugosidad relativa.

$$\lambda = f(Re \epsilon_r)$$

La ecuación de Poiseuille demuestra que el coeficiente de pérdida de primaria en régimen laminar en tuberías lisas como rugosas depende solo del número de Reynolds.

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad Re < 2000$$

La ecuación de Colebrook–White nos permite calcular el coeficiente de pérdida primaria en régimen turbulento en tuberías rugosa.

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log_{10} \left(\frac{\epsilon_r}{3,7} + \frac{2,51}{Re \sqrt{\lambda}} \right) \quad Re > 4000$$

Rugosidad

La rugosidad en las tuberías son todas las imperfecciones y asperezas que se presentan en sus paredes, las cuales tienen infinitas formas y tamaños. La rugosidad tiene un efecto importante en el comportamiento hidrodinámico de las tuberías e influye en el normal flujo de los fluidos, cuando las asperezas son más pequeñas que la subcapa laminar el flujo se verifica como turbulento liso y el movimiento es independiente de la rugosidad, por tanto estas tuberías reciben el nombre de tuberías hidrodinámicamente lisas.

Cuando las asperezas son superiores al espesor de la subcapa laminar, acentúan la turbulencia y afectan a las pérdidas de cargas, en este caso el movimiento se verifica como turbulento rugoso y por tanto estas tuberías se denominan hidrodinámicamente rugosas.

FIGURA 9. Rugosidad en una tubería.

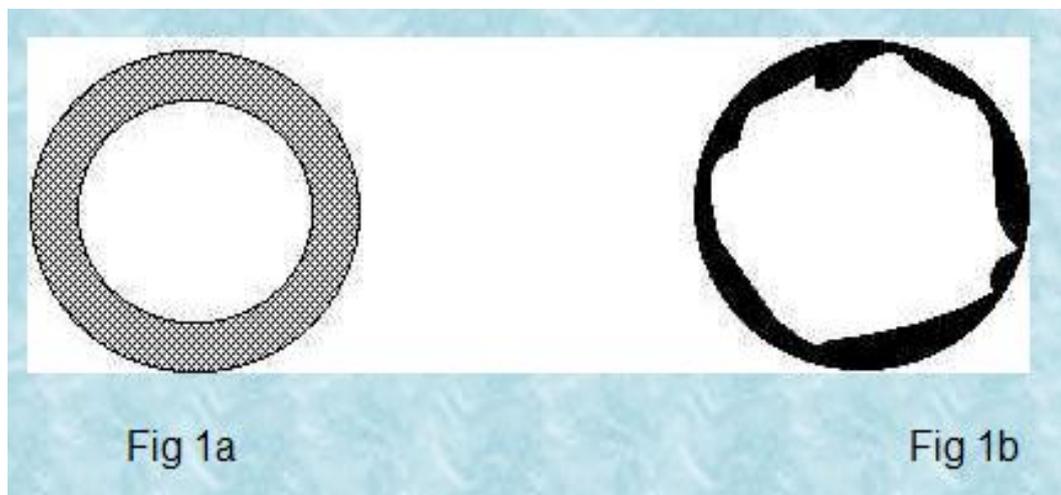


Figura 1a tubería lisa.

Figura 1b tubería rugosa.

El cálculo de la rugosidad relativa es complejo, ya que no existe un método exacto. Para el caso de tuberías se pueden consultar los valores de rugosidad en tablas publicadas.

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{d} \quad \text{Ec. 1.18}$$

Dónde:

ε_r = Rugosidad relativa

ε = Rugosidad del material

d = Diámetro interno de la tubería

TABLA 4. Valores de rugosidad.

RUGOSIDAD ABSOLUTA DE MATERIALES	
MATERIAL	ε(mm)
PLASTICO PVC	0,0015
ACERO COMERCIAL Y SOLDADO	0,03 - 0,09
HIERRO GALVANIZADO	0,06 - 0,24
HIERRO FORJADO	0,03 - 0,09
HORMIGON	0,3 - 3,0
FUNDICION ASFALTADA	0,06 - 0,18

Fuente: Claudio Mataix, Mecánica de fluidos y maquinarias hidráulicas.⁸

⁸Claudio Mataix, Mecánica de fluidos y maquinas hidráulicas Cap. 5.

2.1.3.4. Resistencia de forma (perdidas secundarias).

Las pérdidas secundarias son las pérdidas de forma que tienen lugar en los cambios de sección y dirección de la corriente, en las transiciones (estrechamientos o expansiones de la corriente), codos, válvulas, y en toda clase de accesorios de tuberías.

Un sistema de transporte de fluidos está compuesto de tramos rectos y curvos para ajustarse a las condiciones geográficas del terreno, así como también a los cambios por los distintos dispositivos utilizados para el control de la descarga, esto implica que se originen pérdidas de energía localizadas en el mismo sitio del cambio y alteración del flujo.

La magnitud de las pérdidas de energía que produce la fricción del fluido, las válvulas y accesorios, es directamente proporcional a la carga de velocidad del fluido, esto se expresa en forma matemática así:

$$HI = K \frac{v^2}{2g} \quad \text{Ec. 1.19}$$

Pérdidas por accesorios (Válvulas o dispositivos de cierre).

Las válvulas se emplean en los sistemas de tuberías con el propósito de controlar el caudal, estos dispositivos originan pérdidas de carga, la cual es inversamente proporcional al porcentaje de apertura de la válvula.

Una válvula puede ser una pérdida pequeña y despreciable cuando está totalmente abierta; sin embargo, cuando está parcialmente abierta puede ser la pérdida más importante del sistema.

Válvulas de bloqueo (compuerta).

La ventaja más importante de las válvulas de compuerta es que presentan poca restricción al flujo cuando están abiertas de todo. Sin embargo, por lo efectos del flujo dinámico contra la cuña que no tiene soporte, estas válvulas no son eficaces para estrangulación. El traqueteo inducido por la velocidad del medio circulante contra una cuña parcialmente abierta más los ciclos frecuentes a la presión de la tubería, producen arrastre en el lado de corriente abajo que, combinado con la erosión, ocasiona desgaste del asiento y fugas

Válvulas de retención (check).

Las válvulas de retención impiden el flujo inverso en las tuberías, son de funcionamiento automático y se mantienen abiertas por la presión del fluido que circula. El cierre se logra mediante el peso del mecanismo de retención o por la contrapresión cuando se invierte el flujo.

Las válvulas que están incorporadas en el sistema del poliducto La Libertad - Manta son: 13 válvulas de bloqueo y 12 de válvulas retención; su ubicación se detalla en la tabla 5.

TABLA 5. Sistemas de válvulas en el poliducto.

VÁLVULAS		KILÓMETRO
BLOQUEO	RETENCIÓN	
1		0 + 00 La LIBERTAD
1		02 + 19
	1	17 + 184
2		33 + 094
1	1	35 + 577
1	1	44 + 139
	1	67 + 044
1	1	78 + 653
	1	91 + 080
1		96 + 700
	1	100 + 377
1	1	122 + 394
1	1	140 + 141
	1	146 + 654
1	1	153 + 967
1	1	166 + 036
1		170 + 644 TERMINAL BARBASQUILLO

Fuente: Intendencia del Poliducto LPM.

TABLA 6. Coeficiente K.

COEFICIENTE DE PÉRDIDAS POR VÁLVULAS PARA 6"	
TIPO DE VÁLVULA	K
ESFÉRICA, TOTALMENTE ABIERTA	10
CHECK O DE RETENCIÓN	2,5
DE COMPUERTA, TOTALMENTE ABIERTA	2

Fuente: Datos recopilados del Pipe friction manual, Hydraulic institute.

2.4 EQUIPO DE BOMBEO

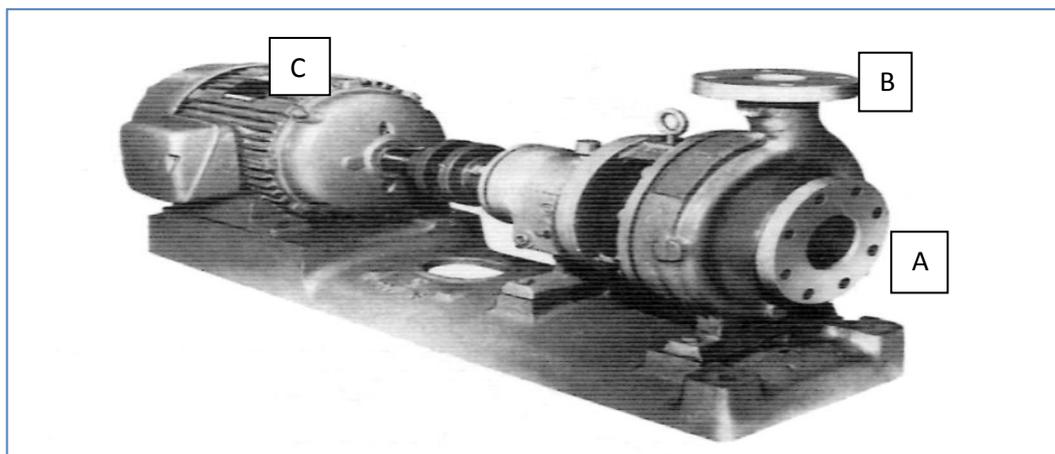
Un equipo de bombeo es un transformador de energía, recibe energía mecánica que puede proceder de un motor eléctrico y la convierte en energía que un fluido adquiere en forma de presión, de posición o de velocidad.

2.4.1. BOMBAS HIDRÁULICAS

Una bomba es un generador hidráulico que recibe energía mecánica proveniente de un motor impulsor, la cual se añade a la energía cinética y potencial del líquido que pasa a través de ella. Estas máquinas mueven el líquido como consecuencia de un intercambio de energía, la transferencia de energía se da por medio del movimiento rotacional del líquido producido por un impulsor.

El proceso energético ocurre en dos etapas sucesivas; en primer lugar, por efecto del movimiento rotacional, se origina un crecimiento de la energía cinética del líquido y en segundo lugar el cuerpo de la bomba recibe el líquido que viene del impulsor, transformando la energía cinética en energía de presión, dirigiéndolo al mismo tiempo hacia el exterior por la descarga.

FIGURA 10. Partes de la bomba.



Fuente: Manuel Viejo Z, Bombas teoría, diseño y aplicaciones.

Dónde:

- A. entrada (intake)
- B. salida (descarga)
- C. motor eléctrico

2.4.2. Clasificación

Las bombas hidráulicas se clasifican en dos grupos:

- 1 – Bombas de desplazamiento positivo (bombas volumétricas)
- 2 – Bombas de desplazamiento negativo (bombas dinámicas)

En las bombas volumétricas la energía es periódicamente suministrada al fluido por la aplicación de fuerza directa sobre un volumen de líquido el cual incrementa su presión al valor requerido para moverse en la tubería de descarga.

Las bombas de desplazamiento positivo más usadas en la Industria Petrolera son las bombas reciprocantes y las bombas rotativas. En las bombas dinámicas la energía es comunicada al fluido por un elemento rotativo que imprime al líquido el mismo movimiento de rotación, transformándose luego, parte en energía y parte en presión. El caudal a una determinada velocidad de rotación depende de la resistencia al movimiento en la línea de descarga.

TABLA 7. Clasificación de las bombas hidráulicas

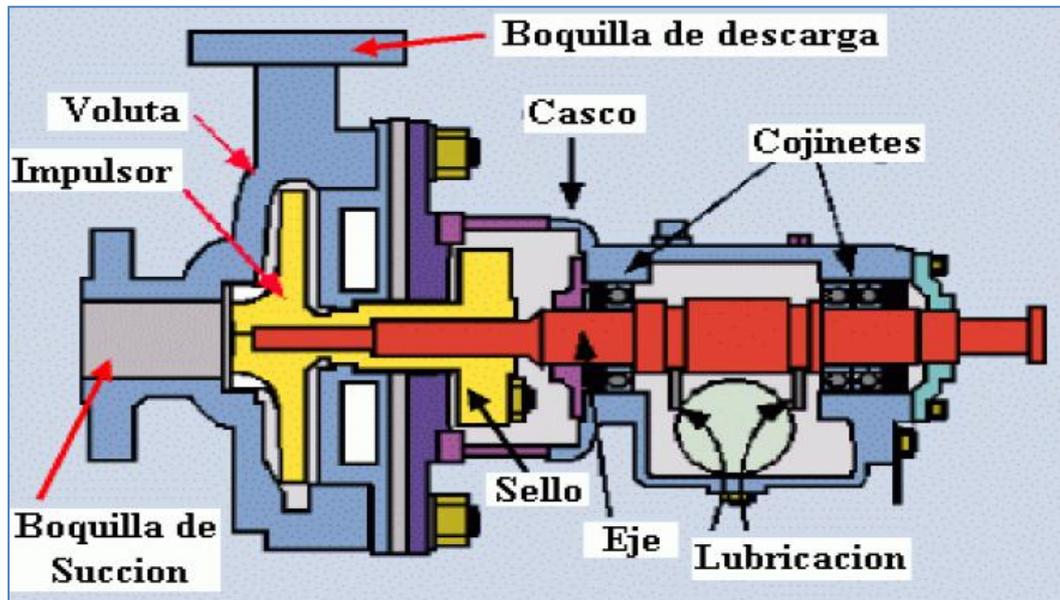
BOMBAS	Bombas Volumétricas	Reciprocante	Pistón Embolo
		Rotatorias	Rotor simple Rotor múltiple
	Bombas Dinámicas	Centrifugas	Flujo radial Flujo axial
		Periféricas	Unipaso Multipaso
		Especiales	Electromagnéticas

2.4.3. Bombas dinámicas (bombas centrífugas).

Las bombas centrífugas son las más extensivamente usadas en la industria petrolera, es un tipo de bomba hidráulica que transforma la energía mecánica de un impulsor rotatorio en energía cinética y potencial. El fluido entra por el centro del impulsor, pasando por unos álabes que conducen el fluido hacia el exterior por efecto de la fuerza centrífuga. La carcasa de la bomba recoge el fluido y lo dirige hacia la salida de la misma.

2.4.3.1. Partes principales.

FIGURA 11. Partes principales de una bomba.



Tubería de aspiración: Que concluye prácticamente en la brida de aspiración.

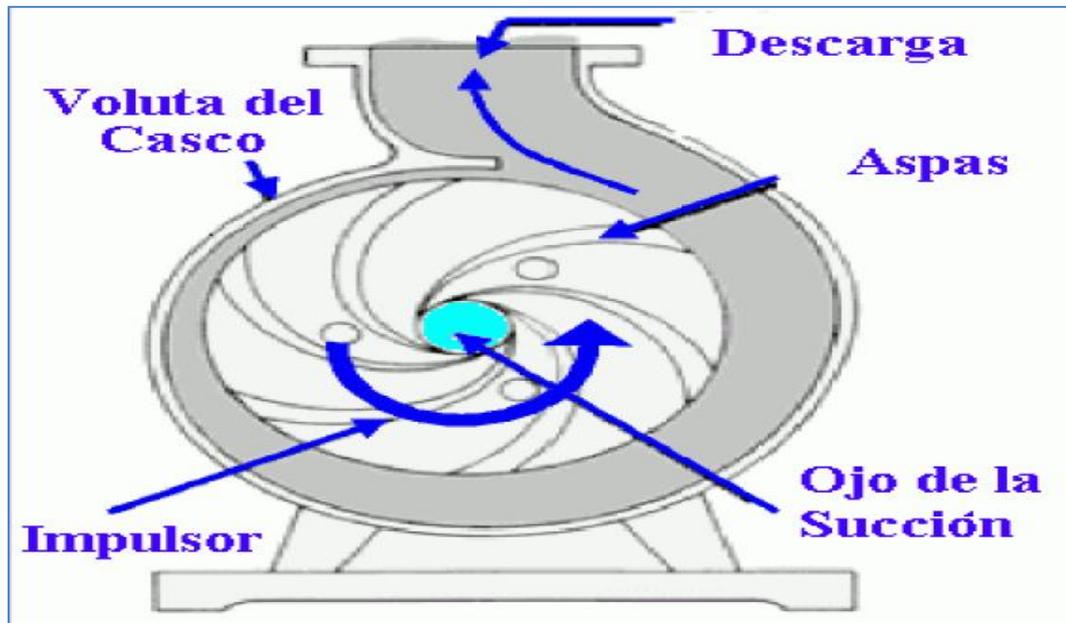
Impulsor o rodete: Formado por un conjunto de álabes que pueden adoptar diversas formas según la misión que vaya a desarrollar la bomba. Estos álabes giran dentro de una carcasa circular. El rodete es accionado por un motor, y va unido solidariamente al eje, siendo este la parte móvil de la bomba.

Difusor: Porción de tubería que recoge al líquido que sale del impulsor, el mismo que aún conserva alta velocidad y puede dar alta fricción, pero debido al aumento en el diámetro de esta porción de tubería (difusor) se reduce la velocidad del líquido (y la fricción).

Tubería de impulsión: Instalada a la salida de la voluta, por la que el líquido es evacuado a la presión y velocidad creadas en la bomba.

2.4.3.2. Funcionamiento.

FIGURA 12. Principio de funcionamiento bomba centrífuga.



Fuente: Manuel Viejo Z, Bombas teoría, diseño y aplicaciones.⁹

El tipo más simple de bomba centrífuga es la máquina de simple etapa, la cual consiste fundamentalmente de un elemento rotatorio, denominado impulsor y un casco.

El principio de funcionamiento es el siguiente: el líquido es llevado al centro del impulsor y puesto en rotación por las aspas del mismo, los álabes del rodete someten a las partículas de líquido a un movimiento de rotación muy rápido, siendo estas partículas proyectadas hacia el exterior por la fuerza centrífuga, creando así una altura dinámica, de tal forma que las partículas abandonan el rodete hacia la voluta del casco, cuya área de sección transversal va aumentando, su misión es la de recoger el líquido que abandona el rodete a gran velocidad,

⁹Manuel Viejo Z, Bombas teoría, diseño y aplicaciones.

cambiar la dirección de su movimiento y encaminarla hacia la brida de impulsión de la bomba.

La voluta es también un transformador de energía, ya que frena la velocidad del líquido, transformando parte de la energía dinámica creada en el rodete en energía de presión, que crece a medida que el espacio entre el rodete y la carcasa aumenta, presión que se suma a la alcanzada por el líquido en el rodete.

2.4.3.3. Análisis teórico.

Términos fundamentales para caracterizar una bomba.

Caudal o capacidad de la bomba: Volumen de líquido impulsado por una bomba en una unidad de tiempo.

Carga estática de succión: Distancia vertical desde el nivel de líquido de succión y la línea central de la bomba.

Carga estática de descarga: Distancia vertical desde el nivel de líquido de descarga y la línea central de la bomba.

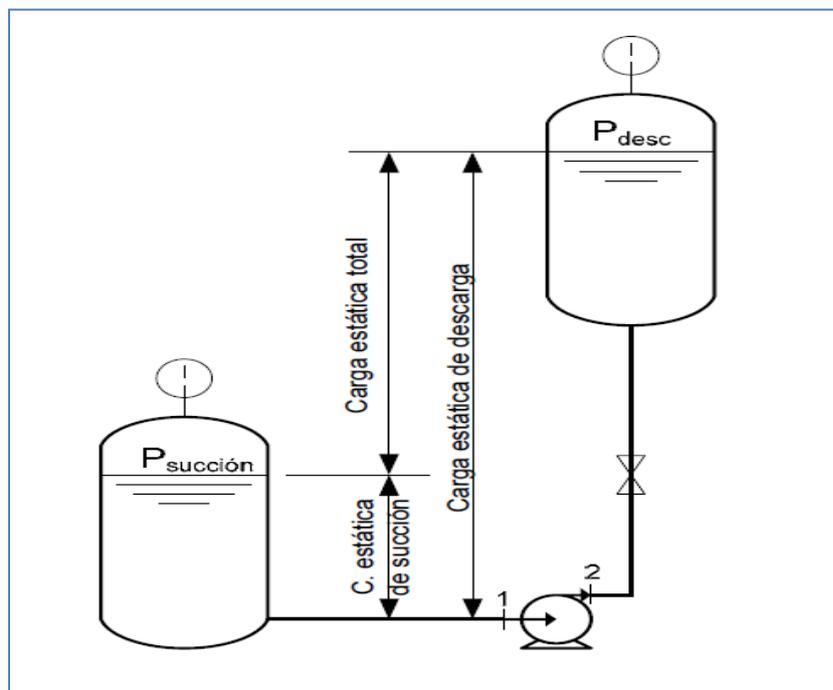
Carga estática total: Distancia vertical entre los niveles del líquido en los puntos de succión y descarga.

Carga de fricción: Carga expresada en unidades de longitud, necesaria para vencer la resistencia de las tuberías de succión, descarga y los accesorios que contenga el sistema.

Presión de succión: Se refiere a la altura desde la cual el fluido puede ser succionado por la bomba, pudiendo ser presión de succión positiva o negativa, dependiendo de la posición relativa de la bomba con el nivel del fluido.

