

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA



FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

TEMA:

**ANÁLISIS DEL SISTEMA DE ALIVIOS Y DRENAJES Y SU
INCIDENCIA EN EL CONTROL OPERATIVO DEL TANQUE DE
ALIVIO DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO INTERMEDIA DEL
POLIDUCTO ESMERALDAS – QUITO PARA LA EMPRESA
DIMPROIN**

Proyecto previo a la obtención del título de Ingeniero Industrial

AUTOR:

Ríos Narváez César Antonio

DIRECTOR

Ing. Gerardo Arteaga

Quito – Ecuador

2017

APROBACIÓN POR EL TUTOR

En mi calidad de Tutor del trabajo de investigación, nombrado por el H. Consejo Superior de la Universidad Tecnológica Indoamérica:

CERTIFICO:

Que el Informe de Investigación Científica: “ANÁLISIS DEL SISTEMA DE ALIVIOS Y DRENAJES Y SU INCIDENCIA EN EL CONTROL OPERATIVO DEL TANQUE DE ALIVIO DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO INTERMEDIA DEL POLIDUCTO ESMERALDAS – QUITO PARA LA EMPRESA DIMPROIN”, presentada por el estudiante: César Antonio Ríos Narváez, de la Facultad de Ingeniería Industrial, reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la evaluación del jurado examinador que el H. Consejo de la Universidad Tecnológica Indoamérica designe.

Quito, Febrero de 2017.

TUTOR

Ing. Gerardo Arteaga
C.C. No. 040091407-3

**AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL AUTOR PARA LA CONSULTA,
REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL
TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, César Antonio Ríos Narváez, declaro ser autor del Proyecto de Tesis titulado “Análisis del Sistema de alivios y drenajes y su incidencia en el control operativo del tanque de alivio de la Estación de Bombeo intermedia del Poliducto Esmeraldas – Quito para la empresa DIMPROIN”, como requisito para optar al grado de Ingeniero Industrial, autorizo al Sistema de Bibliotecas de la Universidad Tecnológica Indoamérica, para que con fines netamente académicos divulgue esta obra a través del Repositorio Digital Institucional (RDI – UTI).

Los usuarios del RDI – UTI podrán consultar el contenido de este trabajo en las redes de información del país y del exterior, con los cuales la Universidad tenga convenios. La Universidad Tecnológica Indoamérica no se hace responsable por el plagio o copia del contenido parcial o total de este trabajo.

Del mismo modo, acepto que los Derechos de Autor, Morales y Patrimoniales, sobre esta obra, serán compartidos entre mi persona y la Universidad Tecnológica Indoamérica, y que no tramitaré la publicación de esta obra en ningún otro medio, sin autorización expresa de la misma. En caso de que exista el potencial de generación de beneficios económicos o patentes, producto de este trabajo, acepto que se deberán firmar convenios específicos adicionales, donde se acuerden los términos de adjudicación de dichos beneficios.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Quito, a los 02 días del mes de febrero de 2017, firmo conforme:

Autor: César Antonio Ríos Narváez

Firma:

Número de cédula: 171253015-1

Dirección: Oscar Etwanick 178, Urbanización El Manantial, Conocoto.

Correo electrónico: risnatyc@gmail.com

Teléfono: 022068093 – 0995016484

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

El abajo firmante, en calidad de estudiante de la Facultad de Ingeniería Industrial, declaro que los contenidos de este Informe de Investigación Científica, requisito previo a la obtención del Título de Ingeniero Industrial, son absolutamente originales, auténticos, personales y de exclusiva responsabilidad legal y académica del autor.

Quito, Febrero de 2017

Ríos Narváez César Antonio
C.C. 171253015-1

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL EXAMINADOR

El Informe de Investigación Científica, ha sido revisado, aprobado y autorizada su impresión y empastado, previa la obtención del Título de Ingeniero Industrial por lo tanto autorizamos al postulante a la presentación a efectos de su sustentación pública.

Quito,

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

VOCAL 1

VOCAL 2

DEDICATORIA

A mis grandes amores: mi esposa Gaby, mi hijo Dylan y mi hija Danna, por todo su amor, comprensión y apoyo, por ser parte de mí y traer felicidad en todo momento a mi vida.

A mis queridos padres que me acompañan y respaldan brindándome siempre su amor y cariño.

César Ríos

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme salud y fortaleza en mis momentos de desaliento.

A mi esposa e hijos, a mis padres, familiares y amigos, por todos sus buenos deseos de esfuerzo y superación.

En especial manera a Isabel Cepeda por su apoyo incondicional en el desarrollo de este proyecto.

A la Universidad Tecnológica Indoamérica y sus autoridades, por el compromiso con la sociedad en la preparación de nuevos profesionales, en especial al Ing. Gerardo Arteaga por guiar mi camino para la realización de este trabajo.

César Ríos

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

A. PRELIMINARES

PORTADA.....	i
APROBACIÓN POR EL TUTOR.....	ii
AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL AUTOR PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	iii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL EXAMINADOR	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS	viii
RESUMEN EJECUTIVO.....	xxii
SUMMARY	xxiii
ABREVIATURAS.....	xxiv
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	2
EL PROBLEMA.....	2
TEMA	2
Planteamiento del Problema	2
Contextualización	2
Macro	2
Meso.....	4
Micro.....	5
Árbol de problemas.....	7
Análisis Crítico	8
Prognosis.....	8

Formulación del Problema.....	9
Delimitación del Objeto de la Investigación.....	9
Delimitación de contenidos:.....	9
Justificación	10
Interrogantes de la Investigación	11
Objetivos	11
Objetivo General.....	11
Objetivos específicos	11
CAPÍTULO II.....	12
MARCO TEÓRICO.....	12
Antecedentes investigativos.....	12
FUNDAMENTACIONES	14
Fundamentación teórica.....	14
Fundamentación técnica	14
Fundamentación legal	14
Organizador Lógico de Variables	16
Constelación de ideas conceptuales de la variable independiente	17
Red de inclusiones variable dependiente	18
DESARROLLO DEL MARCO TEÓRICO	19
INGENIERÍA INDUSTRIAL	19
Definición	19
LA MECÁNICA DE LOS FLUIDOS Y LA HIDRÁULICA	20
Definición de fluido	20
Propiedades de los Fluidos	21
Peso específico.....	21
Densidad	21

Viscosidad de un fluido.....	22
Presión de vapor.....	22
Presión de un fluido	22
Flujo de fluidos en tuberías.....	23
Flujo de Fluido.....	23
Ecuación de la Continuidad	24
Velocidad de Flujo.....	25
Conservación de la Energía - Ecuación de Bernoulli	25
Teorema de Torricelli	26
Pérdidas de Energía debido a la Fricción.....	27
Ecuación de Darcy - Weisbach	27
Otras Pérdidas de Carga.....	28
BOMBAS.....	28
Tipos de bombas	29
Terminología Básica	30
Leyes de Afinidad	34
Cambios en el diámetro del rodete	35
CAÑERÍAS INDUSTRIALES	36
Procedimiento de diseño de tuberías	36
Normas de diseño.....	36
Cargas de diseño para tuberías.....	37
Diámetro de tuberías	37
Escurrecimiento de fluidos por tuberías	38
Determinación de la presión de prueba hidráulica.....	39
Cálculo del espesor de pared	39
Presión de Diseño	40

Temperatura de diseño	40
Análisis de flexibilidad en sistemas de tuberías	41
Soportes de cañerías.....	42
Definición y Clasificación	42
Planos de cañerías	42
Importancia del proceso	43
SISTEMA DE ALIVIOS Y DRENAJES	43
Cañerías Subterráneas	43
Análisis de cargas.....	44
Determinación de las cargas vivas	44
Determinación de las Cargas Muertas (cargas de tierra).....	45
Descripción del sistema de alivios y drenajes.....	46
Descripción de equipos	47
Válvulas de seguridad	47
Tanque de alivio.....	48
Tanque sumidero.....	48
Separador API.....	49
Bomba tanque de alivio.....	49
Bomba tanque de alivio (nueva)	50
Bomba tanque sumidero.....	51
DESARROLLO DE LAS CATEGORÍAS DE LA VARIABLE DEPENDIENTE.....	52
TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO DE DERIVADOS DEL PETRÓLEO	52
Transporte de Derivados	52
Almacenamiento	54
Descripción de los productos transportados.....	54
Tanques de almacenamiento	56
Poliducto Esmeraldas - Quito	57

Modernización y repotenciación del poliducto Esmeraldas-Santo Domingo-Quito.....	58
MANTENIMIENTO.....	59
Mantenimiento de tanques de almacenamiento	59
Actividades previas al mantenimiento de tanques	60
Evacuación de combustibles y lodos contenidos en los tanques de almacenamiento de combustibles	60
Normativa de Mantenimiento	61
CONTROL OPERATIVO DEL TANQUE DE ALIVIO.....	62
Medición de productos en tanques de almacenamiento de hidrocarburos.....	62
Medición estática	62
Aforo de tanques	62
Herramientas y equipos para la medición de tanques:	63
Medición directa o de llenado	63
Medición indirecta o de vacío	63
Medición del nivel de agua libre.....	64
Medición Automática (Telemetría).....	65
Medición de nivel con Flotador	65
Medición de nivel con desplazador (Servo).....	65
Medición con Radar	66
Medición Dinámica.....	66
Sistema SCADA (Supervisory Control And Data Adquisition)	67
Interfaz de usuario (HMI hombre-máquina).....	68
Funciones principales del software en el HMI.....	68
Tareas de supervisión y control.....	68
Función de las pantallas del HMI.....	69
Seguridad	69
Proceso.....	70
HIPÓTESIS.....	71

Señalamiento de las variables	71
Variable Independiente	71
Variable Dependiente	71
CAPÍTULO III.....	72
METODOLOGÍA.....	72
Enfoque investigativo	72
MODALIDAD DE LA INVESTIGACIÓN	72
Bibliográfico documental	72
De campo	73
NIVELES O TIPOS DE INVESTIGACIÓN	73
Exploratorio	73
Descriptivo.....	73
Explicativa	73
Población y muestra.....	73
OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	75
Variable Independiente: Sistema de alivios y drenajes.....	75
Variable Dependiente: Control operativo del tanque de alivio.....	76
TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN	77
PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN	78
CAPÍTULO IV.....	80
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	80
ANÁLISIS DE RESULTADOS	80
Entrevista a profundidad	80
Codificación y análisis de resultados	81
1. Medidas tomadas para desalojar el tanque.....	81
2. Problemas de desalojo / vaciado del tanque.....	81

3. Tiempo de llenado del tanque de alivio	81
4. Nueva configuración de líneas de drenaje	81
5. Problemas en sistema de seguridad de los equipos de bombeo principales.....	82
6. Cavitación de la bomba.....	82
7. Control operativo del tanque de alivio	82
8. Producto	83
9. Sobredimensionamiento y presión de descarga de la bomba	83
Interpretación general	83
Análisis e interpretación de datos observados	84
Procedimiento de evacuación y reinyección del producto	84
Características de los fluidos del sistema de bombeo del tanque de alivios y drenajes	84
Cálculos Hidráulicos.....	85
Cálculo de PA (presión atmosférica)	86
Cálculo del ha (diferencia de aspiración entre la superficie del líquido y la entrada de la bomba)	87
Cálculo del Pca (pérdidas de carga en la aspiración)	88
Obtención de una curva de referencia de $NPSH_D$ para las condiciones de funcionamiento de la bomba centrífuga en el sistema	93
Análisis de las curvas características de las bombas, cambiando sus parámetros	95
Efectos en las características de las curvas de bomba con la aplicación de las Leyes de Afinidad	96
Variación de diámetro del impulsor.....	96
VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....	100
Hipótesis alternativa (H_i):.....	100
Hipótesis nula (H_o):.....	100
Variable Independiente	100
Variable Dependiente	100
Comprobación de la hipótesis.....	101

Interpretación	105
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	107
CONCLUSIONES	107
RECOMENDACIONES	108
CAPÍTULO V	109
PROPUESTA.....	109
TÍTULO	109
Datos Informativos:	109
Antecedentes de la propuesta.....	109
Justificación de la propuesta	110
Objetivos	111
Objetivo General.....	111
Objetivos Específicos	111
Análisis de factibilidad	111
Organizacional	111
Ambiental.....	111
Rentabilidad	112
Económica.....	112
Fundamentación.....	112
Metodología	112
SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS	113
Alternativas para aumentar NPSH disponible del sistema	113
Alternativa 1: Aumentar la altura geométrica.....	113
Ventaja	114
Desventaja.....	114
Alternativa 2: Reducir el valor de la presión de vapor	114
Ventaja	114

Desventaja.....	114
Alternativa 3: Reducir las pérdidas por fricción	115
Ventajas.....	115
Desventajas	115
Alternativas para disminuir el NPSH requerido del equipo	116
Alternativa 1: Modificar el área del ojo en el impulsor	116
Ventajas.....	116
Desventajas	116
Alternativa 2: Instalar inductor de aspiración en la boca de entrada del impulsor	116
Ventajas.....	117
Desventajas	117
Alternativa 3: Impulsor de doble succión	117
Ventajas.....	117
Desventajas	117
Alternativa 4: Usar la bomba a bajas revoluciones.....	118
Ventajas.....	118
Desventajas	118
Alternativa 5: Instalar una bomba de refuerzo.....	119
Ventajas.....	119
Desventajas	119
Criterios de evaluación de las alternativas.....	119
Parámetros de evaluación.....	120
Matriz de resultados para la selección de alternativas	121
Matriz de alternativas para aumentar el NPSH disponible	121
Matriz de alternativas para disminuir el NPSH requerido	122
Análisis de alternativas	123
Combinación alternativa 1 (Tabla 31) y alternativa 4 (Tabla 32).....	123

Alternativa 5 (Tabla 32).....	124
DISEÑO DE LA PROPUESTA	125
Cronograma de Actividades.....	125
Diagrama de Gantt	126
Diagrama de Pert	127
SIMULACIÓN SITUACIÓN ACTUAL DEL EQUIPO DE BOMBEO.....	128
Parámetros de diseño considerando una bomba de refuerzo (booster).....	130
Datos técnicos bomba P-230151-2-20-A	131
Datos técnicos bomba P-230151-2-20-B	131
Características del líquido.....	132
Hoja de resultados de simulación.....	133
Diseño de conexión en serie	135
Planos isométricos propuestos	135
Modelado 3D propuesto.....	135
EVALUACIÓN ECONÓMICA	136
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DE LA ALTERNATIVA PROPUESTA...	139
CONCLUSIONES	139
RECOMENDACIONES.....	140
BIBLIOGRAFÍA	141
ANEXOS	144

ÍNDICE DE FIGURAS, TABLAS Y ANEXOS

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Capacidad bombeo poliductos EP PETROECUADOR.....	4
Figura 2 Sistemas que conforman la red de alivios.	6
Figura 3 Relación Causa – Efecto.....	7
Figura 4 Categorías fundamentales.....	16
Figura 5 Constelación de ideas variable independiente.....	17
Figura 6 Constelación de ideas variable dependiente.....	18
Figura 7 Cálculo de la velocidad de un fluido que circula por un tubo.....	24
Figura 8 El producto de la velocidad del fluido es constante en cualquier punto.	24
Figura 9 Deducción de la ecuación de Bernoulli.....	26
Figura 10 Teorema de Torricelli.....	26
Figura 11 Tipos de bombas.....	29
Figura 12 Partes de la bomba centrífuga.....	30
Figura 13 Altura de aspiración.....	31
Figura 14 Altura estática de elevación.....	31
Figura 15 Golpe de ariete.....	33
Figura 16 Clasificación de los soportes.	42
Figura 17 Determinación de cargas vivas.....	45
Figura 18 Válvulas de seguridad principales – Estación Faisanes.	46
Figura 19 Drenaje de líneas de procesos de la estación Faisanes.....	47
Figura 20 Áreas de proceso de Estación Faisanes.	47
Figura 21 Tanque de alivio y tanque de almacenamiento Estación Faisanes.....	48
Figura 22 Tanque sumidero - Estación Faisanes.....	48
Figura 23 Separador API.....	49
Figura 24 Bomba tanque de alivio.....	49
Figura 25 Bomba tanque de alivio (nueva).....	50
Figura 26 Bomba tanque sumidero.....	51
Figura 27 Mapa de Transporte y Almacenamiento en Ecuador.	53
Figura 28 Clasificación de tanques de almacenamiento.....	57
Figura 29 Características del Poliducto Esmeraldas - Quito.	58
Figura 30 Medición de producto a fondo con plomada de fondo.....	63

Figura 31 Medición de producto a vacío con plomada de vacío.	64
Figura 32 Medición del nivel de agua libre.	64
Figura 33 Medición de nivel con flotador.....	65
Figura 34 Medición de nivel con desplazador.	66
Figura 35 Medición con radar. Tipo de antena según aplicación.	66
Figura 36 HDMI Estación Faisanes.....	67
Figura 37 Foto de ingeniería TECNA.....	71
Figura 38 Diferencia de aspiración entre la superficie del líquido y la entrada de la bomba. .	87
Figura 39 Curva de relación entre NPSHD del sistema y su altura de aspiración.....	94
Figura 40 Curvas características de la bomba instalada actualmente	95
Figura 41 Gráfica de datos de altura geométrica y NPSH disponible.	102
Figura 42 Diagrama de dispersión de la correlación entre NPSH disponible y altura geométrica	106
Figura 43 Elevación del nivel del tanque.....	113
Figura 44 Disminución del nivel de la bomba	113
Figura 45 Reducir la presión de vapor.	114
Figura 46 Reducir pérdidas por fricción – aumentar diámetros de tubería.....	115
Figura 47 Reducir pérdidas por fricción – cambiar conexiones de tubería.	115
Figura 48 Reducir pérdidas por fricción – reducción cantidad de válvulas.....	115
Figura 49 Modificar el área del ojo en la entrada del impulsor.	116
Figura 50 instalar inductor de aspiración en la boca del impulsor.	116
Figura 51 Impulsor de doble succión.....	117
Figura 52 Bomba a bajas revoluciones.	118
Figura 53 Instalación de bomba de refuerzo.....	119
Figura 54 Diagrama de Gantt.....	126
Figura 55 Diagrama de Pert y ruta crítica	127
Figura 56 Situación actual de la bomba	129
Figura 57 Bomba tanque de refuerzo.....	131
Figura 58 Bomba principal	131
Figura 59 Resultados de simulación – Hoja de datos características de la bomba.....	134
Figura 60 Proforma de trabajo propuesto.	137

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Características generales Poliductos de EP PETROECUADOR	3
Tabla 2 Velocidades de flujo recomendadas en sistemas de presión.....	25
Tabla 3 Factor de rugosidad de la tubería.....	27
Tabla 4 Valores de impacto	45
Tabla 5 Valores de diseño, rugosidad en conductos	48
Tabla 6 Datos tanque sumidero Estación Faisanes	49
Tabla 7 Datos bomba tanque de alivios Estación Faisanes.....	50
Tabla 8 Datos bomba tanque de alivios Estación Faisanes.....	50
Tabla 9 Datos bomba tanque sumidero Estación Faisanes	51
Tabla 10 Capacidad de Almacenamiento operativo en terminales y depósitos Petrocomercial - BLS	54
Tabla 11 Productos transportados	55
Tabla 12 Producción nacional de derivados	56
Tabla 13 Caudales operativos antes de repotenciación Poliducto Esmeraldas - Quito	57
Tabla 14 Caudales máximos Poliducto Esmeraldas - Quito.....	59
Tabla 15 Niveles de acceso.....	70
Tabla 16 Operacionalización variable independiente	75
Tabla 17 Operacionalización variable dependiente	76
Tabla 18 Plan de recolección de la información.....	78
Tabla 19 Codificación y caracterización de respuestas	80
Tabla 20 Propiedades de los fluidos transportados a condiciones de operación	85
Tabla 21 Resultados de NPSHD en relación a su altura geométrica	93
Tabla 22 Comparación de resultados	94
Tabla 23 Condiciones hidráulicas de la bomba variando el diámetro del impulsor	98
Tabla 24 Condiciones hidráulicas de la bomba variando la velocidad del motor eléctrico.....	99

Tabla 25 Datos de altura geométrica y NPSH disponible.....	102
Tabla 26 Cálculo de datos para coeficiente de correlación de Pearson	103
Tabla 27 Resumen de datos obtenidos para aplicar ecuación (40)	105
Tabla 28 Tabla de correlación.....	106
Tabla 29 Criterios de calificación para selección de alternativas.	120
Tabla 30 Peso de los parámetros a evaluar	121
Tabla 31 Alternativas para aumentar el NPSH disponible	122
Tabla 32 Alternativas para reducir el NPSH requerido	123
Tabla 33 Cronograma de actividades.....	125
Tabla 34 Datos bomba de refuerzo	131
Tabla 35 Datos bomba principal	132
Tabla 36 Características del líquido.....	132
Tabla 37 Criterios de funcionamiento de equipo seleccionado	133
Tabla 38 Sueldo personal operativo por 7 días	136
Tabla 39 Materiales.....	136
Tabla 40 Cálculo de TIR.....	138
Tabla 41 Cálculo de VAN.....	138

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

ANÁLISIS DEL SISTEMA DE ALIVIOS Y DRENAJES Y SU INCIDENCIA EN EL CONTROL OPERATIVO DEL TANQUE DE ALIVIO DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO INTERMEDIA DEL POLIDUCTO ESMERALDAS – QUITO PARA LA EMPRESA DIMPROIN

AUTOR: Ríos Narváez César Antonio

TUTOR: Ing. Gerardo Arteaga

RESUMEN EJECUTIVO

La presente investigación se enfoca en una propuesta para la optimización del sistema de alivios y drenajes, que permita evacuar los productos almacenados en el tanque de alivio de la Estación de bombeo Faisanes del Poliducto Esmeraldas – Quito, de la empresa EP PETROECUADOR para la Compañía de mantenimiento DIMPROIN S.A. Para efectuar la optimización de este sub proceso de la planta, se requiere hacer un estudio del sistema de alivios y drenajes de la estación, el mismo que permitirá identificar las características y causas del problema de los equipos del proceso. Este análisis se fundamenta en las visitas de campo realizadas a la Estación Faisanes y en la entrega de información documental por parte de la empresa DIMPROIN. Con la información analizada, se determinan las causas del funcionamiento deficiente del equipo de reinyección, que ocurre desde el término de su implementación en el segundo semestre del 2015. Luego de un análisis de situación actual con cálculos hidráulicos, se concluye que el NPSH disponible del sistema es menor que el NPSH requerido de la bomba, por lo que se establece una alternativa que permitiría optimizar el desalojo total del producto almacenado en el tanque de alivio y mejorar considerablemente el control de las operaciones en la Estación.

DESCRIPTORES:

Sistema de alivios y drenajes, Capacidad operativa, proceso, NPSH disponible, NPSH requerido, Optimización, Control

TECHNOLOGICAL UNIVERSITY INDOAMERICA
FACULTY OF INDUSTRIAL ENGINEERING

ANALYSIS OF THE RELIEF AND DRAINAGE SYSTEM AND ITS INCIDENCE IN THE OPERATIONAL CONTROL OF THE RELIEF TANK OF THE INTERMEDIATE PUMPING STATION OF THE ESMERALDAS - QUITO POLYURIDE FOR THE COMPANY DIMPROIN

AUTHOR: Ríos Narváez César Antonio

TUTOR: Ing. Gerardo Arteaga

SUMMARY

The present research focuses on a proposal for the optimization of the relief and drainage system, which allows evacuating the products stored in the relief tank of the Faisanes Pumping Station, Poliducto Esmeraldas - Quito of company EP PETROECUADOR for the Maintenance Company DIMPROIN S.A. In order to optimize this sub process of the plant, it is necessary to make a study of the system of reliefs and drains of the station, which will allow identifying the characteristics and causes of the problem of the process equipment. This analysis has its basis on the field visits made to the Faisanes Station and the delivery of documentary information by the company DIMPROIN. With the information analyzed, the causes of poor functioning of the reinjection equipment, which occurs from the end of its implementation in the second half of 2015, are determined. After an analysis of the current situation with hydraulic calculations, concluded that the NPSHD of the system is less than the NPSHR of the pump, so an alternative is established that will allow optimizing the total eviction of the product stored in the relief tank and greatly improve the control of the operations in the Station.

DESCRIPTION

Relief and drainage system, Operational capability, process, NPSH available, NPSH required, Optimization, Control

ABREVIATURAS

NPSHD	Altura neta positiva de aspiración disponible
NPSHR	Altura neta positiva de aspiración requerida
ASME	America Society of Mechanic Engineers
ANSI	American National Standard Institute
bls	Barriles
bls/día	Barriles / día
bls/h	Barriles / hora
BPD	Barriles por día
BPH	Barriles por hora
TDH	Carga dinámica total necesaria
cP	CentiPoise, unidad de viscosidad, equivale a un milipascal * segundo (mPa*s)
cst	Centistock
P&D	Diagrama de tuberías e instrumentos
Lact/act	Fiscalización automática para la transferencia de custodia
gpm	Galones por minuto
USgpm	Galones por minuto americanos
Hz	Hercio
ISO	International Organization of Standardization
kg/cm²	Kilogramo / centímetro cuadrado
Kg/dm³	Kilogramo / decímetro cúbico
kg/m³	Kilogramo / metro cúbico
kW	Kilovatio
lbs/pulg²	Libra / pulgada cuadrada
Psig	Libra / pulgada cuadrada manométrica
psi	Libra por pulgada cuadrada (pounds-force per square inch)
psia	Libra por pulgada cuadrada absoluta
API MPMS	Manual de Estándares de medición de Petróleo
m.c.l.	Metros de columna de agua
NACE	National Association of Corrosion Engineers
NPSH	Net Positive Suction Head, altura neta positiva de aspiración,
PCA	Pérdidas de carga en la aspiración
ft	Pie
PA	Presión atmosférica
in	Pulgada
RPM	Revoluciones por minuto
SI	Sistema Internacional
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition
TIR	Tasa interna de retorno
TICs	Tecnologías de la Información y Comunicación
VAN	Valor actual neto o valor presente

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación analiza el sistema de alivios y drenajes y su incidencia en el control del tanque de alivio de la estación de bombeo intermedia, Poliducto Esmeraldas – Quito para la empresa DIMPROIN S.A. La investigación se resume en cinco capítulos, que se encuentran distribuidos de la siguiente manera:

Capítulo I – El Problema

En este capítulo se describen el problema, el árbol de problemas, el análisis crítico, los límites, la justificación y pertinencia de la investigación, las interrogantes que se plantean en la misma, así como el objetivo general y los objetivos específicos.

Capítulo II – Marco Teórico

En este capítulo se detallan los antecedentes, la fundamentación teórica, técnica y legal, las variables a ser analizadas y el desarrollo de los conceptos en los que se basan los cálculos posteriores, además de las hipótesis con las que se trabajará durante la investigación.

Capítulo III – Metodología

En el tercer capítulo se describe el enfoque investigativo, la modalidad, el tipo de investigación a realizar, la población y muestra, la operacionalización de las variables, las técnicas e instrumentos que se utilizarán y el procesamiento de los resultados obtenidos.