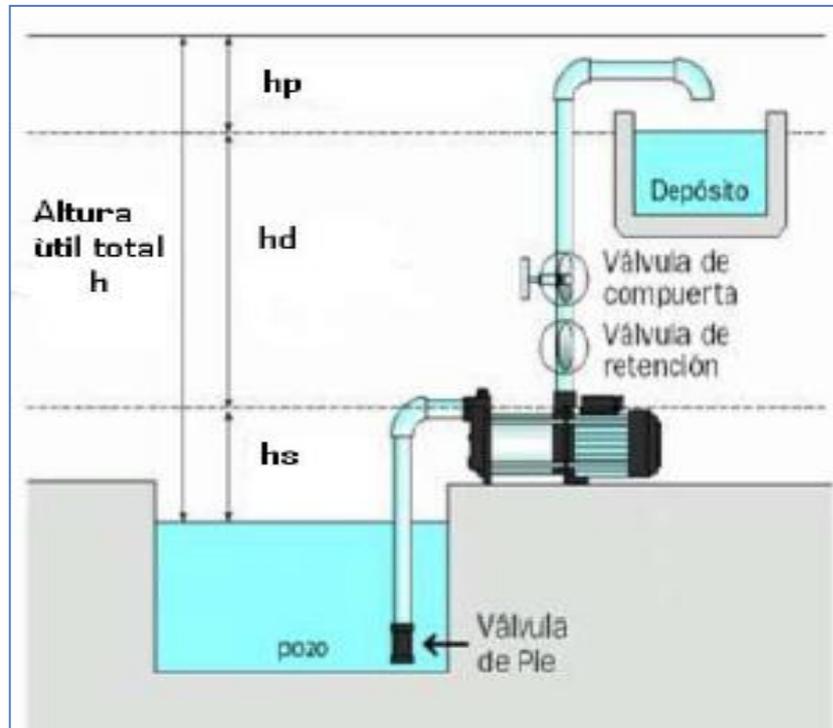
Presión de descarga: Se refiere a la altura a la cual puede ser bombeado un fluido.

FIGURA 13. Diagrama de cargas en un sistema de bombeo.



Altura de elevación de una bomba (H): Trabajo neto cedido a una unidad de peso del fluido bombeado al pasar desde la brida de aspiración a la de impulsión. También conocida como carga dinámica total (TDH).

FIGURA 14. Altura efectiva de bombeo.



De la gráfica se deduce que:

$$H = h_s + h_d + h_p + h_v + h_p$$

Dónde:

H = Columna o altura útil, total que debe vencer una bomba.

h_s = Altura estática de succión.

h_d = Altura estática de descarga.

h_p = Altura de pérdidas.

h_v = Altura de velocidad.

h_p = Altura de presión.

Aplicando la ecuación de Bernoulli se tiene que:

$$H = h_s + h_d + \frac{V_d^2 - V_s^2}{2g} + \frac{P_d - P_s}{\rho g} + h_p \quad \text{Ec. 1.20}$$

Potencia suministrada

Las bombas centrífugas pueden operar con turbina a vapor o con motor eléctrico. En cada caso la potencia suministrada a la bomba (BHP) se evalúa de acuerdo a la siguiente ecuación.

Potencia suministrada (BHP) = Potencia desarrollada / eficiencia de la bomba

Dónde:

Potencia desarrollada: Potencia que la bomba debe transmitir al líquido durante el bombeo (HP).

Potencia suministrada: Potencia que el motor o turbina debe suministrar a la bomba (BHP).

Eficiencia de la bomba: O rendimiento hidráulico, representa el porcentaje de potencia que se transmite al fluido respecto del total suministrado al eje.

Velocidad específica

La velocidad específica es un número adimensional el cual es función del caudal, la velocidad de rotación o rpm del motor y la carga o altura de bombeo.

$$N_s = \frac{NQ^{\frac{1}{2}}}{h^{\frac{3}{4}}} \quad \text{Ec. 1.21}$$

Dónde:

Q = Caudal en GPM

N = Velocidad de rotación en RPM

h = Altura efectiva en pies

Altura neta de succión positiva (NPSH).

NPSH (Net Positive Suction Head) Es la carga de aspiración total, determinada en la boca de succión de la bomba, menos la presión de vapor del líquido a la temperatura que circula. El NPSH es la presión requerida sobre la presión de vapor del fluido a bombearse para que el sistema trabaje correctamente sin presencia del fenómeno de cavitación.

NPSH requerido de la bomba.

Es una característica propia de la bomba, se define como la energía necesaria para llenar la parte de aspiración y vencer las pérdidas por rozamiento y aumentar la velocidad. En definitiva es la energía del líquido que una bomba necesita para funcionar satisfactoriamente. Su valor puede determinarse tanto por prueba como por cálculo.

Para una bomba centrífuga el NPSH requerido es la cantidad de energía necesaria, expresada en metros columna de líquido. Es importante limitar el valor de la altura de succión con el fin de mantener controlado el fenómeno de la cavitación, para evitar este fenómeno el valor del NPSHd a la succión de la bomba debe ser siempre mayor a la NPSH requerida por la bomba a un determinado flujo.

$$\text{NPSHd} > \text{NPSHr}$$

NPSH disponible del sistema.

Es una característica del sistema y se define como la energía que tiene un líquido en la toma de aspiración de la bomba (independientemente del tipo de esta) por encima de la energía del líquido debida a su presión de vapor. La NPSH disponible puede ser calculada u obtenida tomando lecturas de prueba en el lado de aspiración de la bomba. Para su cálculo es necesario considerar tanto la energía potencial como la cinética y la de presión.

$$\text{NPSHd} = \text{Hatm} - \text{Hs} - \text{Hp} - \text{Hvap} \qquad \text{Ec. 1. 22}$$

Dónde:

Hatm : Columna o altura atmosférica

Hs : Altura de succión (puede ser positiva o negativa)

Hp : Altura de pérdidas de fricción y accesorios en la succión

Hvap : Altura de vaporización del fluido a la temperatura de operación

2.1.4.4. Cavitación.

La cavitación constituye un fenómeno importante en la selección y operación de bombas, válvulas y otros equipos de control. Puede provocar un mal funcionamiento de la instalación y el deterioro de los elementos mecánicos, dando lugar a costosas reparaciones.

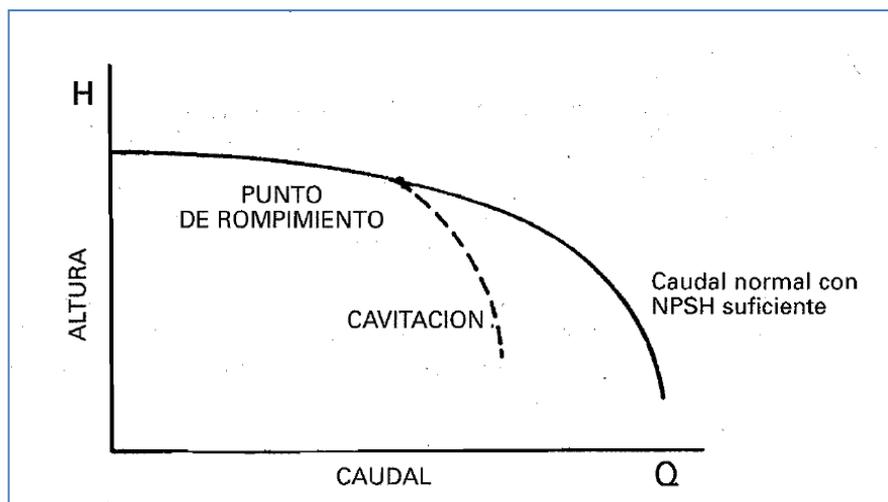
La cavitación se produce cuando en algún punto la presión del fluido desciende por debajo de la presión de vapor, formándose entonces burbujas de vapor por ebullición cuyo volumen es mucho mayor que en la fase líquida.

Estas burbujas de vapor, al atravesar por la bomba, en fracciones de segundo se ven afectadas por una presión superior, volviéndose inestables y colapsando violentamente.

El factor que más incide en la presencia de la cavitación es la altura de succión pues de esta altura dependerá el nivel de vacío que se tenga en la entrada a la bomba por lo cual es necesario controlar esta altura.

La cavitación de la bomba se nota cuando hay una o más de las siguientes señales: ruido, vibración, caída en la curvas de capacidad de carga y eficiencia, y con el paso del tiempo, por los daños en el impulsor por picadura y erosión.

FIGURA 15. Curva ejemplo de cavitación.

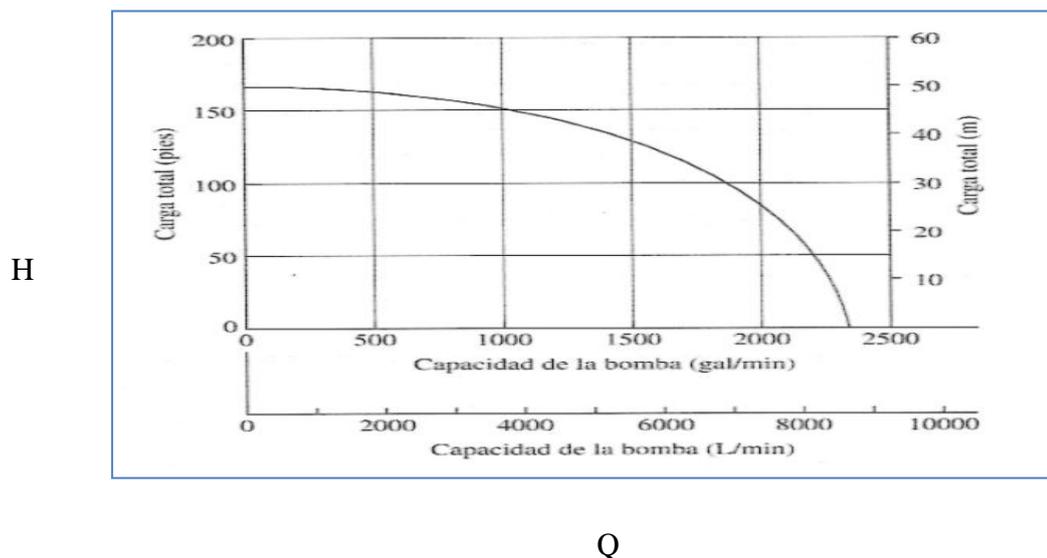


2.4.5. Curvas características de las bombas.

Un sistema de bombeo se caracteriza por un conjunto de curvas que describen el comportamiento durante su operación. Estas curvas se denominan curvas características; todas estas curvas se trazan en función del caudal y a una velocidad de giro constante. Para una bomba centrífuga movida a una velocidad de giro constante (rpm), la altura (H), la potencia absorbida (Pab), y por tanto, el rendimiento (η), así como el NPSH requerido, son funciones del caudal (Q). La relación entre estos diferentes valores se representa mediante las curvas de características.

La curva de rendimiento común grafica la carga total (H) sobre la bomba versus la capacidad o descarga (Q), la carga total se calcula con la ecuación general de la energía que representa la cantidad de energía que se agrega a una unidad de peso del fluido conforme pasa por la bomba.

FIGURA 16. Curva ejemplo del rendimiento de una bomba.

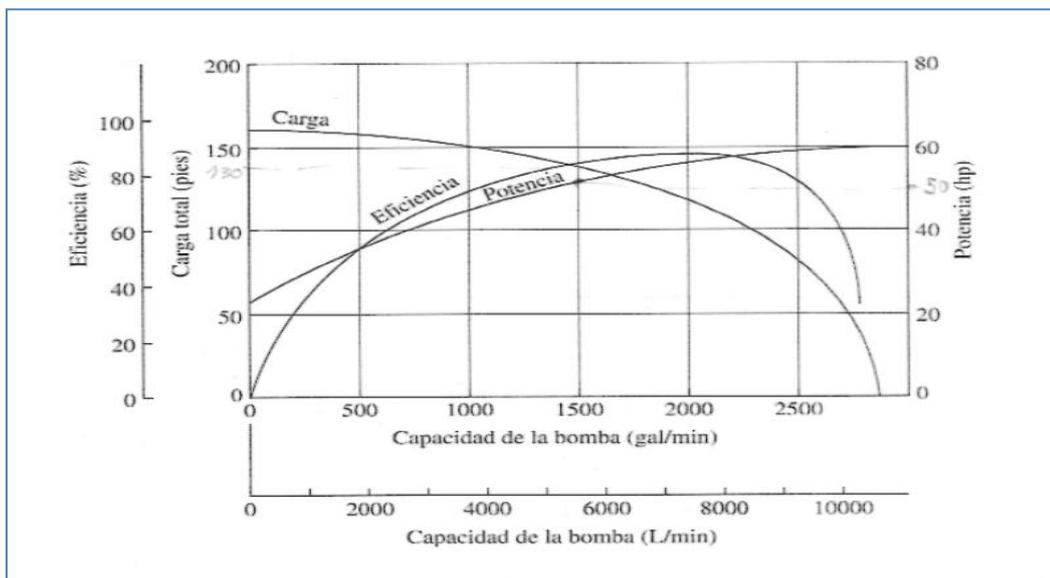


Fuente: Robert L. Mott, Mecánica de fluidos.¹⁰

¹⁰Robert L. Mott, Mecánica de fluidos Cap. 13.

Para operar con éxito una bomba, también son importantes la eficiencia y la potencia requerida. En la gráfica se presenta una medición más completa del rendimiento de una bomba, en la que se superpone las curvas de carga, eficiencia y potencia. La operación normal debe estar en la vecindad del pico de la curva de la eficiencia.

FIGURA 17. Curva ejemplo de eficiencia y potencial.



Fuente: Robert L. Mott, Mecánica de fluidos.¹¹

La curva de un sistema de bombeo es una gráfica que muestra la altura de bombeo requerida en función del caudal, a una velocidad de giro constante. La altura de bombeo requerida por el sistema es igual a la elevación que la bomba le debe proporcionar al fluido más la pérdida total de carga en todo el sistema. Si se quiere elevar un fluido desde un nivel inferior a uno superior, hay que vencer la pérdida de carga en la tubería y la diferencia de altura. En este caso, la curva característica será la suma de las alturas de ambas, como se observa en la gráfica.

¹¹Robert L. Mott, Mecánica de fluidos Cap. 13.

Si la energía necesaria para esta impulsión es proporcionada por una bomba, el punto de funcionamiento viene dado por el corte de las dos curvas, la de la bomba y la del sistema. Se obtiene de esta forma el caudal circulante, la altura que está proporcionando la bomba y la pérdida de carga.

FIGURA 18. Punto de operación de una bomba.

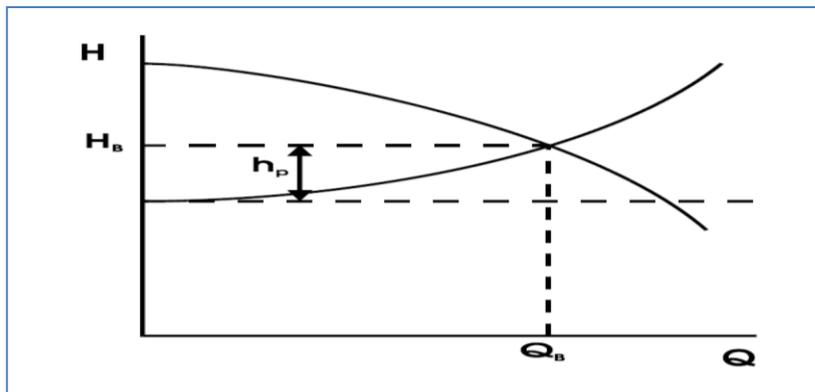
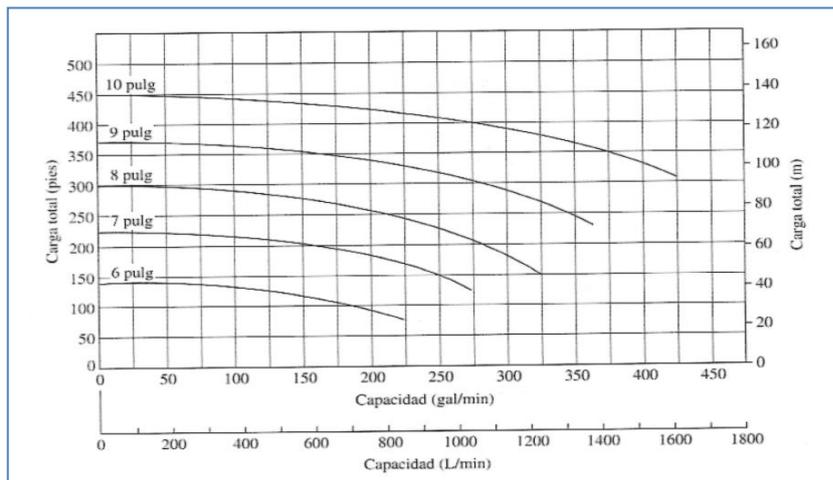


FIGURA 19. Curva ejemplo del diámetro del impulsor.



Fuente: Robert L. Mott, Mecánica de fluidos.¹²

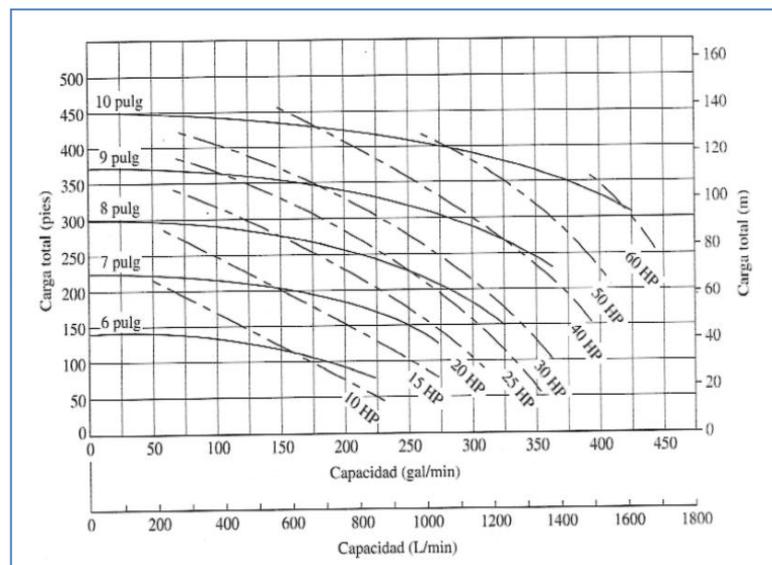
¹²Robert L. Mott, Mecánica de fluidos Cap. 13.

Curvas características de las bombas centrífugas

El rendimiento de una bomba puede variar cambiando el diámetro del impulsor, pero a una velocidad constante.

Con un impulsor pequeño se puede tener menos carga dinámica y menor capacidad de bombeo.

FIGURA 20. Curva ejemplo de la potencia requerida.

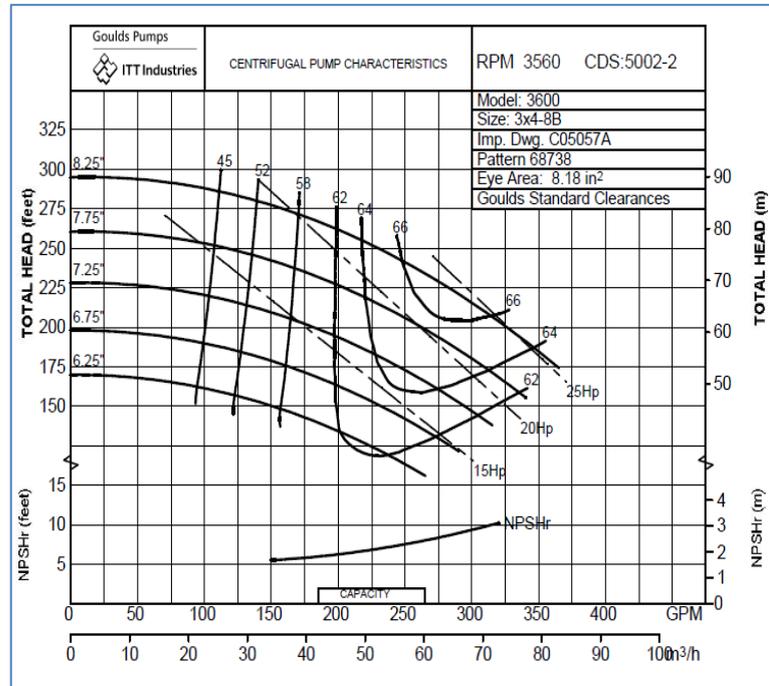


Fuente: Robert L. Mott, Mecánica de fluidos.¹³

Los Hp es la potencia requerida para impulsar una bomba en varios puntos sobre la carga dinámica.

¹³Robert L. Mott, Mecánica de fluidos Cap. 13.

FIGURA 21. Curva de eficiencia bomba 3600.



Fuente: PDF, ITT Goulds pumps.¹⁴

La eficiencia de la bomba es otra curva característica de un sistema de bombeo que se traza en función del caudal a una velocidad de giro constante.

La eficiencia de una bomba es la relación entre la potencia hidráulica agregada por la bomba al fluido y la potencia eléctrica consumida por el motor.

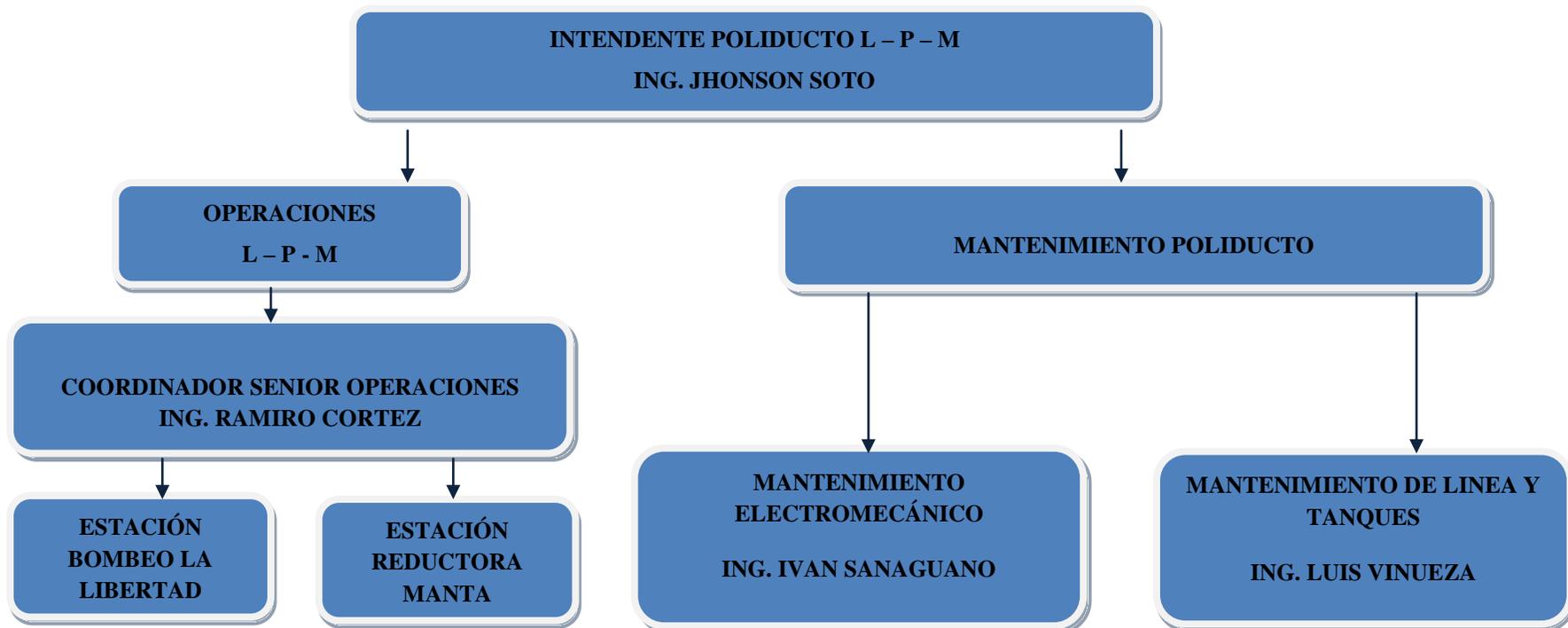
La carga de succión neta positiva requerida (NPSHr) es factor importante que se relaciona con la presión en la entrada de la bomba, en definitiva es la energía del líquido que una bomba necesita para funcionar satisfactoriamente.

¹⁴www.gouldspumps.com

CAPÍTULO III

3. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.

3.1 ORGANIGRAMA DEL POLIDUCTO LIBERTAD – MANTA.



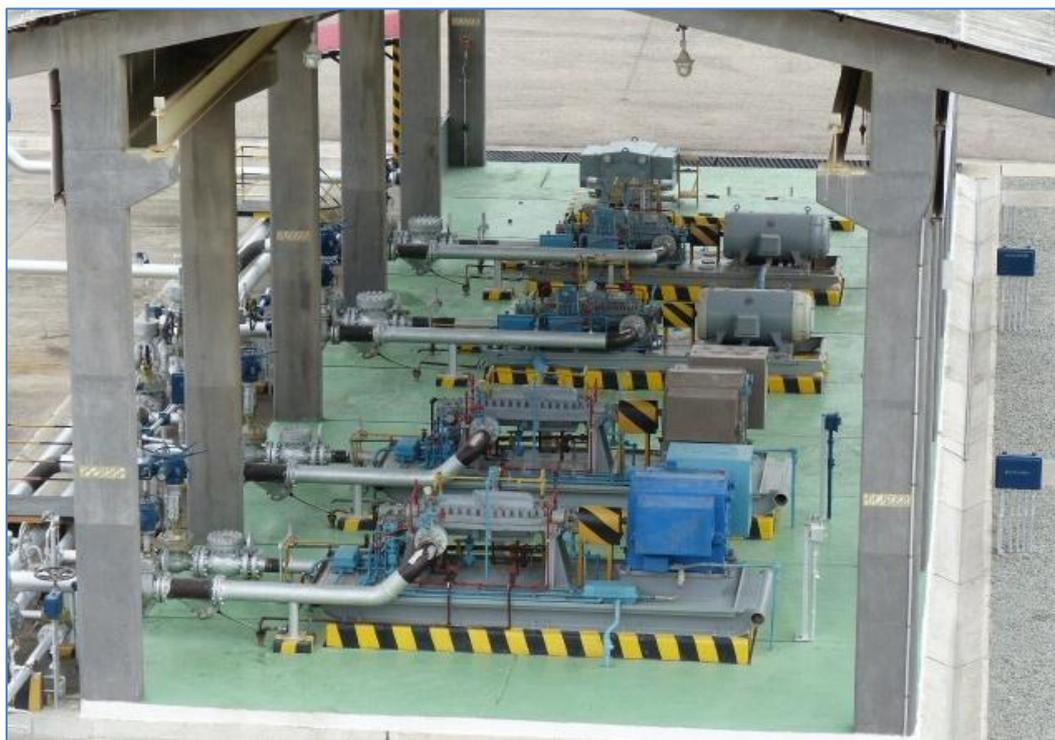
Elaborado por: Franklin Amores.

3.2 POLIDUCTO LIBERTAD – MANTA.

El Poliducto Libertad-Manta está constituido por una Estación de Bombeo en La Libertad, con 170,644Km de tubería y una estación reductora de presión en el Terminal de Barbasquillo-Manta.

3.2.1. ESTACIÓN DE BOMBEO.

FIGURA 22. Estación de bombeo La Libertad.



Fuente: Intendencia Poliducto LPM.¹⁵

¹⁵ Intendencia Poliducto LPM.

La estación de bombeo está ubicada dentro de las instalaciones de la Cabecera La Libertad, en el sector de Crucita en el cantón La Libertad, tiene un área aproximada de 5 hectáreas, e inicia sus operaciones en agosto del 1990. Está conformada por los siguientes grupos de bombeo.

GRUPOS DE BOMBEO:

Libertad-Pascuales.

- ▶ Dos grupos de bombeo principales eléctricos con Motores (marca): Continental, Potencia: 560 HP cada uno, Voltaje: 2400 Vac, Bombas multi-etapas (marca): Byron Jackson, Caudal: 583 gpm.

- ▶ Dos grupos de bombeo booster eléctricos con Motores (marca): Acec, Potencia: 40 HP cada uno, Voltaje: 480 Vac, Velocidad: 1755 rpm, Bombas centrifugas (marca): Byron Jackson, Caudal: 583 gpm,

Libertad-Manta

- ▶ Dos grupos de bombeo principales eléctricos con Motores (marca): Siemens, Potencia: 450 HP cada uno, Voltaje: 2400 Vac, Bombas multi-etapas (marca): Goulds, Caudal: 357 gpm.

- ▶ Dos grupos de bombeo booster eléctricos con Motores (marca): Acec, potencia: 30 HP cada uno, Voltaje: 480 Vac, Velocidad: 1755 rpm, Bombas centrifugas (marca): Byron Jackson, Caudal: 318 gpm.

Capacidad Instalada:

Consta de una Subestación eléctrica con una Potencia total Instalada: 3000 KVA, de aquí se alimenta la Estación Transferencia.

3.2.2. ESTACIÓN REDUCTORA.

El Terminal de productos limpios de EP PETROECUADOR, se encuentra ubicado al sur de la Ciudad de Manta en la zona Barbasquillo. Cubre un área desarrollada de 9.64 Ha. y una área de reserva 70.92 Ha.

En el Terminal se realizan básicamente tres actividades que son: la recepción de productos, el almacenamiento y despacho; y la comercialización.

FIGURA 23. Estación Reductora Barbasquillo – Manta.



Fuente: Intendencia Poliducto LPM.¹⁶

¹⁶Intendencia Poliducto LPM.

Las bombas instaladas en la Estación de bombeo de La Libertad despachan los combustibles hacia el Terminal de Barbasquillo a una presión de 1300 psi. y un caudal promedio de 330 barriles por hora, donde llegan los productos a una presión entre los 260 y 280 psi.

Los productos pasan a través de una estación reductora de donde salen a una presión aproximada de 50 psi. hacia los tanques de almacenamiento a través del manifold (distribuidor de productos). Desde la sala de bombas se realiza la succión de los combustibles que salen a una presión aproximada de 60 psi. a la isla de carga, en donde por medio de válvulas se reduce la presión a 2.5 psi. Esta última presión es la adecuada para realizar la carga a los autos – tanques, los que vía terrestre despachan los combustibles a los diferentes distribuidores.

Capacidad de almacenamiento Terminal Barbasquillo.

La terminal de Barbasquillo inicio sus operaciones en septiembre de 1990, posee una capacidad de almacenamiento de 141.804 barriles de productos entre gasolina extra, diesel 2 y destilado que se ubican en 11 tanques.

TABLA 8. Tanques y volumen de almacenamiento.

TANQUE N.	PRODUCTO	VOLUMEN (BLS)	
		TOTAL	OPERATIVO
TMB-01-38-0001	GAS. EXTRA	12.429	10.686
TMB-02-38-0016	GAS. EXTRA	11.551	10.681
TMB-03-38-0017	GAS. EXTRA	52.886	47.091
TMB-06-38-0020	GAS. EXTRA	5.462	4.772
TMB-10-38-0024	GAS. EXTRA	44	42
SUBTOTAL		82.372	73.272
TMB-04-38-0018	DIESEL 2	29.314	27.776
TMB-08-38-0022	DIESEL 2	10.252	9.774
TMB-09-38-0023	DIESEL 2	10.173	9.778
TMB-11-38-0025	DIESEL 2	44	42
SUBTOTAL		49.783	47.370
TMB-07-38-0021	DIESEL 1	2.847	2.257
SUBTOTAL		2.847	2.257
TMB-05-38-0019	SLOP	6.802	5.950
SUBTOTAL		6.802	5.950
CAPACIDAD TOTAL		141.804	128.849

Fuente: Pagina web EP PETROECUADOR.

Elaborado por Franklin Amores.

FIGURA 24. Tanques de almacenamiento Terminal Barbasquillo.



Fuente: Intendencia Poliducto LPM.¹⁷

3.2.3. MANTENIMIENTO DEL POLIDUCTO

Mantenimiento de línea

El área de mantenimiento de línea es la encargada del cuidado de la parte externa del poliducto, además se cuenta con el patrullaje de militares para precautelar y evitar robos de combustibles en la línea de tubería.

¹⁷ Intendencia Poliducto LPM.

Las actividades que se realizan son:

- Mantenimiento y cuidado del derecho de vía.
- Reparación programada y emergente (corrosión, fisuras, roturas).
- Aplicación y mantenimiento de revestimiento (cinta poliken).
- Control del crecimiento de vegetación.
- Patrullaje e inspección permanente de la línea e instalaciones del poliducto.
- Mantenimiento de letreros y puntos de señalización.
- Limpieza y pintura de tuberías aéreas, válvulas, cerramientos.
- Realización de trabajos de mecánica y soldadura en general.

Mantenimiento Electro – Mecánico.

Este departamento es el encargado del mantenimiento programado, correctivo y predictivo de todos los equipos y accesorios que forman parte del sistema de bombeo, tanto en la estación de bombeo como en la reductora en Barbasquillo.

El mantenimiento de equipos y trabajos de reparación se controlan a través del sistema de órdenes de trabajo computarizado **MAIN TRACKER**

3.2.4. SISTEMA DE OPERACIÓN DEL POLIDUCTO.

El poliducto está conformado por un solo tramo de 170,644 Km de longitud, con un diámetro de 6 pulgadas, la tubería de este Poliducto se encuentra enterrada en la mayoría de su recorrido y transporta Gasolina extra, Destilado 1 y Diesel 2. No tiene revestimiento interno y exteriormente se encuentra protegida con cinta de

recubrimiento tipo poliken y con un Sistema de Protección Catódica por corriente impresa.

Siempre se ha trabajado con dos grupos de bombeo eléctricos, conectados en paralelo, con un funcionamiento continuo alternándose cada dos o tres partidas.

Las características del Poliducto se detallan a continuación:

TABLA 9. Características del poliducto.

Poliducto	Longitud (Km)	Diámetro tubería (pulg)	Capacidad bombeo (bls/día)	Volumen empaquetado línea (bls)	Caudal de bombeo (bls/hora)
LIBERTAD - MANTA	170 + 644	6"	8.200	21.042	280 - 300

**Fuente: Intendencia Poliducto LPM.
Elaborado por Franklin Amores.**

El sistema de bombeo consta de dos etapas; una de baja presión y otra de alta presión. El grupo de baja presión succiona a 10 psi y descarga a 90 psi y el segundo grupo succiona a 90 psi y descarga a 1300 psi obteniendo así la presión deseada.

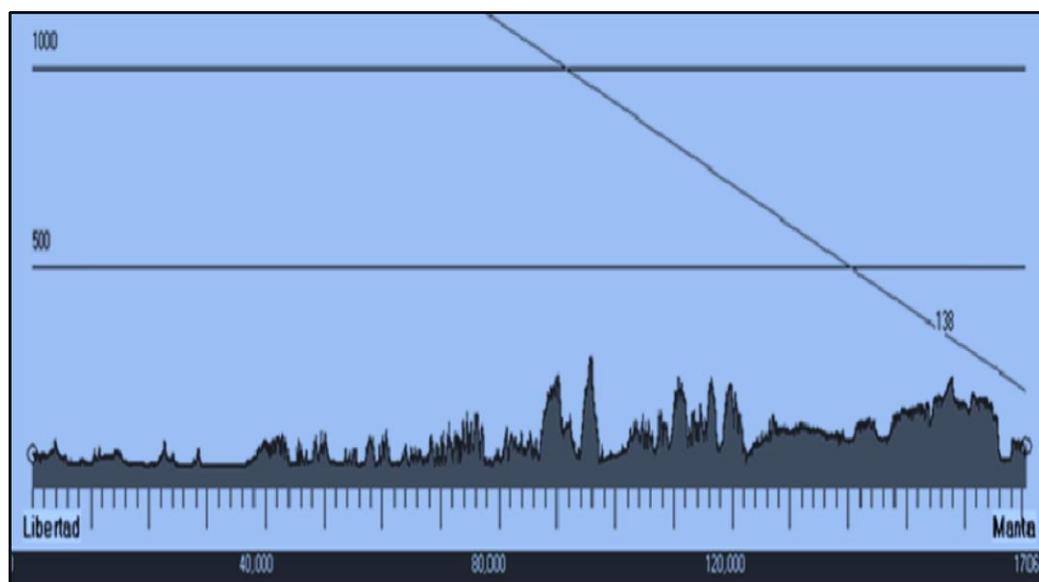
El proceso de bombeo de combustible en la estación, inicia con su paso por un manifold de válvulas que direccionan el producto desde los tanques de almacenamiento hacia las bombas booster. A la salida de las bombas booster se obtiene la presión necesaria que garantiza el funcionamiento adecuado de los equipos de la estación. Finalmente, el producto entra a la etapa de bombeo de alta presión en donde, el grupo eléctrico, lo impulsan a través de la línea para que pueda llegar a la Estación Reductora Barbasquillo.

3.2.5. PERFIL ALTIMÉTRICO Y LONGITUD REAL DEL POLIDUCTO.

El perfil del poliducto fue realizado tomando como referencia la altura sobre el nivel del mar y los kilómetros recorridos por la línea de la tubería desde la estación de bombeo La Libertad hasta la estación reductora en Barbasquillo – Manta.

Con el perfil del poliducto podemos determinar la altura máxima que alcanza en su recorrido el combustible transportado, así como también identificar los puntos de baja y alta presión de la columna de fluido.

FIGURA 25. Perfil del poliducto Libertad – Manta.



Fuente: Intendencia Poliducto LPM.

La longitud real del poliducto desde su construcción en 1985 es de 170.644 metros o 170 + 644 kilómetros con punto inicial La Libertad y punto final Manta.

3.2.6. CARACTERIZACIÓN DE LOS PRODUCTOS TRANSPORTADOS.

Conforme la demanda de combustible en el año 2013, en la Provincia de Manabí a través del poliducto se transportaron únicamente los siguientes combustibles: gasolina extra, diesel 1, diesel 2 y diesel premium.

3.2.6.1 Gasolina.

La gasolina es la fracción líquida más ligera del petróleo, es una mezcla de cientos de hidrocarburos individuales desde C_4 (butanos y butenos) hasta C_{11} como por ejemplo el metilnaftaleno. Este producto se obtiene por destilación atmosférica, reformación catalítica y craqueo catalítico.

Características.

La gasolina en su forma comercial es una mezcla volátil de hidrocarburos líquidos, con pequeñas cantidades de aditivos, apropiada para usarse como combustible en motores de combustión interna con ignición por chispa eléctrica, con un rango de destilación de aproximadamente, 27 a 225°C. Las gasolinas de acuerdo a su octanaje se clasifican en dos tipos: Gasolina súper y Gasolina extra.

La Gasolina súper debe de cumplir una serie de condiciones, unas para que el motor funcione bien y otras de tipo ambiental, ambas reguladas por ley en la mayoría de los países. La especificación más característica es el índice de octano que como mínimo es de 90, esta gasolina es menos contaminante y corrosiva. La Gasolina súper es utilizada en vehículos cuyos motores tienen una relación de compresión alta, los hidrocarburos, especialmente isoparafínicos y aromáticos presentes en este tipo de gasolina, resisten altas presiones y temperaturas sin llegar al rompimiento de moléculas.

TABLA 10. Características Gasolina Súper.

PARÁMETROS	UNIDAD	MÉTODO		ESPECIFICACIÓN
		ASTM	INEN	
Numero de octano, RON	---	---	2102	Min. = 90
Destilación			926	
10%	°C	---	926	Max. = 70,0
50%	°C	---	926	77 – 121
90%	°C	---	926	Max. = 190
Punto final	°C	---	926	Max. = 220
Residuo	% en V	---	926	Max. = 2,0
Contenido de plomo	gr / l	---	931	Max. = 0,013
Contenido de azufre	% en P	D - 4294	---	Max. = 0,1
Contenido de gomas	mg / 100 ml	---	933	Max. = 4,0
Contenido de aromáticos	% en V	D - 6730	2225	Max. = 35,0
Corrosión lámina de cobre	---	---	927	Max. = N° 1
Presión de vapor Reid	Kpa	D - 4953	928	Max. = 56,0

Fuente: Coordinación general de control de calidad de EP PETROECUADOR.

La Gasolina extra por el contrario es un producto que tiene un RON de 81 octanos como mínimo, este índice es una medida de la capacidad antidetonante de la gasolina y la principal característica que identifica el comportamiento de la combustión dentro del motor.

La Gasolina Extra es utilizada en vehículos cuyos motores tienen una relación de compresión moderada, puesto que a mayor compresión en el pistón se eleva la temperatura de la mezcla carburante y se produce el rompimiento de moléculas.

TABLA 11. Características Gasolina Extra.

PARÁMETROS	UNIDAD	MÉTODO		ESPECIFICACIÓN
		ASTM	INEN	
Numero de octano, RON	---	D - 2699	---	Min. = 81
Destilación		D - 86	---	
10%	°C	D - 86	---	Max. = 70,0
50%	°C	D - 86	---	77 – 121
90%	°C	D - 86	---	Max. = 189
Punto final	°C	D - 86	---	Max. = 215
Residuo	% en V	D - 86	---	Max. = 2,0
Contenido de plomo	gr / l	D - 3341	---	Max. = 0,013
Contenido de azufre	% en P	D - 4294	---	Max. = 0,20
Contenido de gomas	mg / 100 ml	D - 381	---	Max. = 4,0
Contenido de aromáticos	% en V	D - 1319	---	Max. = 30,0
Corrosión lámina de cobre	---	D - 130	---	Max. = N° 1
Presión de vapor reid	Kpa	D - 323	---	Max. = 56,0

Fuente: Coordinación general de control de calidad de EP PETROECUADOR.