Capítulo IV – Análisis e interpretación de resultados

El capítulo cuarto contiene el análisis y la representación de los resultados obtenidos, los cálculos realizados, las curvas de referencia y los efectos en las curvas de las bombas luego de aplicar las leyes de afinidad. Además, contiene la verificación de la hipótesis y su interpretación de la misma, así como las conclusiones y recomendaciones del capítulo.

Capítulo V – Propuesta

Finalmente, en el quinto capítulo se encuentra la propuesta más óptima de solución para el tema planteado, la selección de alternativas, el diseño de la propuesta, la simulación en el software y la evaluación económica del proyecto. En este capítulo se presentan también las conclusiones y recomendaciones de la propuesta.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

TEMA

ANÁLISIS DEL SISTEMA DE ALIVIOS Y DRENAJES Y SU INCIDENCIA EN EL CONTROL OPERATIVO DEL TANQUE DE ALIVIO DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO INTERMEDIA DEL POLIDUCTO ESMERALDAS-QUITO PARA LA EMPRESA DIMPROIN

Planteamiento del Problema

Contextualización

Macro

La creciente demanda de combustibles en el Ecuador, ha ocasionado que actualmente en el país se generen nuevos proyectos estratégicos, que necesitarán de enormes recursos financieros, entre los cuales se encuentran la construcción de la refinería Esmeraldas; el sistema de almacenamiento, la modernización y repotenciación de estaciones y poliductos, el transporte y distribución de gas licuado de petróleo para la región sur del país, la construcción de un poliducto entre Pascuales en Guayaquil y Cuenca, que incrementa la red de transporte de derivados en Ecuador.

El transporte de productos limpios derivados del petróleo se realiza a través de una amplia red de poliductos con los que cuenta el país, con sus aproximadamente 1 596 km de longitud, llega a abastecer los principales centros de consumo del Ecuador.

Los principales poliductos en Ecuador lo constituyen: los poliductos Esmeraldas – Santo Domingo – Quito, Shushufindi – Quito, y Quito – Ambato – Riobamba, que abastece la zona norte y centro del país, y los poliductos Sto. Domingo – Pascuales, Pascuales – Libertad y Libertad – Manta para la zona sur del país. (Ver Tabla 1).

Tabla 1 Características generales Poliductos de EP PETROECUADOR

POLIDUCTO	LONGITUD	CAPACIDAD BOMBEO (BLS/DIA)	VOLUMEN ENPAQ. LINEA (BLS)	CAUDAL MAXIMO(BLS/H)
Esmeraldas-Santo domingo	164	60000	121800	2500
Santo Domingo-Beaterio	93	38000	42800	1600
Santo Domingo-Pascuales	275	38000	91800	1500
Quito-Ambato-Riobamba	180,4	24000	22177	450
Shushufindi- Quito	305	10800	37000	450
Libertad-Pascuales	128	21600	42300	900
Libertad-Manta	170	8400	21500	350
Tres Bocas-Pascuales	21	108000	10000	4500
Tres Bocas-Fuel Oil	5,5	48000	2700	2000
Tres Bocas - Salitral	5,5	36000	900	1500

Fuente: El petróleo en el Ecuador. La nueva era petrolera. (2013)

Elaborado por: César Ríos

El Poliducto Esmeraldas – Santo Domingo – Quito es de vital importancia para el país, debido a su capacidad de bombeo de 60 000 bls/día hasta Santo Domingo y de 38 000 bls/día hasta Quito y a sus 257 km de extensión, que lo convierte en el primero a nivel nacional. De ahí la importancia en el contexto ecuatoriano, tanto en el aspecto económico como en el aspecto operativo.

Entre la lista de proyectos ejecutables de la estatal petrolera ecuatoriana, el proyecto de modernización y repotenciación de estaciones y poliductos tiene por objeto garantizar el transporte y abastecimiento de los derivados del petróleo requeridos por las terminales Santo Domingo y El Beaterio en Ecuador.

Meso

El poliducto Esmeraldas – Quito tiene 4 estaciones de bombeo, Esmeraldas, Sto. Domingo, Faisanes, Corazón y una estación reductora en Quito (Beaterio), esta última abastece de combustibles a las zonas norte y centro del país, provincias de: Pichincha, Imbabura, Carchi, Cotopaxi, Tungurahua y Chimborazo.

La iniciativa del proyecto de repotenciación del Poliducto contempla el aumento de la capacidad de bombeo de 2 500 bls/h a 4 700 bls/h, y de 700 bls/h a 1 400 bls/h para el tramo Libertad – Pascuales e incluye además la expansión de capacidad y la modernización tecnológica de la terminal marítima de Esmeraldas, y la automatización de las operaciones de la terminal de Pascuales. El proyecto es desarrollado por la empresa estatal Petroecuador y requiere una inversión de US\$ 83 millones.

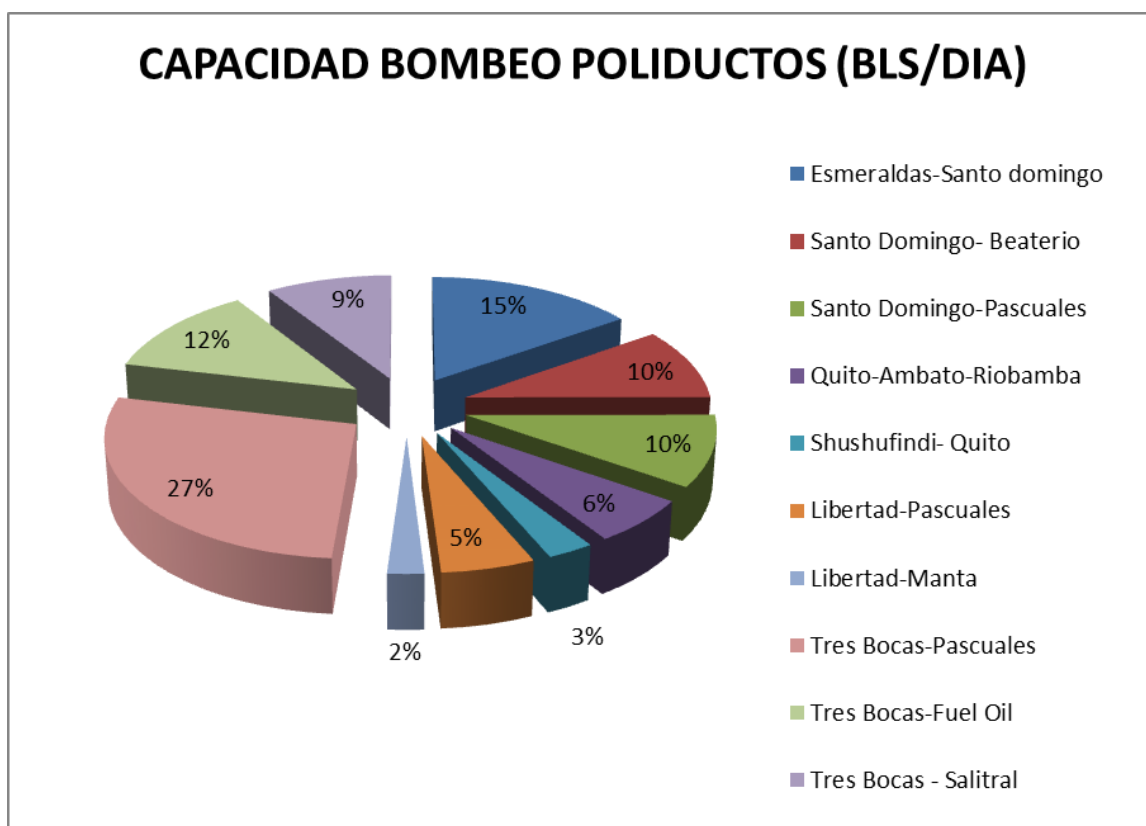


Figura 1 Capacidad bombeo poliductos EP PETROECUADOR.
Fuente: El petróleo en Ecuador. La nueva era petrolera. 2013
Elaborado por: César Ríos

Actualmente, el proyecto se encuentra en su fase final de ejecución con un avance en obras del 85%, que comprende obras civiles, electromecánicas, de instrumentación, control, SCADA, TICs y telecomunicaciones para la implementación de cuatro nuevos sistemas de bombeo eléctrico en las estaciones de Esmeraldas, Santo Domingo, Faisanes y El Corazón del Poliducto Esmeraldas – Quito.

Como consecuencia de la repotenciación del poliducto, ocurre la modificación de sistemas y la incorporación de nuevos equipos, ocasionando algunos problemas operativos en las estaciones intermedias, como paradas prolongadas por los trabajos directos en los sistemas principales del poliducto, equipos mayores sin mantenimiento en bodegaje, retrasos en la puesta en marcha de los equipos nuevos, sobredimensionamiento en los equipos de bombeo auxiliar, criterios de diseño erróneos en la instalación de las bombas, entre otros.

Al ver el funcionamiento poco eficiente no contemplado en los sistemas auxiliares que conforman las estaciones del poliducto, la unidad de proyectos a cargo está buscando las soluciones técnicas para corregir estas fallas con las mejores propuestas viables para corregirlas.

Micro

El área a ser intervenida para el estudio se centra en el sistema de alivios y drenajes de la estación de bombeo Faisanes del Poliducto Esmeraldas – Quito.

La red de alivios con los que cuentan las líneas de procesos y equipos de esta planta están conformados por tres sistemas:

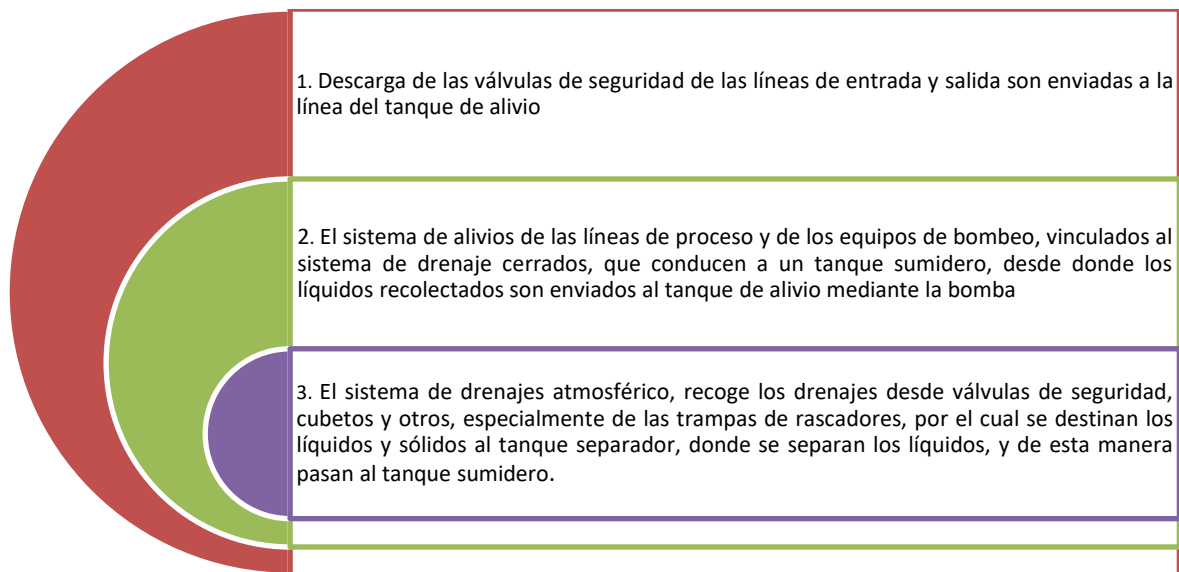


Figura 2 Sistemas que conforman la red de aliviados.

Fuente: Estudios de Ingeniería Básica y de Detalle, Proyecto “Modernización y Repotenciación de estaciones y poliductos Esmeraldas-Santo Domingo”, Petroecuador, 2011 (2011).

Elaborado por: César Ríos

El tanque de alivio es una unidad que recibe las descargas de las válvulas de alivio del sistema de la planta, diariamente la composición y el volumen del tanque son revisados para evacuar su contenido en base al combustible almacenado, para lo cual se verifica la planificación de bombeo y se lo reinyecta por medio de la bomba P-230151-2-20-B al manifold de succión de las bombas principales de la estación.

Actualmente el equipo de bombeo se encuentra fuera de servicio y está afectando la operatividad del tanque de alivio, ocasionando que el área usuaria utilice otros métodos para evacuar este producto del tanque lo que implica realizar actividades y gastos adicionales de operación.

Árbol de problemas

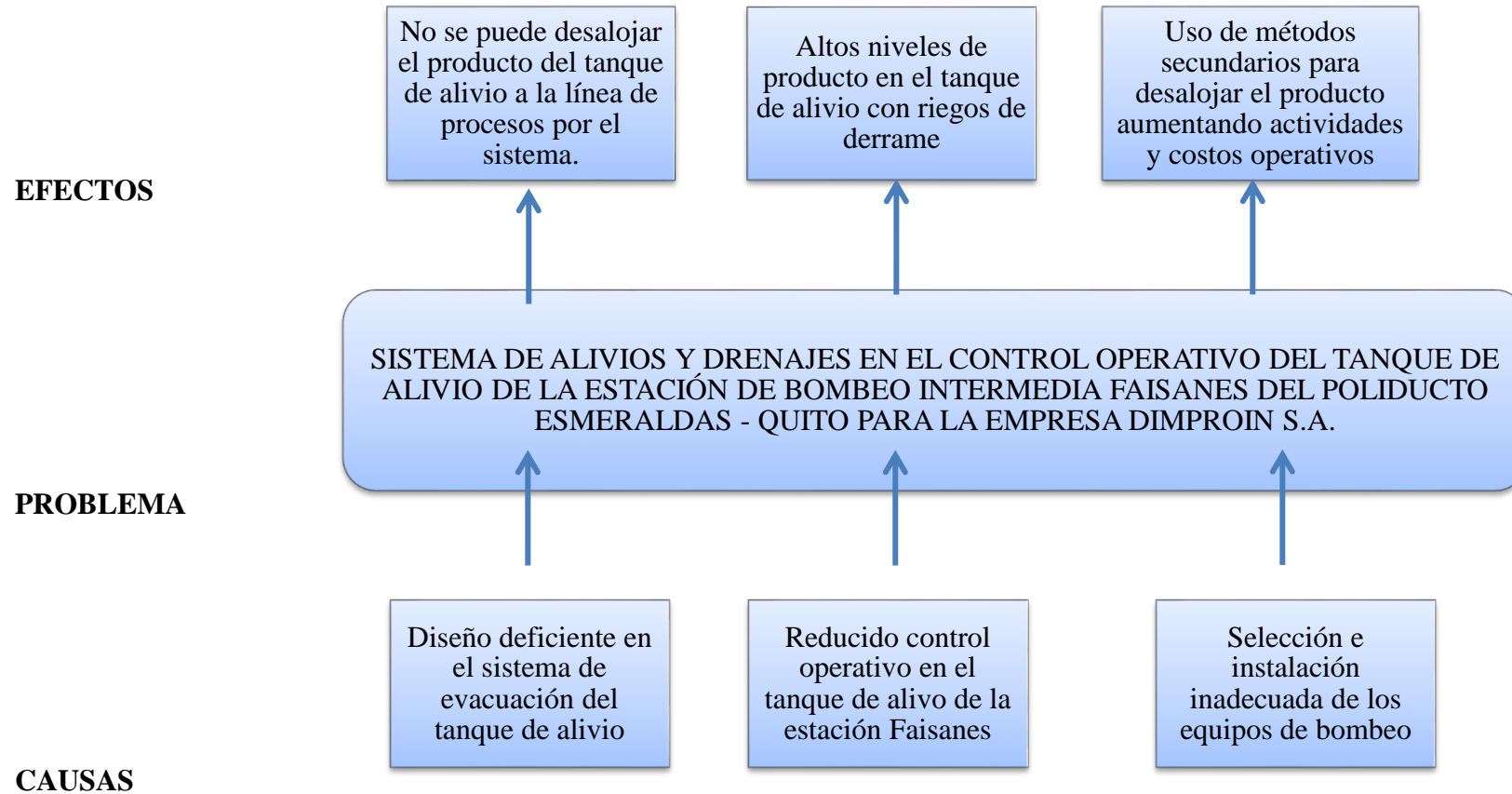


Figura 3 Relación Causa – Efecto.

Elaborado por: César Ríos

Análisis Crítico

El sistema de alivios y drenajes de la Estación de Bombeo Faisanes, del Poliducto Esmeraldas – Quito, al momento, no se encuentra operativo al 100%, debido a varias causas que impiden su óptimo funcionamiento. El análisis exhaustivo de este sistema permitirá identificar y corregir las causas que ocasionan que el sistema de evacuación del tanque de alivio de la estación no se encuentre operativo.

La primera causa detectada es que el diseño del sistema de evacuación del tanque de alivio es deficiente, el operador no puede evacuar todo el producto del tanque con los equipos instalados actualmente, por lo cual se impide el desalojo normal del producto desde el tanque de alivio hacia la línea de procesos del sistema.

En segundo lugar, el funcionamiento ineficiente de los equipos de bombeo ha reducido control operativo en el tanque de alivio de la estación Faisanes, ocasionando que el producto no pueda desalojar como actividad de operación rutinaria, lo que conduce a un alto riesgo de derrame del producto en el dique del tanque.

Finalmente, la selección e instalación inadecuada del equipo de bombeo en el tanque de alivio genera que el sistema no funcione de manera eficiente, por lo cual los operadores de la planta deben hacer uso de métodos secundarios de desalojo del producto, como por ejemplo el uso de auto-tanques (Vacuum), que incrementa actividades y costos operativos. Si se toman en cuenta las normativas técnicas aplicables y ambientales, pueden realizarse los correctivos necesarios que aseguren el óptimo funcionamiento del sistema intervenido.

Prognosis

Con los aspectos mencionados anteriormente, la intención de esta investigación es encontrar la solución técnica más viable que favorezca al desarrollo de una reingeniería aplicable a este sistema, tomando en cuenta los recursos que actualmente tiene la planta. De no existir una solución a este inconveniente que se presenta en el sistema de alivios y drenajes, es posible que se dé nuevamente el colapso del sistema, mismo que provocó realizar actividades de desalojo de producto por métodos alternativos. Si no se realizara continuamente, ocurriría un derrame del producto contenido en el tanque de alivio, que ocasionaría un severo daño ambiental en el

ecosistema del lugar. Adicionalmente, deben considerarse los costos adicionales que estos métodos alternativos de desalojo provocan, mismos que no se encuentran contemplados en los gastos operativos de la estación.

El propósito de EP Petroecuador, que es el área usuaria, es habilitar este sistema utilizando los recursos que tiene la planta y que no implique desembolsos por concepto de cambio de equipos. Iniciar un nuevo proceso requeriría las etapas de diseño, selección e instalación de nuevos equipos, que resultaría muy largo y costoso. La solución oportuna a este problema permitirá que la planta funcione en óptimas condiciones una vez que concluya el proyecto de modernización impulsado por el área usuaria.

Formulación del Problema

¿Cómo incide el sistema de alivios y drenajes en el control operativo del tanque de alivio en la estación de bombeo intermedia del Poliducto Esmeraldas – Quito?

Delimitación del Objeto de la Investigación

Delimitación de contenidos:

Campo: Ingeniería Industrial

Área: Mecánica de fluidos

Aspecto: Sistema de alivios y drenajes.

Control operativo del tanque de alivio de la estación de bombeo Faisanes

Delimitación Espacial: La investigación se desarrollará en la estación de bombeo Faisanes del Poliducto Esmeraldas – Quito de EP PETROECUADOR en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas para la empresa DIMPROIN.

Delimitación Temporal: El presente trabajo de investigación se desarrollará en el periodo 2016

Unidades De Observación: las variables a observar son:

- ✓ Presión de descarga
- ✓ NPSH disponible
- ✓ NPSH requerido

- ✓ Caudal
- ✓ Ubicación del equipo

Justificación

El **interés** de la presente investigación es aportar con una solución viable para el óptimo desempeño del proceso operativo del proyecto del poliducto Esmeraldas – Santo Domingo – Quito, para que la empresa EP PETROECUADOR pueda cumplir su objetivo de duplicar los caudales operativos de productos limpios derivados del petróleo, de manera que satisfaga la creciente demanda nacional.

La **importancia** de esta solución es brindar herramientas que permitan el correcto funcionamiento del sistema del tanque de alivio de la estación de bombeo pues, de lo contrario, podría ocasionar la saturación del sistema de alivios y drenajes y ocasionar derrames que tendrían una afectación directa al medio ambiente. Las pérdidas económicas y ambientales representarían costos elevados para la empresa.

Dadas las condiciones actuales de operación de la planta y la voluntad de la empresa EP Petroecuador para repotenciar el poliducto, es **factible** la implementación de esta solución en el mediano plazo pues, además de la reducción de costos, optimizará los procesos de operación en la planta.

La presente investigación es **original** pues, hasta el momento, no ha habido un estudio serio acerca de las condiciones actuales de operación ni de la posibilidad de mejora de los sistemas. La falta de estos estudios ha conducido a los problemas que enfrenta la estación y por ello es necesario el presente estudio, que permitirá analizar y determinar la solución técnica más viable para corregir el funcionamiento ineficiente de la unidad operativa del tanque de alivio.

La **misión** y **visión** de este proyecto implementado por EP Petroecuador, abarca los sistemas y los componentes que conforman el área del tanque de alivio de la estación. Las aspiraciones de las autoridades de la empresa son habilitar y tener operativo esta parte del proceso de la planta para poder dar inicio a la siguiente fase de aumento de caudales. Esta investigación aporta para la consecución del proyecto empresarial.

Los **beneficiarios** directos serán los personeros y usuarios de EP Petroecuador.

Interrogantes de la Investigación

¿Cuáles son las variables en el sistema de alivios y drenajes de la Estación de Bombeo Faisanes del Poliducto Esmeraldas – Santo Domingo – Quito?

¿Qué factores impiden el óptimo control operativo en el tanque de alivio?

¿Qué soluciones existen para mantener la disponibilidad y operabilidad en el tanque de alivio?

Objetivos

Objetivo General

Analizar el sistema de alivios y drenajes en el control operativo del tanque de alivio en de la estación de bombeo Faisanes del Poliducto Esmeraldas – Quito.

Objetivos específicos

- ✓ Analizar las variables del sistema de alivios y drenajes de la Estación de Bombeo Faisanes del Poliducto Esmeraldas – Santo Domingo – Quito.
- ✓ Identificar los factores que impiden el óptimo control operativo en el tanque de alivio de la Estación de Bombeo Faisanes del Poliducto Esmeraldas – Santo Domingo – Quito.
- ✓ Seleccionar la propuesta más viable para mantener la disponibilidad operativa del tanque con costos y gastos reducidos.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

Antecedentes investigativos

Durante el transcurso de la presente investigación, se ha procedido a realizar una revisión en las distintas bibliotecas virtuales del país, para evitar cualquier controversia que pueda existir derivada de este trabajo. En cuanto al control operativo de tanque, existe la tesis de grado “DISEÑO DEL SISTEMA ELÉCTRICO Y CONTROL PARA EL MONTAJE DE DOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE CRUDO DE PETROPRODUCCIÓN”, de autoría del Ing. Richard Jesús Zamora Mero, ingeniero de la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Escuela Politécnica Nacional en el año 2008, cuyo objetivo principal es “realizar el diseño eléctrico y control e instrumentación para el montaje de dos tanques de almacenamiento de crudo, siguiendo las normas internacionales para áreas clasificadas por la presencia de líquidos y gases explosivos” (Zamora M., 2008), cuya área de interés es similar a la variable dependiente de esta investigación.

Otra investigación previa realizada en torno a los temas que atañen a esta investigación es la tesis del “ESTUDIO DEL FENÓMENO DE LA CAVITACIÓN EN UNA BOMBA CENTRÍFUGA DE 1 HP Y SU INFLUENCIA EN LOS PARÁMETROS DE RENDIMIENTO ENERGÉTICO EN LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA”, presentada por el Ing. Santiago Fabián Vargas Badillo de la Universidad Técnica de Ambato, cuyo objetivo principal es analizar el fenómeno de la cavitación en una bomba centrífuga de 1 HP y su influencia en los parámetros de rendimiento energético. El aporte realizado por esta investigación es por cuanto permite conocer cuáles son las zonas afectadas en una bomba que presenta cavitación, relacionado con la variable dependiente de esta investigación.

El Ing. Alexis Paúl López Carrión de la Escuela Politécnica Nacional presenta su investigación “EVALUACIÓN DE ESCENARIOS Y DETERMINACIÓN DE CONTINGENCIA CRÍTICA PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA DE ALIVIO DE UNA PLANTA DESTILADORA DE CRUDO PARA LA EMPRESA DOWNSTREAMS”, cuyo objetivo general es evaluar los escenarios de contingencia más críticos que pueden impactar de forma negativa al medio ambiente, al personal o comunidades alrededor y a la operación de la planta, para posteriormente establecer el diseño de un sistema de alivio para la planta destiladora de crudo. Su relación con la presente investigación es para minimizar los riesgos que pueden derivarse del sistema de alivios contemplados en la variable dependiente.

En cuanto a investigaciones previas que tengan relación con la variable independiente, cabe mencionar que se toman en cuenta dos investigaciones, la primera, la tesis de previa para la obtención de la Tecnología de César Antonio Ríos Narváez de la Universidad Tecnológica Equinoccial, denominada “CARACTERIZACIÓN DE LODOS CONTAMINADOS CON HIDROCARBUROS DE LA PISCINA DE LODOS DEL TERMINAL DE PRODUCTOS LIMPIOS DEL BEATERIO”, cuyo objetivo principal es realizar un estudio técnico para el tratamiento de sedimentos por encapsulamiento en una piscina de lodos en el Terminal de combustibles del Beaterio y establecer el uso de productos seleccionados para optimizar el proceso de limpieza y tratamiento de los combustibles residuales de la piscina. Su pertinencia es por cuanto topa el tema de mantenimiento, presente en esta investigación

La segunda investigación consultada, adicional a los manuales de operación de la EP Petroecuador, es el “MANUAL DE DISEÑO PARA SISTEMAS DE TUBERÍAS Y TANQUES ATMOSFÉRICOS DE TECHO FIJO”, elaborada por el Br. Miguel Alejandro Guzmán Acosta de la Universidad Andina Simón Bolívar, Venezuela, de diciembre de 2012. Este manual trata acerca de la construcción de sistemas de tuberías para la empresa SVINCA, las soluciones más adecuadas para la implementación de estos sistemas, así como mejorar la calidad en los procesos empresariales y de negocio de dicha empresa. La variable independiente de la presente investigación tiene similitudes con este manual, sin embargo, este último solo contiene la normativa técnica en la que basará sus mediciones y diseños, en tanto que esta investigación intenta dar una solución óptima a un problema existente.