3.2.6.2. Diesel.

El diesel es la segunda fracción importante que se obtiene en la destilación atmosférica del petróleo, estas fracciones son conocidas como destilados medios que comprenden los productos Diesel 1, Jet A-1, Diesel 2 y Diesel Premium.

Se compone aproximadamente de un 75% de hidrocarburos saturados (principalmente parafinas incluyendo isoparafinas y cicloparafinas) y un 25% de hidrocarburos aromáticos (incluyendo naftalenos y alcalobencenos). El número de carbonos es bastante fijo y se encuentra entre el C_{10} y C_{22}

Diesel 1

Por su alto poder calorífico, es utilizado como combustible de uso industrial, especialmente en la industria de la cerámica y, en las áreas rurales es de uso doméstico. Se utiliza como diluyente en la preparación de capa de rodadura de las carreteras y en el transporte de hidrocarburos por poliductos se utiliza como interfaces para la separación de productos.

TABLA 12. Características del Diesel 1.

PARÁMETROS	UNIDAD	MÉTODO		ESPECIFICACIÓN
		ASTM	INEN	
Punto de inflamación	°C	D - 56	---	Min. = 40
Destilación 90%	°C	D - 86	---	Max. = 288
Agua y sedimentos	% en V	D - 796	---	Max. = 0,05
Viscosidad cinemática a 37,8 C	cSt	D - 976	---	1,3 - 3,0
Azufre % en P	% en P	D - 4294	---	Max. = 0,30
Residuo carbonoso 10%	% en P	D - 524	---	Max. = 0,15
Cenizas	% en P	D - 482	---	Max. = 0,01
Corrosión lámina de cobre	---	D - 130	---	Max. = N° 2
Índice cetano calculado	---	D - 976	---	Min. = 40,0

Fuente: Coordinación general de control de calidad de EP PETROECUADOR.

Diesel 2

Se utiliza en motores de autoencendido por compresión, motores utilizados en el transporte pesado, en sector naviero de cabotaje, turbinas de generación eléctrica, motores estacionarios de diverso tipo utilizados en la industria, en calderos para la generación de vapor, etc.; también, se utiliza como diluyente en la preparación de los combustibles marinos IFO(Fuel Oil Intermedio).

TABLA 13. Características Diesel 2.

PARÁMETROS	UNIDAD	MÉTODO		ESPECIFICACIÓN
		ASTM	INEN	
Punto de inflamación	°C	D - 93	---	Min. = 51
Destilación 90%	°C	D - 86	926	Max. = 360
Agua y sedimentos	% en V	D - 2709	1494	Max. = 0,05
Viscosidad cinemática a 40,0 C	cSt	D - 445	810	2,0 - 5,0
Azufre % en P	% en P	D - 4294	---	Max. = 0,7
Residuo carbonoso 10%	% en P	D - 189	1491	Max. = 0,15
Cenizas	% en P	D - 482	1492	Max. = 0,01
Corrosión lámina de cobre	---	D - 130	927	Max. = N° 3
Índice cetano calculado	---	D - 976	1495	Min. = 45

Fuente: Coordinación general de control de calidad de EP PETROECUADOR.

Diesel Premium.

Es el combustible utilizado en automotores de diesel, que requieren de bajo contenido de azufre y alta volatilidad. A partir del 15 de noviembre del 2011, el parque automotriz de todo el país empezó a consumir Diesel Premium de hasta 500 ppm de contenido de azufre que antes de esa fecha se ofertaba únicamente a las ciudades de Quito, Cuenca y parcialmente a Guayaquil.

El Diesel Premium presenta un drástico crecimiento en comparación a años anteriores por haber reemplazado al Diesel 2 en el consumo del sector automotriz, así como, al mejoramiento de su calidad al reducir de 7.000 ppm de contenido de Azufre (elemento contaminante al medio ambiente) a un máximo de 500 ppm.

El Diesel Premium, se obtiene disminuyendo el contenido de azufre del Diesel 2, mediante procesos catalíticos de inyección de Hidrógeno se eliminan los compuestos de azufre. Las demás características son las mismas que el Diesel 2.

TABLA 14. Características Diesel Premium.

PARÁMETROS	UNIDAD	MÉTODO		ESPECIFICACIÓN
		ASTM	INEN	
Punto de inflamación	°C	D - 93	1047	Min. = 51
Destilación 90%	°C	D - 86	928	Max. = 360
Agua y sedimentos	% en V	D - 2709	1494	Max. = 0,05
Viscosidad cinemática a 40,0 C	cSt	D - 445	810	2,0 - 5,0
Azufre % en P	ppm	D - 4294	---	Max. = 0,05
Residuo carbonoso 10%	% en P	D - 524	1491	Max. = 0,15
Cenizas	% en P	D - 482	1492	Max. = 0,01
Corrosión lámina de cobre	---	D - 130	927	Max. = N° 3
Índice cetano calculado	---	D - 976	1495	Min. = 45

Fuente: Coordinación general de control de calidad de EP PETROECUADOR.

3.2.7. TIEMPO DE USO DE LA TUBERÍA.

El Poliducto Libertad – Manta inicia sus operaciones en 1990, son alrededor de 24 años de operación utilizando la misma tubería por lo tanto, al estar expuesto el Poliducto a la abrasión de los combustibles que en él se transportan y las altas presiones de operación hace que las paredes internas del tubo sufran alteraciones y cambios en las condiciones iniciales de fabricación.

3.2.8. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE CONSTRUCCIÓN.

Las tuberías de línea para uso en la industria petrolera se basan en las normas API 5L, el propósito de ésta especificación es suministrar normas de tuberías adecuadas para la conducción de gas, agua e hidrocarburos.

Las características de la tubería se detallan a continuación.

TABLA 15. Tubería 5L X42.

DESIGNACIÓN NOMINAL	DIÁMETRO EXTERIO		ESPESOR DE PARED		PESO		PRESIÓN MÍNIMA DE PRUEBA (PSI)	
	mm	pulg.	mm	pulg.	kg/m	lb/pie	Tipo	Grado X42
6 5/8	168,3	6,625	5,6	0,219	22,47	15,00	STD / ALT	2080

Fuente: Industrias Unicon C.A.

3.2.9. RUGOSIDAD DE LA TUBERÍA.

Mediante estudio de integridad e inspección interna del Poliducto Libertad – Manta, realizado en mayo del 2009 por la empresa Petroenergy–T.D.Williamson se evaluó la condición actual de la tubería, presentándose las siguientes novedades:

Pérdidas de metal externas.

La corrosión externa ocurre debido a las condiciones del medio ambiente en el exterior de la tubería (como ser la interacción química natural entre la superficie exterior de la tubería y el terreno que la rodea). Típicamente, la superficie exterior de una tubería está revestida para impedir que el terreno circundante, u otra condición del medio ambiente, tome contacto con la superficie del acero, y así impedir el proceso de corrosión. Además, el proceso de corrosión puede demorarse “eléctricamente” tanto para tuberías desnudas como para las que están revestidas.

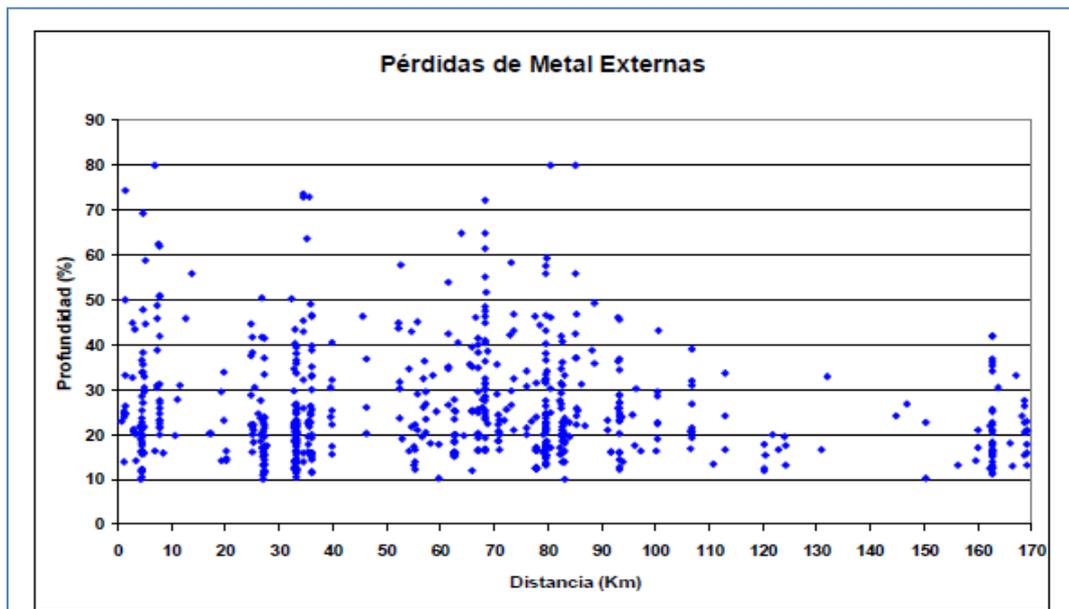
El proceso de corrosión externa puede iniciarse u ocurrir cuando ambas medidas (revestimiento y protección eléctrica) fallan por alguna razón. El daño del recubrimiento de la tubería puede ocurrir durante la construcción inicial o puede

ser el resultado de degradación producida por el ambiente. Se reportaron 674 indicaciones de pérdidas de metal externa, las más relevantes se resumen a continuación:

La figura muestra las indicaciones de pérdida de metal externas en función de la distancia, se puede ver que hay 3 indicaciones con profundidad reportada del 80% en las distancias odométricas 6+950.2, 80+452.5 y 85+014.9 lo que constituye una condición de excavación inmediata en los 3 casos.¹⁸

La anomalía externa más severa detectada se encuentra en la distancia odométrica 68+351.5m, tiene una profundidad reportada de 72 %, su longitud es de 63 mm y su ancho es de 82 mm. El factor estimado de reparación (MAPO/PS) es de 1.053 y su presión segura de acuerdo con ASME B31G modificado es 1.412 psi.¹⁸

FIGURA 26. Pérdidas de metal externas del Poliducto



Fuente: Análisis de integridad Petroenergy

¹⁸ Análisis de integridad Petroenergy.

La indicación con longitud máxima está ubicada en la distancia 4+547.1 con una longitud de 186 mm y un ancho circunferencial de 123 mm está ubicada en la posición horaria 5:15 y tiene una profundidad reportada del 48%.¹⁸

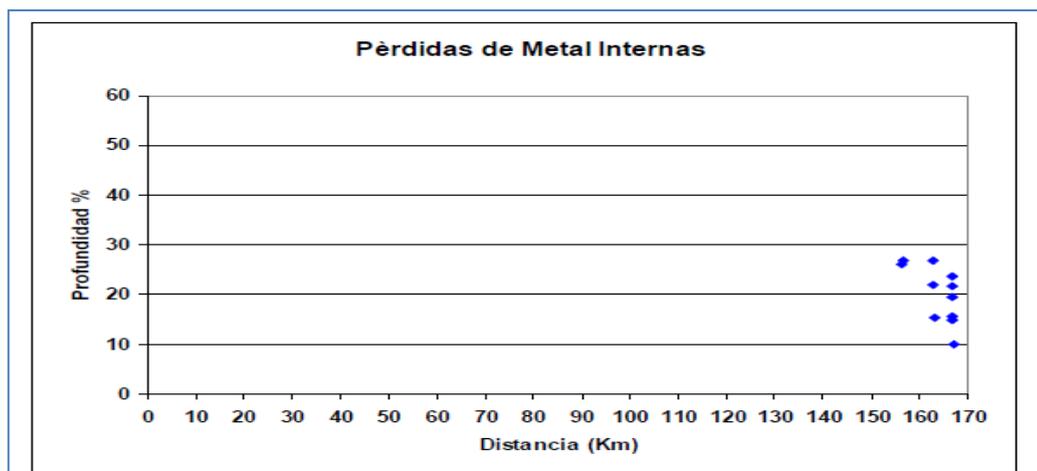
La indicación con ancho máximo está ubicada en la distancia 46+152.3 con una longitud de 143 mm y un ancho de 436 mm está ubicada en la posición horaria 6:15 y tiene una profundidad reportada de 37%.¹⁸

Pérdidas de metal interna.

Se reportaron 11 indicaciones de pérdida de metal internas y pueden ser resumidas como sigue:

La figura muestra que no hay indicaciones con profundidades mayores al 30%. No se observa corrosión de tipo acanaladura, las indicaciones se concentran hacia el final del tramo, entre las distancias odométricas Km. 156 al Km. 167.¹⁹

FIGURA 27. Pérdidas de metal interna del Poliducto.



Fuente: Análisis de integridad Petroenergy.

¹⁹ Análisis de integridad Petroenergy.

Los datos de la inspección interna permiten establecer una tasa de crecimiento de la corrosión interna en función de la antigüedad de la operación del poliducto. Se ha considerado que los defectos han crecido hasta su profundidad actual durante la vida operativa del poliducto.¹⁹

Dicha tasa así calculada es en promedio de 0,0467 mm/año y 0,062 mm/año la tasa máxima encontrada. A la tasa de corrosión adoptada para cada indicación de pérdida de metal interna se estima que no hay excavaciones necesarias de comprobación en los próximos 5 años.¹⁹

3.3 ANÁLISIS VOLUMÉTRICO.

El volumen despachado desde la Refinería de La Libertad hacia el Terminal Barbasquillo depende de dos factores:

- Capacidad de producción de la Refinería La Libertad (42.000 Bls).
- Planificación de Programación de despacho realizada desde Quito.

La Unidad de Programación de EP PETROECUADOR es la encargada de fijar los volúmenes del producto a transportar hacia la Provincia de Manabí, que dependerá de la demanda y consumo que se tenga en la Ciudad.

3.3.1. DEMANDA DE COMBUSTIBLE EN LA PROVINCIA DE MANABÍ.

Para el envío de los combustibles hacia el terminal Barbasquillo, ésta se lo realiza a través de baches de diferentes productos uno detrás de otro para evitar al máximo una contaminación entre fluidos, esto se logra manteniendo empaquetada

toda la tubería de combustible, el orden de las partidas es predeterminado y está en función de las densidades de los productos limpios.

Este es un mecanismo que se utiliza para minimizar los riesgos de contaminación y conservar la calidad del producto a la entrega.

FIGURA 28. Modo de operación por bacheo.



Fuente: Intendencia Poliducto LPM.

En el transporte siempre se utiliza Diesel 1 (destilado) como producto separador, entre partidas de Diesel 2 y Gasolina extra, ya que su requerimiento es mínimo.

La demanda de combustible en la provincia de Manabí generó que en el año 2013 se transportaran 3,08 millones de barriles de producto. Correspondiendo así, a el 38,58% de Gasolina extra, 1,01% de Diesel 1, y el 60,41% de Diesel 2.

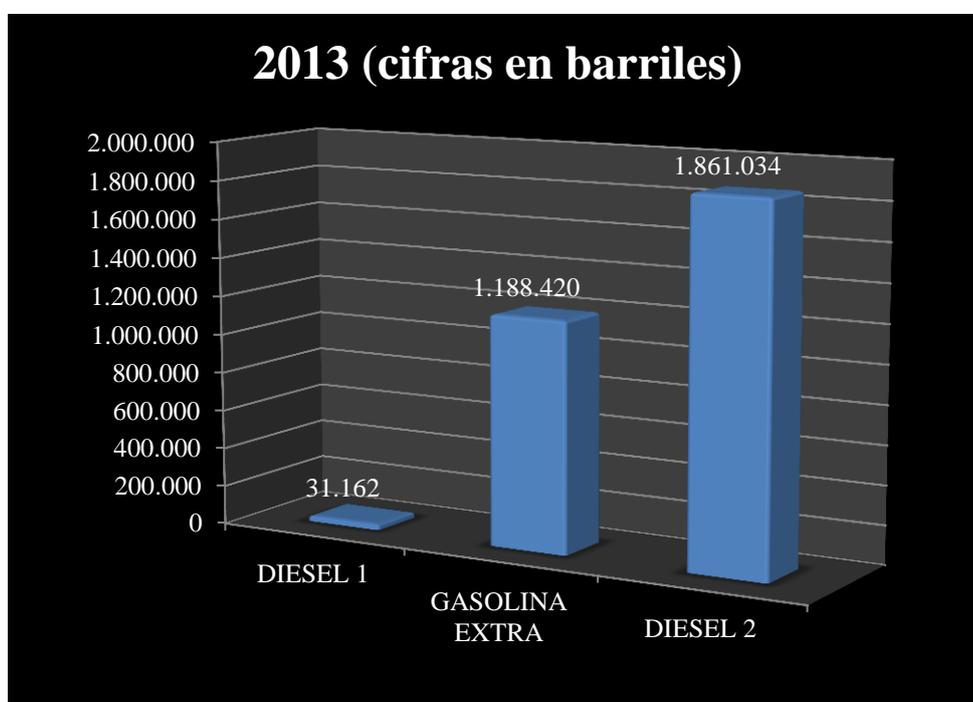
TABLA 16. Volumen de combustibles transportados en el 2013.

POLIDUCTO LIBERTAD – MANTA			
PRODUCTOS (BARRILES)			TOTAL
GASOLINA EXTRA	DIESEL 1	DIESEL 2	
1.188.420	31.162	1.861.034	3.080.616

Fuente: POA EP Petroecuador 2013

Elaborado por Franklin Amores.

FIGURA 29. Transporte de combustibles en el año 2013.



Fuente: POA EP Petroecuador 2013.

Elaborado por Franklin Amores.

Para este año 2014 mediante el Plan Operativo Anual (POA), el mismo que establece los principales objetivos institucionales y la programación de las metas operativas de cada una de las unidades de negocio de la Empresa Pública EP PETROECUADOR, se transportarán a través del poliducto Libertad - Manta 3.228.000 barriles de combustible hacia la Provincia de Manabí, teniendo un incremento del 4,58% anual con relación al año 2013.

3.4 LEY DE HIDROCARBUROS.²⁰

La presente Ley establece las normativas para la utilización racional y sustentable de los recursos naturales no renovables, y garantizar el desarrollo integral, de las diferentes actividades del sector hidrocarburífero con sentido de responsabilidad en el desenvolvimiento de sus acciones, relacionadas con el medio social, ambiental y empresarial.

Capítulo I

Disposiciones fundamentales.

Art. 3.- El transporte de hidrocarburos por oleoductos, poliductos y gasoductos, su refinación, industrialización, almacenamiento y comercialización, serán realizadas directamente por las empresas públicas, o por delegación por empresas nacionales o extranjeras de reconocida competencia en esas actividades, legalmente establecidas en el país, asumiendo la responsabilidad y riesgos exclusivos de su inversión y sin comprometer recursos públicos, según se prevé en el tercer inciso de este artículo.

Capítulo VI

Transporte.

Art. 57.- El transporte de hidrocarburos por oleoductos o gasoductos tiene el carácter de servicio público.

²⁰www.pge.gob.ec/es/documentos

Art. 59.- La construcción de oleoductos y gasoductos será supervisada y fiscalizada por la Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero, con el fin de verificar el cumplimiento de los programas, proyectos y presupuestos.²¹

Art. 61.- El funcionamiento inicial de un oleoducto o de un gasoducto requerirá un permiso de operación la Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero, el que será otorgado previo informe técnico de eficiencia y seguridad.²¹

Art. 64.- El Estado y EP PETROECUADOR tendrán preferencia para el transporte de sus hidrocarburos por los oleoductos y gasoductos de su propiedad pagando las tarifas establecidas y armonizando sus requerimientos con los de las empresas productoras. Los términos y condiciones para el transporte de hidrocarburos por ductos principales privados se establecerán, exclusivamente, mediante convenios celebrados entre operadoras y usuarios, los que tendrán derecho prioritario de acceso para el transporte por dichos ductos, de los volúmenes de hidrocarburos contratados por cada uno de ellos, incluyendo la participación del Estado en los respectivos contratos de exploración y explotación, en iguales términos y condiciones. De haber capacidad excedente a la comprometida en dichos convenios, la operadora deberá ofrecerla al mercado, en términos y condiciones, similares para todos los posibles interesados, teniendo el Estado, derecho preferente para contratar esta capacidad excedente en los términos y condiciones ofertados.²¹

Art. 67.- En el transporte de hidrocarburos no podrán otorgarse privilegios ni tarifas preferenciales.²¹

²¹ www.pge.gob.ec/es/documentos

3.4.1. POLÍTICA AMBIENTAL DEL POLIDUCTO LIBERTAD – MANTA.

Basados en políticas, objetivos, y metas que garanticen el transporte y almacenamiento seguro de derivados desde los centros de producción hasta el consumo, el poliducto Libertad – Manta tiene como compromiso desarrollar sus actividades con responsabilidad ambiental, procurando interrelaciones armónicas con la comunidad circundante bajo el siguiente principio: garantizar los derechos de la naturaleza y promover un ambiente sano y sustentable.

3.5 NORMAS TÉCNICAS PARA TUBERÍAS.

Todas las líneas de flujo operan bajo determinada presión interna, la misma que depende de varios factores tales como son: las especificaciones y condiciones de los productos transportados, la altura y distancia por vencer. A continuación se detallan las normas más aplicables en tuberías en la industria petrolera.

3.5.1. NORMAS API PARA TUBERÍA.²²

API standard 5L: Especificaciones para líneas de tubería.

El propósito de esta especificación es proporcionar normas para tubos que sean aptos para uso en el transporte de gas, agua y aceite o ambos, y principalmente para petróleo y gas natural. Esta especificación se refiere a las líneas de tubería de acero soldado y tubería de acero sin costura.

Esta especificación incluye especificaciones para el fin de tubería que puede ser roscado o con acampanamiento, así como a través de la línea de flujo o TFL

²² API Standard 510 (2006)

(through – the flow line) por sus siglas en inglés, además especificas las normas para tubería para cañería con acoplamientos especiales en los extremos.

3.5.2. NORMA ASME PARA TUBERÍA²³

ASME B31.1: Tubería de Presión.

Este código prescribe requisitos mínimos para el diseño, materiales, fabricación, montaje, prueba, inspección, operación y mantenimiento de sistemas de tuberías que se encuentran habitualmente en las estaciones de generación de energía eléctrica, plantas industriales, sistemas de calefacción geotérmica, calefacción central de distritos y sistemas de refrigeración.

El código ASME B31.1 también se refiere a calderas de alta presión y alta temperatura con tubería interior, la presión con que trabajan estas calderas para generar el valor supera los 15 psig, la presión de trabajo del vapor supera los 160 psig y las temperaturas superan los 250 grados F.

ASME B31.3: Tubería para procesos.

El código B31.3 contiene requisitos para tuberías que se encuentran habitualmente en las refinerías de petróleo, industrias químicas, industrias farmacéuticas, industriales textiles, industrias del papel, semiconductores, y las plantas criogénicas y todo lo relacionado con el procesamiento en plantas industriales y terminales.

²³ ASME/ANSI B31.8. (1998)

Este código establece los requisitos para los materiales y componentes, el diseño, fabricación, montaje, instalación, exámenes e inspección y pruebas de las tuberías, este código se aplica a todas las tuberías de fluidos, incluyendo:

- Materias primas, intermedias y acabadas de los productos químicos
- Los productos petrolíferos
- Gas, vapor, aire y agua.
- Fluidizado de sólidos.
- Refrigerantes.
- Fluidos criogénicos.

En este código también se incluye la tubería que interconecta las piezas o etapas dentro de un equipo o de envase.

ASME B31.4: Líneas de tubería para transportación de líquidos hidrocarburos y otros líquidos.²⁴

El código B31.4 prescribe requisitos para el diseño, materiales, construcción, montaje, inspección y pruebas de tuberías para el transporte de líquidos como petróleo crudo, condensado, gasolina natural, gas natural líquido, gas licuado de petróleo (GLP), dióxido de carbono, alcohol líquido, anhídrido de amoníaco líquido y queridos derivados del petróleo, los sistemas de tubería a que se refiere la norma son entre los puntos productores, depósitos de almacenamiento, plantas de procesamiento de gas natural, refinerías, plantas de amoníaco, férreas, camioneras y otros puntos de entrega y recepción.

²⁴ASME/ANSI B31.8. (1998)

Los lugares antes mencionados son incluidos en la norma cuando estos contienen tuberías, bridas, pernos, juntas, válvulas, dispositivos, accesorios y piezas que contengan la presión de otros componentes de tuberías. La norma también incluye perchas y soportes, equipos, y otros elementos necesarios para evitar la presión excesiva a la que están sujetas las partes.²⁴

No se incluyen las estructuras de apoyo tales como los marcos de los edificios, postes o edificios pero los requisitos para tuberías en alta mar. También se incluyen dentro del ámbito de aplicación del presente código los siguientes puntos:

- Las especificaciones sobre las tuberías para el transporte de petróleo y anhídrido de amoníaco líquido, y las terminales de gasoducto como las terminales marítimas, férreas y de camioneras los puntos de depósitos, estaciones de bombeo, estaciones de reducción de presión y las estaciones de medición.
- Todos los tanques de almacenamiento y de trabajo, incluidas las de tipo tubo de almacenamiento fabricados a partir de tubería y accesorios, además de las tuberías de interconexión entre estas instalaciones.
- Tuberías para licuado de petróleo y las tuberías de anhídrido de amoníaco situadas en refinerías de petróleo de gasolina natural, procesamiento de gas, amoníaco, y plantas en general.
- Los aspectos de operación y mantenimiento de sistemas de tuberías relacionados con la seguridad y la protección del público en general, personal de la empresa personal de campo y medio ambiente.²⁴

ASME B36.19M: Tubería de acero inoxidable.²⁵

Esta norma se refiere a la normalización de las dimensiones de la soldadura sin fisuras de la tubería de acero inoxidable forjado. La palabra tubería se utiliza como para distinguirse de tubo aplicable a productos tubulares de dimensiones comúnmente utilizados de sistemas de tuberías. Las dimensiones de la tubería de 12 y los tamaños más pequeños tienen diámetros exteriores numéricamente más grandes que el tamaño correspondiente, en cambio, en los diámetros exteriores los tubos es numéricamente idéntico al tamaño de la serie para todos los tamaños.

²⁵ASME/ANSI B31.8. (1998)

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS HIDRÁULICO.

Un análisis hidráulico conlleva a que se tomen en consideración muchos aspectos para lo que se debe tener claro la cantidad de combustible que se va a transportar.

Según lo planificado en la programación de las metas operativas de cada unidad de negocio de EP PETROECUADOR, para el año 2013 se proyectó cumplir con el transporte de 2.838.440 barriles de combustible hacia la Provincia de Manabí. Partiendo de esta consideración se establece el caudal de 330 BPH, para cumplir con la programación y realizar los cálculos respectivos para el estudio.

Se realizó el análisis tomando como referencia los puntos más altos del Poliducto donde se debe vencer la columna hidrostática y con el fluido más viscoso como es el diesel 2.

Otro de los puntos a tomar en cuenta es la corrosión del metal, la misma que desgasta y debilita la pared de la tubería, obligando a disminuir las máximas presiones de operación (MAOP) y reduciendo significativamente el caudal de bombeo en relación a la capacidad de diseño.

Inicialmente se trabajó con los parámetros que manejaba el Poliducto hasta inicios del año 2013, y se calculó las pérdidas de energía que se dan a lo largo del recorrido, determinando las presiones en cada punto de mayor relevancia como se muestra en el perfil altimétrico.

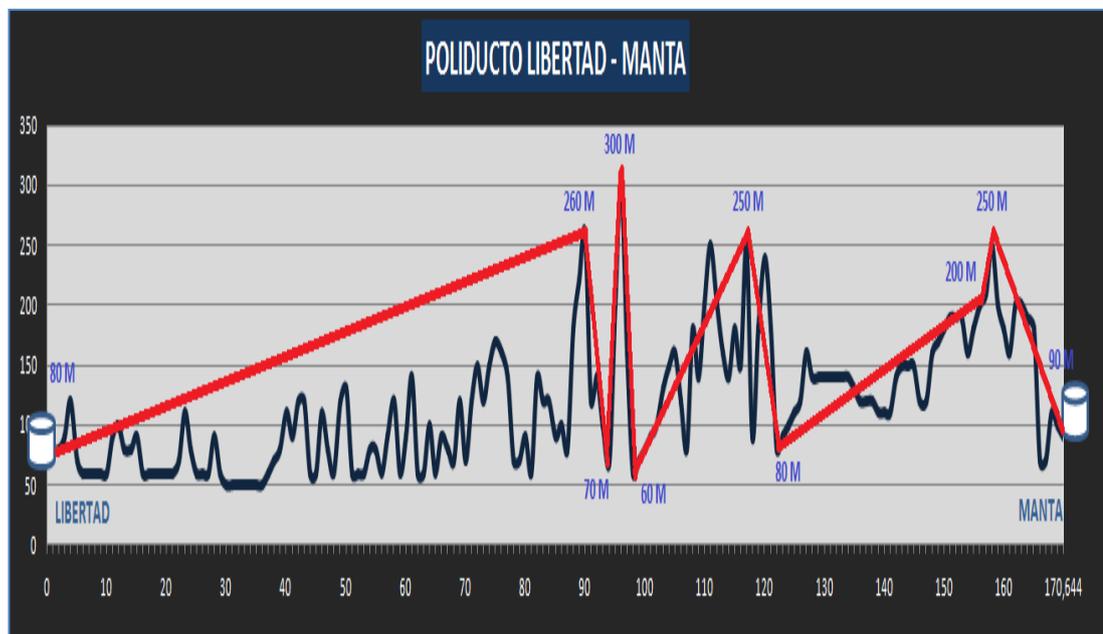
4.1 CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE PRESIÓN.

4.1.1. Cálculo de pérdidas primarias.

Las pérdidas de superficie son las pérdidas más importantes en el poliducto por la distancia que debe recorrer el fluido 170,644 kms.

Para efectuar el análisis se consideraron los puntos más altos del Poliducto, tal como se muestra en la figura 30.

FIGURA 30. Trazado en el perfil del Poliducto considerando alturas.



Fuente: Elaborado por Franklin Amores.

Para realizar los cálculos se tomaron los datos de la tabla 17 y las siguientes propiedades del diesel, $\mu = 0,000003260 \text{ m}^2/\text{s}$ y $\rho = 836,8 \text{ kg}/\text{m}^3$

TABLA 17. Características técnicas y operativas.

DATOS DEL POLIDUCTO	
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS Y OPERATIVAS	
Longitud	170 + 644 km.
Diámetro	6,625" = 0,1683 m.
Especificación	5LX-X42
Rata de flujo	300 BPH
Presión de succión	70 PSI
Presión de descarga	1100 PSI
Temperatura línea	100°F = 38°C
Productos	Gasolinas y Diesel

Fuente: Intendencia del Poliducto LPM.

El análisis hidráulico comienza con el cálculo de la velocidad y el número de Reynolds

PRIMER PASO

Se determina la velocidad y el número de Reynolds

$$V = \frac{Q}{A}$$

$$V = \frac{0,0132475 \text{ m}^3 / \text{s}}{0,0207905 \text{ m}^2}$$

$$V = 0,6372 \text{ m} / \text{s}$$

$$Re = \frac{Vd}{\mu}$$

$$Re = \frac{0,6372 \text{ m/s} \cdot 0,1571 \text{ m}}{0,000003260 \text{ m}^2 / \text{s}}$$

$$Re = 30707$$

SEGUNDO PASO

Se determina el factor de fricción con la ecuación de Colebrook– White.

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log_{10} \left(\frac{\epsilon_r}{3,7} + \frac{2,51}{Re\sqrt{\lambda}} \right)$$

Se despeja λ para hallar el factor de fricción

$$\lambda = \frac{1}{\left[-2 \log \left(\frac{\epsilon}{3,7 \times d} + \frac{2,51}{Re\sqrt{\lambda}} \right) \right]^2}$$

La ecuación de Colebrook – White, nos permite el cálculo del coeficiente de pérdidas λ para ello debemos utilizar el ábaco conocido con el nombre de diagrama de Moody, para determinar un valor inicial y poder realizar el cálculo respectivo.

Inicialmente se trabajó con el valor de rugosidad $\epsilon = 0,0010741$ m (mínima) valor reportado en la inspección interna de la tubería.

$$\lambda = \frac{1}{\left[-2 \log \left(\frac{0,0010741 \text{ m}}{3,7 \times 0,1571 \text{ m}} + \frac{2,51}{30707\sqrt{0,035}} \right) \right]^2}$$

$$\lambda = 0,0358$$

Con los datos calculados

$$V = 0,6372 \text{ m / s}$$

$$\lambda = 0,0358$$

Luego se procede a calcular las pérdidas por fricción considerando los puntos más altos, conforme se muestra en la figura N°. 30 del perfil del poliducto.

$$PKO = 80 \text{ msnm a PK90} = 260 \text{ msnm}$$

Utilizamos la ecuación Ec. 1.16

$$H_{pf} = \lambda \frac{L V^2}{d 2g}$$

$$H_{pf} = 0,0358 \frac{90000 \text{ m}}{0,1571 \text{ m}} \times \frac{(0,6372 \text{ m / s})^2}{2 \times 9,8 \text{ m / s}^2}$$

$$H_{pf} = 425,33 \text{ m}$$

A partir del PK 156 utilizamos la rugosidad máxima ($\epsilon = 0,001426 \text{ m}$) encontrada en la inspección interna de la tubería; por consiguiente el factor de fricción cambia y será $\lambda = 0,03869$.

Los valores calculados en cada tramo considerado se detallan en la tabla 18 que se encuentra a continuación.

TABLA 18. Cálculo de pérdidas de energía por fricción.

CÁLCULO DE PÉRDIDA POR FRICCIÓN		
PUNTO KILOMÉTRICO	LONGITUD (mts)	H_{rp} (mts)
PK 0 AL PK 90	90000	425,33
PK 90 AL PK 94	4000	18,90
PK 94 AL PK 96	2000	9,45
PK 96 AL PK 98	2000	9,45
PK 98 AL PK 117	19000	89,79
PK 117 AL PK 122	5000	23,63
PK 122 AL PK 156	34000	160,68
PK 156 AL PK 158	2000	10,20
PK 158 AL PK 170,644	12644	64,51
TOTAL	170644	811,94

Elaborado por Franklin Amores.

4.1.2. Cálculo de pérdidas secundarias.

Las pérdidas secundarias son las pérdidas de forma que tienen lugar en los cambios de sección y dirección de la corriente, en las transiciones (estrechamientos o expansiones de la corriente), codos, válvulas, y en toda clase de accesorios de tuberías.

Para realizar los cálculos por pérdida de accesorios se consideran todas las válvulas con la que cuenta el sistema del poliducto esto es: 13 válvulas de bloqueo y 12 válvulas de retención.

Se utiliza la ecuación Ec. 1.19

$$H_{sa} = K \frac{v^2}{2g}$$

Tomando los valores de la tabla N°. 6 para el coeficiente K, se tiene:

Válvula de bloqueo (K = 2)

$$H_{sa} = 2 \frac{(0,6372m/s)^2}{2 \times 9,8m/s^2}$$

$$H_{sa} = 0,04143 \text{ m}$$

Válvula de retención (k = 2,5)

$$H_{sa} = 2,5 \frac{(0,6372m/s)^2}{2 \times 9,8m/s^2}$$

$$H_{sa} = 0,0518 \text{ m}$$

De esta forma se determinan las pérdidas secundarias por válvulas en todo el poliducto.

El detalle se presenta a continuación en la tabla 19.

.

TABLA 19. Cálculo de pérdidas de energía por accesorios.

CÁLCULO DE PÉRDIDAS POR VÁLVULAS			
VÁLVULAS		KILÓMETRO	Hsa (mts)
BLOQUEO	RETENCIÓN		
1		0 + 00 LA LIBERTAD	0,0414
1		02 + 19	0,0414
	1	17 + 184	0,0518
2		33 + 094	0,0828
1	1	35 + 577	0,0932
1	1	44 + 139	0,0932
	1	67 + 044	0,0518
1	1	78 + 653	0,0932
	1	91 + 080	0,0518
1		96 + 700	0,0414
	1	100 + 377	0,0518
1	1	122 + 394	0,0932
1	1	140 + 141	0,0932
	1	146 + 654	0,0518
1	1	153 + 967	0,0932
1	1	166 + 036	0,0932
1		170 + 644 MANTA	0,0414
TOTAL DE PÉRDIDAS POR VÁLVULAS			1,1598

Fuente: Elaborado por Franklin Amores.

Otro punto a considerar son las pérdidas secundarias por cambio de dirección o forma; las más relevantes que presenta el poliducto son un omega de 180° por 5 metros de largo en el PK 36 y 4 pasos aéreos con curvatura del tubo de 45° por 3 metros de largo.

El cálculo es el siguiente:

$$R = 1,592 \text{ mts para } 180^\circ$$

$$R = 0,042075 \text{ mts para } 45^\circ$$

$$K = 0,131 + 0,1635 \left(\frac{R}{d} \right)^{\frac{7}{2}}$$

$$K = 0,131 + 0,1635 \left(\frac{1,592 \text{ mts}}{0,1571 \text{ mts}} \right)^{\frac{7}{2}}$$

$$K = 541,76$$

$$K = 0,131 + 0,1635 \left(\frac{0,042075 \text{ mts}}{0,1571 \text{ mts}} \right)^{\frac{7}{2}}$$

$$K = 0,1326$$

Aplicamos la ecuación Ec. 1.19

$$Hsa = K \frac{v^2}{2g}$$

$$Hsd = 541,76 \frac{(0,6372 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,8 \text{ m/s}^2}$$

$$Hsd = 11,22 \text{ mts}$$

$$Hsd = 0,1326 \frac{(0,6372 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,8 \text{ m/s}^2}$$

$$Hsd = 0,00275 \text{ mts}$$

El total de las pérdidas por cambio de forma se detallan a continuación en la tabla 20.

TABLA 20. Cálculo de pérdidas de energía por cambio de dirección.

CÁLCULO DE PÉRDIDA POR CAMBIO DE FORMA		
ÁNGULO DE DESVIACIÓN	CONSTANTE K	Hsd (mts)
180 °	541,76	11,22
45° X 4	0,1326	0,011
TOTAL DE PERDIDAS		11,231

Elaborado por Franklin Amores.

Con los resultados obtenidos se calculan las pérdidas totales en todo el sistema.

$$H_t = H_{pf} + H_{sa} + H_{sd}$$

$$H_t = 811,94\text{mts} + 1,1598\text{mts} + 11,231\text{mts}$$

$$H_t = 824,33\text{mts}$$

4.1.3. Cálculo de presiones considerando alturas.

Para realizar el cálculo de las presiones se consideran los mismos puntos evaluados en las pérdidas por fricción, aplicando la ecuación de Bernoulli,

Ec. 1.13

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + Z_2$$

$$P_2 = \left[\frac{P_1}{\gamma} + (Z_1 - Z_2) - H_t \right] \gamma$$

Se trabaja con los datos de la tabla N°. 17 y las alturas conforme el perfil del Poliducto.

$$PK0 = 80 \text{ msnm al } PK90 = 260 \text{ msnm}$$

$$H_{pf} = 425,33\text{m}$$

$$H_{sd} = 11,231\text{m}$$

En este tramo se tiene la intervención de 7 válvulas de bloqueo y 5 válvulas de retención, por lo que el coeficiente $K = 26,5$

$$H_{sa} = 26,5 \frac{(0,6372m/s)^2}{2 \times 9,8m/s^2}$$

$$H_{sa} = 0,54896m$$

Por lo tanto nuestro $H_t = 436,561m$

$$P_2 = \left[\frac{773558,37 \text{ kg/m}^2}{836,8 \text{ kg/m}^3} + (80m - 260m) - 436,561m \right] 836,8 \text{ kg/m}^3$$

$$P_2 = 257620,13 \text{ kg/m}^2$$

$$P_2 = 366,34 \text{ PSI}$$

Los cálculos según los puntos considerados se presentan en la tabla 21 a continuación.

TABLA 21.Cálculo de pérdidas de presión

PUNTO KILOMÉTRICO	LONGITUD (mts)	ALTURAS (m)	ε (m)	Hp	Hs	Ht	PRESIÓN (PSI)
PK 0 AL PK 90	90000	80 - 260	0,0010741	425,33	11,231	436,561	366,34
PK 90 AL PK 94	4000	260 - 70	0,0010741	19,90	0,0547	19,954	569,87
PK 94 AL PK 96	2000	70 - 300	0,0010741	9,45	0,0414	9,491	284,89
PK 96 AL PK 98	2000	300 - 60	0,0010741	9,45	0	9,45	559,23
PK 98 AL PK 117	19000	60 - 250	0,0010741	89,79	0,0547	89,844	226,23
PK 117 AL PK 122	5000	250 - 80	0,0010741	23,63	0,0932	23,723	400,30
PK 122 AL PK 156	34000	250 - 200	0,0010741	160,68	0,2427	160,923	66,02
PK 156 AL PK 158	2000	200 - 250	0,0014260	10,20	0	10,20	113,88
PK 158 AL PK 170,644	12644	250 - 90	0,0014260	64,51	0,1350	64,645	226,85
TOTAL	170644			812,94	11,853	824,79	

Elaborado por: Franklin Amores.