FUNDAMENTACIONES

Fundamentación teórica

En el trabajo de la presente tesis se ha procedido a verificar todos aquellos documentos que permitan hacer una profusa investigación y provean al texto de contenido rigurosamente científico. No obstante, se ha hecho también una revisión de información científico técnica que han servido de referencia para construir el marco teórico de la presente tesis, que permiten interpretar en mejores condiciones los hallazgos percibidos en la investigación.

La información presente en este documento ha sido revisada en varios libros acerca de ingeniería hidráulica y mecánica de fluidos, diseño de bombas, tuberías, tanques, entre otros. Adicionalmente, existe un sinnúmero de documentos indexados acerca de los mismos temas, que recogen la parte técnica aplicada, así como diversos manuales de operación generales con los que trabajan las estaciones de bombeo.

Fundamentación técnica

Para realizar la fundamentación técnica de esta investigación se toman en cuenta las normativas internacionales aplicables a este tipo de operación, en este caso, las normas aplicables son ASME, API MPMS, NACE e ISO 14000, además se ha recurrido a documentos existentes tanto en las bibliotecas propias del autor como en los archivos de la estación de bombeo. Los documentos a los que se hace referencia en esta investigación son diversos manuales de operaciones, ingenierías básicas y de detalle de la Estación de Bombeo Faisanes del poliducto Esmeraldas – Santo Domingo – Quito, inspecciones y visitas de campo con sus bitácoras respectivas.

Fundamentación legal

En cuanto al aspecto legal que sirve como base para la presente investigación y que sustenta los aspectos anteriores, es necesario manifestar que se han tomado en cuenta los siguientes cuerpos legales:

- La Constitución del Ecuador en su artículo 276, que establece el régimen de desarrollo tendrá como uno de sus objetivos el de recuperar y conservar la naturaleza y mantener un ambiente sano y sustentable, los artículos 313, 315 y 317, que establecen la administración y regulación de los sectores estratégicos, su inalienabilidad e imprescriptibilidad.
- La Ley de Gestión Ambiental, que aprueba los proyectos que de alguna manera pueden afectar la convivencia armónica de la naturaleza y garantiza el acceso de las personas y comunidades a un ambiente libre de peligros ambientales.
- La Ley de Hidrocarburos, que regula los proyectos de exploración, explotación, transporte, almacenamiento, refinación y comercialización de los hidrocarburos en Ecuador.
- Las políticas empresariales de EP Petroecuador, así como sus reglamentos internos de seguridad, salud y ambiente.
- Las demás leyes, normativas y ordenanzas que contemplen las instituciones de los Gobiernos Autónomos Descentralizados.

Organizador Lógico de Variables

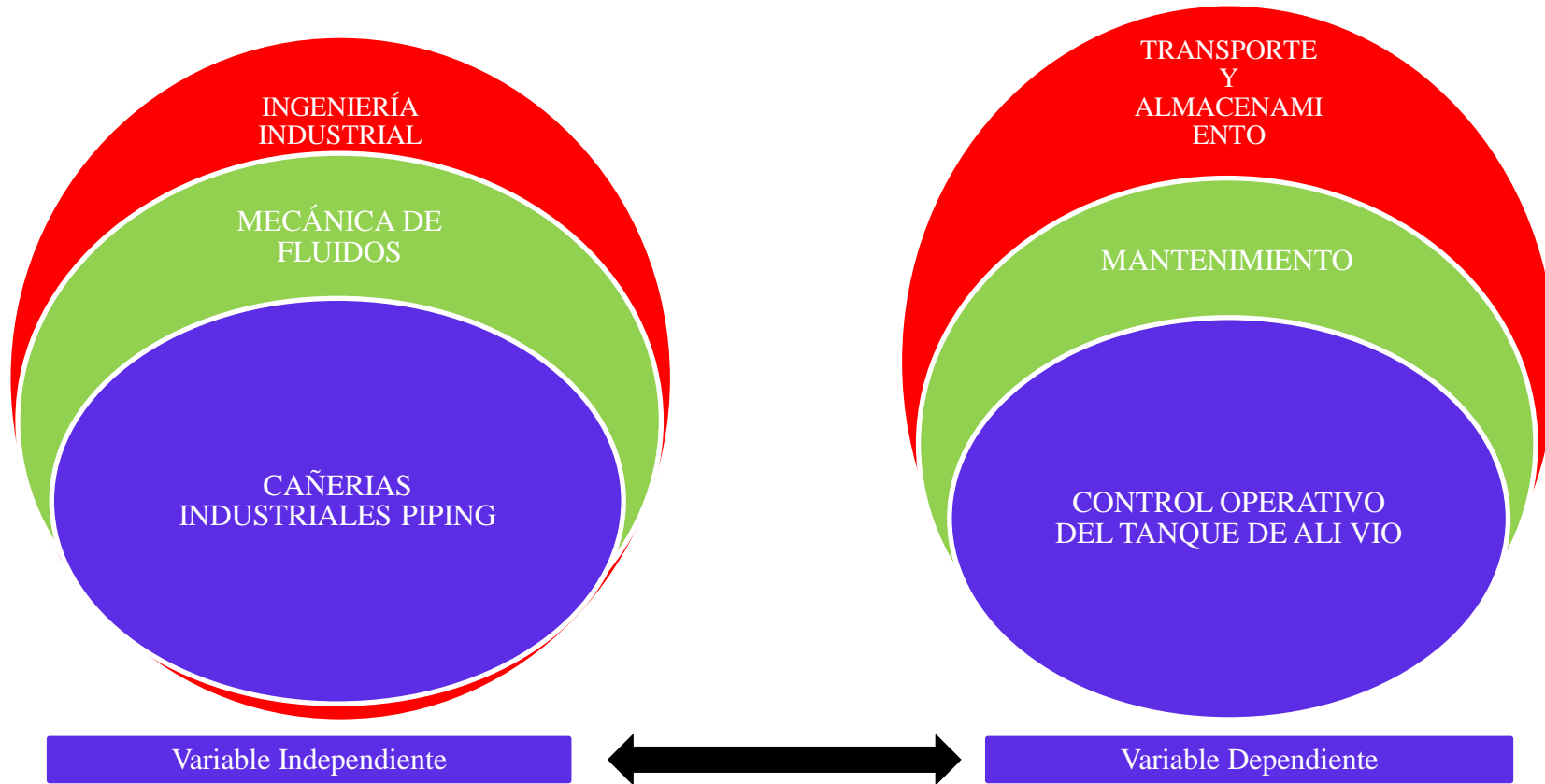


Figura 4 Categorías fundamentales.
Elaborado por: César Ríos

Constelación de ideas conceptuales de la variable independiente

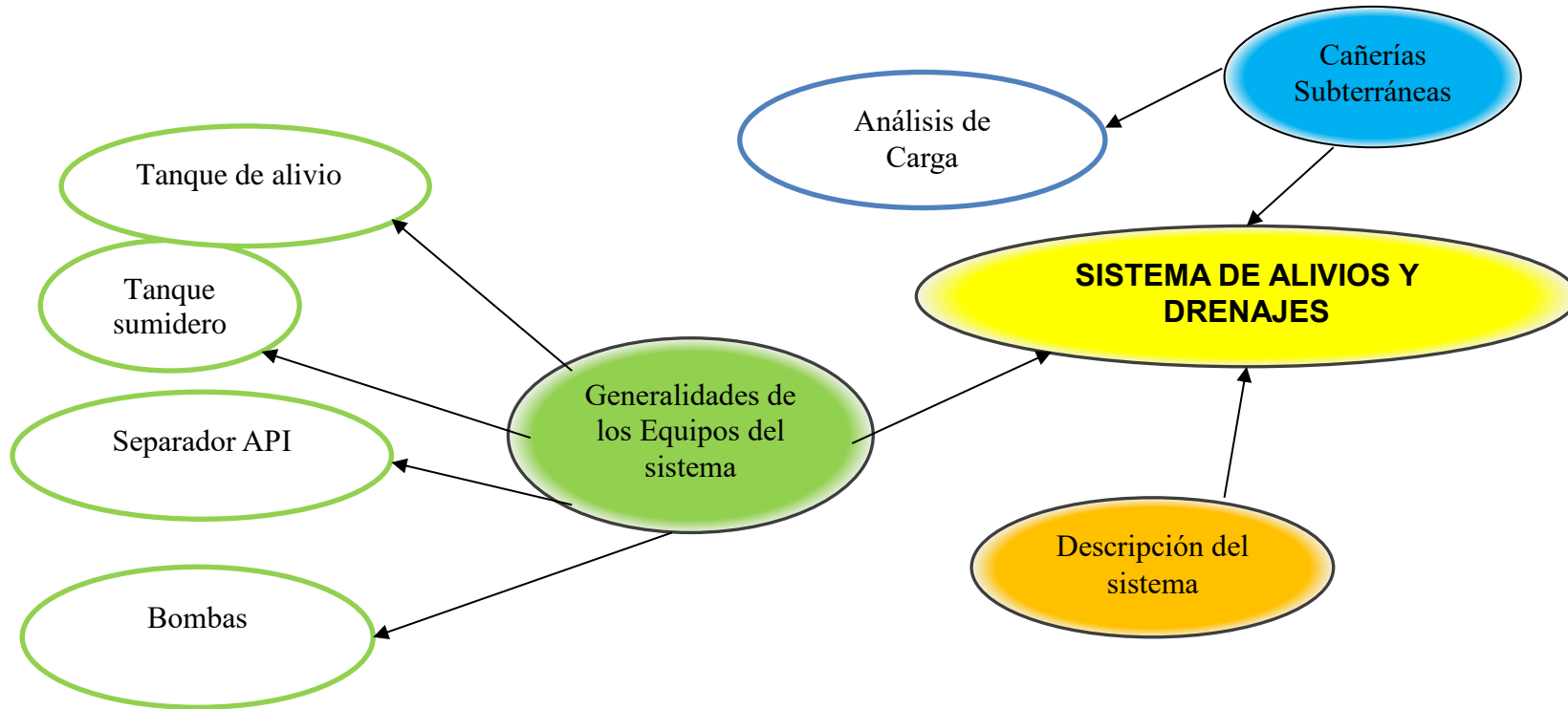


Figura 5 Constelación de ideas variable independiente
Elaborado por: César Ríos

Red de inclusiones variable dependiente

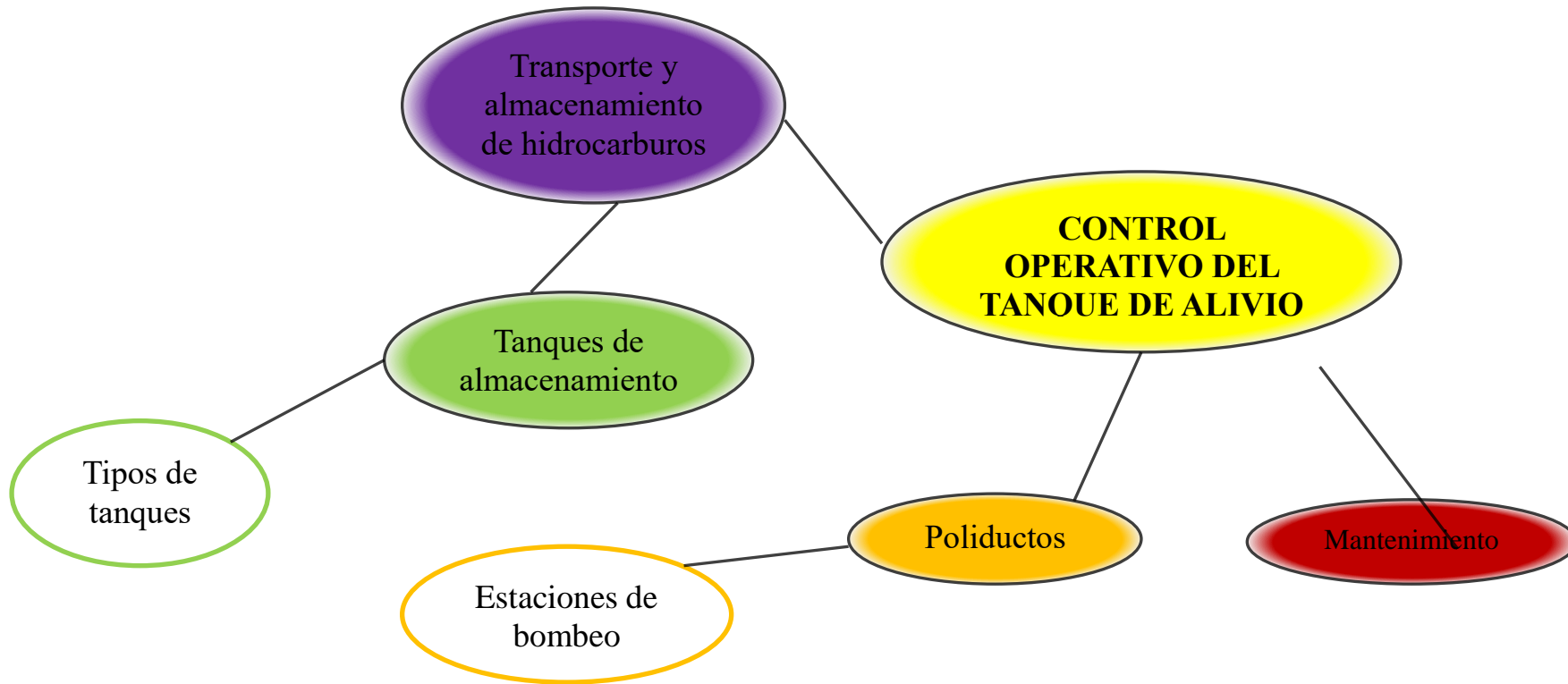


Figura 6 Constelación de ideas variable dependiente.

Elaborado por: César Ríos

DESARROLLO DEL MARCO TEÓRICO

INGENIERÍA INDUSTRIAL

Definición

La Ingeniería Industrial es una rama de la ingeniería que abarca conocimientos de las matemáticas y de las ciencias naturales, pero de una manera más precisa y especializada. Roos Hammond, citado por Manuel Ángel Camacho (2006), define a la Ingeniería como:

“La Ingeniería Industrial abarca el diseño, la mejora e instalación de sistemas integrados de hombre, materiales y equipo. Con sus conocimientos especializados y el dominio de las ciencias matemáticas, físicas y sociales, juntamente con los principios y métodos del diseño y análisis de ingeniería, permite predecir, especificar y evaluar los resultados a obtener de tales sistemas” (Camacho O., 2006, pág. 12).

Este concepto resume, de manera general, aquellas cuestiones que son materia de estudio para la Ingeniería Industrial. Podría decirse también que la Ingeniería Industrial se enfoca en brindar solución a aquellos procesos que limiten o creen dificultades en la actividad empresarial.

A través del estudio y la elaboración de procesos, la ingeniería industrial brinda soluciones adecuadas a la industria. Las fases que deben atravesar los procesos son el diseño, la mejora e instalación de sistemas integrados de hombre, materiales y equipo. La aplicación de métodos adecuados en cada una de estas fases, además de la aplicación de las ciencias matemáticas, sociales y físicas, permite “predecir, especificar y evaluar los resultados a obtener de tales sistemas” (Camacho O., 2006, pág. 58).

Una de las áreas de injerencia de la Ingeniería Industrial es la mecánica de los fluidos y la hidráulica, pues el conocimiento adecuado permite dar solución a la empresa hidráulica, petrolera y mecánica en el desarrollo de sus actividades.

LA MECÁNICA DE LOS FLUIDOS Y LA HIDRÁULICA

Según Giles (1969), la mecánica de fluidos es una ciencia que estudia el comportamiento de los fluidos, ya sea en reposo o en movimiento. Existen dos momentos en los que las propiedades de los fluidos juegan papeles importantes: en la estática, el peso específico es la propiedad importante, mientras que en el flujo de fluidos la densidad y la viscosidad son las que predominan. También es menester revisar que cuando los fluidos tienen una compresibilidad apreciable, deben considerarse los principios de la termodinámica. Al intervenir presiones manométricas negativas la tensión de vapor pasa a ser importante (Giles, 1969, pág. 2). La mecánica de fluidos es la ciencia que permite comprender tanto el comportamiento de los fluidos como sus propiedades intrínsecas.

Para Streeter (1970), deben considerarse también los efectos de la tensión superficial, dado que se forman gotitas en “el movimiento de chorros pequeños y en estados donde se presentan superficies de contacto líquido-gas-sólido o líquido-líquido-sólido, tanto como en la formación de ondas capilares. La propiedad de presión de vapor, determinante del cambio de fase líquida a gaseosa, llega a ser importante cuando se alcanzan presiones pequeñas”. (Streeter, 1970, pág. 13). El comportamiento de los fluidos depende directamente de sus propiedades, lo que permitirá conocer sus efectos en estados de reposo y movimiento. Por ello, es importante determinar los conceptos y las características de cada componente de este proceso.

Definición de fluido

“Los fluidos son sustancias capaces de «fluir» y que se adaptan a la forma de los recipientes que los contienen (...). Son compresibles en cierto grado y ofrecen poca resistencia a los cambios de forma” (Giles, 1969).

Es decir, fluido es una sustancia que tiene la capacidad de fluir y toma la forma del recipiente que los contiene. Los fluidos pueden dividirse en líquidos y gases, cada uno con sus características intrínsecas que los hacen diferentes:

- a) Los líquidos son incompresibles, ocupan un volumen definido y tienen superficies libres.

b) Los gases, en cambio, son compresibles, y pueden ocupar todas las partes del recipiente contenedor (Giles, 1969, pág. 1).

Propiedades de los Fluidos

Peso específico

Es la relación entre el peso y la unidad de volumen de la sustancia. En los líquidos, γ puede considerarse constante para las variaciones ordinarias de presión (Giles, 1969, pág. 2). El peso específico del agua para las temperaturas más comunes es de 1000 kg/m³.

$$\gamma = \frac{p}{V} \tag{1}$$

En donde:

γ = peso específico (kg/m³)

p = peso (Kg)

V = volumen (m³)

El cálculo del peso específico se obtiene al multiplicar su densidad por la gravedad (9.8 m/s²) (Carnicer Royo, 2004, pág. 10).

Densidad

Es la cantidad de masa que tiene un cuerpo en relación a su volumen. (Giles, 1969, pág. 2). Su fórmula es:

$$\rho = \frac{m}{V} \tag{2}$$

En donde:

ρ = densidad

m = masa (kg)

V = volumen (m³)

Densidad relativa o gravedad específica: Según Giles (1969), es una medida adimensional que indica la relación que existe entre la densidad de una sustancia con respecto a la densidad del agua.

$$\rho = \frac{\rho \text{ Líquido}}{\rho \text{ agua}}$$

(3)

Viscosidad de un fluido

Según Giles (1969), la viscosidad es la capacidad de fluir de la sustancia: entre más viscoso sea un fluido, tendrá mayor resistencia al movimiento.

Presión de vapor

Giles (1969) dice que la presión de vapor de un líquido es directamente proporcional a la temperatura, es decir, a mayor temperatura, mayor presión.

Presión de un fluido

Es la fuerza que ejerce un fluido sobre las paredes del recipiente que lo contiene. La presión siempre actúa en forma perpendicular a esas paredes. Los fluidos ejercen presión en todas partes. (Tippens, 2011, pág. 306)

Los fluidos ejercen mayor presión a mayor profundidad. Un fluido ejerce la misma presión en todas las direcciones a cualquier profundidad.

$$P = \frac{p}{A} = \gamma h$$

(4)

En donde:

P = presión (N/m²)

p = Peso del fluido (kg)

A = Unidad de área (m²)

γ = Peso específico del fluido

h = Altura (m)

La presión del fluido en cualquier punto es directamente proporcional a la densidad del fluido y a la profundidad.

Flujo de fluidos en tuberías

Giles (1969), define dos tipos de flujos:

Flujo Laminar: es el movimiento del fluido suave y ordenado que sigue una trayectoria paralela formando capas o láminas, cuyo número de Reynolds es menor de 2000.

Flujo Turbulento: es el movimiento desordenado de las partículas sin una trayectoria coordinada, cuyo número de Reynolds es mayor a 4 000.

Número de Reynolds: El número de Reynolds es un número adimensional que caracteriza el tipo de flujo que se utiliza para realizar cálculos de diseño

Para tuberías circulares, en flujo a tubería llena,

$$R_E = \frac{vD}{\mu}$$

(5)

En donde

v = velocidad media del fluido (m/seg)

D = diámetro de la tubería (m)

μ = viscosidad cinemática del fluido (m²/seg)

Flujo de Fluido

Tippens (2011) define el flujo de fluido como "el volumen de fluido que pasa a través de cierta sección transversal en unidad de tiempo", cuya fórmula es:

$$\text{Gasto} = \text{velocidad} \times \text{sección transversal (vt)}$$

(6)



Figura 7 Cálculo de la velocidad de un fluido que circula por un tubo
Fuente: Tippens (2011, pág. 316)

Ecuación de la Continuidad

Un líquido fluye a mayor rapidez cuando pasa a través de una sección estrecha de tubería, y lo hace a menor rapidez en un tramo más amplio. Mott (1996), muestra la ecuación de la continuidad aplicada para líquidos, la cual establece que para un flujo estable, la rapidez de flujo de volumen es la misma en cualquier sección.

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

(7)

En donde:

A_1 = área 1 (m^2)

v_1 = velocidad 1 (m/s)

A_2 = área 2 (m^2)

v_2 = velocidad 2 (m/s)

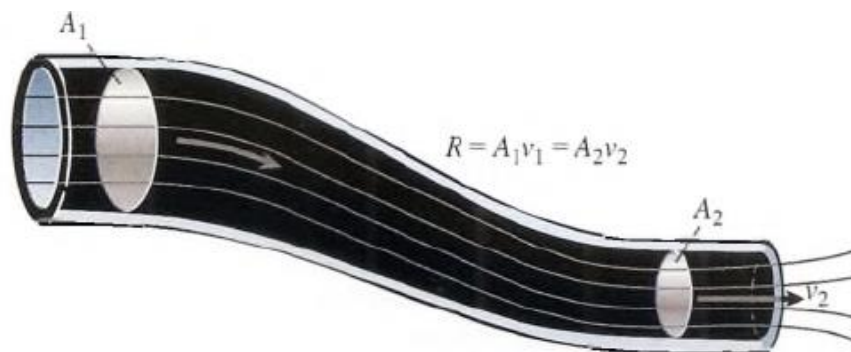


Figura 8 El producto de la velocidad del fluido es constante en cualquier punto.
Fuente: Tippens (2011, pág. 316)

Velocidad de Flujo

Existen factores que afectan la velocidad de flujo adecuada en los sistemas de fluidos, entre ellos el tipo de fluido, la longitud del sistema, el tipo de conducto, la caída de presión, los dispositivos tales como bombas o válvulas conectadas a los conductos o tuberías, la temperatura, la presión y el ruido. Según Robert Mott (1996), las velocidades de flujo recomendadas en sistemas de potencias de fluidos responden a la distribución de la tabla 2.

Tabla 2 Velocidades de flujo recomendadas en sistemas de presión

	UNIDADES SI
Salidas a bombas (líneas de succión)	0.6 a 2.2 m/s
Salidas a bombas (líneas de descarga o de presión)	2.4 a 7.5 m/s
Líneas de retorno	0.6 a 2.6 m/s

Fuente: Robert Mott (1996, pág. 152)

Elaborado por: César Ríos

Conservación de la Energía - Ecuación de Bernoulli

La ecuación de Bernoulli describe cómo se comportan los líquidos al moverse en una corriente. (Tippens, 2011, pág. 318) De manera simple, puede enunciarse de la siguiente manera:

$$P + \rho gh + \frac{1}{2} \rho v^2 = \text{constante}$$

(8)

En donde:

P = Presión absoluta (N/m^2)

ρ = densidad (Kg/m^3)

g = gravedad (m/s^2)

h = altura (m)

v = velocidad (m/s)

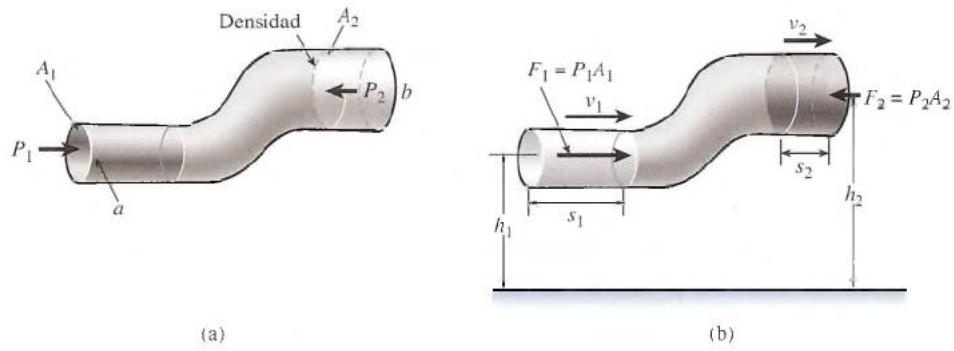


Figura 9 Deducción de la ecuación de Bernoulli
Fuente: Tippens (2011, pág. 319)

Teorema de Torricelli

Es una de las aplicaciones de la ecuación de Bernoulli para el estudio de flujo de un líquido que se encuentra en un recipiente a través de un orificio, bajo acción de la gravedad (Tippens, 2011, pág. 320). Su fórmula es:

$$v = \sqrt{2gh}$$

(9)

En donde:

v = velocidad de salida de un líquido (m/s)

g = gravedad (m/s²)

h = altura (m)

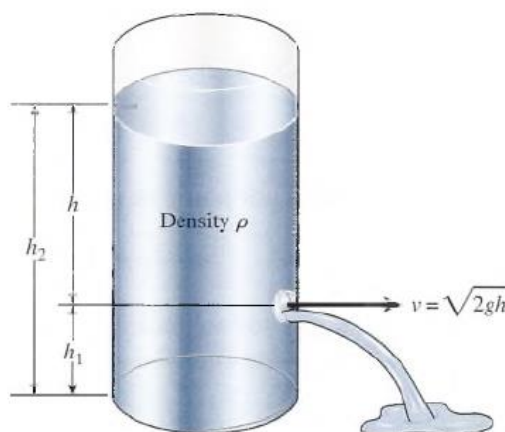


Figura 10 Teorema de Torricelli.
Fuente: Tippens (2011, pág. 320)

Pérdidas de Energía debido a la Fricción

En los tramos de tuberías existen pérdidas de energía como consecuencia de la fricción. Para calcular estas pérdidas hay que tomar en cuenta los siguientes puntos:

Ecuación de Darcy - Weisbach

Según Mott (1996), la ecuación de Darcy – Weisbach se emplea para calcular la pérdida de energía debido a la fricción en las secciones de las tuberías largas y rectas. La ecuación es la siguiente:

$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (10)$$

En donde:

h_f = pérdida de carga debida a la fricción (m)

f = factor de fricción de Darcy (adimensional)

L = longitud de la tubería (m)

D = diámetro de la tubería (m)

v = velocidad media del fluido (m/s)

g = aceleración de la gravedad $\approx 9,80665 \text{ m/s}^2$ (Mott, 1996, pág. 237)

Las pérdidas por fricción en flujos turbulentos requieren considerar dos factores adicionales antes de aplicar esta fórmula: el número de Reynolds y el factor de rugosidad de la tubería, de acuerdo a la

Tabla 3:

Tabla 3 Factor de rugosidad de la tubería

Material	Rugosidad ϵ (m)
Vidrio, plástico	Suavidad
Cobre, latón, plomo, (tubería)	$1,5 \times 10^{-6}$
Hierro fundido sin revestir	$2,4 \times 10^{-4}$
Hierro fundido revestido de asfalto	$1,2 \times 10^{-4}$
Acero comercial o acero soldado	$4,6 \times 10^{-5}$
Hierro forjado	$4,6 \times 10^{-5}$
Acero remachado	$1,8 \times 10^{-3}$
Concreto	$1,2 \times 10^{-3}$

Fuente: Mecánica de Fluidos, Mott (1996)

Elaboración: César Ríos

Una vez que obtenemos los valores adimensionales del número de Reynolds y el factor de rugosidad, aplicamos los diagramas de Moody o la fórmula para flujo turbulento de Swamee - Jaine, para obtener el factor de fricción:

$$f = \frac{1.325}{\left[\ln \left(\frac{\epsilon}{3.7D} + \frac{5.74}{Re} \right)^2 \right]} \quad (11)$$

En donde:

f = factor de fricción

ϵ = valor de rugosidad de la tubería. (m)

D = diámetro (m)

Re = número de Reynolds (adimensional)

Otras Pérdidas de Carga

Ranald Giles (1969) indica que otras pérdidas de carga, tales como las que tienen lugar en los accesorios de tuberías, se dan generalmente en la forma:

$$(m) = K(v^2/2g) \quad (12)$$

En donde:

m = pérdida de carga por accesorio

K = constante de accesorios (*)

v = velocidad (m/s)

g = gravedad (m/s²)

(*) Los valores se muestran en el Anexo 1.

BOMBAS

Existen diferentes conceptos de bombas que difieren según los autores que las definan. Un concepto más integral es el que muestra Carnicer Royo (2004), el cual refiere que las bombas: "son máquinas que engendran energía hidráulica por transformación de la energía mecánica que viene del exterior (motor), la cual se añade a la energía cinética y potencial del líquido que

pasa a través de ellas. Estas máquinas mueven el líquido como consecuencia de un intercambio de energía por rozamiento (Carnicer Royo, 2004, pág. 20)".

En general, las bombas son máquinas hidráulicas cuyo propósito es transportar un fluido líquido desde un punto a otro, habitualmente desde diferentes alturas.

Tipos de bombas

Existen varias clases de bombas, tal cual se muestra en Figura 11:



Figura 11 Tipos de bombas
Fuente: Carnicer Royo (2004, pág. 19).
Elaboración: César Ríos

Por cuestiones de estudio, esta investigación se centrará en el análisis de las bombas centrífugas, que son las que aplican al tema de estudio.

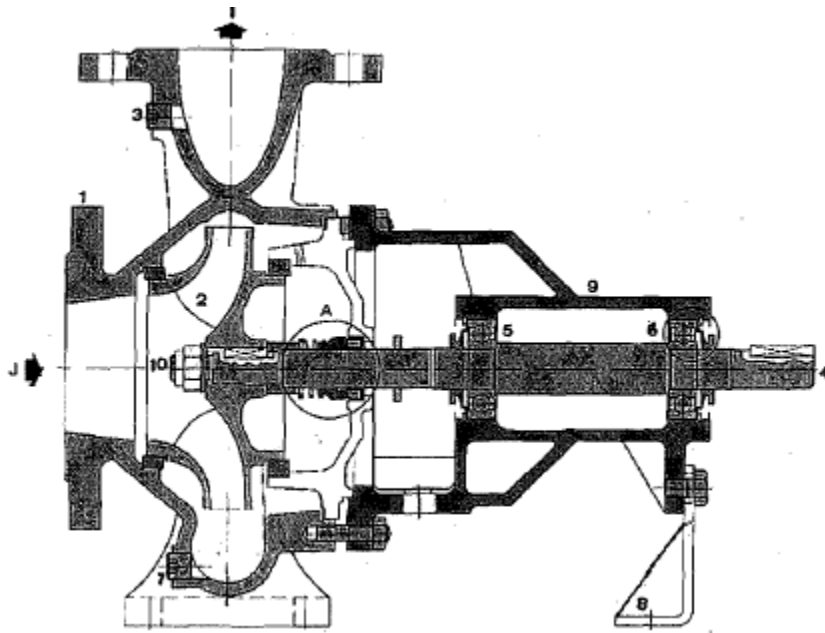


Figura 12 Partes de la bomba centrífuga.
Fuente: Carnicer Royo (2004, pág. 21).

1. Cuerpo de bomba
 2. Rodete o impulsor
 3. Tapón de manómetro
 4. Eje de bomba
 5. Rodamiento lado bomba
 6. Rodamiento lado motor
 7. Tapón vaciado bomba
 8. Pie de apoyo
 9. Soporte palier
 10. Tuerca sujeción rodete
- Letras: J. Aspiración. I. Impulsión

Terminología Básica

Para fines de este estudio, se toman como referencia los conceptos expresados por Carnicer Royo (2004):

Altura geométrica: Es la altura vertical comprendida entre el nivel del líquido a elevar hasta el punto más alto.

Altura de aspiración: es la distancia desde el nivel del líquido hasta el eje de la bomba. Es aspiración positiva cuando el líquido fluye desde una fuente elevada a la succión de la bomba por gravedad. (Flowserve, 2013)

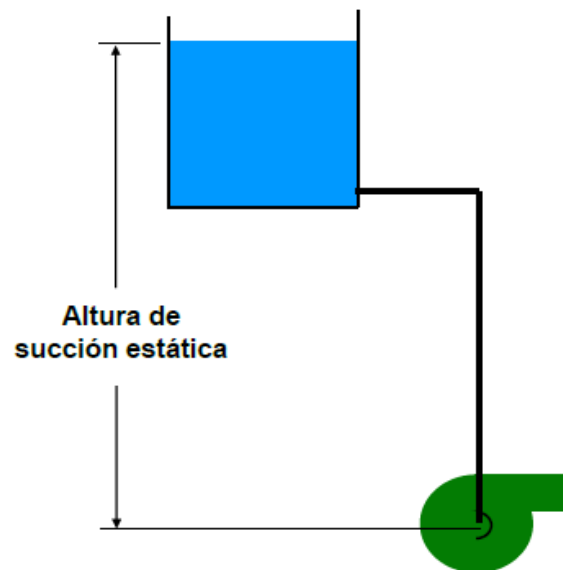


Figura 13 Altura de aspiración.

Fuente: Curso básico de bombas Flowserve (2013, pág. 18)

Altura de impulsión: desde el eje de la bomba hasta el punto de elevación máximo.

Altura estática de elevación: es la altura a la que un líquido debe elevarse para alcanzar el ojo del impulsor (Flowserve, 2013, pág. 20)

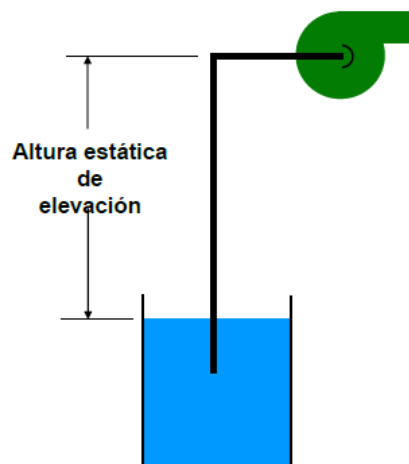


Figura 14 Altura estática de elevación.

Fuente: Curso básico de bombas Flowserve (Flowserve, 2013, pág. 20)

Altura manométrica: es la suma de la altura geométrica sumadas a las pérdidas de carga.

Caudal o capacidad: es el volumen de líquido elevado por unidad de tiempo.

NPSH: Net Positive Suction Head por sus siglas en inglés, o en español *altura neta positiva de aspiración*, es la diferencia entre la presión del líquido a bombear referido al eje del impulsor y la presión de vapor del líquido a la temperatura. El NPSH adecuado permite que la bomba trabaje de manera óptima, pues indica la altura de presión en la línea de aspiración por encima del vapor del líquido para que este no se vaporice (**Carnicer Royo, 2004, pág. 22**).

NPSH disponible: es la energía que tiene un líquido a la entrada de la bomba por encima de la energía del líquido. En otras palabras, es la altura hidráulica del fluido menos la presión de vapor y menos la altura geométrica de aspiración (**Carnicer Royo, 2004, pág. 22**). Su forma de cálculo es:

$$NPSH_D = \frac{10 \times Pa}{\gamma} - ha - Pca - \frac{10 \times Tv}{\gamma} \quad (13)$$

En donde:

Pa = Presión atmosférica o presión en el depósito de aspiración (kg/cm^2)

ha = Altura geométrica de aspiración (m)

Pca = Pérdidas de carga en la aspiración (m)

Tv = Tensión de vapor del líquido a la temperatura de bombeo (kg/cm^2)

γ = Densidad relativa o gravedad específica del líquido (kg/dm^3)

NPSH requerido: es la energía necesaria que requiere la aspiración de la bomba para evitar la cavitación. En cualquier bomba, para que esta funcione correctamente, el NPSH disponible debe superar al NPSH requerido (**Carnicer Royo, 2004, pág. 22**).

Existe una condición sugerida por diversos autores y fabricantes para mantener medidas de prevención, seguridad y condiciones transitorias. Carnicer (**2004, pág. 32**) sugiere añadir 0,5 metros al valor de NPSH requerido, quedando la ecuación de la siguiente manera:

$$NPSH_D \geq NPSH_R + 0,5 \text{ m aprox} \quad (14)$$

Cavitación: Es el proceso que ocurre dentro de la bomba cuando el NPSH disponible es mayor que el NPSH requerido. En la bomba se generan pequeñas burbujas que implotan de forma violenta y la dañan consecuentemente (**Carnicer Royo, 2004, pág. 23**).

Golpe de ariete: es un fenómeno que sucede en la tubería, haciendo que esta ya no sea rígida y el líquido se vuelve compresible. Es un fenómeno transitorio. Se produce al abrir o cerrar una válvula, al encender o apagar una bomba sin cerrar previamente la válvula de impulsión (**Durman, 2014**).

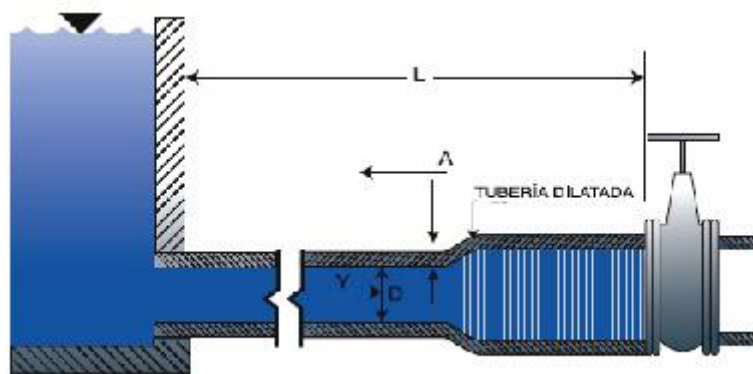


Figura 15 Golpe de ariete.
Fuente: Durman (2014)

Claudio Mataix (**1986**) en su libro “Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas”, indica que: “los medios empleados para reducir el golpe de ariete son:

- cerrar lentamente la válvula de impulsión;
- escoger el diámetro de la tubería de impulsión grande, para que la velocidad en la tubería sea pequeña;
- instalar la bomba con un volante que en caso de corte de la corriente reduzca lentamente la velocidad del motor y por consiguiente la velocidad del agua en la tubería;
- inyectar aire con un compresor para producir un muelle elástico durante la sobrepresión.” (**Mataix, 1986, pág. 403**)

Con estas indicaciones puede disminuirse la propensión del golpe de ariete en las bombas.

Leyes de Afinidad

Carnicer (2004, pág. 43) define las siguientes leyes de afinidad que se revisarán en este trabajo:

1. El caudal que eleva una bomba aumenta o disminuye es proporcional al aumento o disminución de la velocidad.

$$Q_2 = Q_1 \cdot \left(\frac{n_2}{n_1}\right) \quad (15)$$

En donde:

Q = caudal

n = cambio de velocidad

2. La altura manométrica aumenta o disminuye con el cuadrado de la velocidad.

$$H_2 = H_1 \cdot \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2 \quad (16)$$

En donde:

H = altura manométrica

n = cambio de velocidad

3. La potencia absorbida crece o disminuye con el cubo de la velocidad.

$$P_2 = P_1 \cdot \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^3 \quad (17)$$

En donde:

P = potencia absorbida

n = cambio de velocidad

4. El rendimiento es constante cuando cambia la velocidad.

$$\eta_2 = \eta_1 \quad (18)$$

En donde:

η = rendimiento

El efecto de la aplicación de estas leyes modifica las curvas de las bombas. Se aconseja consultar con el fabricante de la bomba previo a realizar una manipulación en las variables de la misma, pues puede presentar inconvenientes como: resistencia mecánica al eje y rodamientos, pues aumenta la potencia; resistencia a la presión del cuerpo, pues aumenta la presión, o modificación del poder de aspiración de la bomba, pues no se mantiene proporcional al aumento de caudal. (Carnicer Royo, 2004, págs. 43-44).

Cambios en el diámetro del rodete

Cada carcasa tiene un intervalo de rodetes, los cuales solo varían en el diámetro pues su aspiración idéntica. Para determinar el efecto que produce esta variación de diámetro, se emplean las siguientes ecuaciones (Carnicer Royo, 2004, pág. 45):

$$Q_2 = Q_1 \cdot \left(\frac{D_2}{D_1}\right) \quad (19)$$

En donde:

Q = caudal

D = diámetro de rodete

$$H_2 = H_1 \cdot \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^2 \quad (20)$$

En donde:

H = altura manométrica

D = diámetro de rodete

$$P_2 = P_1 \cdot \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^3 \quad (21)$$

En donde:

P = potencia absorbida

D = diámetro de rodete

CAÑERÍAS INDUSTRIALES

Las cañerías son un conjunto de tuberías, caños, conductos cerrados para el transporte de diversos fluidos y los accesorios que hacen esto posible. La mayoría de estos ductos trabajan a presión, es decir, sin superficie libre, pues los fluidos ocupan toda el área disponible durante su transporte, que ocurre desde el lugar de generación hasta el punto de almacenamiento (Golzman, 2003).

La elección acertada del tipo de tuberías requiere un conocimiento profundo, tanto del sistema como del fluido a transportar.

Procedimiento de diseño de tuberías

En la Guía para Diseño de Tuberías (FIME-UNPRG, 2009), establece que para realizar cualquier diseño mecánico de sistema de tuberías, es necesario cumplir los siguientes pasos:

- a) “Establecer las condiciones del sistema: presión, temperaturas, velocidad del viento, movimientos sísmicos, choques de fluido, gradientes térmicos y número de ciclos de varias cargas.
- b) Seleccionar el diámetro de la tubería.
- c) Determinar el material de la tubería.
- d) Selección de las clases de “rating” de bridas y válvulas.
- e) Cálculo del espesor mínimo de pared.
- f) Establecer el tipo de soportes para el sistema de tuberías.
- g) Análisis de esfuerzos por flexibilidad (FIME-UNPRG, 2009, págs. 1-2)”.

Normas de diseño

El Manual de Diseño Mecánico (FIME-UNPRG, 2009), señala las normas más utilizadas para el diseño del sistema de tuberías, las cuales son:

- ✓ B31.1. (1989) Cañerías de poder
- ✓ B31.3 (1990) Cañerías para Plantas Químicas y Refinerías de Petróleo

- ✓ B31.4 (1989) Sistema de Transportación Líquida para Hidrocarburos, Gas de Petróleo, Amoníaco Anhidro y Alcoholes
- ✓ B31.5 (1987) Tubería de refrigeración
- ✓ B31.8 (1989) Sistema de Tubería de Transmisión y Distribución de Gas
- ✓ B31.9 (1988) Tubería para servicios de construcción
- ✓ B31.11 (1986) Sistema de tuberías de transporte de lodos (**FIME-UNPRG, 2009, pág. 3**)

Cargas de diseño para tuberías

En los sistemas de tuberías, cuando se realiza el diseño de las líneas previa la etapa de montaje y operación, deben tomarse en consideración las cargas o esfuerzos a las que están expuestas las tuberías. De acuerdo a la Guía para el diseño de tuberías (**FIME-UNPRG, 2009**), estas cargas pueden ser:

- **Cargas por la presión de diseño:** es la carga a la presión más severa interna y externa de la línea a la temperatura de sus condiciones operacionales.
- **Cargas por peso:** se considera el peso muerto del sistema, incluye tubería y accesorios.
- **Cargas vivas del caudal de trabajo:** son las reacciones puntuales por efecto de los soportes.
- **Cargas dinámicas:** son las cargas ejercidas por efecto del viento en las tuberías.
- **Cargas sísmicas:** cargas por impacto u ondas de presión, como son: golpes de ariete, caídas de presión, descarga de fluidos.
- **Vibraciones excesivas inducidas por pulsaciones de presión:** tales como movimiento de vehículos y maquinaria, entre otras (**FIME-UNPRG, 2009, págs. 3-4**)

Diámetro de tuberías

Para realizar el dimensionamiento de las tuberías, deben tomarse en consideración los siguientes ítems: el caudal a ser transportado, las diferencias en alturas, la presión del proceso, la velocidad del fluido, las pérdidas de carga admisibles, las características del fluido, material y el tipo de tubería. (**Golzman, 2003**)

Sin estos cálculos previos, es posible que todo el sistema de tuberías presente problemas durante el transporte de productos.

Escurrecimiento de fluidos por tuberías

El escurrecimiento es una cierta pérdida de energía del fluido, debido a las resistencias que se oponen al flujo y que se disipan en forma de calor.

Las resistencias son de dos tipos:

- a) Externas, que resultan del rozamiento contra las paredes del caño, aceleraciones y cambios de dirección y la consecuente turbulencia producida. Son tanto mayores cuanto mayores sean la velocidad del fluido y la rugosidad de las paredes y cuánto menor sea el diámetro.

- b) Internas, que resultan del rozamiento entre las propias moléculas del fluido entre sí, llamado viscosidad. Estas, en cambio, son mayores cuanto mayores sean la velocidad y la viscosidad del fluido.

La energía perdida es considerada una “pérdida de carga” o *pressure loss*, y es una disminución gradual de la presión del fluido que va cayendo de un punto a otro en el sentido de escurrecimiento (*pressure drop*).

Cuando se estudia la transmisión de fluidos, se dividen las redes de cañerías en tramos, en los que no se incluye ninguna máquina, ya sea bombas, turbinas, entre otras, que absorban o doten de energía al fluido. De este modo, si existen variaciones de la energía entre los puntos extremos de la línea serán por la pérdida de carga. **(Golzman, 2003)**

Este criterio es notorio cuando se trabaja con fluidos más viscosos, como es el petróleo, y se encuentra considerado en esta investigación para definir un concepto claro de las pérdidas que se tienen en un sistema de tuberías.

Determinación de la presión de prueba hidráulica

De acuerdo a Golzman en su Curso de Cañerías Industriales (2003), la presión de prueba hidrostática en cualquier punto de una cañería metálica será:

- a) No menor que 1,5 veces la presión de diseño
- b) Para temperaturas de diseño mayores que la de prueba, la presión de prueba mínima será la calculada por la siguiente ecuación, excepto que el valor de St / S exceda de 6.5

$$P_t = \frac{1.5 P St}{S} \quad (22)$$

En donde:

P_t = presión de prueba hidrostática mínima (manométrica)

P = presión interna de diseño (manométrica)

St = valor de tensión admisible a temperatura de prueba

S = valor de tensión admisible a temperatura de diseño (Tablas A1 de ANSI) (Golzman, 2003, pág. 4)

Cálculo del espesor de pared

Para calcular el espesor de pared, se emplean los cálculos y conceptos citados por Golzman (2003), que a continuación se transcriben:

“La tensión máxima en un caño recto se producirá en el sentido circunferencial, que es el duplo de la tensión longitudinal. Basado en este concepto de la teoría de membrana, para un caño sometido a presión interna, el cálculo de ANSI B31.3, el espesor mínimo será:

$$tm = t + c \quad (23)$$

El espesor seleccionado no será menor que $tm +$ tolerancia de fabricación.

t_m = Mínimo espesor requerido por presión, incluyendo tolerancia de fabricación, erosión y corrosión.

t = Espesor por diseño por presión interna o la determinada para presión externa.

c = La suma de las tolerancias mecánicas (roscas, ranuras, etc.), más las tolerancias por erosión o corrosión. Para componentes roscados será la profundidad (h de la norma ANSI B 1.20.1 o equivalente) la que se aplicará. Para superficies maquinadas o ranuras donde la tolerancia no se ha especificado, se asume una tolerancia de 0,02" o 0,5 mm, agregada a la profundidad especificada en el corte” (Golzman, 2003, págs. 27-28).

Con base en estos conceptos acerca del grosor de pared, podrán hacerse los cálculos respectivos.

Presión de Diseño

En cuanto a la presión de diseño, no puede ser:

“menor que la presión en las condiciones más severas de presión y temperatura coincidentes que se esperan en una operación normal. La condición más severa de presión y temperatura coincidente, es aquella que resulta en el mayor espesor requerido y en la clasificación más alta de los componentes del sistema de tuberías” (FIME-UNPRG, 2009).

En los cálculos de presión de diseño, deben excluirse las pérdidas involuntarias de presión interna o externa que causen diferencias en la presión.

Temperatura de diseño

Se conoce como temperatura de diseño a la “temperatura del metal que representa la condición más severa de presión y temperatura coincidentes (FIME-UNPRG, 2009, pág. 8)”. Al escoger la tubería, debe considerarse si esta tiene revestimiento interno o externo, de tal manera que la temperatura del metal de diseño no supere (o sea inferior) a la temperatura máxima de diseño del fluido.

Para calcular la temperatura, se emplea la ecuación:

$$\frac{\text{Empuje}/A}{\delta/L} = E$$

(24)

En donde:

Empuje = empuje sobre los puntos de fijación

A = área de la sección transversal del caño

δ = dilatación libre del caño

L = longitud del caño

E = módulo de elasticidad del material

Análisis de flexibilidad en sistemas de tuberías

Este análisis se realiza a fin de registrar si la línea tiene la capacidad para absorber las cargas que inciden en ella, como son el peso de la tubería, la disposición geométrica, vibraciones, la expansión térmica, las fuerzas que producen la presión de los fluidos, movimientos telúricos, entre otras.

Este análisis se realiza para verificar que el esfuerzo producido en la tubería por los distintos tipos de carga no sobrepase los valores admisibles y los equipos tampoco, a objeto de satisfacer la necesidad empresarial. En caso que el sistema no cumpla con los requisitos de flexibilidad, tanto para las cargas sometidas como las ocasionales, pueden disponerse, según la Guía para el diseño de tuberías (**FIME-UNPRG, 2009**), de los siguientes recursos:

- a) “Reubicación de soportes
- b) Modificación del tipo de soporte en puntos específicos
- c) Utilización de soportes flexibles
- d) Modificación parcial del recorrido de la línea en zonas específicas
- e) Utilización de lazos de expansión
- f) Presentado en frío (**FIME-UNPRG, 2009, pág. 2**)”.

Soportes de cañerías

Definición y Clasificación:

Se conoce como soporte a aquellos mecanismos que soportan los pesos y esfuerzos ejercidos por los caños o sobre ellos, y los transmiten al suelo o a otras estructuras.

A continuación, se presenta la clasificación de los soportes de acuerdo al Curso de Cañerías Industriales de Fernando Golzman (**Golzman, 2003**):



Figura 16 Clasificación de los soportes.

Fuente: Curso de Cañerías Industriales (Pipping), (Golzman, 2003)

Elaboración: César Ríos

Planos de cañerías

En los proyectos de cañerías industriales se hacen generalmente tres tipos de planos, cada uno con sus variaciones.

- 1) Diagramas de flujo

- 2) Planos de Planta y Elevación
- 3) Planos Isométricos, de detalle, fabricación y soportes.

Para la presente investigación, se harán uso únicamente de los planos isométricos, de detalle, fabricación y soportes, recomendados por Golzman (2003), dado que contienen el conjunto de cañerías de áreas completas, la cañería completa y los sectores de cada una. Para un conocimiento completo de los tipos de planos, revisar Anexo 2.

Importancia del proceso

Cuando se diseña un sistema de tuberías, es imprescindible conocer pormenores del proceso y parámetros que regulan la producción para poder determinar qué tipo de caños, accesorios y otros elementos va a emplear en el diseño. Sin el conocimiento previo del proceso de producción, pueden ocurrir errores como variaciones de temperatura, presiones superiores a las del diseño, mal uso de las cañerías, entre otros que pueden afectar tanto la seguridad como la parte económica de un proyecto.

Este conocimiento debe abarcar como mínimo: la presión de las líneas, la temperatura en los puntos de conducción, la corrosividad o abrasividad de los fluidos, los puntos de medición y las características físicas de los fluidos. Todo esto permitirá definir el diseño del sistema de cañerías. (Golzman, 2003)

SISTEMA DE ALIVIOS Y DRENAJES

Cañerías Subterráneas

De acuerdo a Golzman en su Curso de Cañerías Industriales (2003, pág. 64), en los sistemas industriales, las cañerías industriales son aquellas que funcionan por gravedad como: drenajes, alcantarillados, sistemas de agua y aire comprimido. Estas líneas se instalan sobre el suelo por lo que no se consideran condiciones paralelas o niveles determinados para su instalación.

En las cañerías subterráneas no se consideran análisis de flexibilidad por las siguientes razones:

- 1) La mayoría son cañerías frías que no están expuestas al sol, las dilataciones son despreciables, siendo fácilmente absorbidas por el terreno.

- 2) Aún si existiera temperatura en la línea, el movimiento de los caños en el terreno es suficiente para absorberlo.
- 3) En temperaturas mayores, se usan juntas especiales como las Dresser o Victaulic que las absorben.

Las consideraciones que se deben tomar para instalar este tipo de tuberías son la protección a la corrosión con sistemas de protección catódica o cintas aislantes.

En líneas que trabajan a presión, se deben colocar anclajes en los puntos donde existan cambios de dirección para evitar cualquier movimiento de la cañería por efecto de la presión.

Análisis de cargas

Existen dos tipos de cargas externas:

- 1) Las cargas muertas provocadas por el efecto del peso de la tierra sobre la cañería.
- 2) Las cargas vivas que pueden ser estáticas o de movimiento, i.e. vehículos.

Determinación de las cargas vivas

Según la AWWA (American Water Works Association), el cálculo de las cargas vivas está dado por la ecuación:

$$We = Cs \frac{PcF}{L} \quad (25)$$

En donde:

We = Carga viva (Kg/m de cañería)

Cs = Coeficiente de carga en función del diámetro del caño

Pc = Carga concentrada (Kg) = 4550 Kg. (AWWA)

F = Factor de impacto

L = Longitud efectiva del caño en el cual actúa la carga.