4.2 PARÁMETROS DE DISEÑO DE LA BOMBA

Por lo regular un fluido siempre se encuentra a un nivel más bajo, por lo tanto la gravedad no le permite subir, entonces es necesario utilizar un dispositivo que pueda transferir un volumen de fluido a una distancia determinada.

BOMBA MODELO 3600

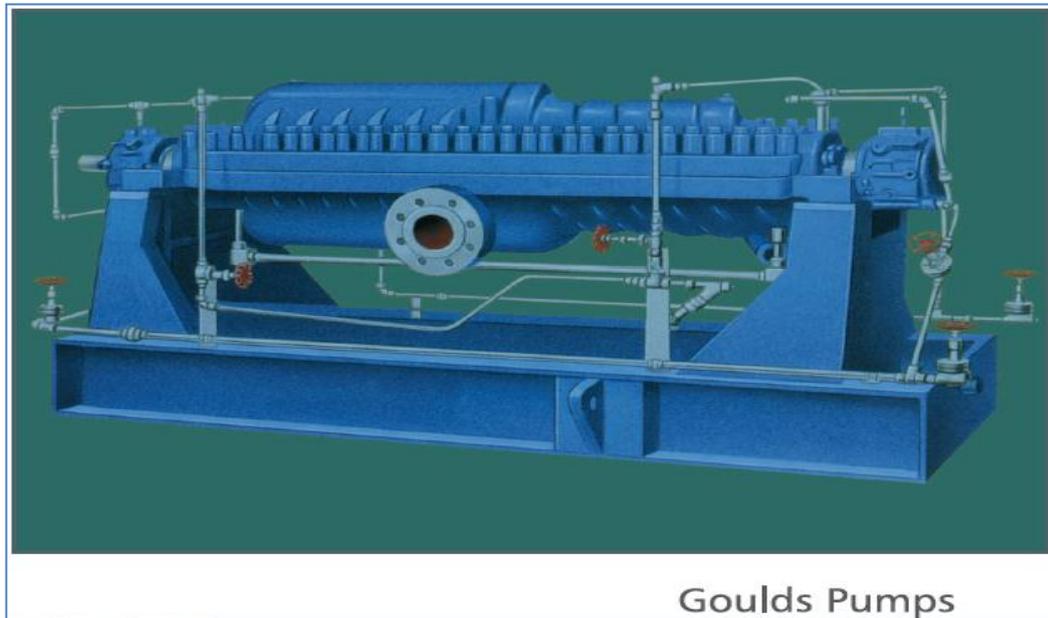
La bomba Goulds3600 API 610(BB3) por su avanzado diseño y características la convierten en una bomba de alto rendimiento, adecuada para una amplia gama de servicios como: procesos de refinación, oleoductos, generación de energía y producción de petróleo.

Especificaciones:

- Capacidades de hasta 8500 GPM.
- Altura de elevación hasta 9000 pies.
- Temperaturas de hasta 400°F.
- Presiones de hasta 4000 PSI.

El Poliducto Libertad – Manta cuenta con este tipo de bomba en su grupo principal de bombeo.

FIGURA 31. Bomba modelo 3600.



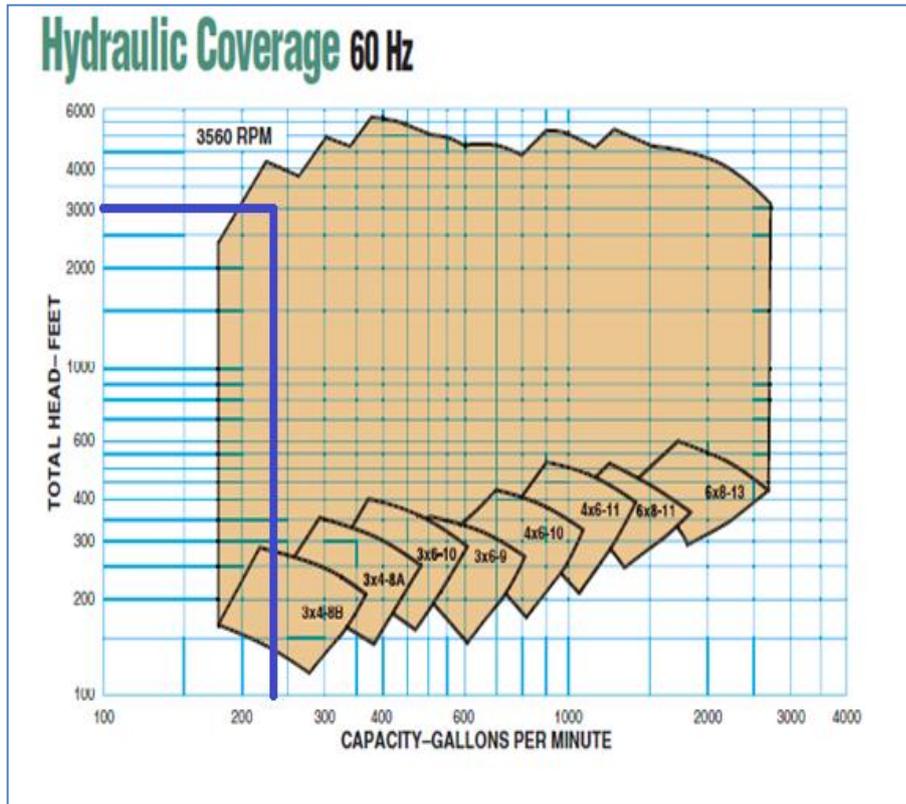
Fuente: PDF, ITT Goulds pumps.²⁶

Para seleccionar un dispositivo o bomba que satisfaga las necesidades de un sistema, es necesario emplear una curva de desempeño, para esto se utilizan dos factores importantes: el volumen que se mide dentro de un intervalo de tiempo (GPM), y la energía que desarrolla este dispositivo (TDH), esta energía se expresa en libras por pulgadas cuadradas o pies de altura.

Bajo esta consideración los 1300 PSI de presión en la descarga de la bomba equivalen a 3000 ft (TDH) y los 330 BPH a 231 GPM, con estos valores ingresamos a la curva de desempeño que esta graficada en la figura 32, para determinar la bomba que necesitamos.

²⁶www.gouldspumps.com

FIGURA 32. Selección de bomba.



Fuente: PDF, ITT Goulds pumps.²⁷

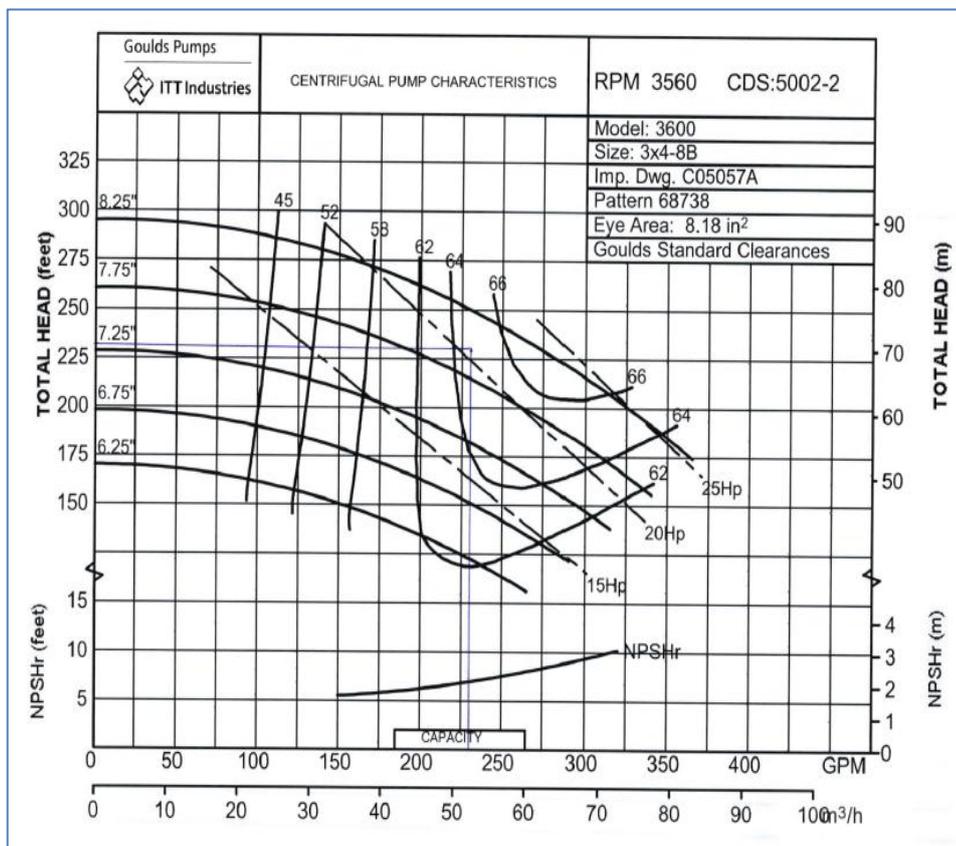
La aplicación de los datos en el gráfico de la figura 32 presenta como resultado que el tipo de bomba a utilizar es la 3 x 4 - 8B, con la que se trabajó para realizar el análisis.

Como dato adicional la bomba que dispone el poliducto es de 11 etapas, cada etapa va generando un incremento de presión hasta alcanzar la requerida para que el fluido transportado llegue a su destino final.

²⁷ www.gouldspumps.com

Para obtener la curva de eficiencia de la bomba utilizada en la estación de bombeo, ingresamos a la página web de la empresa GOULDS PUMPS seleccionando el modelo y tamaño de la misma. El grafico de la figura 33 muestra la curva conforme los datos ingresados.

FIGURA 33. Curva eficiencia 3 x 4 – 8B



Fuente: PDF, ITT Goulds pumps.²⁸

Con el caudal actual de 231 GPM ingresamos a la curva característica que se muestra en la figura 33 y determinar la eficiencia de la bomba. Obtenemos como resultado una eficiencia del 64 %.

²⁸www.gouldspumps.com

Las características básicas de la bomba con la que cuenta el sistema de bombeo del Poliducto Libertad – Manta, se detallan en la tabla 22 a continuación.

TABLA 22. Características básicas de la bomba.

CARACTERÍSTICAS DE LA BOMBA	
MODELO	3600
TPO	3 X 4 - 8B 11 ETAPAS
GPM	357
PIES	3160
Hp	450
RPM	3560
EFICIENCIA	64%

Fuente: Intendencia del Poliducto LPM.

4.3 PARÁMETROS ACTUALES DE OPERACIÓN DE LA BOMBA.

Dependiendo del volumen a transportar que se establece conforme la demanda de combustible en la Provincia de Manabí y de las propiedades de los productos limpios con la que salen los combustibles en el proceso de refinación, se establecen los parámetros actuales de operación.

Se toma como referencia al Diesel Premium que es el combustible de mayor demanda en la provincia.

TABLA 23. Parámetros actuales de operación.

PARÁMETROS ACTUALES DE OPERACIÓN	
PRESIÓN DE SUCCIÓN	90 PSI
PRESIÓN DE DESCARGA	1300 PSI
GPM	231
PRODUCTO	DIESEL PREMIUM
GRAVEDAD ESPECÍFICA	0.8514

Elaborado por Franklin Amores.

4.4 CÁLCULO DEL POTENCIAL NECESARIO DE BOMBEO.

Para realizar el cálculo del potencial necesario de bombeo se debe conocer el TDH (total dynamic head) y la eficiencia de la bomba. De la figura N°. 33 establecemos la eficiencia que corresponde al 64 %.

Aplicamos la siguiente ecuación.

$$Hp = \frac{Q \times TDH \times Ge}{3960 \times e}$$

Datos de operación anterior.

Q = 210 GPM

TDH = 2310 ft

Ge = 0.8368

E = 62 %

$$Hp = \frac{210 \text{ gpm} \times 2310 \text{ ft} \times 0.8368}{3960 \times 0.62}$$

$$Hp = 170$$

Datos de operación actual

$$Q = 231 \text{ GPM}$$

$$\text{TDH} = 2540 \text{ ft}$$

$$G_e = 0.8368$$

$$E = 64 \%$$

$$H_p = \frac{231 \text{ gpm} \times 2540 \text{ ft} \times 0.8368}{3960 \times 0.64}$$

$$H_p = 200$$

También es necesario calcular el NPSH (altura neta de succión), sin embargo no será problema para el sistema ya que se cuenta con una bomba booster que trabaja con 90 PSI a la entrada del grupo principal.

Llevamos los 90 PSI a metros de la siguiente manera

$$\text{NPSH} = \frac{90 \text{ PSI} / 0,001422 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2}}{836,80 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}}$$

$$\text{NPSH} = 76 \text{ metros}$$

El resultado obtenido es suficiente para que el grupo principal del sistema trabaje correctamente sin problema de cavitación. Para evitar este fenómeno el valor del NPSHd a la succión de la bomba debe ser siempre mayor a la NPSHr requerida por la bomba a un determinado flujo.

De esta manera demostramos que:

$$NPSH_d > NPSH_r$$

$$76 \text{ m} > 15 \text{ m}$$

ESTUDIO Y SIMULACIÓN DE FLUJO

Para el presente análisis se consideró un caudal de 330 BPH, caudal necesario para cubrir la demanda de combustible en la Provincia de Manabí, y así cumplir con las metas operativas prevista para el año 2013.

Siguiendo la secuencia de cálculos realizados con los parámetros anteriores del Poliducto, se determina ahora las pérdidas de energía y de presión con el nuevo caudal.

Así tenemos:

$$Q = 330 \text{ BPH} = 0,01457 \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$V = 0,7008 \text{ m} / \text{s}$$

$$Re = 36179$$

$$\lambda = 0,03315$$

Con los datos calculados de velocidad, número de Reynolds, y factor de fricción, se determinan los nuevos valores de pérdidas de energía que en un fluido real se dan entre una sección y otra, que en realidad no es energía perdida, sino transformada en calor debido a la fricción.

Los valores calculados se detallan en la tabla 24 que se muestra a continuación.

TABLA 24. Calculo de pérdidas de energía por fricción.

CÁLCULO DE PÉRDIDA POR FRICCIÓN		
PUNTO KILOMÉTRICO	LONGITUD (mts)	Hrp (mts)
PK 0 AL PK 90	90000	444,19
PK 90 AL PK 94	4000	19,74
PK 94 AL PK 96	2000	9,87
PK 96 AL PK 98	2000	9,87
PK 98 AL PK 117	19000	93,77
PK 117 AL PK 122	5000	24,68
PK 122 AL PK 156	34000	167,81
PK 156 AL PK 158	2000	10,79
PK 158 AL PK 170,644	12644	68,18
TOTAL	170644	848,90

Elaborado por Franklin Amores.

Con los resultados obtenidos se puede deducir que las pérdidas por fricción son directamente proporcionales a la velocidad del fluido y a la longitud del tramo de tubería, por lo tanto un aumento de caudal representa una mayor pérdida de energía.

Las pérdidas secundarias no representan un valor que influya en el cálculo de las pérdidas de presión en el sistema, tanto por accesorios como por cambio de dirección son valores mínimos en comparación con las pérdidas primarias.

Los valores así calculados se presentan en las siguientes tablas 25 y 26.

TABLA 25. Cálculo de pérdidas de energía por accesorios.

CÁLCULO DE PÉRDIDAS POR VÁLVULAS			
VÁLVULAS		KILÓMETRO	Hsa (mts)
BLOQUEO	RETENCIÓN		
1		0 + 00 LA LIBERTAD	0,050
1		02 + 19	0,050
	1	17 + 184	0,063
2		33 + 094	0,100
1	1	35 + 577	0,113
1	1	44 + 139	0,113
	1	67 + 044	0,063
1	1	78 + 653	0,113
	1	91 + 080	0,063
1		96 + 700	0,050
	1	100 + 377	0,063
1	1	122 + 394	0,113
1	1	140 + 141	0,113
	1	146 + 654	0,063
1	1	153 + 967	0,113
1	1	166 + 036	0,113
1		170 + 644 MANTA	0,050
TOTAL DE PÉRDIDAS POR VÁLVULAS			1,406

Elaborado por: Franklin Amores.

TABLA 26. Cálculo de pérdidas de energía por cambio de dirección.

CÁLCULO DE PÉRDIDA POR CAMBIO DE FORMA		
ÁNGULO DE DESVIACIÓN	CONSTANTE K	Hsd (mts)
180 °	541,76	13,57
45° X 4	0,1326	0,01329
TOTAL DE PÉRDIDAS		13,58329

Elaborado por Franklin Amores.

El considerar el nuevo caudal conlleva a que se incremente la presión de descarga, esto por motivo de que se debe preservar la calidad de los combustibles, y evitar posible contaminación de fluidos, para que el diesel 2 llegue con la presión necesaria esto es entre los 260 y 280 PSI se debe partir con una presión de descarga de 1300 PSI, de esta manera demostramos que con esta presión el producto transportado llegaría al terminal Barbasquillo en Manta con una presión de 264 PSI.

Las presiones así calculadas en cada tramo considerado del poliducto se presentan en la siguiente tabla.

TABLA 27. Calculo de pérdidas de presión y nivel piezométrico.

CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE PRESIÓN								
PUNTO KILÓMETRICO	LONGITUD (m)	ALTURAS (m)	ϵ (m)	Hp	Hs	Ht	PRESION (PSI)	N.PIEZOM (m)
PK 0 AL PK 90	90000	80 - 260	0,0010741	444,19	11,337	455,527	543,76	716,97
PK 90 AL PK 94	4000	260 - 70	0,0010741	19,74	0,06632	19,806	746,28	697,16
PK 94 AL PK 96	2000	70 - 300	0,0010741	9,87	0,050	9,920	460,79	687,24
PK 96 AL PK 98	2000	300 - 60	0,0010741	9,87	0	9,870	734,63	677,37
PK 98 AL PK 117	19000	60 - 250	0,0010741	93,77	0,06632	93,836	396,87	583,52
PK 117 AL PK 122	5000	250 - 80	0,0010741	24,68	0,113	24,793	569,67	558,74
PK 122 AL PK 156	34000	80 - 200	0,0010741	167,81	0,29132	168,101	226,84	390,63
PK 156 AL PK 158	2000	200 - 250	0,0014260	10,79	0	10,790	154,50	379,84
PK 158 AL PK 170,644	12644	250 - 90	0,0014260	68,18	0,1630	68,343	263,57	311,50
TOTAL	170644			848,90	12,0870	860,987		

Elaborado por Franklin Amores.

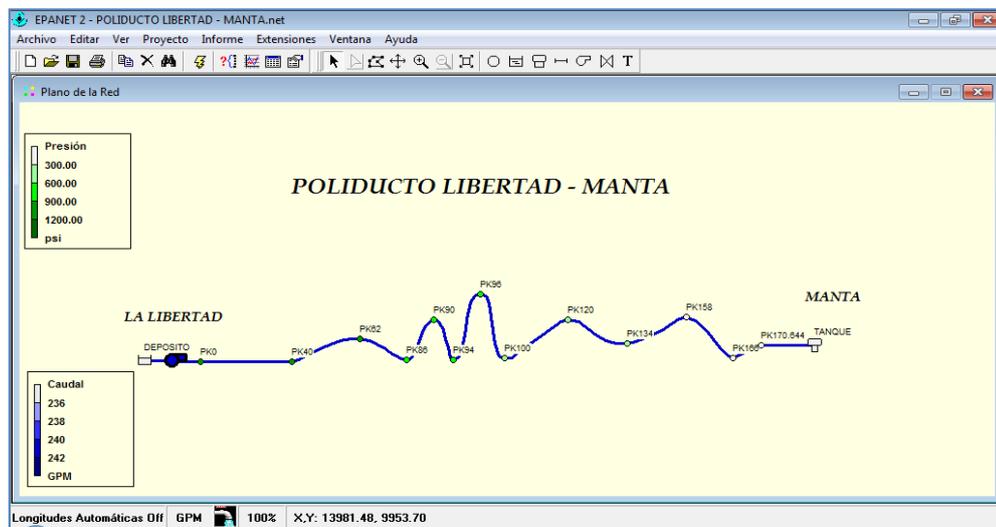
Para la propuesta presentada, a más de los cálculos realizados se utilizó el siguiente programa EPANET (programa de ordenador), que permite efectuar simulación en tiempos prolongados del comportamiento hidráulico y análisis de un sistema de distribución a presión.

Este programa permite desarrollar múltiples aplicaciones relacionadas con el movimiento de un fluido en una red de distribución. Emplea para los cálculos hidráulicos y simulación las expresiones de Hazen – William, Darcy – Weisbach o Chezy – Manning las mismas que son ampliamente utilizadas en la mecánica de fluidos. EPANET permite diseñar un sistema modelado de una red, y visualizar su grafica en diferentes trazados sobre el plano de trabajo y presentar los resultados obtenidos en varios tipos de tablas y gráficos.