Tabla 4 Valores de impacto

VALORES DE IMPACTO	
TIPO DE TRÁNSITO	VALOR DE F
Carretera	1,5
Ferrocarril	1,75
Aeropuertos	1,00

Fuente: Curso de Tuberías Industriales, Golzman (2003, pág. 65)

Elaborado por: César Ríos

El valor normalmente aceptado para L (longitud de la cañería que está bajo la carga de impacto) es de 0,90 m (AWWA) (Golzman, 2003, pág. 65).

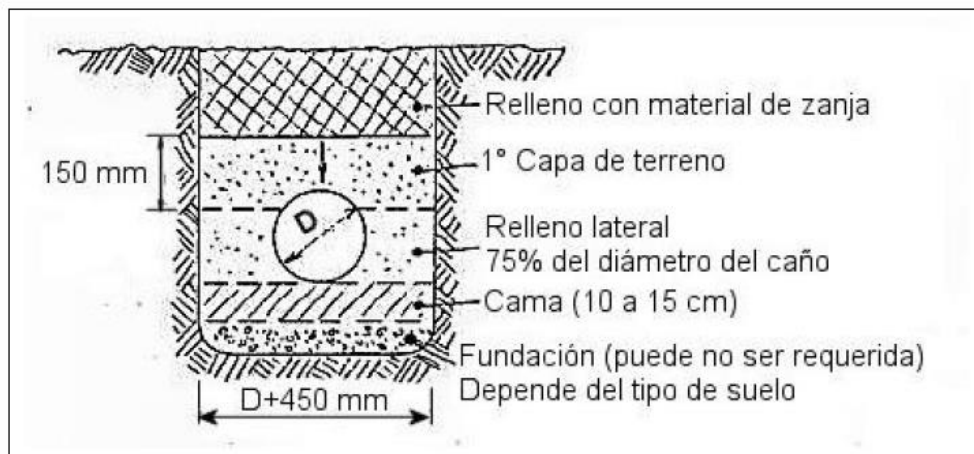


Figura 17 Determinación de cargas vivas.

Fuente: Curso de Tuberías Industriales, Golzman (2003, pág. 65)

Determinación de las Cargas Muertas (cargas de tierra)

La ecuación para determinar las cargas muertas está dada por:

$$Wc = Cd * w * Bd * D$$

(26)

En donde:

Wc = Carga muerta (Kg/m de cañería)

Cd = Coeficiente de carga en función de H/Bd

H = altura del relleno

B = ancho de la zanja.

W = Densidad del Material de relleno Kg/m³

Bd = Ancho de la zanja medida a nivel del coronamiento del caño (m).

D = Diámetro exterior del caño (m).

Descripción del sistema de alivios y drenajes

El sistema de alivios de la estación Faisanes tiene tres circuitos principales. En el primer conjunto de líneas se encuentran las descargas de las válvulas de seguridad de la entrada y salida de la estación Faisanes (Figura 18) estas son conducidas a un colector que se conecta al tanque de alivio T-230151-2-20-A.



Figura 18 Válvulas de seguridad principales – Estación Faisanes.

Elaborada por: César Ríos

En el segundo circuito de líneas se encuentran todas las descargas de diámetro pequeño, procedentes de las válvulas de seguridad y drenajes (Figura 19) de los equipos principales, secundarios, auxiliares y líneas de procesos que se encuentran instalados en todos los sistemas de la planta, para protección por sobrepresiones en las líneas o para actividades de operación y mantenimiento. Estas descargas se conectan al sistema de drenajes cerrados y son conducidas al tanque sumidero T-230151-03-A de la estación y de este punto son enviados al tanque de alivio, utilizando la bomba vertical P-230151-2-03A.



Figura 19 Drenaje de líneas de procesos de la estación Faisanes.
Elaborado por: César Ríos

El tercer circuito es un sistema de drenajes atmosférico, el cual recoge los lixiviados de los drenajes de cubetos y canales que se encuentran en las plataformas de los equipos principales, trampas de recepción y envío de rascadores y otros procesos. Como resultado de su limpieza, estos se conducen al tanque separador API T-230151-2-03-B, donde se separan los líquidos, luego pasan al tanque sumidero y finalmente al tanque de alivio.



Figura 20 Áreas de proceso de Estación Faisanes.
Elaborado por: César Ríos

Descripción de equipos

Válvulas de seguridad

Las válvulas de seguridad son dispositivos mecánicos instalados en los sistemas que operan con presión. Son empleados para evacuar fluidos cuando existe un exceso de presión en el circuito. (Cejalvo Lapeña, 1995)

Tanque de alivio

El tanque de alivio de la estación Faisanes tiene las siguientes características:



Figura 21 Tanque de alivio y tanque de almacenamiento Estación Faisanes
Elaborado por: César Ríos

Tabla 5 Valores de diseño, rugosidad en conductos

Capacidad:	2 000 bls
Altura:	32 ft
Diámetro:	21 ft

Fuente: Estudios de Ingeniería TECNA (2009, pág. 21)
Elaboración: César Ríos

Tanque sumidero

El tanque sumidero tiene las siguientes características:



Figura 22 Tanque sumidero - Estación Faisanes
Elaborado por: César Ríos

Tabla 6 Datos tanque sumidero Estación Faisanes

Capacidad:	20 bls
Altura:	9 ft
Diámetro:	48 in

Fuente: Estudios de Ingeniería TECNA (2009, pág. 21)

Elaborado por: César Ríos

Separador API



Figura 23 Separador API.

Fuente: Estudios de ingeniería TECNA (2009, pág. 19)

Bomba tanque de alivio



Figura 24 Bomba tanque de alivio.

Elaborado por: César Ríos

Tabla 7 Datos bomba tanque de alivios Estación Faisanes

Marca:	Worthinton
Size:	3HX-12
Capacidad:	416 gpm
Velocidad Motor:	3 600 RPM
Potencia:	40,5 kW
TDH:	312 ft

Fuente: Estudios de Ingeniería TECNA (2009, pág. 20)

Elaborado por: César Ríos

Bomba tanque de alivio (nueva)



Figura 25 Bomba tanque de alivio (nueva)

Elaborado por: César Ríos

Tabla 8 Datos bomba tanque de alivios Estación Faisanes

Marca:	Ruhrpumpen
Size:	4x2x17
Capacidad:	416 gpm
Velocidad Motor:	3 550 RPM
Potencia:	149,2 kW
TDH:	643 ft

Fuente: Levantamiento de campo

Elaborado por: César Ríos

Bomba tanque sumidero



Figura 26 Bomba tanque sumidero
Elaborado por: César Ríos

Tabla 9 Datos bomba tanque sumidero Estación Faisanes

Marca:	No disponible
Modelo:	No disponible
Etapas:	15
Capacidad:	40 gpm
Velocidad Motor:	3 500 RPM
Potencia del motor:	6,7 kW
TDH:	900 ft

Fuente: Estudios de Ingeniería TECNA (2009, pág. 20)
Elaborado por: César Ríos

DESARROLLO DE LAS CATEGORÍAS DE LA VARIABLE DEPENDIENTE

TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO DE DERIVADOS DEL PETRÓLEO

El transporte y almacenamiento son procesos vitales en la industria petrolera para abastecer eficientemente la demanda de derivados del petróleo en el menor tiempo posible y al menor costo.

Transporte de Derivados

El transporte de hidrocarburos puede realizarse por vía marítima, a través de buques, o a través de sistemas terrestres, tales como oleoductos, gasoductos, poliductos, tanques y auto tanques. Para efectos de la presente investigación, se hará referencia únicamente al transporte vía terrestre, específicamente el poliducto. Este término hace referencia a un sistema a través del cual se transportan varios tipos de productos.

Los productos se transportan de la siguiente manera:

"El transporte de productos en los poliductos se efectúa por medio de baches, partidas, lotes o volúmenes de producto bombeado por la estación inicial. Estos baches son transportados uno a continuación de otro y su secuencia está dado de acuerdo a su densidad." (Ríos, 2005, pág. 53)

De tal manera que no interfieren en su traslado en ningún momento.

En Ecuador, la institución encargada de realizar el transporte de productos derivados del petróleo es la empresa Estatal Petrolera Petroecuador, que posee una amplia red de poliductos interconectados entre sí, desde las refinerías y terminales marítimas hacia los centros de despacho y comercialización. Los productos que se transportan en los poliductos ecuatorianos son gasolinas, diesel y gas licuado de petróleo. Son casi 1 596 km de poliductos, que permiten transportar derivados a través de nueve líneas interconectadas. (EP PETROECUADOR, 2013). El mapa de la distribución de poliductos en el país, actualizado al año 2016, puede verse en la Figura 27.



Figura 27 Mapa de Transporte y Almacenamiento en Ecuador.
Fuente: Página web EP Petroecuador, (2016)

Almacenamiento

Según reportes de EP Petroecuador (2013, pág. 86), el país dispone de una capacidad de almacenamiento de 2 662 617 barriles, distribuidos de la siguiente manera: 1 345 588 barriles en la zona norte y 1 317 029 en la zona sur del país, repartidos en 103 tanques, 6 esferas horizontales y 10 esferas de gas, ubicados en los terminales del país.

Tabla 10 Capacidad de Almacenamiento operativo en terminales y depósitos Petrocomercial - BLS

PRODUCTO / PROVINCIA		NAFTA ALTO OCTANO	GASOLINA SUPER	GASOLINA EXTRA	GASOLINA BASE	DIESEL 1	DIESEL 2	DIESEL PREMIUM	JET A1	GLP (GAS LICUADO)	FUEL OIL	SLOP	TOTAL BLS
ZONA NORTE	ESMERALDAS	100,850		147,793		16,780	106,161	26,347	52,046				449,977
	SANTO DOMINGO		15,952	95,135			137,614						248,701
	OYAMBARO									27,361			27,361
	BEATERIO	50,869	33,382	201,075	28,916	6,849	210,301	29,966	47,740				609,098
	AMBATO		10,553	61,790			60,786						133,129
	RIOBAMBA			4,581			3,909						8,490
	SHUSHUFINDI				18,000		18,000						36,000
ZONA SUR	PASCUALES	96,878	14,171	193,825	33,904	61,699	427,667	26,347	110,141			7,784	972,416
	MANTA			83,325		2,839	50,033					6,853	143,050
	CUENCA		8,314	26,794		6,663	55,165						96,936
	LOJA			2,088			2,191	29,966					34,245
	CAB. LIBERTAD			22,376	17,910	8,996	42,517		35,521				127,320
	SALITRAL									36,378	108,318		144,696
	GALAPAGOS			1,471			8,066						9,537
TOTAL		248,597	82,372	840,253	98,730	103,826	1,122,410	112,626	245,448	63,739	108,318	14,637	

Fuente: Ríos, César (2005, págs. 60-61).

Elaborado por: César Ríos

Descripción de los productos transportados

Son distintos los productos que se trasladan a través de los poliductos. A continuación, podemos apreciar cuáles son los que se transportan en el país:

Tabla 11 Productos transportados

PRODUCTO	USOS	COMERCIALIZACIÓN
GASOLINA	Derivado de uso automotor	Súper 90 octanos
		Extra 80 octanos
DESTILADO	Destinado al consumo de sector doméstico e industrial	Kérex o Diesel 1
DIESEL 2	Consumen sectores automotor, marino, industrial y eléctrico	Diesel 2
FUEL OIL	Sector industrial en mayor porcentaje y marino en menor volumen	De acuerdo a viscosidad y ruta
AEROCOMBUSTIBLES	Uso de aviación en general	Turbo Fuel (aviones a turbina)
		JP-4 (aviones de entrenamiento)
		Avgas (avionetas a pistón)
SPRAY OIL	Programa Nacional del Banano para fumigación (95%)	Aceite agrícola
	Elaboración de grasas, insecticidas o fumigación (5%)	Grasas, insecticidas, fumigación
AZUFRE	Producción de ácido sulfúrico	Azufre (materia prima)
	Producto final	Fertilizante directo, agente de vulcanización, fósforos, jabones, etc.
ASFALTOS	Obras de infraestructura vial, especialmente consumido por Ministerio de Obras Públicas y gobiernos seccionales	Asfaltos viales
		Pinturas asfálticas
		Impermeabilizantes
		Pegamentos

Fuente: Ríos, César (2005, págs. 62-63)

Elaborado por: César Ríos

La capacidad de almacenamiento de los tanques debe corresponder a la cantidad de productos derivados que se producen y transportan en el país. De acuerdo al Informe Estadístico de EP Petroecuador del año 2015 (2015), la producción de derivados a nivel nacional es la de la Tabla 12:

Tabla 12 Producción nacional de derivados

Cifras en barriles
AÑO 2015

Producto	Cantidad
Súper	6,269,643
Extra	18,461,475
ECOPAÍS (extra con etanol)	4,368,153
Diesel 1	145,681
Diesel 2	5,695,619
Diesel Premium	3,892,977
Fuel Oil #4	8,698,446
Fuel Oil #6	4,971,595
Fuel Oil #6 exportación	2,788,153
Residuo (Crudo Reducido) CIS	3,700,337
Jet A-1	2,739,477
GLP	1,521,757
Spray Oil	202,662
Solventes (Rub. S 1M.T.)	162,174
Asfaltos AP3-RC250	1,513,143
Absorver Oil	943
Nafta Excedente	181,198
Nafta Pesca Artesanal	857,662
Nafta Sector Eléctrico	13,342
TOTAL NACIONAL	66,184,437
Azufre kilos	462,830

Fuente: EP Petroecuador. Informe Estadístico 2015 (2016, pág. 32)

Elaborado por: César Ríos

Tanques de almacenamiento

Debido a las características de los hidrocarburos, en las terminales y depósitos son necesarios los tanques de almacenamiento, que requieren ciertas características de acuerdo a los diferentes procesos que la industria contiene. En la Figura 28 se muestra la clasificación de los tanques empleados en las terminales:

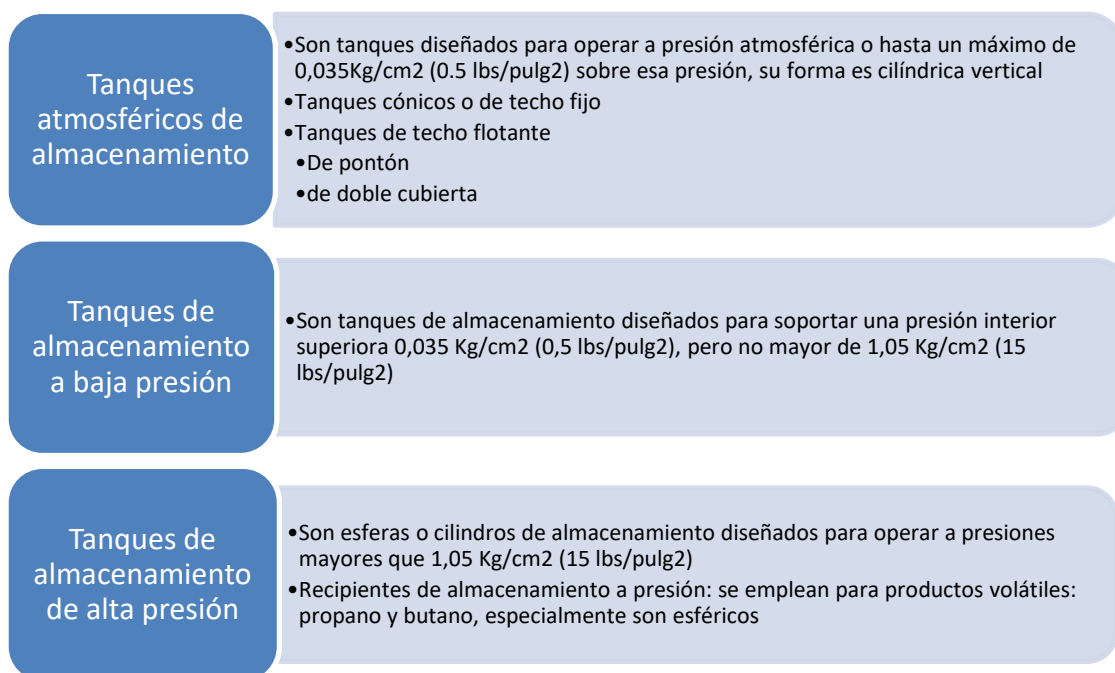


Figura 28 Clasificación de tanques de almacenamiento.
 Fuente: Ríos, César. Caracterización de lodos..., (2005, págs. 66-70).
 Elaborado por: César Ríos

Poliducto Esmeraldas - Quito

El sistema de poliducto de Esmeraldas a Quito, consta de cuatro estaciones de bombeo localizadas en: Esmeraldas, Santo Domingo, Faisanes y El Corazón, y dos estaciones terminales reductoras de presión localizadas en Pascuales (Guayas) y El Beaterio (Quito). (TECNA - Medanito del Ecuador, 2009). En la Tabla 13 se pueden apreciar los datos operativos de la producción del poliducto Esmeraldas - Quito:

Tabla 13 Caudales operativos antes de repotenciación Poliducto Esmeraldas - Quito

ESTACIÓN	CAUDAL	
	BPH	BPD
Esmeraldas	2.341,0	56.184,0
Santo Domingo	1.763,0	42.312,0
Faisanes	1.763,0	42.312,0
Corazón	1.763,0	42.312,0
Beaterio	1.763,0	42.312,0

Fuente: ESTUDIOS DE INGENIERÍA BÁSICA... 2011 (TECNA - Medanito del Ecuador, 2011).
 Elaboración: César Ríos

Este poliducto transporta gasolina súper, gasolina extra, diesel 2, diesel premium y jet fuel. La información suministrada por la EP Petroecuador para realizar la ingeniería básica y de detalle, refiere los siguientes datos acerca del poliducto:



Figura 29 Características del Poliducto Esmeraldas - Quito.

Fuente: TECNA - Estudios de Ingeniería Básica..., 2009 (TECNA - Medanito del Ecuador, 2009, pág. 9).
Elaboración: César Ríos

Modernización y repotenciación del poliducto Esmeraldas-Santo Domingo-Quito

En el año 2008, la empresa EP Petroecuador emprendió la repotenciación del Poliducto Esmeraldas - Santo Domingo - Quito, con el fin de abastecer la demanda nacional de derivados del petróleo durante los próximos 20 años. Por esa razón, se invirtieron alrededor de 83 millones de dólares para la adquisición de nuevas unidades de bombeo en las cuatro estaciones del poliducto (Esmeraldas, Santo Domingo, Faisanes, El Corazón) **(EP PETROECUADOR, 2013, pág. 92)**.

Los datos de producción del poliducto que se muestran en la Tabla 14 corresponden a los objetivos del proyecto de modernización y repotenciación, que son mejorar los caudales operativos para garantizar el abastecimiento nacional:

Tabla 14 Caudales máximos Poliducto Esmeraldas - Quito

POLIDUCTO	CAUDAL		
	Diseño	Máximo	
	BPH	BPH	BPD
Esmeraldas - Santo Domingo	4 860	4 375	105 000
Santo Domingo - Quito	3 565	3 208	77 000
Santo Domingo - Pascuales	1 204	1 083	26 000

Fuente: TECNA - Estudios de Ingeniería..., 2009 (TECNA - Medanito del Ecuador, 2009)

Elaborado por: César Ríos

MANTENIMIENTO

Mantenimiento de tanques de almacenamiento

Con el propósito de preservar las condiciones físicas de los tanques, tanto interna como externamente, y para asegurar la calidad de los productos almacenados en las terminales, estaciones y demás facilidades de la industria hidrocarburífera, se han implementado prácticas para realizar la limpieza y mantenimiento periódico a estos equipos.

Las actividades principales del mantenimiento de tanques son:

- extraer los lodos contaminados con hidrocarburos, producto de la decantación de los sedimentos que se encuentran en los hidrocarburos almacenados,
- limpiar las paredes internas del tanque,
- realizar la inspección técnica del estado de las placas que conforman el tanque,
- realizar las pruebas de control de calidad y calibración volumétrica del tanque.

Todos estos trabajos se deben realizar considerando tecnología moderna y aplicando normas nacionales e internacionales, que permitan realizar los procedimientos de mantenimiento de manera adecuada y con las normas de seguridad industrial vigentes (Ríos, 2005, pág. 99).

Actividades previas al mantenimiento de tanques

Evacuación de combustibles y lodos contenidos en los tanques de almacenamiento de combustibles

Por tratarse de un proceso que exige el mayor control y precaución, el grupo técnico y operativo para esta operación deberá cumplir con procedimientos descritos a continuación:

- El técnico responsable del grupo de mantenimiento debe verificar el contenido de la orden de trabajo, la misma que indicará el número del tanque de almacenamiento de combustible que requiere mantenimiento. Con la información recolectada, el técnico ordenará al grupo de operadores bajo su dirección que procedan con las actividades.
- El técnico responsable dispondrá al grupo de operadores que procedan a la evacuación del combustible de tanque sujeto a mantenimiento, utilizando el mecanismo normal establecido para esta actividad. La evacuación se realizará hasta el nivel superior de la boquilla de descarga.
- Para evacuar el combustible restante, el grupo de operadores debe instalar el equipo de bombeo de combustible a la boquilla utilizada para el drenaje del agua y evacuarlo totalmente.
- El técnico responsable dispondrá a los operadores la apertura de la boquilla de inspección o manhole y evacuará la fase líquida (combustible y agua) hacia el sistema de separación más cercano.
- El técnico responsable ordenará a un operador que determine la profundidad a la cual se encuentran los residuos y anotar esta medida, bajo la denominación de residuo hidratado en la bitácora.
- El técnico a cargo debe ordenar a los operadores, instalar una bomba (Vacuum) para la evacuación de lodos del tanque, trasladarlo y disponerlo en la piscina de lodos.
- En caso de ser necesario un lavado del tanque, se deberá realizar únicamente luego de haber retirado todo el lodo y no como medida para facilitar el retiro del material.
- El lavado debe realizarse con un volumen limitado de agua, proveniente del sistema de separador API del mismo tipo de combustible que se está efectuando (Ríos, 2005, pág. 97).

Normativa de Mantenimiento

Norma EP Petroecuador SI-016 – Procedimientos de seguridad industrial para efectuar limpieza de tanques

Métodos y procedimiento de limpieza.

Disposiciones generales:

Los trabajos de limpieza y reparación de tanques se efectuarán solamente con personal competente en coordinación con el área de Seguridad Industrial.

Antes de iniciar un trabajo de limpieza de tanques, la Unidad de Seguridad Industrial debe tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Asegurarse de las características del producto almacenado en el tanque.
- Evaluar la cantidad de residuos dentro del tanque.
- Inspeccionar el área circundante para determinar si existe algún peligro que requiera la adopción de medidas preventivas.
- Emitir el permiso de trabajo correspondiente.

La unidad de Seguridad e Higiene Industrial mantendrá la supervisión y control permanentes hasta la finalización de los trabajos.

En cuanto al proceso de limpieza de tanques, es necesario observar las siguientes etapas:

- Inspección externa del tanque, examen de los lugares contiguos e inspección de los equipos a utilizarse.
- Control de las fuentes que pueden originar combustión.
- Vaciado del tanque.
- Extracción de los gases.
- Pruebas de explosividad y gases tóxicos.
- Apertura del tanque, extracción y eliminación de residuos.

Previamente a las actividades de limpieza, las áreas responsables deben establecer el tiempo de servicio del tanque desde la última limpieza, cantidad aproximada de producto, sedimentos existentes y tiempo en que el tanque estará fuera de servicio (**Ríos, 2005, pág. 99**).

Todas las actividades descritas en los métodos de limpieza deben realizarse obligatoriamente con su respectivo procedimiento vigente. El personal debe contar con experiencia y estar altamente calificado para su ejecución y supervisión, de esta manera garantizará el desempeño de un buen trabajo, prevendrá accidentes y minimizará los riesgos en la realización de las labores que se comprometen en esta operación.

CONTROL OPERATIVO DEL TANQUE DE ALIVIO

Medición de productos en tanques de almacenamiento de hidrocarburos

Medición estática

Es aquella en la cual la cuantificación de las cantidades de producto se realiza midiendo el nivel de líquido contenido en los tanques de almacenamiento, mediante medición manual con cinta o automáticamente, con algún sistema como por ejemplo el radar con lo que tenemos información en tiempo real (Normas API MPMS Cap. 3) (**EP Petroecuador, 2012**).

Este tipo de medición emplea métodos manuales o automáticos de medición, que permiten determinar el volumen de un hidrocarburo en condiciones estáticas.

Aforo de tanques

El aforo de tanques es el procedimiento que sirve para determinar el volumen neto de producto en el tanque, información que se utiliza para la transferencia de custodia y fiscalización en condiciones estáticas, a través de métodos de medición para tanques, siendo estos los siguientes:

- Medición directa o de llenado. (Normas API MPMS Cap. 3)
- Medición indirecta o de vacío. (Normas API MPMS Cap. 3)

Herramientas y equipos para la medición de tanques:

- ✓ Cinta para medición de altura y plomada.
- ✓ Varillas de medición.
- ✓ Pasta para la visualización de hidrocarburo.
- ✓ Pasta para la identificación de agua.
- ✓ Termómetro digital
- ✓ Termómetro de mercurio.
- ✓ Probeta de vidrio 500 ml.
- ✓ Hidrómetro.
- ✓ Guantes.
- ✓ Radio portátil.
- ✓ Pantallas de visualización del sistema de radares.

Medición directa o de llenado

Tiene como propósito calibrar la altura existente desde la placa de medición que se encuentra en el fondo del tanque hasta el punto de corte del nivel del líquido en la cinta de aforo, como se aprecia en la figura 30.

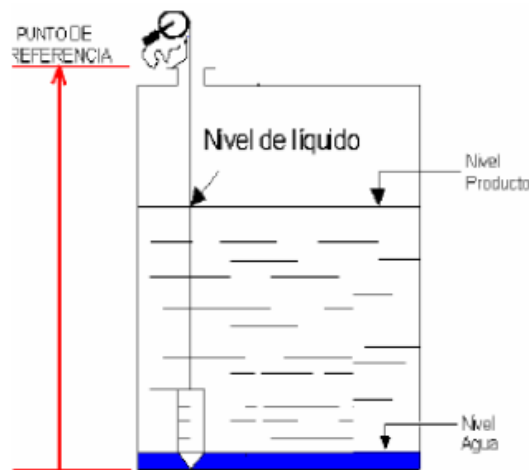


Figura 30 Medición de producto a fondo con plomada de fondo.

Fuente: Procedimiento: Aforo de tanques, EP Petroecuador (2012, pág. 4)

Medición indirecta o de vacío

Consiste en identificar la altura que existe desde la superficie del líquido hasta el punto de referencia ubicado en la parte superior del tanque. Con este dato, se resta de la altura total del

tanque y el resultado indicará la altura del líquido en el tanque (altura del líquido = Altura de referencia - Lectura cinta + punto de corte indicado en la plomada) (Figura 31).

Es sumamente importante que el punto de referencia esté fijo y plenamente identificado sobre el techo del tanque. Los resultados obtenidos de la medición indirecta serán confiables si existe un procedimiento de verificación frecuente de la altura de referencia, este dato es necesario para realizar una operación matemática confiable.

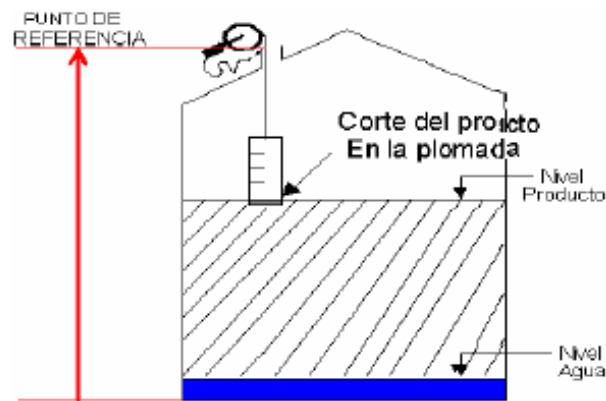


Figura 31 Medición de producto a vacío con plomada de vacío.
Fuente: Procedimiento: Aforo de tanques, EP Petroecuador (2012, pág. 2)

Medición del nivel de agua libre

Consiste en identificar el nivel de agua almacenada en el tanque. Se emplea el método de medición a fondo con cinta de aforo y se utiliza pasta identificadora de agua. (Figura 32).

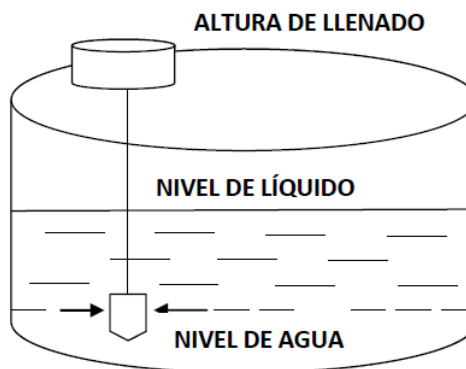


Figura 32 Medición del nivel de agua libre.
Fuente: Procedimiento: Aforo de tanques, EP Petroecuador (2012, pág. 5)

Medición Automática (Telemetría)

Son los dispositivos mecánicos o electrónicos que indican de forma continua los niveles del producto en el tanque, lo que facilita su monitoreo. El nivel de precisión de este método es de ± 3 mm. A continuación, se detallan algunos equipos empleados para la medición de niveles de producto:

Medición de nivel con Flotador

Se utiliza como referencia para la medición manual con cinta de aforo, este mecanismo está compuesto por un flotador ubicado en el interior del tanque y un nivel (péndulo) sobre una escala graduada conectado al exterior del mismo, estos indican el nivel tanque (ECOPETROL, 2013). Es un mecanismo de fácil interpretación y con una precisión del 0.5%, pero requiere de mantenimiento periódico para evitar su mal funcionamiento (Figura 33).

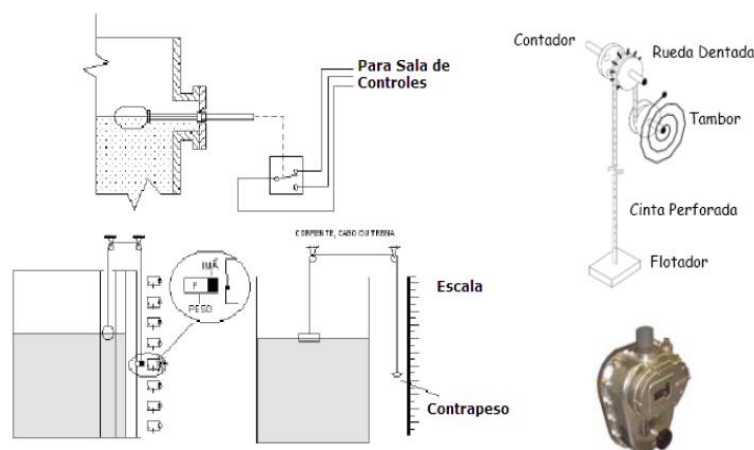


Figura 33 Medición de nivel con flotador.

Fuente: Manual de medición de hidrocarburos y biocombustibles, Cap. 3 (2013, pág. 20)

Medición de nivel con desplazador (Servo)

Es utilizado como respaldo de la medición manual con cinta de aforo (Figura 34). Su funcionamiento se basa en un desplazador colgado de un carrito enrollador servo-operado y vinculado a la balanza.

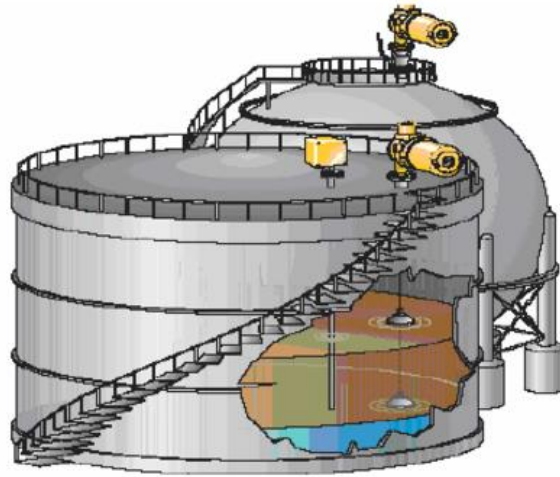


Figura 34 Medición de nivel con desplazador.

Fuente: Manual de medición de hidrocarburos y biocombustibles, Cap. 3 (2013, pág. 20)

Medición con Radar

Una antena transmite pulsos electromagnéticos cortos hacia la superficie del líquido (Figura 35), reflejándose en forma de eco. El tiempo de respuesta de esta señal es medida con gran exactitud y su interpretación permite conocer el nivel del líquido en el tanque.

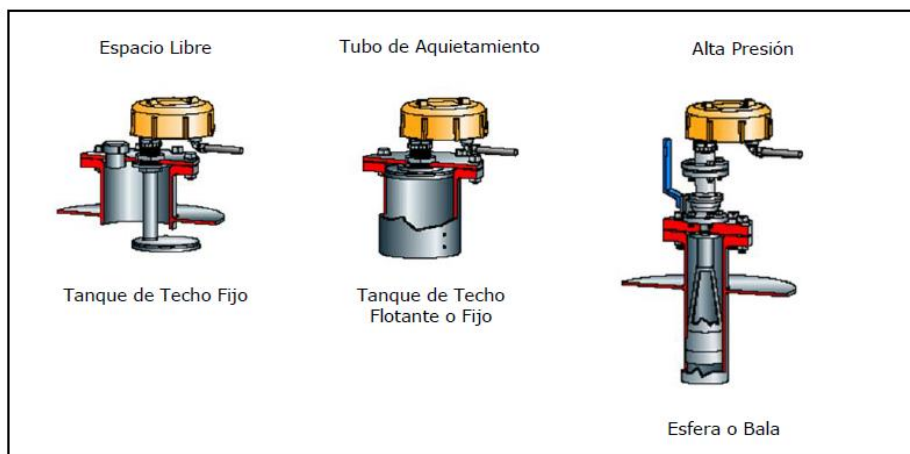


Figura 35 Medición con radar. Tipo de antena según aplicación.

Fuente: Manual de medición de hidrocarburos y biocombustibles, Cap. 3 (2013, pág. 21)

Medición Dinámica

La medición dinámica cuantifica la cantidad de petróleo y refinados empleando dispositivos de medición que determinan la cantidad de fluido que pasa durante una unidad de tiempo. Los medidores son de dos clases: directos o de inferencia (**EP Petroecuador, 2012**).

Este método permite determinar la cantidad de volumen de hidrocarburo que se transporta de un punto a otro mediante el uso de dispositivos mecánicos o electrónicos, como son: medidores de flujo, medidores volumétricos, medidores de turbina, medidores ultrasónicos, medidores máxicos, unidades *Lact/act*, entre otros.

Sistema SCADA (Supervisory Control And Data Adquisition)

El Sistema de control y adquisición de datos (SCADA), tiene como propósito controlar y monitorear las operaciones del Poliducto Esmeraldas-Quito. El sistema SCADA debe comunicar e integrar las cinco estaciones que conforman el poliducto en una sola red, de manera que permita el manejo de la información, gestión de alarmas, presentación de históricos, tratamiento de datos y monitoreo de las magnitudes y señales que se generen dentro del sistema; adicionalmente el control gráfico, pantallas y alarmas serán presentados en las consolas de operación.



Figura 36 HDMI Estación Faisanes.

Elaborada por: César Ríos

La estación de Faisanes cuenta con una *workstation* o llamada consola de visualización del Poliducto (Figura 36), dedicada exclusivamente para el SCADA. Las consolas forman parte de la red para la supervisión, operación y el manejo de la estación (TECNA Medanita del Ecuador, 2011).

Interfaz de usuario (HMI hombre-máquina)

El Curso de Operación de Poliductos de SEIN S.A. (2010), indica que las interfaces básicas de usuario son todos los canales (teclado, ratón, ventanas, *beeps* y otros sonidos que la computadora hace, etc.), que permiten tener una comunicación entre el ser humano y la computadora. Son de dos clases:

Interfaz de hardware: son los dispositivos utilizados para ingresar, procesar y entregar los datos, como son el teclado, el ratón y las pantallas de visualización.

Interfaz de software: es el interfaz destinado a entregar la información acerca de los procesos y herramientas de control, a través de lo que el usuario observa en la pantalla.

Funciones principales del software en el HMI

El software debe cumplir algunas funciones, tales como:

- ✓ Monitoreo: permite obtener y mostrar los datos de la planta en tiempo real.
- ✓ Supervisión: permite la posibilidad ajustar las condiciones de trabajo del proceso directamente desde la computadora.
- ✓ Alarmas: tiene la capacidad de reconocer y reportar eventos dentro del proceso.
- ✓ Control: manipula las variables del proceso como son: setpoints de presión, apertura y cierre de válvulas, históricos, entre otros.

Tareas de supervisión y control

Existen algunas tareas que deben ejecutarse para realizar la supervisión y control de los sistemas en general. Estas tareas, según SEIN S.A. (2010), son las siguientes:

- ✓ Accionamiento de los equipos de la estación.
- ✓ Configuración y calibración de los equipos, tales como los transmisores de presión actuadores.

- ✓ Manipulación de archivos, base de datos y registros históricos.
- ✓ Información de estado de las variables en tiempo real.
- ✓ Supervisión de niveles de alarmas y alteración en caso necesario.
- ✓ Control de accesos
- ✓ Sistemas de ayuda. (SEIN S.A., 2010, pág. 15)

De esta manera, existirá un control adecuado y con la mínima posibilidad de errores durante los procesos.

Función de las pantallas del HMI

Las funciones principales de las pantallas operacionales son mantener la seguridad, poder verificar la capacidad operacional y el fácil mantenimiento de las pantallas.

Las pantallas son la interfaz principal del operador con el proceso. El diseño de la interfaz operacional integra las pantallas estándar del sistema con las pantallas operacionales, lo que facilita que el operador tenga una cercanía con la operación real del proceso mostrado en la pantalla. El sistema debe suministrar una interfaz que tenga la capacidad intrínseca de monitorear y controlar el proceso.

Seguridad

El sistema debe contar con varios niveles de acceso, mismos que se le asignan a cada usuario, cada uno con diferentes opciones. Sin esta diferenciación, el control sería imposible. Usualmente, la distribución de los niveles de acceso se asigna en la Tabla 15.

Tabla 15 Niveles de acceso

Nivel de acceso	Nivel de seguridad	Función	Acciones disponibles
A	0	Visualización	Solo visualización: no es posible realizar ningún comando, cambio o modificación del sistema.
B	1	Operación	Operador: entrada de datos, asignación de comandos y selección de programas de aplicación.
C	2	Ingeniería	Ingeniería: realización de cambios, modificaciones y adiciones del sistema.
D	3	Administración	Supervisor: adición, modificación o borrado de códigos de acceso y de asignación de niveles de seguridad.

Fuente: Estudios de Ingeniería, TECNA (2009)

Elaboración: César Ríos

Proceso

En el cuarto de operaciones de la estación de bombeo Faisanes, se encuentra una pantalla destinada al control operativo del tanque de alivio y del tanque sumidero (figura 37), ambos del sistema de alivios y drenajes de la estación. En esta pantalla se despliega una ventana, desde la cual el donde el operador puede visualizar todas las variables de medición, entre ellas el nivel operativo del tanque, la temperatura del producto almacenado, las condiciones de la bomba del tanque, entre ellas el estado *on/off*, presión de descarga, flujo, densidad y temperatura.

Otra característica importante de esta pantalla es que, en caso de existir un riesgo por alto nivel o bajo nivel del tanque, la alarme emitirá una señal para poner en alerta al operador y este a su vez pueda realizar las actividades pertinentes de control.



Figura 37 Foto de ingeniería TECNA
Fuente: TECNA, Estudios de Ingeniería (2009)

HIPÓTESIS

Hipótesis alternativa (Hi):

El sistema de alivios y drenajes incide en el control operativo del tanque de alivio de la Estación de Bombeo Intermedia del Poliducto Esmeraldas – Quito.

Hipótesis nula (Ho):

El sistema de alivios y drenajes no tiene incidencia en el control operativo del tanque de alivio de la Estación de Bombeo Intermedia del Poliducto Esmeraldas – Quito

Señalamiento de las variables

Variable Independiente

Sistema de alivios y drenajes

Variable Dependiente

Control operativo del tanque de alivio

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

Enfoque investigativo

Para la presente investigación, se determinan dos enfoques metodológicos: cuantitativo y cualitativo. Se emplea el enfoque metodológico cuantitativo porque analiza las variables del problema planteado y establece una serie de conclusiones, con base en la medición numérica y el análisis estadístico de la variación de los parámetros de control operativo del tanque de alivio en el sistema de alivios y drenajes. De esta manera, pueden establecerse sus patrones de comportamiento y probar teorías.

En cuanto al enfoque cualitativo, se emplea porque recurre a la observación directa de los datos recogidos por los sistemas en funcionamiento y a la opinión experta de quienes se encuentran al frente de la operación, de manera que las variables consideradas pueden compararse entre sí para presentar un análisis completo.

MODALIDAD DE LA INVESTIGACIÓN

Bibliográfico documental

El presente trabajo tiene modalidad bibliográfica – documental porque propone aprender de los orígenes, alcances y teorías expuestas de los diferentes criterios de autores, para aplicarlos a los resultados y conclusiones obtenidas en este trabajo. Se consideran fuentes a documentos como: libros, ingenierías, manuales, cursos digitales, informes, revistas e internet.

De campo

La investigación es de campo, considerando que se recopiló información pertinente y específica para el problema planteado en el lugar de origen, es decir, la información directa en la Estación Intermedia de Bombeo Faisanes del Poliducto Esmeraldas Quito, a través de la empresa DIMPROIN S.A., proveedora de soluciones de ingeniería para la empresa pública EP PETROECUADOR.

NIVELES O TIPOS DE INVESTIGACIÓN

Exploratorio

Es de tipo exploratorio porque busca indagar sobre el problema planteado y encontrar nuevas perspectivas, de manera que permitan identificar los contextos y la relación de las variables del sistema de alivios y drenajes en el control operativo del tanque. Con sus resultados, podrá establecer investigaciones más elaboradas a futuro.

Descriptivo

Esta investigación corresponde a un nivel descriptivo, porque busca especificar las propiedades y características del proceso con un diseño estructurado y predeterminado, analizando los datos recolectados para describir y explicar los cambios en sus variables y procesar sus resultados de forma objetiva.

Explicativa

Es explicativa, porque busca encontrar las condiciones que generan que el sistema de alivios y drenajes tenga incidencia en el control operativo del tanque.

Población y muestra

Una población comprende “el conjunto de todos los casos que concuerdan con determinadas especificaciones” (Hernández Sampieri, 2010, pág. 174). Para la presente investigación, se

entiende como población la totalidad de los datos recopilados en la observación de los niveles operativos del tanque de alivio en la Estación de Bombeo Faisanes del Poliducto Esmeraldas – Quito.

Para la selección de la muestra se realiza un **muestreo no probabilístico o dirigido**, que selecciona casos ‘típicos’ sin intentar que sean representativos de una población determinada” (Hernández Sampieri, 2010, págs. 189-190), cuya ventaja reside en que no busca la “representatividad”, de algunos elementos de la población, sino que responde a “una cuidadosa y controlada elección de casos con ciertas características especificadas en el planteamiento del problema” (2010, pág. 190).

La selección de la muestra entonces se realizará de manera aleatoria, considerando unidades típicas de la población que se desea conocer. Así, la muestra en la presente investigación corresponde a los quince datos recopilados en la observación de los niveles operativos del tanque de alivio y la entrevista a profundidad realizada al supervisor de turno de la estación en mención.

OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Variable Independiente: Sistema de alivios y drenajes

Tabla 16 Operacionalización variable independiente

Contextualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Técnicas e instrumentos
El sistema de alivios y drenajes es el proceso que tiene como propósito fundamental: recolectar, conducir, limpiar y almacenar todos los residuos líquidos de la planta de bombeo, con el fin de recuperarlos y reinyectarlos nuevamente a línea del macro proceso de transporte de hidrocarburos, mediante el uso de equipos de bombeo.	Nivel operativo donde el equipo de bombeo no reinyecta	NPSH disponible: <ul style="list-style-type: none"> - Caracterización de fluido - Pérdidas de carga por fricción en la succión - Diferencia de elevación de los niveles de líquido 	¿Cuál será el NPSH disponible del sistema?	Observación en campo Registro de datos Revisión bibliográfica Cálculos hidráulicos Entrevista individual
		NPSH requerido del equipo de bombeo	¿Cuál será el NPSH requerido del equipo de bombeo?	Observación en campo Registro de datos Revisión bibliográfica Cálculos hidráulicos Curvas de funcionamiento de bomba

Elaborado por: César Ríos

Variable Dependiente: Control operativo del tanque de alivio

Tabla 17 Operacionalización variable dependiente

Contextualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Técnicas e instrumentos
Es el proceso donde el operador de la planta tiene la posibilidad de monitorear y controlar el nivel y el volumen del tanque de alivio, realizando los movimientos necesarios de producto del tanque hacia el Poliducto. De esta manera, garantizar la disponibilidad de almacenamiento en el tanque de alivio para los productos limpios recuperados en el proceso de bombeo de la planta.	Niveles operativos del tanque	Bajo nivel de tanque Alto nivel de tanque	¿Cuáles serán los niveles operativos del tanque por bajo y alto nivel?	Observaciones en campo Registro de datos bibliográficos
		Nivel de desalojo	¿Cuál será el nivel en el que el operador procede a evacuar el producto del tanque de alivio?	Observaciones en campo Registro de datos bibliográficos
	Volúmenes y tiempos de llenado del tanque de alivio	Volúmenes diarios de producto recolectado	¿Cuál será el volumen diario de producto recolectado?	Observaciones en campo Registro de datos bibliográficos
		Tiempo de llenado del tanque	¿Cuál será el tiempo en el que se llena totalmente el tanque?	Observaciones en campo Registro de datos bibliográficos

Elaborado por: César Ríos

TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

En el presente trabajo de investigación se utilizarán técnicas de recolección de datos como el análisis bibliográfico documental, observación y entrevistas.

En el análisis documental, se ha recolectado información de una serie de autores de libros, tesis, manuales, ingenierías e internet, mismos que se consideran los conceptos, teorías, ingenierías constructivas y fórmulas como guías de esta investigación.

La observación, por cuanto las visitas de campo realizadas a la estación de bombeo Faisanes del Poliducto Esmeraldas-Quito permite observar y analizar el sistema de alivios y drenajes, registrando los datos necesarios en campo y en el sistema SCADA, de manera que puedan identificarse los puntos más relevantes para esta investigación.

En cuanto a la entrevista, se realizó la entrevista al personal de operaciones de turno en la estación de bombeo, en este caso al supervisor de turno de la Estación de Bombeo Faisanes del Poliducto Esmeraldas – Quito, en entrevista individual a profundidad, que proporcione información de los antecedentes de los procesos y funcionamiento del sistema, de esta manera podrán considerarse sus opiniones y comentarios personales sobre los hechos significativos suscitados en el sistema.

En la Tabla 18 se puede apreciar el plan de recolección de la información.

Tabla 18 Plan de recolección de la información

Preguntas básicas	Explicación
¿Por qué?	Para definir los objetivos de la investigación
¿De qué personas?	Personal operativo de la planta
¿Sobre qué aspectos?	Sistemas de alivios y drenajes, funcionamiento, procedimientos, registros de nivel operativos, reportes.
¿Quiénes?	Investigador César Ríos
¿Dónde?	Estación de bombeo Faisanes del poliducto Esmeraldas-Quito
¿Cuándo?	Periodo 2015 – 2016
¿Cuántas veces?	Una sola vez con el personal operativo
¿Qué técnicas?	Análisis bibliográfico documental, observación en campo, entrevistas, simulación con software de bombas.
¿Con qué?	Guion de entrevista
¿En qué situación?	Durante horas laborables

Elaborado por: César Ríos

PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

La información recolectada estará expuesta considerando el siguiente esquema para su óptimo procesamiento y análisis.

- Revisión crítica de la información recopilada para que sea perfectamente depurada, y contar con una información precisa y legible.
- Análisis e interpretación de los resultados de la información recolectada.
- Verificación de la hipótesis planteada en el presente estudio.

Una vez realizadas las entrevistas y observaciones de campo en la Estación de bombeo Faisanes del poliducto Esmeraldas – Quito, se llevará a cabo el análisis e interpretación de los resultados enfocados a los objetivos y la hipótesis de la investigación, para así comprobar su validez y de esta manera establecer las conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para dar cumplimiento a esta investigación, se ha procedido a realizar un trabajo en dos fases: la primera, una entrevista a profundidad con el supervisor de la Estación de Bombeo Faisanes, Poliducto Esmeraldas – Quito, de EP Petroecuador. La segunda parte proviene de los cálculos realizados sobre la variable de NPSH disponible en el equipo de bombeo.

Entrevista a profundidad

La Tabla 19 indica la codificación de la entrevista realizada al supervisor de la Estación de Bombeo Faisanes, Poliducto Esmeraldas – Quito, de EP Petroecuador, de acuerdo a lo sugerido por Hernández Sampieri y otros (2010):

Tabla 19 Codificación y caracterización de respuestas

CÓDIGO	CARACTERIZACIÓN	FRECUENCIA
1	Medidas tomadas para desalojar el tanque	5
2	Problemas de desalojo / vaciado del tanque	5
3	Tiempo de llenado del tanque de alivio	3
4	Nueva configuración de líneas de drenaje	3
5	Problemas en sistema de seguridad de equipos de bombeo principales	3
6	Cavitación de la bomba	2
7	Control operativo del tanque de alivio	2
8	Producto	2
9	Sobredimensionamiento y presión de descarga de la bomba	2

Elaborado por: César Ríos

El formato de la entrevista y la transcripción completa puede verse en el Anexo 3.

Codificación y análisis de resultados

1. Medidas tomadas para desalojar el tanque

Coordinar con tanque vacuum dos veces al mes. Es decir, 24 veces al año.

Interpretación:

Estos procedimientos secundarios de desalojo de combustible del tanque de alivio implican gastos operacionales más altos, en cuanto a recursos. Además, son procedimientos que dilatan las operaciones pues requieren tiempos más largos para su consecución.

2. Problemas de desalojo / vaciado del tanque

El tanque debe alcanzar la cota máxima de 1,5 m de nivel. Actualmente, los niveles sobrepasan los 8 metros de altitud. Los sistemas de bombeo no se encuentran operativos.

Interpretación:

El no contar con un equipo de bombeo adecuado para el procedimiento de desalojo ha causado que los niveles de volumen del tanque superen las cotas de desalojo.

3. Tiempo de llenado del tanque de alivio

El tanque se llena en un tiempo aproximado de 30 días. En caso de emergencia, el tanque puede llenarse en 30 minutos.

Interpretación:

En condiciones normales, la estación opera sin dificultad con el sistema de alivios y drenajes, siempre y cuando este se encuentre operativo con descargas pequeñas, procedentes del accionamiento de las válvulas de alivio y de los drenajes de este sistema. En condiciones emergentes, el tanque puede llenarse en su totalidad en muy poco tiempo, si no se toman las acciones correspondientes, como son bloqueo de la estación, entre otras. De ahí la necesidad de contar con un tanque disponible permanentemente.

4. Nueva configuración de líneas de drenaje

Cambia el proceso de reinyección del producto contenido en los tanques de alivio y sumidero. Se adquieren nuevos equipos de bombeo para ambos tanques.

Interpretación:

El rediseño del sistema de alivios y drenajes cambia la configuración de reinyección del producto almacenado en el tanque de alivios.

5. *Problemas en sistema de seguridad de los equipos de bombeo principales*

Se estrangula la válvula de descarga de la bomba para controlar la presión de descarga y que no interfiera con los controles de seguridad. Si no se tiene habilitado el tanque de alivio, puede ocurrir un colapso del sistema. Si las válvulas principales de seguridad se accionan por más de 30 minutos, el tanque se llenaría por completo.

Interpretación:

Debe existir un control de la presión de descarga para evitar la interferencia con los equipos de bombeo principales, a fin de evitar el accionamiento de los paros de emergencia.

6. *Cavitación de la bomba*

El equipo de bombeo cavita cuando llega a un punto de aproximadamente 8 m. de nivel del tanque. Cuando esto sucede, se apaga el equipo de bombeo del tanque de alivio.

Interpretación:

El nuevo equipo de bombeo aparentemente no cumple con la condición de NPSH disponible mayor o igual al NPSH requerido por el equipo de bombeo, por lo tanto cavita.

7. *Control operativo del tanque de alivio*

El control operativo se realiza con el sistema SCADA, que permite controlar los niveles de caudal a través de alarmas de bajo y alto nivel. Esta información se corrobora a través de los datos arrojados en pantalla (SCADA), o visualmente en el campo (indicador BAREC).

Interpretación:

El tanque de alivio cuenta con indicadores que permiten tener un control permanente del tanque de alivio y de sus variables: nivel, presión y volumen, de tal manera que el operador cuente con herramientas confiables para el control.

8. *Producto*

El producto que contiene el tanque de alivio depende de la partida (cantidad de producto despachada a través del poliducto), puede ser diesel, gasolina o Jet Fuel. Cada partida toma una operación de transporte de 3 a 4 días, dependiendo su volumen.

Interpretación:

El tanque de alivio almacenará el producto que se encuentre en la línea de procesos. Por ello, requiere identificar el producto antes de su reinyección a la línea, para que sea compatible.

9. *Sobredimensionamiento y presión de descarga de la bomba*

El equipo de bombeo del tanque de alivio tiene una presión de descarga superior a la que se encuentra seteada en el manifold de succión de las bombas principales. Esta presión supera el setpoint de succión de las unidades principales de bombeo, que es de 125 psi.

Interpretación:

De acuerdo a las curvas del fabricante de la bomba del tanque de alivio, la presión de descarga es de 367.7 psi (ver Anexo 9), que supera ampliamente el rango de presión de las unidades principales de bombeo, lo que provoca que se accione el sistema de alarmas y se ocasionen paros de emergencia.