Se inició la simulación con la descripción de la propuesta la cual llamaremos POLIDUCTO LIBERTAD – MANTA, la misma, que está conformado de un embalse situado en La Libertad, de donde se transferirá el combustible hasta un deposito en Manta; además conforman el sistema los nudos de conexión de la tubería, y para que el fluido pueda vencer la columna hidrostática colocamos una bomba.

Una vez terminado el diseño de la red se presenta tal como se observa en la gráfica N. 34.

FIGURA 34. Red del poliducto.

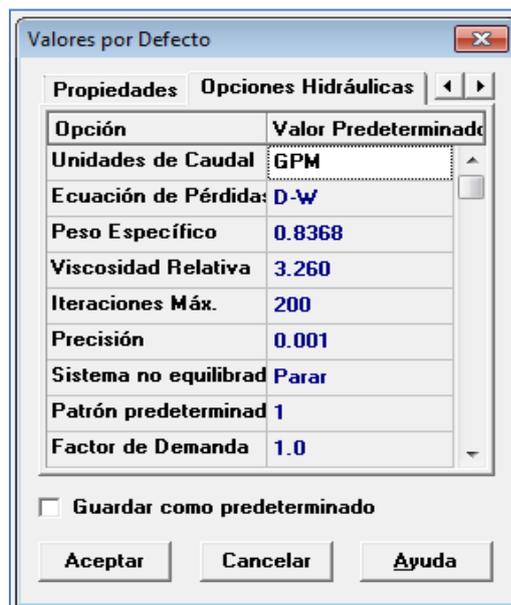


Fuente: Programa Epanet.

A continuación se realiza la configuración del proyecto, para esto se debe ingresar los parámetros y las propiedades del fluido con el cual se va a trabajar, para este proyecto es el diesel 2.

En opciones hidráulicas fijamos GPM para las unidades de caudal, y las unidades utilizadas en el sistema inglés como longitud (ft), diámetro de tubería (pulg), presión (psi), seleccionamos la fórmula de Darcy – Weisbach (D-W) para el cálculo de la pérdidas de presión, e incluimos los valores de viscosidad y peso específico del fluido.

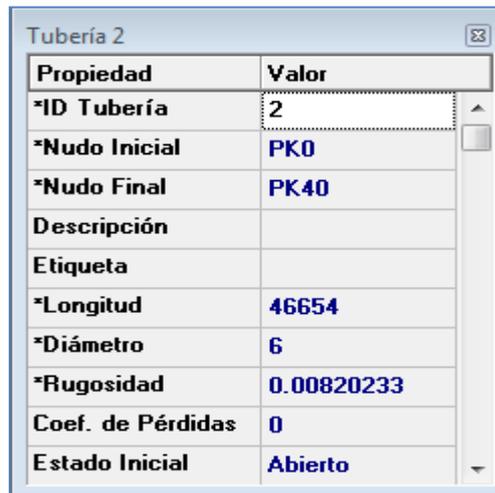
FIGURA 35. Opciones hidráulicas.



Fuente: Programa Epanet.

También es necesario editar las conexiones ingresando los datos que servirán para que el programa realce los cálculos y presente los resultados del mismo. Estos datos corresponden a longitud de la tubería desde el nudo inicial hasta el nudo final, diámetro del tubo, y la rugosidad.

FIGURA 36. Datos de la tubería.

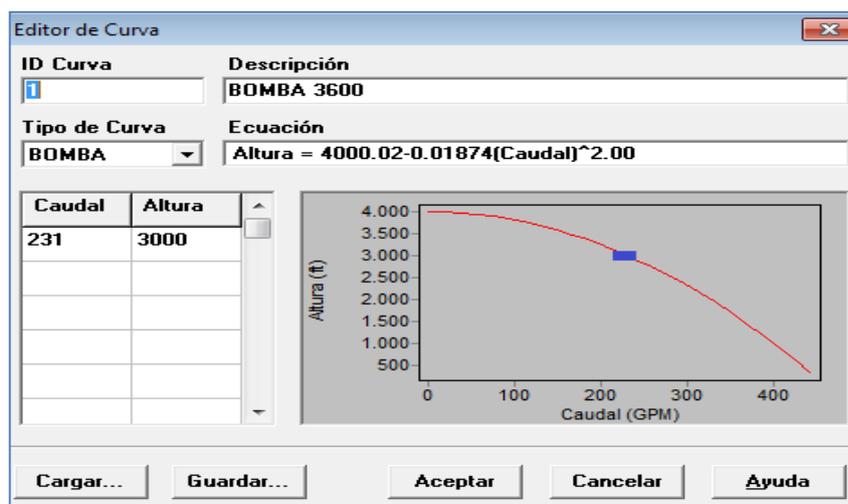


Propiedad	Valor
*ID Tubería	2
*Nudo Inicial	PK0
*Nudo Final	PK40
Descripción	
Etiqueta	
*Longitud	46654
*Diámetro	6
*Rugosidad	0.00820233
Coef. de Pérdidas	0
Estado Inicial	Abierto

Fuente: Programa Epanet.

Para el caso de la bomba asignamos una curva característica al diseño (altura vs caudal), introducimos los valores correspondientes a la gráfica y obtenemos la siguiente figura.

FIGURA 37. Editor curva de la bomba.



Fuente: Programa Epanet.

Una vez ingresada la información básica necesaria se puede empezar la simulación del comportamiento hidráulico del sistema diseñado en régimen permanente. De la barra de herramientas se selecciona “**Iniciar análisis**”, si la simulación es correcta se presenta un mensaje de éxito, de lo contrario se despliega un informe de estado dando a conocer en qué falló la simulación

Los resultados de la simulación se registran en diferentes tablas, que pueden ser tabuladas conforme la necesidad de datos que se desea presentar.

FIGURA 38. Tabla de resultados.

ID Línea	Diámetro in	Caudal GPM	Velocidad fps	Pérd. Unit. ft/Kft	Factor de Fricción
Tubería 2	6	231	2.62	5.29	0.025
Tubería 3	6	231	2.62	5.29	0.025
Tubería 4	6	231	2.62	5.29	0.025
Tubería 5	6	231	2.62	5.29	0.025
Tubería 6	6	231	2.62	5.29	0.025
Tubería 7	6	231	2.62	5.29	0.025
Tubería 8	6	231	2.62	5.29	0.025
Tubería 9	6	231	2.62	5.29	0.025
Tubería 10	6	231	2.62	5.29	0.025
Tubería 11	6	231	2.62	5.29	0.025
Tubería 12	6	231	2.62	5.29	0.025
Tubería 13	6	231	2.62	5.29	0.025
Tubería 14	6	231	2.62	5.29	0.025

Fuente; Programa Epanet.

Completado nuestro diseño de red procedemos a guardar el proyecto el mismo que denominaremos POLIDUCTO LIBERTAD – MANTA.

Para realizar algún cambio en el diseño o modificar parámetros para una nueva corrida del proyecto, solo será necesario seleccionar la orden **ABRIR** del menú Archivo.

4.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS.

Dado los resultados del cálculo de pérdidas de presión con los parámetros anteriores y actuales de bombeo determinamos lo siguiente:

Con los parámetros anteriores partiendo con una presión de 1100 PSI en la descarga, las pérdidas de presión nos daba como resultado una presión de llegada de los productos al Terminal Barbasquillo de 227 PSI, presión que generaba cambio en las propiedades de los combustibles por la mezcla de fluidos.

Con los parámetros actuales partiendo con una presión de 1300 PSI en la descarga tenemos como presión de llegada 264 PSI al Terminal en Manta, la misma que está en el margen de las presiones necesarias para mantener el empaquetamiento del poliducto y de esta forma evitar contaminación de productos.

Con el aumento de 21 GPM en la operación, caudal necesario para cubrir el volumen que demanda la Provincia de Manabí, observamos que se puede vencer la columna hidrostática del sistema sin problema alguno, ya que la altura hidrostática a vencer es menor a la altura característica de la bomba

$$2540 \text{ ft} < 3160 \text{ ft}$$

De la curva de eficiencia figura N. 33 al nuevo caudal de 231 GPM la eficiencia de la bomba aumenta al 64 %, teniendo así un mayor rendimiento del equipo, ya que estas bombas se caracterizan por su alto rendimiento 60 – 70 % de eficiencia hasta un caudal de 357 GPM.

4.6 PARÁMETROS ÓPTIMOS DE OPERACIÓN.

Para determinar los parámetros óptimos de operación es necesario tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

1 – El transporte de combustible se realiza en baches de diferentes productos con distintas viscosidades, por lo tanto no siempre se tendrá un solo producto en la línea.

2 – El volumen a transportar para este año tiene un incremento de 4,58 % con relación al año anterior, de tal manera que el caudal de operación dependerá de la demanda de combustible en la Provincia de Manabí.

3 – La MAOP reportada por el estudio de integridad es de 1487 PSI, por lo tanto un aumento de caudal representa un aumento en la presión de operación, estando el poliducto en los próximos 4 años cerca a su máxima presión así determinada.

TABLA 28. Datos óptimos de operación en el Poliducto Libertad – Manta.

DATOS OPTIMOS DE OPERACIÓN			
SUCCIÓN PSI	DESCARGA PSI	CAUDAL GPM	PRODUCTO
90	1300	231	DIESEL
90	1100	260	GASOLINAS

Elaborado por: Franklin Amores.

Bajo las consideraciones anteriores y sabiendo que el transporte se lo realiza por baches donde no siempre se tiene un solo producto, se recomienda un caudal medio de 231 GPM cuando se trata de diesel y un caudal máximo de 260 GPM cuando se tiene partidas largas de Gasolinas.

4.7 ANÁLISIS TÉCNICO Y ENERGÉTICO.

Realizamos el siguiente análisis en base a la demanda de combustible que se va a transportar en los próximos 5 años.

Año 2012

$$Q = 300 \text{ BPH}$$

$$V = 0.6372 \text{ m/s}$$

$$L = 170,644 \text{ Km}$$

Con estos datos determinamos el tiempo de llegada de los productos hacia el terminal Barbasquillo.

$$V = \frac{L}{t}$$

$$t = \frac{170,644 \text{ km}}{55,05 \text{ km/día}}$$

$$t = 3,10 \text{ días} = 75 \text{ horas}$$

Año 2013

$$Q = 330 \text{ BPH}$$

$$V = 0.7008 \text{ m/s}$$

$$L = 170,644 \text{ Km}$$

$$V = \frac{L}{t}$$

$$t = \frac{170,644 \text{ Km}}{60,55 \text{ Km/día}}$$

$$t = 2,82 \text{ días} = 68 \text{ horas}$$

Año 2014

$$Q = 370 \text{ BPH}$$

$$V = 0.7646 \text{ m/s}$$

$$L = 170,644 \text{ Km}$$

$$V = \frac{L}{t}$$

$$t = \frac{170,644 \text{ Km}}{66,06 \text{ Km/dia}}$$

$$t = 2,58 \text{ días} = 62 \text{ horas}$$

Como podemos observar el caudal de operación varia conforme el volumen que demande el transporte de combustible en la Provincia, por lo tanto la velocidad del fluido incrementa reduciendo así el tiempo de llegada de los productos al terminal Barbasquillo en Manta.

Este tiempo que se reduce representa también una reducción en la energía consumida para mover dicho caudal

Se calcula la energía consumida en KW, para esto utilizamos el siguiente factor de conversión

$$1\text{Hp} = 0.7457\text{Kw}$$

Para 200 Hp, llevamos a unidades de energía:

$$200 \text{ Hp} \times 0.7457 \text{ Kw}$$

$$150 \text{ Kw}$$

Para 220 Hp, de igual manera

$$220 \text{ Hp} \times 0.7457 \text{ Kw}$$

$$164 \text{ Kw}$$

Consumo de energía:

Para 150 Kw

$$E_C = 150 \text{ Kw} \times 68 \text{ h}$$

$$E_C = 10200 \text{ KWH}$$

Para 164 Kw

$$E_C = 164 \text{ Kw} \times 62 \text{ h}$$

$$E_C = 10168 \text{ KWH}$$

Tomando como referencia un costo de \$ 0.10 por KWH tenemos:

Costo por los 2 días y 20 horas de trabajo, \$ 1.020

Costo por los 2 días y 14 horas de trabajo, \$ 1.016

Los resultados para cada año de operación se resumen hasta el año 2017.

TABLA 29. Análisis de caudales 2012 – 2017.

AÑO	VOLUMEN BARRILES	CAUDAL BPH	PRESIÓN PSI	TIEMPO DE TRANSPORTE HORAS
2012	2.670.000	300	1100	75
2013	3.080.000	330	1300	68
2014	3.228.000	370	1310	62
2015	3.357.120	385	1360	59
2016	3.491.405	400	1410	56
2017	3.631.061	415	1460	54

Fuente: POA EP Petroecuador 2013.

Elaborado por Franklin Amores.

CAPÍTULO V

5. ESTADÍSTICAS DE CONSUMO Y PROYECCIÓN DE LA DEMANDA.

El área de Comercialización de EP Petroecuador tiene como política abastecer de derivados de hidrocarburos al mercado interno con oportunidad, garantía y calidad, bajo este concepto en el año 2013 la producción nacional de derivados fue de 70,5 millones de barriles, pero teniendo un consumo de derivados a nivel nacional de 91,9 millones de barriles, para cubrir la demanda interna de combustibles se importaron 50,7 millones de barriles que incluye productos como Diesel 2 y Premium, GLP, Nafta de Alto Octano, Cutter Stock y Avgas, estas importaciones se estiman con la finalidad de no desabastecer el mercado nacional.

El consumo de derivados en el año 2013 tuvo un incremento de 5,6 millones de barriles, correspondiendo al 6,5 % con respecto a lo ejecutado en el año 2012, esto guarda armonía con las expectativas de crecimiento de la economía del país de los últimos años y con las proyecciones de demanda del sector eléctrico.

TABLA 30. Producción y consumo de derivados a nivel nacional.

PRODUCCIÓN Y CONSUMO DE DERIVADOS 2013 (BLS)		
PRODUCTOS	PRODUCCIÓN	CONSUMO
GASOLINAS	26.012.000	25.880.000
DIESEL OIL	4.887.000	9.844.000
DIESEL PREMIUM	6.694.000	19.432.000

Fuente: POA EP Petroecuador 2013.

La producción de derivados en el año 2013 registró una reducción de 2,1 millones de barriles con respecto al año 2012, debido a la paralización programada en la refinería de Esmeraldas por los trabajos de mantenimiento establecidos, esto determinó importar el volumen de derivados antes mencionado con el objeto de cubrir la diferencia entre el consumo y la producción, de esta manera evitar problemas de desabastecimiento.

TABLA 31. Importación de derivados.

IMPORTACIÓN DE DERIVADOS 2013 (BLS)	
DIESEL 2	6.453.000
DIESEL PREMIUM	12.950.000
NAFTA ALTO OCTANO	13.339.000

Fuente: POA EP Petroecuador 2013.

5.1 Estudio del movimiento de los productos.

La demanda de combustible proyectada para el año 2013 por la Coordinación General de Planificación Estratégica y Control de Programas de EP Petroecuador, fue de 2.838.440 de barriles, sin embargo el transporte de combustibles a través del poliducto Libertad - Manta alcanzó un volumen de 3.080.616 barriles de derivados, con la finalidad de abastecer en forma oportuna el mercado interno de la Provincia de Manabí.

A continuación se muestran los volúmenes de los diferentes productos transportados a través del Poliducto, y que son almacenados en los tanques del Terminal Barbasquillo, para luego ser despachados de acuerdo a lo requerido por las comercializadoras autorizadas para efectuar las actividades de su comercialización.

TABLA 32. Volumen de combustible transportado año 2013.

VOLUMEN DE COMBUSTIBLE TRANSPORTADO AÑO 2013 POLIDUCTO LIBERTAD - MANTA cifras en barriles				
MES \ PRODUCTO	GASOLINA EXTRA	DIESEL 1	DIESEL 2 (a)	TOTAL MES
ENERO	97.654	2.890	128.067	228.611
FEBRERO	90.664	2.595	139.924	233.183
MARZO	106.974	2.939	155.796	265.709
ABRIL	93.347	2.627	155.896	251.870
MAYO	82.022	2.719	175.767	260.508
JUNIO	104.477	3.389	159.785	267.651
JULIO	119.411	3.317	157.268	279.996
AGOSTO	112.660	2.118	164.521	279.299
SEPTIEMBRE	92.950	2.006	158.051	253.007
OCTUBRE	98.149	2.461	172.250	272.860
NOVIEMBRE	99.831	2.706	156.733	259.270
DICIEMBRE	90.281	1.395	136.976	228.652
TOTAL	1.188.420	31.162	1.861.034	3.080.616

(a) Incluye diesel Premium.

Fuente: Informe cifras petroleras EP Petroecuador.

Elaborado por: Franklin Amores.

5.1.1. Movimiento de combustibles “Volumen despachado desde el Terminal vs consumo en cada cantón de la Provincia de Manabí”.

Las diferentes actividades económicas que se desarrollan en la Provincia de Manabí, tales como: agricultura, agroindustria, actividad pesquera, construcción, y transportación; generan un consumo promedio mensual de 8.937.037 galones de combustibles entre diesel 1, diesel 2, diesel Premium y gasolina extra. Para satisfacer la cantidad de combustible que se utiliza en la Provincia, el terminal de productos limpios despacha un promedio de 9.645.040 galones de combustibles.

TABLA 33. Consumo de combustibles en la Provincia de Manabí.

CONSUMO DE COMBUSTIBLES POR CANTONES (GALONES)				
	DIESEL 1	DIESEL 2	DIESEL PREMIUM	GASOLINA EXTRA
24 DE MAYO			20.301	31.563
BOLIVAR			70.712	119.157
CHONE	991		353.789	314.907
EL CARMEN		11.904	181.536	271.609
FLAVIO ALFARO			55.156	63.657
JAMA			64.431	52.442
JARAMIJO		49.514		
JIPIJAPA	991		173.793	236.242
JUNIN			26.739	28.603
MANTA		649.662	610.108	1'079.403
MONTECRISTI		108.931	275.595	228.057
PAJAN			58.399	77.862
PEDERNALES			238.233	182.515
PICHINCHA		50.489		
PORTOVIEJO	2.328	85.164	880.625	934.583
PUERTO LOPEZ		19.796	50.010	60.173
ROCAFUERTE			97.052	129.219
SANTA ANA	1.982	39.611	83.681	127.243
SAN VICENTE		51.493	89.199	82.907
SUCRE			138.151	147.966
TOSAGUA		5.942	98.733	123.888
TOTAL	6.292	1'072.506	3'566.243	4'291.996

Fuente: Pagina web EP PETROECUADOR.

Elaborado por: Franklin Amores.

TABLA 34. Detalle de los volúmenes despachados vs consumo.

MOVIMIENTO DE LOS COMBUSTIBLES (GALONES)		
PRODUCTOS	VOLUMEN DESPACHADO EN TERMINAL	CONSUMO EN PROVINCIA
GASOLINA EXTRA	4.115.543	4.291.996
DIESEL 1	70.636	6.292
DIESEL 2	2'125.672	1.072.506
DIESEL PREMIUM	3.333.189	3.566.243
TOTAL	9.645.040	8.937.037

Fuente: Pagina web EP PETROECUADOR.

Elaboración: Franklin Amores.

5.1.2. Volumen en Tanques vs Demanda.

Para garantizar el abastecimiento de combustible en la Provincia de Manabí y prevenir problemas de escasez, El Terminal Barbasquillo cuenta con instalaciones para la recepción y despacho de productos limpios con una capacidad de almacenamiento de 141.804 barriles, pero considerando el margen de seguridad que se requiere para operar, esta capacidad se reduce a 128.849 barriles.

En la tabla 35 se muestra el volumen promedio de cada combustible que se almacena en el Terminal, los días de stock, y el aporte diario por bombeo.

TABLA 35. Detalle de los combustibles almacenados en el Terminal Barbasquillo.

PRODUCTO	VOLUMEN PROMEDIO ALMACENADO (GLNS)	DIAS DE STOCK	APORTE DIARIO POR BOMBEO (GLNS)
GASOLINA EXTRA	582.283	4	145.838
DIESEL 1	33.255	10	2.253
DIESEL 2	755.761	7	84.104
DIESEL PREMIUM	644.558	5	137.166
TOTAL			369.361

Fuente: Pagina web EP PETROECUADOR.

Elaborado por: Franklin Amores.

La demanda de combustible en el mes de diciembre determinó que se despachen 9.645.040 galones, correspondiendo así al 42,76% de Gasolina Extra, 0,73% de diesel 1, 22,04% de Diesel 2 y 34,56% de Diesel Premium.

TABLA 36. Movimiento de los combustibles mes de Diciembre 2013.