Interpretación general

De los resultados obtenidos en la entrevista al supervisor de la estación, se puede apreciar que el factor primordial que impide el desalojo o vaciado total del tanque de alivios se debe a la incorporación de un nuevo equipo de bombeo en el sistema, que posiblemente fue seleccionado sin hacer un análisis profundo del sistema de alivios y drenajes. El equipo de bombeo posee características que superan los niveles de las variables de caudal, presión de descarga de este sistema y el NPSH requerido es mayor al disponible. Estas condiciones suscitan la cavitación en el sistema cuando el tanque se encuentra a un nivel operativo alto, impidiendo que se pueda desalojar el producto en su totalidad, además de poner en riesgo la disponibilidad del tanque.

Análisis e interpretación de datos observados

A continuación, se presentan los datos obtenidos del cálculo del NPSH disponible del tanque de alivio y funcionamiento de la bomba en el sistema de reinyección de fluidos a la línea principal en la estación Faisanes. Se escoge esta variable (NPSH disponible) por cuanto es una de las observaciones hechas luego de la entrevista al supervisor de la estación, codificada en los ítems 2 y 6 de la Tabla 19.

En Anexo 14 se detallan los equipos que son parte del sistema de alivios y drenajes en la Estación Faisanes del Poliducto Esmeraldas – Quito, para observar gráficamente cómo funciona el sistema.

Procedimiento de evacuación y reinyección del producto

De acuerdo a la información proporcionada por el personal de la estación de bombeo Faisanes, el procedimiento que realiza el personal operativo para la evacuación del producto almacenado en el tanque de alivio y reinyectado a la línea del poliducto, se detalla en los siguientes pasos:

1. El operador verifica el nivel del líquido contenido en el tanque diariamente y registra el nivel.
2. El operador observa si el nivel del líquido contenido en el tanque es igual o mayor a un 1.5 metros,
3. En los registros de la planta, el operador verifica la base de combustible almacenado (gasolina, dieses o jet fuel).
4. En los registros e informes, el operador verifica la planificación de bombeo para determinar la partida de bombeo (cantidad de volumen que se transporta por la línea, especificando su cantidad y tipo de producto).
5. Luego de la verificación, se procede a reinyectar el producto almacenado en la partida correspondiente.

Características de los fluidos del sistema de bombeo del tanque de alivios y drenajes

Las propiedades de los fluidos con los que se trabaja en este sistema se detallan en la Tabla 20:

Tabla 20 Propiedades de los fluidos transportados a condiciones de operación

FLUIDO	Propiedad a 80°F	VALOR UNIDAD	UNIDAD
Gasolina	Gravedad específica	0.7428	-
	Viscosidad cinemática	0.90	cSt
	Presión de vapor	7-10	Psia
Diesel	Gravedad específica	0.8514	-
	Viscosidad cinemática	8.78	cSt
	Presión de vapor	2-3	Psia
Jet A-1	Gravedad específica	0.8118	-
	Viscosidad cinemática	2.00	cSt
	Presión de vapor	3-4	Psia

Fuente: TECNA – Medanito del Ecuador. Estudios de Ingeniería básica y de detalle Proyecto Modernización y repotenciación de estaciones Poliducto Esmeraldas Quito (2009) Ver Anexo 4
Elaborado por: César Ríos

Para efectos de cálculo, se escoge la gasolina por tener un valor de presión de vapor más conservador¹ que los demás fluidos. El fluido con el que se va a trabajar se encuentra en un tanque de almacenamiento atmosférico con techo fijo (tanque de alivio).

Cálculos Hidráulicos

De acuerdo a lo manifestado anteriormente, se escoge realizar el cálculo del NPSH disponible porque es la variable observada en la entrevista con el personal de la planta, quienes afirman que la bomba cavita cuando el fluido contenido en el tanque se encuentra más o menos a 8 metros de altura, condición muy superior a la esperada.

Para proceder a calcular el NPSH disponible ($NPSH_D$) con la ecuación propuesta,

$$NPSH_D = \frac{10 \times PA}{\gamma} + ha - Pca - \frac{10 \times Pv}{\gamma} \quad (27)$$

¹ Por conservador, se refiere a la presión de vapor más crítica de los fluidos a transportarse en la línea.

Es necesario realizar los siguientes cálculos previos:

Cálculo de PA (presión atmosférica)

La bomba se encuentra en una superficie a una altitud de 1 311 metros @ 27° C, metros sobre el nivel del mar (ver Anexo 5):

$$PA = 10.33 - \frac{\text{altitud}}{900} =$$

(28)

$$PA = 10.33 - \frac{1311(m)}{900} = 8.87m(0.887 Kg/cm^2)$$

Gravedad específica o densidad relativa de la gasolina a 80°F = 0.7316 (Ver Tabla 20), el resultado se expresa en Kg/dm³ como requiere la fórmula:

ρ = densidad del agua 1000 Kg/m³ (ver Anexo 12):

$$\rho r = \frac{\rho \text{ liquido}}{\rho \text{ agua}}$$

$$\rho r = \frac{0.7316}{1000 \text{ Kg}/m^3}$$

$$\rho \text{ liquido} = 1000 \text{ Kg}/m^3 \times 0.7316 = 731.6 \text{ Kg}/m^3$$

$$\gamma = \rho \times 9.8 \text{ m}/s^2$$

$$\gamma = 731.6 \text{ Kg}/m^3 \times 9.8 \text{ m}/s^2$$

$$\gamma = 7169.68 \text{ N}/m^3$$

$$7169.68 \text{ N}/m^3 = \frac{1 \text{ kg}}{9.8N} = 731.6 \frac{Kg}{m^3}$$

$$\gamma = 731.6 \frac{Kg}{m^3}$$

$$\gamma = 731.6 \frac{Kg}{m^3} \cdot \frac{1m^3}{(10 dm)^3} = 0.7316 \frac{Kg}{dm^3}$$

El peso específico (γ) de la gasolina es 0.7316 Kg/dm³

Cálculo del h_a (diferencia de aspiración entre la superficie del líquido y la entrada de la bomba)

En la Figura 38, se puede apreciar las alturas de los niveles de la boquilla de succión de la bomba y de la brida de descarga del tanque, por lo que él (h_a) que se considera para el cálculo es el nivel mínimo operativo del tanque.

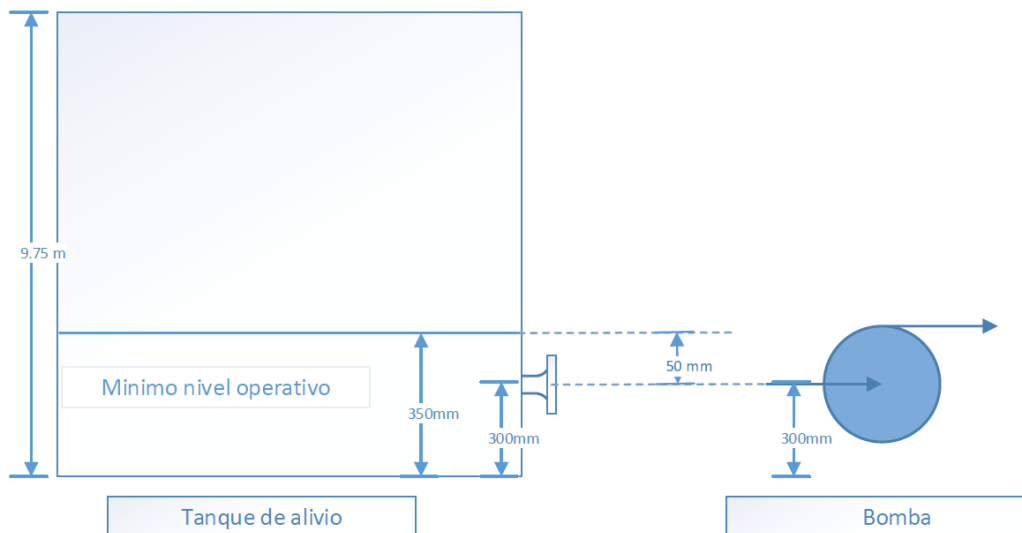


Figura 38 Diferencia de aspiración entre la superficie del líquido y la entrada de la bomba.

Elaborado por: César Ríos

$$h_a = 0.05 m$$

(29)

Cálculo del Pca (pérdidas de carga en la aspiración)

Área del tramo descarga del tanque

Brida de 6''= 154.1 mm (0.154 m) (ver Anexo 6)

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

(30)

$$A = \frac{\pi \times 0.154\text{m}^2}{4} = 0.01862 \text{ m}^2$$

Velocidad del fluido

$$v = \sqrt{2} * g * ha$$

(31)

$$v = \sqrt{2} * (9.8 \text{ m/s}^2) * (0.05\text{m})$$

$$v = 0.98994 \text{ m/s}$$

Caudal

$$Q = A \times v$$

(32)

$$Q = 0.01862 \text{ m}^2 \times 0.989949493 \text{ m/s}$$

$$Q = 0.018439296 \text{ m}^3/\text{s}$$

Número de Reynolds

La viscosidad cinemática (μ) de gasolina es de 0.8803 cst (8.8×10^{-07} m), ver Tabla 20.

$$Re = \frac{v \times D}{\mu}$$

(33)

$$Re = \frac{0.989949493 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 0.154\text{m}}{8.803 \text{ E}^{-7}}$$

$$Re = 173182.1219 \text{ Valor de tramo de tubería de 6''}$$

Para el tramo de tubería de 4", el diámetro interno (ver Anexo 6) es de 114.3 mm (0.114 m), el valor del número de Reynolds es = 128 199.752

El número de Reynolds es mayor a 4 000, por lo que se define un flujo turbulento para este cálculo.

El valor de rugosidad se considera de: 0.3 mm (0.0003 m), como recomienda el Anexo 8 para el material de tubería existente.

Rugosidad relativa:

$$\frac{D}{\epsilon}$$

(34)

$$\frac{D}{\epsilon} = \frac{0.154 \text{ m}}{0.0003 \text{ m}}$$

$$\frac{D}{\epsilon} = 513.33$$

Valor del factor de fricción (f) para el cálculo de las pérdidas en tubería.

$$f = \frac{1.325}{\left[\ln \left(\frac{e}{3.7D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2}$$

(35)

$$f = \frac{1.325}{\left[\ln \left(\frac{0.0003 \text{ m}}{3.7 \times 0.154 \text{ m}} + \frac{5.74}{173182.1219^{0.9}} \right) \right]^2}$$

$$f = 0.024479774 \text{ tubería de 6"}$$

$$f = 0.026562173 \text{ tubería de 4"}$$

Cálculo de la pérdida de energía debido a la fricción en las secciones de las tuberías

Longitud de succión de tubería de 6" = 0.70 m (**Error! No se encuentra el origen de la referencia.** 4, 13.5 y 13.6)

Longitud de succión de tubería de 4''=15.5 m (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** 4, 13.5 y 13.6)

$$hf = f x \frac{L}{D} x \frac{v^2}{2g}$$

(36)

$$hf_1 = 0.026562173 x \frac{15.5 \text{ m}}{0.114 \text{ m}} x \frac{0.989949493^2}{2 x 9.81 \text{ m/s}^2}$$

$$hf_1 = 0.1804 \text{ m} \text{ (Tramo de tubería de 4'')}$$

$$hf_2 = 0.024479774 x \frac{0.70 \text{ m}}{0.154 \text{ m}} x \frac{0.989949493^2}{2 x 9.81 \text{ m/s}^2}$$

$$hf_2 = 0.00556 \text{ m} \text{ (Tramo de tubería de 6'')}$$

$$hf = hf_1 + hf_2$$

$$hf = 0.1859 \text{ m} \text{ (Tramo total de tubería de succión)}$$

Cálculo de la pérdida de energía debido a la fricción en accesorios.

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

(37)

Válvula de globo de 4", K=10 (Anexo 1)

$$hm = 10 \frac{0.989949493^2}{2g} = 0.499 \text{ m}$$

Codo de 4", K=0.2 (Anexo 1)

$$hm = 0.2 \frac{0.989949493^2}{2g} = 0.0998 x (4\text{codos}) = 0.0399\text{m}$$

"T" de 4", K=0.2 (Anexo 1)

$$hm = 0.2 \frac{0.989949493^2}{2g} = 0.0998m$$

Válvula de compuerta de 6", K=0.15

$$hm = 0.15 \frac{0.989949493^2}{2g} = 0.00749m$$

Codo de 6", K=0.2 (Anexo 1)

$$hm = 0.2 \frac{0.989949493^2}{2g} = 0.0998m$$

Reducción de 6" x 4", K=1.189 (Anexo 1)

$$hm = 1.189 \frac{0.989949493^2}{2g} = 0.0593m$$

Se suman los resultados de los accesorios de 4" y se obtiene el siguiente resultado:

$$hm_{T1} = 0.499 + 0.0399 + 0.0998$$

$$hm_{T1} = 0.6387 m$$

Se suman los resultados de los accesorios de 6" y se obtiene el siguiente resultado:

$$hm_{T2} = 0.00749 + 0.0998 + 0.0593$$

$$hm_{T2} = 0.1665 m$$

El valor total de las pérdidas de energía debido a la fricción en accesorios se resume en la siguiente suma:

$$hm_T = hm_{T1} + hm_{T2}$$

$$hm_T = 0.6387 + 0.1665 = 0.8052 m$$

Las pérdidas de carga en la aspiración (PCA) se obtienen sumando los resultados de las pérdidas de energía debido a la fricción en las secciones de las tuberías y las pérdidas de energía debido a la fricción en accesorios.

$$PCA = hf + hm_T$$

$$PCA = 0.19 + 0.8052 = 0.99 \text{ m}$$

La presión de vapor del líquido a la temperatura de bombeo a 80° F se encuentra de la siguiente forma:

Tv de la gasolina = 10 psia @ 80° F (ver Tabla 20)

$$Tv \text{ gasolina} = 10 \frac{lb}{plg^2} \frac{1kg}{2.204lb} \frac{plg^2}{(2.54 \text{ cm})^2} = 0.703kg/cm^2$$

El NPSH_D del sistema es:

$$NPSH_D = \frac{10 \times PA}{\gamma} + ha - Pca - \frac{10 \times Tv}{\gamma}$$

Aplicando los resultados se obtiene:

$$NPSH_D = \frac{10 \times 0.887kg/cm^2}{0.7316 \text{ kg/dm}^3} + 0.05mts - 0.99mts - \frac{10 \times 0.703kg/cm^2}{0.7316 \text{ kg/dm}^3} =$$

$$NPSH_D = 12.12 + 0.05 - 0.99 - 9.6 = 1.574 \text{ m (5.164 pie)}$$

El valor de NPSH_R es un dato de fábrica del equipo de bombeo (Anexo 9):

$$NPSH_R = 26.34 \text{ pie}$$

Se debe considerar que para la bomba funcione correctamente cumpla con la siguiente condición:

$$NPSH_D \geq NPSH_R + 0.5m$$

$$5.164 \text{ pies} \geq 26.34 \text{ pies} + 0.5 \text{ m}(1.64 \text{ pie})$$

El sistema no cumple con la condición expuesta de $NPSH_D$ para que esta bomba funcione correctamente, sin que aparezca cavitación en el equipo. Esta condición ha sido observada por el personal operativo de la planta, expuesta en la entrevista realizada en este capítulo.

Obtención de una curva de referencia de $NPSH_D$ para las condiciones de funcionamiento de la bomba centrífuga en el sistema

Dado que la bomba centrífuga no cumple con la condición de $NPSH_D \geq NPSH_R + 0.5m$ y, siendo esta variable indispensable para que funcione el equipo y no llegue a zona de cavitación, el presente estudio se plantea mejorar la altura geométrica de aspiración. Para ello, es necesario tener una curva de referencia que se asemeje a las condiciones de funcionamiento, de manera que puedan compararse sus resultados con la entrevista al personal y las observaciones realizadas en campo del funcionamiento del equipo de bombeo.

Tabla 21 Resultados de $NPSH_D$ en relación a su altura geométrica

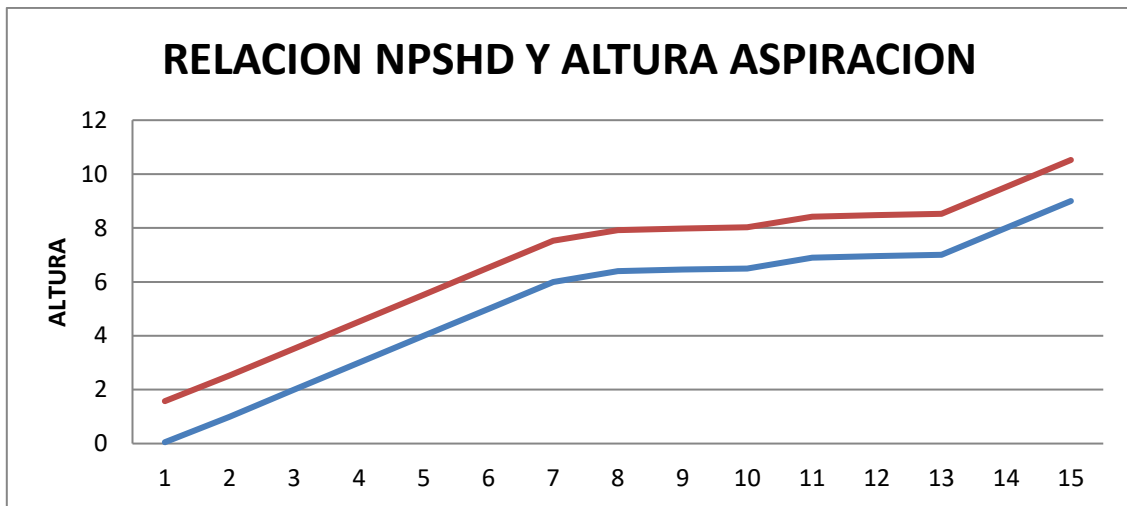
ALTURA DE ASPIRACIÓN	NPSH DISPONIBLE (metros)	NPSH DISPONIBLE (pie)	NPSH REQUERIDO (metros)
0,05 m	1,57 m	5,19	
1 m	2,52 m	8,33	
2 m	3,52 m	11,63	
3 m	4,52 m	14,93	
4 m	5,52 m	18,23	
5 m	6,52 m	21,53	
6 m	7,52 m	24,83	
6.4 m	7.92 m	26.15	
6.458 m	7.98 m	26.34	7.98 m
6.5 m	8.02 m	26.48	
6.9 m	8.42 m	27.80	
6.956 m	8.48 m	27.98	8.45 m factor de seguridad
7 m	8.52 m	28.13	

8 m	9,52 m	31,41	
9 m	10,52 m	34,71	

Elaborado por: César Ríos

Como se aprecia en la Tabla 21, los resultados del $NPSH_D$ en función a su altura geométrica, se requiere una altura de 6.96 metros de altura de aspiración para cumplir con la condición del $NPSH_D \geq NPSH_R + 0.5 \text{ m (1.64 pie)}$.

En la Figura 39 se puede apreciar como la altura de aspiración es directamente proporcional al $NPSH$ Disponible del sistema, si incrementamos su altura, incrementara el $NPSH$ Disponible.



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
ALTURA DE ASPIRACIÓN	0.05	1	2	3	4	5	6	6.4	6.46	6.5	6.9	6.96	7	8	9
NPSH DISPONIBLE (m)	1.57	2.52	3.52	4.52	5.52	6.52	7.52	7.92	7.98	8.02	8.42	8.48	8.52	9.52	10.5

Figura 39 Curva de relación entre $NPSH_D$ del sistema y su altura de aspiración.

Elaborado por: César Ríos

Este resultado se compara con la información obtenida en la entrevista al supervisor de la estación de bombeo de Faisanes.

Tabla 22 Comparación de resultados

Información recolectada	Resultados
$NPSH_D$ calculado	6.96 metros
Pregunta 6	Aprox. 8 metros

Elaborada por: César Ríos

Como puede observarse en la Tabla 22, existe un alto grado de similitud en los resultados obtenidos tanto en los cálculos de $NPSH_D$ con las respuestas entregadas por el supervisor de la estación de bombeo. En otras palabras, la bomba requiere estar ubicada a un nivel de aspiración por debajo de los 6.96 m para evitar la cavitación en el equipo.

Análisis de las curvas características de las bombas, cambiando sus parámetros

En la figura 40 se aprecia las curvas características de la bomba instalada en la actualidad es de marca Ruhrpumpen, de tipo OH2.

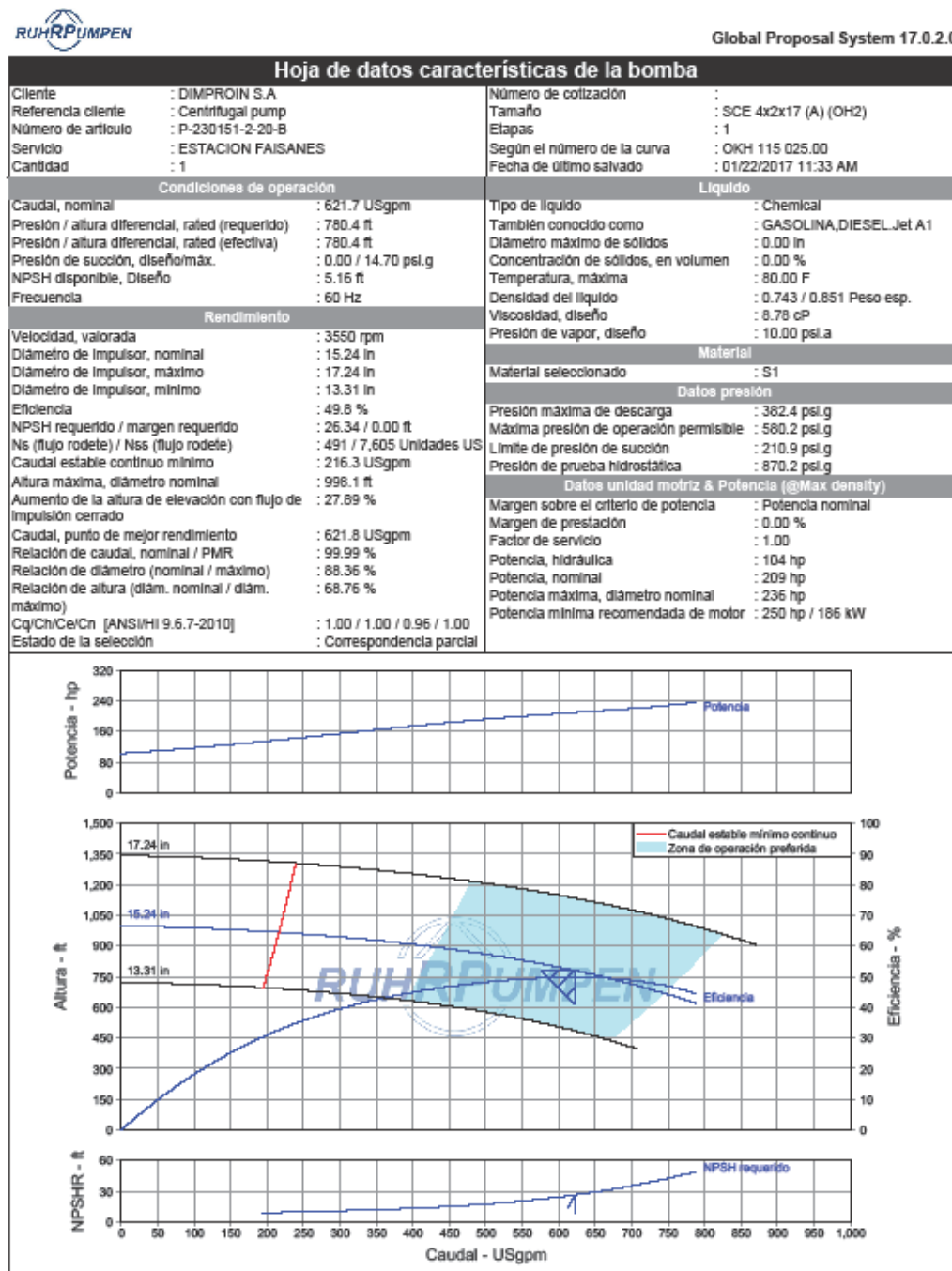


Figura 40 Curvas características de la bomba instalada actualmente

Fuente: Ruhrpumpen, Curva característica bomba Faisanes Estándar. Documento fabricante. (2016).
Elaborada por: César Ríos

En figura 40 se pueden contemplar las condiciones operativas del equipo de bombeo de la estación Faisanes. Esta curva se obtuvo en el software de aplicación del fabricante en línea con los datos del sistema y del equipo de bombeo previamente mencionados. Los resultados obtenidos muestran los siguientes datos: caudal de bombeo, altura (TDH), presión de descarga de la bomba, entre otros parámetros. En la condición de estado de selección, el software indica el estado de “correspondencia parcial”, observación que el fabricante hace sobre una anomalía en los criterios de diseño, en este caso se refiere a la condición de $NPSH_D$ (5.16 ft) que es inferior a la requerida por el sistema.

Efectos en las características de las curvas de bomba con la aplicación de las Leyes de Afinidad

Variación de diámetro del impulsor

Después de observadas estas condiciones del sistema de alivios y drenajes de la estación de bombeo, puede deducirse que, para mejorar el $NPSH_D$ que requiere la bomba, esta tendría que estar instalada a una altura de alrededor de 7 m por debajo del nivel actual. Siendo este un factor limitante, se considera reducir este parámetro de altura con la ayuda de las leyes de afinidad, que más adelante permitirán definir más opciones.

Para el procedimiento de cálculo de las leyes de afinidad se tendrán en cuenta los siguientes datos:

$$Q_1 = 621.7 \text{ USgpm} \text{ (Ver Anexo 9, curva característica de la bomba)}$$

$$Q = 416 \text{ USgpm} \text{ (Ver Anexo 4 P\&D, valor de referencia del antiguo equipo de bombeo)}$$

$$D_1 = 15.24 \text{ in} \text{ (Ver Anexo 9, curva característica de la bomba)}$$

$$D = 13.31 \text{ in} \text{ (Ver Anexo 9, curva característica de la bomba, valor mínimo recomendado)}$$

$$H = 780.4 \text{ ft} \text{ (Ver Anexo 9, curva característica de la bomba)}$$

Por la ley de afinidad que relaciona el caudal con el diámetro del impulsor, se obtiene el siguiente resultado:

$$\frac{Q}{Q_1} = \frac{D}{D_1}$$

(38)

$$\frac{Q}{621.7 \text{ gpm}} = \frac{13.31 \text{ in}}{17.24 \text{ in}}$$

$$Q = \frac{13.31 \text{ in}}{17.24 \text{ in}} \times 621.7 \text{ gpm} = 480 \text{ gpm}$$

Por la ley de afinidad que relaciona la altura con el diámetro del impulsor, se obtiene el siguiente resultado:

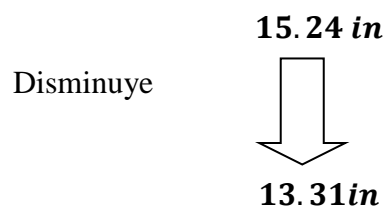
$$\frac{H}{H_1} = \left(\frac{D}{D_1}\right)^2$$

(39)

$$\frac{H}{780.4 \text{ ft}} = \left(\frac{13.31 \text{ in}}{17.24 \text{ in}}\right)^2$$

$$H = \left(\frac{13.31}{17.24}\right)^2 \times 780.4 \text{ ft} = 465 \text{ ft}$$

Por lo tanto, si disminuye el diámetro del rodete de:



Las condiciones hidráulicas de la bomba cambiarían:

$$\text{Capacidad} = 480 \text{ USgpm}$$

$$\text{Altura total} = 465 \text{ ft}$$

$$\text{NPSH}_R = 24.39 \text{ ft (Anexo 9)}$$

Con la finalidad de conocer el comportamiento del NPSHR del equipo de bombeo, variando su diámetro, se utiliza el software en línea del fabricante para observar el resultado de las condiciones hidráulicas de la bomba, que se muestran en Tabla 23.