MOVIMIENTO DE LOS COMBUSTIBLES (GALONES)				
PRODUCTO	PROMEDIO DIARIO DESPACHADO	PROMEDIO SEMANAL DESPACHADO	PROMEDIO MENSUAL DESPACHADO	% VENTA TOTAL DIARIA
GASOLINA EXTRA	158.290	1.028.886	4.115.543	42,67
DIESEL 1	2.717	17.659	70.636	0,73
DIESEL 2	81.757	531.418	2.125.672	22,04
DIESEL PREMIUM	128.200	833.297	3.333.189	34,56
TOTAL	370.964	2.411.260	9.645.040	100,00

**Fuente: Pagina Web EP PETRECUADOR.
Datos tabulados por Franklin Amores.**

CAPÍTULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

6.1 CONCLUSIONES.

- Del análisis hidráulico realizado en el Poliducto Libertad – Manta, se determinó que las pérdidas de energía son directamente proporcional al aumento de caudal.
- El cálculo de pérdidas de presión a lo largo del sistema del Poliducto ocasionadas por las pérdidas primarias y secundarias, incrementa la presión de descarga.
- El incremento de la demanda de combustible en la Provincia de Manabí ha generado un aumento del 5% del volumen a transportar para este año, lo que implica que a partir del año 2017 el sistema estaría próximo a colapsar.
- Del análisis técnico se determinó que la eficiencia de la bomba es del 62%, por lo tanto un incremento de caudal aumenta la eficiencia de la bomba, teniendo un mayor rendimiento y disminuyendo el tiempo de llegada de los productos limpios al Terminal Basbarquillo.

6.2 RECOMENDACIONES.

- Establecer un caudal medio de 370 BPH con la finalidad de cubrir las exigencias de la demanda de combustible en la Provincia de Manabí hasta el año 2015.
- Establecer como presión de descarga 1310 PSI, necesario para mantener el empaquetamiento del Poliducto, evitar el cambio en las propiedades de los fluidos y conservar su calidad.
- Realizar las reparaciones según el análisis de integridad para obtener una presión máxima de operación, superior a la establecida por los resultados así determinados por Petroenergy.
- Aumentar la eficiencia de bombeo del 62 al 66%, con ello se lograría el caudal para cubrir la demanda de combustible que se proyecta para los próximos años.

BIBLIOGRAFÍA

- API Standard 510. (2006).
- ASME/ANSI B31.8. (1998).
- CLAUDIO MATAIX “Mecánica de fluidos y maquinas hidráulicas” – (Segunda edición).
- ENRIQUE CARNICER, CONCEPCIÓN MAINAR “Bombas centrifugas” – España 2004 (Segunda edición).
- FLUJO DE FLUIDOS (válvulas, accesorios y tuberías) – división de ingeniería CRANE
- IRVING H. SHAMES “Mecánica de los fluidos” – Santafé de Bogotá 1995 (Tercera edición).
- MANUEL VIEJO ZABICARAY “Bombas teoría, diseño y aplicaciones” – México 2000 (Segunda edición).
- ROBERT L. MOTT “Mecánica de fluidos” – México 2006 (Sexta edición).
- ROBERT H. PERRY “Manual del Ingeniero Químico” – 2001 (Sexta edición).
- RONY PARRA J. (2010). Tesis Universidad Central del Ecuador “Optimización de la operación en el transporte de derivados de petróleo – análisis y estudio hidráulico del poliducto Quito – Ambato operado por petrocomercial”

WEB

- www.eppetroecuador.ec - informes estadísticos.
- www.comunidadpetrolera.com
- www.gouldspumps.com

ANEXOS.

Anexo 1 Cálculo de la presión en cada tramo del Poliducto Libertad – Manta.

CÁLCULO DE LA PRESIÓN POR ALTURA				
PK	ALTURA (mts)	RUGOSIDAD (mts)	PÉRDIDAS TOTALES	PRESIÓN (PSI)
0	80	0,0010741	0,05	1299,94
1	80	0,0010741	4,94	1294,10
2	80	0,0010741	9,87	1288,23
2,19	81,9	0,0010741	10,86	1284,79
3	90	0,0010741	14,81	1270,45
4	120	0,0010741	19,74	1228,89
5	70	0,0010741	24,68	1282,51
6	60	0,0010741	29,61	1288,54
7	60	0,0010741	34,55	1282,66
8	60	0,0010741	39,48	1276,80
9	60	0,0010741	44,42	1270,92
10	60	0,0010741	49,35	1265,05
11	90	0,0010741	54,29	1223,48
12	100	0,0010741	59,23	1205,70
13	80	0,0010741	64,16	1223,63
14	80	0,0010741	69,10	1217,75
15	90	0,0010741	74,03	1199,98
16	60	0,0010741	78,97	1229,80
17	60	0,0010741	83,90	1223,94
17,184	60	0,0010741	84,87	1222,78
18	60	0,0010741	88,84	1218,06
19	60	0,0010741	93,77	1212,19
20	60	0,0010741	98,71	1206,31
21	60	0,0010741	103,64	1200,45
22	70	0,0010741	108,58	1182,67
23	110	0,0010741	113,52	1129,20
24	80	0,0010741	118,45	1159,03
25	60	0,0010741	123,39	1176,95
26	60	0,0010741	128,32	1171,08
27	60	0,0010741	133,26	1165,20
28	90	0,0010741	138,19	1123,64
29	60	0,0010741	143,13	1153,46
30	50	0,0010741	148,06	1159,49

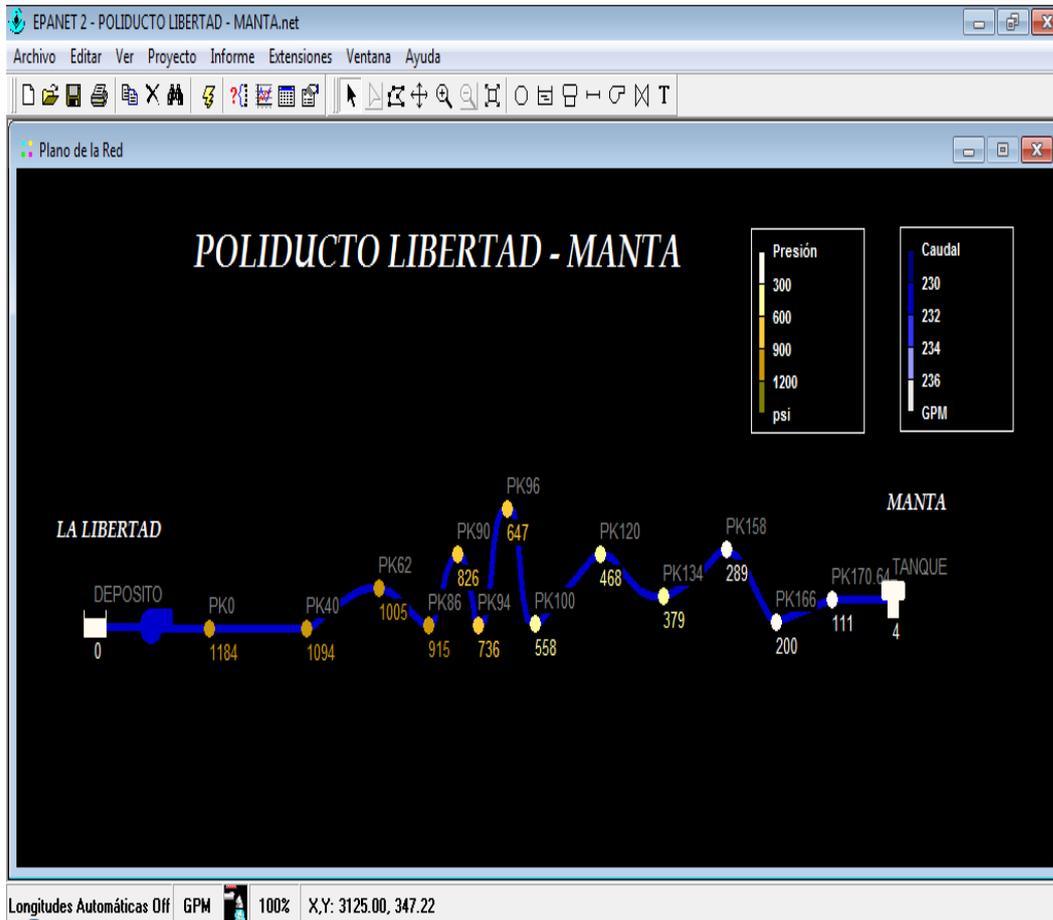
31	50	0,0010741	153,00	1153,61
32	50	0,0010741	157,94	1147,73
33	50	0,0010741	162,87	1141,87
33,094	50	0,0010741	163,43	1141,20
34	50	0,0010741	167,81	1135,99
35	50	0,0010741	172,74	1130,12
35,577	50	0,0010741	175,59	1126,73
36	50	0,0010741	177,68	1124,24
37	60	0,0010741	182,61	1106,47
38	70	0,0010741	187,55	1088,70
39	80	0,0010741	192,48	1070,93
40	110	0,0010741	197,42	1029,36
41	90	0,0010741	202,35	1047,29
42	120	0,0010741	207,29	1005,72
43	120	0,0010741	212,23	999,84
44	60	0,0010741	217,16	1065,37
44,139	60	0,0010741	217,96	1064,42
45	60	0,0010741	222,10	1059,49
46	110	0,0010741	227,03	994,13
47	80	0,0010741	231,97	1023,95
48	60	0,0010741	236,90	1041,88
49	120	0,0010741	241,84	964,60
50	130	0,0010741	246,77	946,84
51	80	0,0010741	251,71	1000,46
52	60	0,0010741	256,64	1018,39
53	60	0,0010741	261,58	1012,51
54	80	0,0010741	266,52	982,83
55	80	0,0010741	271,45	976,97
56	60	0,0010741	276,39	994,89
57	90	0,0010741	281,32	953,32
58	120	0,0010741	286,26	911,75
59	60	0,0010741	291,19	977,28
60	90	0,0010741	296,13	935,70
61	140	0,0010741	301,06	870,34
62	60	0,0010741	306,00	959,65
63	60	0,0010741	310,93	953,79
64	100	0,0010741	315,87	900,31
65	60	0,0010741	320,81	942,03
66	90	0,0010741	325,74	900,47
67	80	0,0010741	330,68	906,49
67,044	79,56	0,0010741	330,96	907,01
68	70	0,0010741	335,61	912,86
69	120	0,0010741	340,55	847,48

70	70	0,0010741	345,48	901,11
71	120	0,0010741	350,42	835,74
72	150	0,0010741	355,35	794,17
73	120	0,0010741	360,29	823,99
74	150	0,0010741	365,22	782,43
75	170	0,0010741	370,16	752,75
76	160	0,0010741	375,10	758,77
77	140	0,0010741	380,03	776,70
78	70	0,0010741	384,97	854,12
78,653	70	0,0010741	388,30	850,16
79	70	0,0010741	389,90	848,25
80	90	0,0010741	394,84	818,58
81	60	0,0010741	399,77	848,41
82	140	0,0010741	404,71	747,34
83	120	0,0010741	409,64	765,27
84	120	0,0010741	414,58	759,39
85	90	0,0010741	419,51	789,22
86	100	0,0010741	424,45	771,45
87	80	0,0010741	429,39	789,37
88	180	0,0010741	434,32	664,51
89	220	0,0010741	439,26	611,03
90	260	0,0010741	444,19	557,57
91	120	0,0010741	449,13	718,28
91,080	121,60	0,0010741	449,59	715,83
92	140	0,0010741	454,06	688,62
93	100	0,0010741	459,00	730,34
94	70	0,0010741	463,93	760,17
95	200	0,0010741	468,87	599,60
96	300	0,0010741	473,81	474,73
96,70	202	0,0010741	477,31	587,18
97	160	0,0010741	478,74	635,45
98	60	0,0010741	483,68	748,57
99	70	0,0010741	488,61	730,80
100	80	0,0010741	493,55	713,03
100,377	83,77	0,0010741	495,47	706,26
101	90	0,0010741	498,48	695,26
102	100	0,0010741	503,42	677,49
103	130	0,0010741	508,35	635,93
104	150	0,0010741	513,29	606,25
105	160	0,0010741	518,22	588,48
106	120	0,0010741	523,16	630,20
107	80	0,0010741	528,10	671,92
108	180	0,0010741	533,03	547,06

109	140	0,0010741	537,97	588,78
110	200	0,0010741	542,90	511,52
111	250	0,0010741	547,84	446,14
112	200	0,0010741	552,77	499,77
113	160	0,0010741	557,71	541,49
114	140	0,0010741	562,64	559,42
115	180	0,0010741	567,58	505,95
116	150	0,0010741	572,51	535,78
117	250	0,0010741	577,45	410,91
118	90	0,0010741	582,39	595,42
119	180	0,0010741	587,32	482,45
120	240	0,0010741	592,26	405,18
121	180	0,0010741	597,19	470,71
122	80	0,0010741	602,13	583,83
122,394	83,94	0,0010741	604,18	576,70
123	90	0,0010741	607,06	566,06
124	100	0,0010741	612,00	536,39
125	110	0,0010741	616,93	518,62
126	120	0,0010741	621,87	500,85
127	160	0,0010741	626,80	447,38
128	140	0,0010741	631,74	453,40
129	140	0,0010741	636,68	447,53
130	140	0,0010741	641,61	441,66
131	140	0,0010741	646,55	435,78
132	140	0,0010741	651,48	429,92
133	140	0,0010741	656,42	424,04
134	140	0,0010741	661,35	418,18
135	130	0,0010741	666,29	424,20
136	120	0,0010741	671,22	430,23
137	120	0,0010741	676,16	424,35
138	120	0,0010741	681,09	430,38
139	110	0,0010741	686,03	426,50
140	110	0,0010741	690,97	424,63
140,141	111,41	0,0010741	691,77	422,79
141	120	0,0010741	695,90	407,65
142	140	0,0010741	700,84	377,98
143	150	0,0010741	705,77	360,21
144	150	0,0010741	710,71	354,33
145	150	0,0010741	715,64	348,47
146	120	0,0010741	721,33	379,29
146,654	120	0,0010741	723,87	376,27
147	120	0,0010741	725,51	374,32
148	160	0,0010741	730,45	320,84

149	170	0,0010741	735,38	303,08
150	180	0,0010741	740,32	285,30
151	190	0,0010741	745,26	267,52
152	190	0,0010741	750,19	261,66
153	190	0,0010741	755,13	255,78
153,967	160,99	0,0010741	760,01	284,49
154	160	0,0010741	760,06	285,61
155	180	0,0010741	765,00	255,93
156	200	0,0010741	769,93	226,27
157	210	0,0014260	774,87	208,49
158	250	0,0014260	779,80	155,03
159	200	0,0014260	784,74	208,65
160	180	0,0014260	789,68	226,57
161	160	0,0014260	794,61	244,51
162	200	0,0014260	799,55	191,03
163	200	0,0014260	804,48	185,16
164	190	0,0014260	809,42	191,18
165	180	0,0014260	814,35	197,21
166	70	0,0014260	819,29	322,23
166,036	70	0,0014260	819,48	320,68
167	70	0,0014260	824,68	314,49
168	110	0,0014260	830,07	260,48
169	100	0,0014260	835,46	263,97
170,644	90	0,0014260	844,38	265,26

Anexo 2 Simulación hidráulica en programa EPANET.



Anexo 3 Informe de novedades – análisis de integridad Petroenergy

Odometer (m)	Feature Description	max. depth	length (mm)	Width	Orientatio n (HH.MM)	Safe Pressure (psi)	ERF (SF / MAOP)	Per Defect CGR (mm/yr)	Failure Depth (%wt)	Years @ defect CGR	Investig date @ defect CGR
1,296.1	MLOS EXT	74.42	26.62	82.29	10.00	1,898.37	0.783	0.343	80.00	0.9	2-jun-10
4,547.1	MLOS EXT	47.85	186.34	123.43	5.25	1,616.26	0.920	0.221	54.30	1.6	25-feb-11
4,732.7	MLOS EXT	69.32	26.62	74.06	3.50	1,975.09	0.753	0.320	80.00	1.9	22-may-11
4,981.4	MLOS EXT	58.79	23.29	74.06	6.50	2,164.23	0.687	0.271	80.00	4.3	2-dic-13
6,950.2	MLOS EXT	80.00	29.95	90.51	4.25	1,713.15	0.868	0.369	80.00	0.1	7-ago-09
7,415.2	MLOS EXT	62.51	23.29	40.32	5.75	2,800.68	0.531	0.370	80.00	3.4	4-dic-12
7,747.7	MLOS EXT	61.85	36.60	98.74	4.50	1,899.55	0.783	0.285	80.00	3.5	4-feb-13
13,742.0	MLOS EXT	55.80	16.64	57.60	5.00	2,304.63	0.645	0.257	80.00	5.2	23-oct-14
26,859.3	MLOS EXT	50.48	89.84	115.20	2.75	1,707.73	0.871	0.233	61.93	2.7	12-abr-12
32,299.1	MLOS EXT	50.23	59.90	74.06	12.25	1,848.63	0.804	0.232	69.86	4.7	15-abr-14
33,110.5	OBJ METALICO		76.53	96.92	6.25						programado
33,113.4	OBJ METALICO		136.43	132.16	6.25						programado
33,114.2	OBJ METALICO		133.10	88.11	5.25						programado
34,379.0	MLOS EXT	73.69	23.29	90.51	1.50	1,994.72	0.745	0.340	80.00	1.0	20-jul-10
34,379.1	MLOS EXT	72.85	26.62	115.20	1.50	1,923.25	0.773	0.336	80.00	1.2	14-sep-10
35,169.2	MLOS EXT	63.71	26.62	90.51	12.00	2,048.01	0.726	0.294	80.00	3.1	18-ago-12
35,608.6	ABOLLADURA	8.44	36.60		12.25						inmediato
35,621.4	MLOS EXT	73.01	23.29	74.06	3.50	2,004.18	0.742	0.337	80.00	1.2	3-sep-10
46,152.3	MLOS EXT	36.93	143.08	436.12	6.25	1,858.67	0.800	0.167	56.28	6.42	2-dic-15
52,516.2	MLOS EXT	57.74	16.64	57.60	7.50	2,293.93	0.648	0.266	80.00	4.6	22-mar-14
61,443.0	MLOS EXT	53.88	16.64	65.83	4.50	2,314.71	0.642	0.244	80	5.94	9-jun-15
63,835.9	MLOS EXT	64.87	33.28	90.51	1.75	1,907.97	0.779	0.299	80.00	2.8	10-may-12
66,937.0	ABOLLADURA	5.13	66.55		8.75						inmediato
68,349.3	MLOS EXT	44.78	103.15	205.72	8.00	1,776.05	0.837	0.207	59.92	4.1	22-ago-13
68,349.4	MLOS EXT	64.78	39.93	98.74	2.25	1,804.03	0.824	0.299	80.00	2.8	18-may-12
68,349.6	MLOS EXT	46.40	109.81	271.54	2.00	1,732.30	0.858	0.214	59.10	3.3	7-nov-12
68,350.4	MLOS EXT	55.03	156.39	255.09	6.50	1,497.06	0.993	0.254	55.53	0.1	11-ago-09
68,351.5	MLOS EXT	72.15	63.22	82.29	8.75	1,412.07	1.053	0.333	68.62	0.1	2-jul-10
68,357.5	MLOS EXT	47.65	83.19	213.94	8.00	1,780.78	0.835	0.220	63.20	3.9	30-jun-13
68,358.0	MLOS EXT	61.47	23.29	74.06	8.25	2,138.65	0.695	0.284	80.00	3.6	11-mar-13
70,218.9	ABOLLADURA	6.74	113.14		12.25						inmediato
73,161.2	MLOS EXT	58.32	16.64	57.60	9.00	2,290.62	0.649	0.269	80.00	4.5	20-ene-14
79,492.5	MLOS EXT	55.74	19.97	65.83	6.25	2,248.41	0.661	0.253	80	5.33	31-oct-14
79,509.8	MLOS EXT	57.67	16.64	49.37	5.75	2,294.32	0.648	0.266	80.00	4.7	30-mar-14
79,799.5	MLOS EXT	59.29	56.57	90.51	5.25	1,718.70	0.865	0.274	71.23	2.4	19-dic-11
80,452.5	MLOS EXT	80.00	26.62	98.74	1.00	1,800.27	0.826	0.369	80.00	0.1	7-ago-09
85,014.6	MLOS EXT	55.79	16.64	49.37	6.25	2,304.72	0.645	0.253	80	5.32	25-oct-14
85,014.9	MLOS EXT	80.00	26.62	82.29	5.75	1,800.27	0.826	0.369	80.00	0.1	7-ago-09
88,683.7	MLOS EXT	49.16	66.55	82.29	1.25	1,827.10	0.814	0.227	67.49	4.5	25-ene-14
105,090.0	ABOLLADURA	7.78	176.36		3.75						inmediato
105,098.4	ABOLLADURA	5.09	73.21		12.00						inmediato
156,115.1	ABOLLADURA	4.99	19.97		6.50						inmediato
168,971.9	ABOLLADURA	6.36	43.26		1.50						inmediato
169,943.7	ABOLLADURA	4.93	46.59		11.25						inmediato