Tabla 23 Condiciones hidráulicas de la bomba variando el diámetro del impulsor

VARIACIÓN DEL DIÁMETRO DEL IMPULSOR							
	CAUDAL	NPSHR	TDH	EFICIENCIA	POTENCIA	VELOCIDAD	DIÁMETRO
1	621	26.34	780.4	49.8	209	3550	*15.24
2	618	26.18	768.3	48.9	209	3550	*15.16
3	613	26.03	746.8	48.7	202	3550	*15
4	608	25.88	725.7	48.5	196	3550	*14.84
6	605	25.81	715.3	48.4	192	3550	*14.76
6	596	25.54	679.4	48	181	3550	*14.49
7	580.6	25.09	620.3	47.3	164	3550	*14.02
8	571.4	24.82	587.3	46.9	154	3550	*13.74
9	563.5	24.59	559.7	46.6	146	3550	*13.5
10	556.9	24.39	537.3	46.3	139	3550	*13.31

Fuente: Ruhrpumpen, Curva característica bomba Faisanes Estándar. Simulación de curvas características de la bomba a distintos diámetros (Tabla 23).

Elaborada por: César Ríos

Una vez analizados los resultados de la Tabla 23, se puede concluir que el NPSH_R de la bomba varía proporcionalmente al diámetro del rodete, es decir, si disminuye su diámetro, se reduce el NPSH_R y viceversa, la reducción mínima sugerida por el fabricante es de 13.31 pulgadas de diámetro de rodete, en donde se obtiene un resultado de 24.39 ft de altura de NPSH_R .

Con este valor y los datos establecidos en Tabla 21 de resultados de $NPSH_D$ y altura de aspiración, se constata que se tendría una disminución del $NPSH_R$ del equipo de bombeo de 1.95 pie (0.60 m), este resultado permitirá tener un criterio preponderante para la selección de una propuesta de solución.

Variación de velocidad del impulsor

Utilizando las aplicaciones del software en línea del fabricante, se realizan varias simulaciones considerando varias velocidades, de tal manera que se puedan conocer los efectos que causa esta variación en las condiciones hidráulicas del equipo de bombeo, indicadas en la Tabla 24.

Tabla 24 Condiciones hidráulicas de la bomba variando la velocidad del motor eléctrico

VARIACIÓN DE LA VELOCIDAD							
	CAUDAL	NPSH R	TDH	EFICIENCIA	POTENCIA	DIÁMETRO	VELOCIDAD
1	621	26.34	780.4	49.8	209	15.24	*3550
2	590	23.71	703.9	48.8	183	15.24	*3375
3	558	21.22	630.6	48.7	155	15.24	*3195
4	527	18.94	563.1	48.5	132	15.24	*3020
5	498	17.44	497.7	48.2	110	15.24	*2840
6	464	16.31	436.3	47.8	91	15.24	*2660
7	433	15.21	380.5	47.4	75	15.24	*2485
8	400	14.04	325.7	47	59.69	15.24	*2300
9	370.5	12.98	279	46.5	47.78	15.24	*2130
10	338.7	11.84	233.5	45.9	37	15.24	*1950

Fuente: Ruhrpumpen, Curva característica bomba Faisanes Estándar. Simulación de curvas características de la bomba a distintas velocidades. (Anexo 11).

Elaborada por: César Ríos

En los resultados obtenidos en la Tabla 24, se puede observar que el $NPSH_R$ de la bomba varía de manera directamente proporcional a la disminución de la velocidad. Considerando la menor velocidad (1 950 rpm), cuando el estado de selección de la bomba tiene una condición de “aceptable”, se obtiene un valor de $NPSH_R$ de 11.84 ft, valor que se verifica en la Tabla 24 y se obtiene un valor de altura de aspiración de 2 metros. En consecuencia, si se opera la bomba

a bajas revoluciones (1 950 rpm), el nivel de la altura de desplazamiento de la bomba será de 2 metros abajo del nivel actual.

VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Para la comprobación de la hipótesis en la presente investigación se emplea el coeficiente de correlación de Pearson, que es una “prueba estadística para analizar la relación entre dos variables medidas en un nivel por intervalos o de razón” (Hernández Sampieri, 2010, pág. 311), por ser la más adecuada en relación a los datos recolectados.

Como primer paso, se establecen tanto la hipótesis alternativa como la hipótesis nula.

Hipótesis alternativa (H_i):

El sistema de alivios y drenajes incide en el control operativo del tanque de alivio de la Estación de Bombeo Intermedia del Poliducto Esmeraldas – Quito.

Hipótesis nula (H_o):

El sistema de alivios y drenajes no incide en el control operativo del tanque de alivio de la Estación de Bombeo Intermedia del Poliducto Esmeraldas – Quito.

Las variables a emplear son dos, una variable independiente y una variable dependiente.

Variable Independiente

Análisis del sistema de alivios y drenajes

Variable Dependiente

Control operativo del tanque de alivio

Con estas variables establecidas, se procede a realizar la comprobación estadística de la hipótesis a través del método más pertinente, que empleará el coeficiente de correlación lineal de Pearson, dado que es el que más se ajusta a la presente investigación.

Comprobación de la hipótesis

Para realizar la comprobación de la hipótesis, se procede a revisar los escritos del profesor Carlos Camacho (2017), autor del módulo Análisis de Datos en Psicología, del departamento de Psicología Experimental de la Universidad de Sevilla. En este módulo, establece que el coeficiente de correlación de Pearson se calcula a partir de puntuaciones obtenidas en una muestra con dos variables y que los valores de una variable están relacionados con la otra, de manera que se demuestre que la correlación entre ambas variables es significativa.

La fórmula resumida por Camacho (2017, pág. 6) establece que el coeficiente de correlación de Pearson está dado por:

$$r_{xy} = \frac{\frac{\sum XY}{N} - \bar{X}\bar{Y}}{S_x S_y} \quad (40)$$

En donde:

r = Coeficiente de Pearson

X = Valores de NPSH disponible

Y = Valores de altura geométrica

S_x = Desviación estándar de x

S_y = Desviación estándar de y

N = número de observaciones

Para realizar esta prueba y aplicar la fórmula propuesta, se emplearán los grupos de datos de altura geométrica (H_a) y NPSH disponible, expresados en Tabla 25.

Si la relación entre las dos variables es lineal, puede aplicarse el coeficiente de Pearson. En primera instancia, se hará esta verificación tomando los datos de ambos grupos:

Tabla 25 Datos de altura geométrica y NPSH disponible

NPSH disponible	Altura geométrica
X	Y
1.57	0.05
2.52	1
3.52	2
4.52	3
5.52	4
6.52	5
7.52	6
7.92	6.4
7.95	6.43
8.02	6.5
8.42	6.9
8.43	6.91
8.44	6.92
8.45	6.93
8.52	7
9.52	8
10.52	9
117.95	92.04

Elaborado por: César Ríos

La gráfica resultante se muestra en Figura 41:

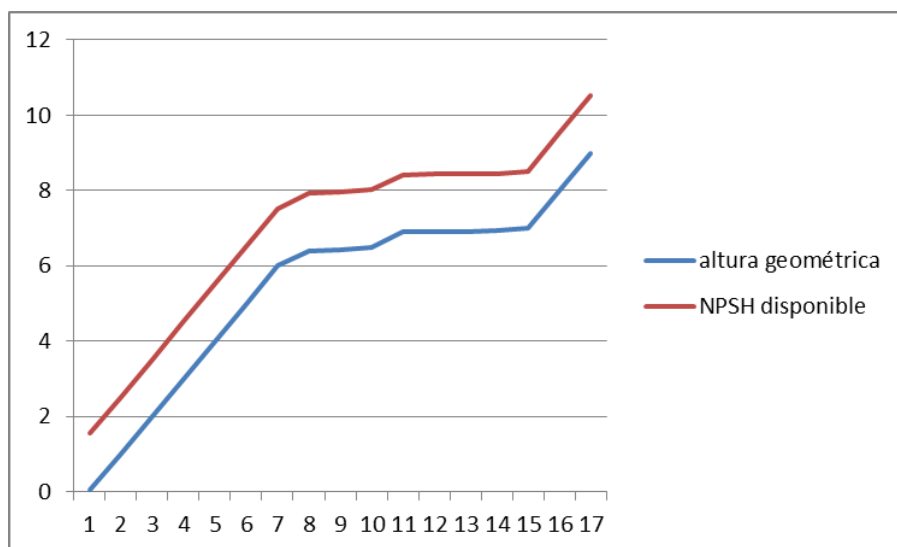


Figura 41 Gráfica de datos de altura geométrica y NPSH disponible.

Elaborado por: César Ríos

Existe una relación lineal en la relación de las variables, por tanto, puede emplearse el coeficiente de Pearson. Para el cálculo de este coeficiente, se configura la Tabla 26:

Tabla 26 Cálculo de datos para coeficiente de correlación de Pearson

X	Y	X²	Y²	XY
1.57	0.05	2.465	0.0025	0.078
2.52	1	6.371	1.000	2.524
3.52	2	12.419	4.000	7.048
4.52	3	20.467	9.000	13.572
5.52	4	30.515	16.000	22.096
6.52	5	42.563	25.000	32.620
7.52	6	56.611	36.000	45.144
7.92	6.4	62.790	40.960	50.714
7.95	6.43	63.266	41.345	51.144
8.02	6.5	64.385	42.250	52.156
8.42	6.9	70.964	47.610	58.126
8.43	6.91	71.132	47.748	58.279
8.44	6.92	71.301	47.886	58.432
8.45	6.93	71.470	48.025	58.586
8.52	7	72.659	49.000	59.668
9.52	8	90.707	64.000	76.192
10.52	9	110.755	81.000	94.716
117.95	92.04	920.849	600.827	741.096

Elaborado por: César Ríos

Se procede al cálculo de la media de X e Y:

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{N}$$

$$\bar{X} = \frac{117.95}{17}$$

$$\bar{X} = 6.94$$

$$\bar{Y} = \frac{\sum Y}{N}$$

$$\bar{Y} = \frac{92.04}{17}$$

$$\bar{Y} = 5.41$$

Se establecen las desviaciones estándar de X e Y, siguiendo el procedimiento propuesto por (Camacho Martínez, 2017):

$$S_X = \sqrt{\frac{\Sigma X^2}{N} - \bar{X}^2}$$

$$S_X = \sqrt{\frac{920.85}{17} - 48.14}$$

$$S_X = \sqrt{54.17 - 48.14}$$

$$S_X = \sqrt{6.03}$$

$$S_X = 2.4556$$

$$S_Y = \sqrt{\frac{\Sigma Y^2}{N} - \bar{Y}^2}$$

$$S_Y = \sqrt{\frac{600.83}{17} - 29.31}$$

$$S_Y = \sqrt{35.34 - 29.31}$$

$$S_Y = \sqrt{6.03}$$

$$S_Y = 2.4556$$

Los datos resultantes de los cálculos para aplicar la ecuación (40) son los siguientes:

Tabla 27 Resumen de datos obtenidos para aplicar ecuación (40)

N	17
ΣX	117.95
ΣY	92.04
\bar{X}	6.94
\bar{Y}	5.41
ΣX^2	920.849
ΣY^2	600.827
ΣXY	741.096
S_x	2.4556
S_y	2.4556

Elaborado por: César Ríos

Aplicando la ecuación (40):

$$r_{xy} = \frac{\frac{\Sigma XY}{N} - \bar{X}\bar{Y}}{S_x S_y}$$

$$r_{xy} = \frac{\frac{741.1}{17} - 6.94 * 5.41}{2.4556 * 2.4556}$$

$$r_{xy} = \frac{43.58 - 37.55}{6.0299}$$

$$r_{xy} = \frac{6.03}{6.03}$$

$$r_{xy} = 1$$

Interpretación

De acuerdo con Hernández Sampieri, “se relacionan las puntuaciones recolectadas de una variable con las puntuaciones obtenidas de la otra, con los mismos participantes o casos” (2010, págs. 311-312), y es correlacional, es decir, que la Y aumenta o disminuye en la misma relación

que X . El nivel de correlación puede ir de -1 a 1. Si la correlación es negativa, si X es mayor, Y descenderá en la misma proporción. Si, en cambio, la correlación es positiva, cada vez que X aumente, Y lo hará en la misma medida.

En este caso, la correlación obtenida es positiva en el nivel de 1. Por tanto, la correlación entre el sistema de alivijs y drenajes y el control operativo del tanque de alivio es considerable y positiva. Es decir, se acepta la hipótesis alternativa por cuanto lo que sucede en el sistema de alivijs incide en la operación del tanque.

La tabla de correlación 27 establece los niveles en los que se relacionan las variables. En el caso de la presente, es positiva de nivel 1. Para Camacho (2017), en las ciencias exactas es común que existan correlaciones positivas perfectas, porque los fenómenos se ajustan a leyes conocidas. La gráfica resultante puede observarse en Figura 42.

Tabla 28 Tabla de correlación

	NPSH disponible	Altura geométrica
NPSH disponible	1	
Altura geométrica	1	1

Elaborado por: César Ríos

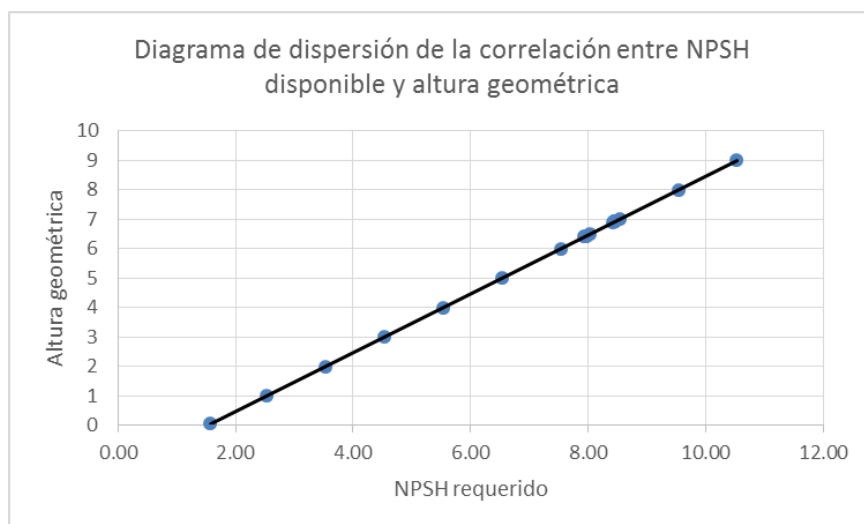


Figura 42 Diagrama de dispersión de la correlación entre NPSH disponible y altura geométrica

Elaborado por: César Ríos

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

1. Una vez analizadas las variables del sistema de alivios y drenajes de la estación de Bombeo Faisanes, Poliducto Esmeraldas – Quito, EP Petroecuador, se define que las más importantes y que inciden en el sistema son el NPSH disponible, el NPSH requerido de la bomba, la altura dinámica total y el caudal de bombeo. Estas variables proporcionaron la información necesaria para identificar el problema, mismo que impide el normal funcionamiento del sistema de reinyección del producto almacenado en el tanque de alivio hacia la línea principal del poliducto.
2. Concluido el análisis del sistema de alivios y drenajes, se identifica que el factor primordial que impide el óptimo control operativo en el tanque de alivio de la Estación de Bombeo Faisanes es el equipo de reinyección P-230151-2-20-B, cuyo NPSH disponible es menor que el NPSH requerido por el sistema. Por tanto, llega a zona de cavitación a una altura de 7.51 m, que representa el 77% de volumen almacenado en el tanque, es decir, la bomba solo evacúa un 23% de la capacidad total del tanque. Esta situación altera el control operativo normal del tanque de alivio.
3. Conocido el factor que impide que el equipo de bombeo funcione normalmente y, con los cálculos adecuados, se determina que la propuesta más viable para mantener la disponibilidad operativa del tanque es aumentar el NPSH disponible del sistema y/o reducir el NPSH requerido del equipo de bombeo, que se definirá a través de un análisis de alternativas.

RECOMENDACIONES

1. Conocidas las variables que inciden en el óptimo control operativo del tanque de alivio, se recomienda tener un mayor control en los criterios de selección de los equipos que se compraron por concepto de repotenciación de la planta, durante la fase de diseño, procura y construcción.
2. Dado que el NPSH disponible es inferior al NPSH requerido, se recomienda mejorar estas variables para que se cumpla la condición de seguridad que evita llegar a la zona de cavitación, en la cual el NPSH disponible debe ser \geq al NPSH requerido + 0.5 m. De esa manera, el control operativo del tanque de alivio mejorará considerablemente.
3. Se recomienda optimizar el funcionamiento de la bomba de reinyección desde el tanque de alivio de la estación al poliducto. Con esta medida, se podrá utilizar el equipo de bombeo actual sin la necesidad de adquirir un nuevo equipo, a lo que deben sumarse el proceso de selección, diseño, tiempos de gestión, asignación de recursos para el área usuaria, que en el ámbito público son en extremo largos y costosos.

CAPÍTULO V

PROPUESTA

TÍTULO

Rediseño del sistema de reinyección desde tanque de alivio en la estación Faisanes, Poliducto Esmeraldas – Quito, para la empresa DIMPROIN S.A.

Datos Informativos:

- Empresa – Institución: Compañía de Mantenimiento DIMPROIN S.A.
- Beneficiario: EP Petroecuador
- Ubicación: Santo Domingo de los Colorados
- Tiempo para la investigación: Once meses
- Fecha inicio: julio 2016
- Director – Gerente: Ing. Luis Valencia
- Investigador: Tlgo. César Ríos

Antecedentes de la propuesta

La Compañía de Mantenimiento DIMPROIN S.A. es una empresa de ingeniería industrial que brinda soluciones a la industria petrolera nacional, en este caso para la empresa EP Petroecuador en el poliducto Esmeraldas – Quito, en la estación de bombeo Faisanes. Luego del proceso de repotenciación del poliducto, en la mencionada estación existe un problema con el sistema de alivios y drenajes, cuya implementación ocasiona dificultades en el desalojo del producto contenido en el tanque y que ha sido previamente analizado en el árbol de problemas.

La instalación inadecuada del equipo de bombeo para el tanque de alivio, resulta en el empleo de métodos secundarios para el desalojo de productos, lo que genera un incremento de actividades y costos operativos.

Una vez observadas las distintas variables que influyen en el sistema de alivios y drenajes que se encuentran detalladas en esta investigación, se procede a realizar esta propuesta que permitirá mejorar el NPSH de la bomba P-230151-2-20-B para reinyección del tanque de alivio.

Justificación de la propuesta

Esta propuesta es de **interés** porque pretende optimizar el funcionamiento del equipo de bombeo instalado para que cumpla con los procesos requeridos en la estación de bombeo Faisanes, de una manera técnica, segura y confiable.

La **importancia** de esta propuesta radica en la reducción de recursos económicos y técnicos para la realización de actividades operativas de rutina, en el funcionamiento del sistema de alivios y control operativo del tanque.

Los **beneficiarios** de esta propuesta serán los miembros del grupo operativo de la Estación de Bombeo Faisanes del Poliducto Esmeradas – Quito, perteneciente a la empresa Estatal Petrolera EP Petroecuador.

Es **original**, porque procede del estudio de las condiciones técnicas y operativas propias de los equipos de la estación, que permite encontrar la solución más viable y corregir el funcionamiento de la unidad de bombeo deficiente.

La solución presentada es **factible** porque se empleará el mismo equipo de bombeo, por esta razón no se incrementarían los costos y la operación puede mejorar considerablemente en un corto plazo luego de su implementación.

Objetivos

Objetivo General

Rediseñar el sistema de reinyección desde tanque de alivio en la estación Faisanes del Poliducto Esmeraldas – Quito.

Objetivos Específicos

- Establecer alternativas de solución para incrementar el NPSH disponible del sistema de reinyección y/o reducir el NPSH requerido en el equipo de reinyección.
- Evaluar técnicamente alternativas de solución mediante una matriz de selección, que permita definir la propuesta más viable.
- Definir el diseño de la propuesta de solución seleccionada.

Análisis de factibilidad

Para elaborar la siguiente propuesta, se han tomado en cuenta diversos factores de viabilidad, detallados a continuación:

Organizacional

La empresa DIMPROIN S.A. dispone de los recursos técnicos y humanos que permitirán llevar a cabo esta propuesta, una vez que sea reconocida y autorizada por el área usuaria, en este caso EP Petroecuador.

Ambiental

La solución propuesta en la presente investigación no afectará el medio ambiente ni la relación de la empresa con la comunidad, además evitará riesgos ambientales potenciales a futuro.

Rentabilidad

La presente propuesta permite dar soporte a los procesos de repotenciación y modernización en el país, por lo tanto es rentable tanto para la empresa como para la sociedad en general.

Económica

Dado que no requiere la compra de equipos sofisticados o construcción de grandes estructuras, tanto la empresa DIMPROIN como el área usuaria no harán inversiones fuertes en cuestión económica, por tanto la propuesta es viable en este sentido.

Fundamentación

La investigación bibliográfica presentada en este estudio en los capítulos II y el análisis de los resultados obtenidos en el capítulo IV, serán la fundamentación teórica para dar continuidad a la propuesta de mejoramiento del NPSH disponible y/o disminución del NPSH requerido del sistema de reinyección, para evitar el proceso de cavitación en el equipo de bombeo del tanque de alivio en la estación Faisanes.

Con la ayuda del programa Global Proposal System versión 17.0.2.0 de Ruhrpumpen, fabricante de la bomba instalada, se llevarán a cabo las simulaciones de las variables de caudal y velocidad, que son necesarias para precisar la altura y la presión de descarga requeridas de la bomba instalada en la actualidad. De esta manera, se comprobará si este equipo puede funcionar en las condiciones propuestas.

Metodología

A través de cálculos matemáticos y de la utilización del software *Global Proposal System*, se procederán a realizar las simulaciones para analizar el comportamiento de la bomba principal modificando sus parámetros, de esta manera que la propuesta final cumpla con los objetivos planteados.

SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

Considerando las recomendaciones extraídas del capítulo 4 de la presente tesis, se explican a continuación algunas alternativas para mejorar el funcionamiento del equipo de bombeo del sistema de alivios y drenajes de la estación Faisanes, que son:

- Aumentar el NPSH disponible
- Disminuir el NPSH requerido

Existen varias alternativas para cada uno de los métodos, que pueden ser implementadas para optimizar el sistema de alivios. Para elegir la propuesta más acertada, se procederá a analizar cada una de las alternativas con sus ventajas y desventajas, de modo que pueda realizarse una selección objetiva y pertinente.

Alternativas para aumentar NPSH disponible del sistema

A continuación, se detallan distintas alternativas para dar cumplimiento al objetivo general, que permitan tomar decisiones con base en el análisis de ventajas y desventajas de cada una.

Alternativa 1: Aumentar la altura geométrica

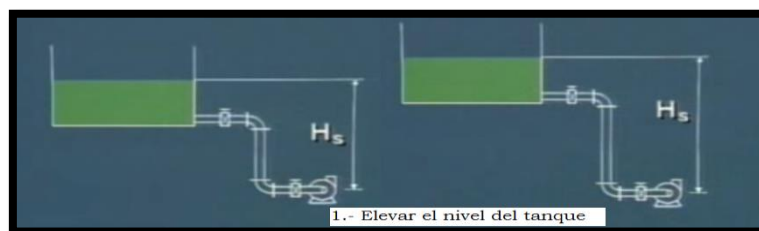


Figura 43 Elevación del nivel del tanque.

Fuente: Cavitación y NPSH, Archivo de video, A.W. Chesterton Co. (1999)

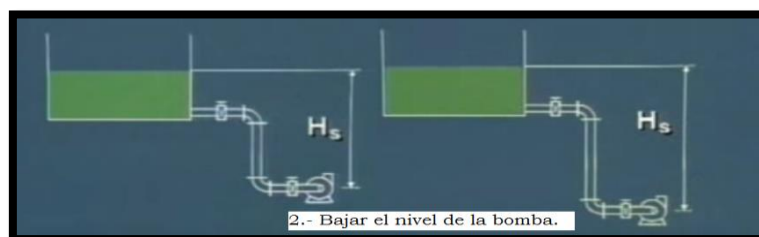


Figura 44 Disminución del nivel de la bomba

Fuente: Cavitación y NPSH, Archivo de video, A.W. Chesterton Co. (1999)

Ventaja

- Aumenta el NPSH disponible en el sistema.
- Mover la bomba es una actividad factible.
- Costo relativamente bajo

Desventaja

- Mover el tanque puede resultar imposible en tanques de gran diámetro.
- El mover la bomba requiere realizar nuevos acomodos de instalaciones en bases, sistemas eléctricos y tuberías (rediseño).

Alternativa 2: Reducir el valor de la presión de vapor

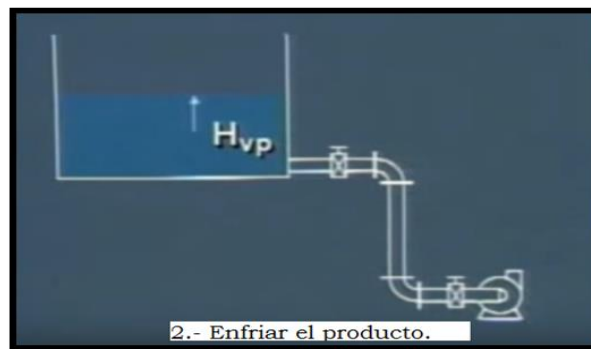


Figura 45 Reducir la presión de vapor.

Fuente: Cavitación y NPSH, Archivo de video, A.W. Chesterton Co. (1999)

Ventaja

- Disminuye el valor de presión de vapor, parámetro de cálculo del NPSH disponible.
- Se puede disminuir la presión de vapor, bajando la temperatura del líquido, enfriando el producto por reposo a condiciones del clima.
- Costos bajos.

Desventaja

- Aplica a fluidos que estén sometidos a temperatura.
- El bajar la temperatura en los fluidos podría aumentar la viscosidad de manera exponencial, como es el caso de los crudos.

Alternativa 3: Reducir las pérdidas por fricción

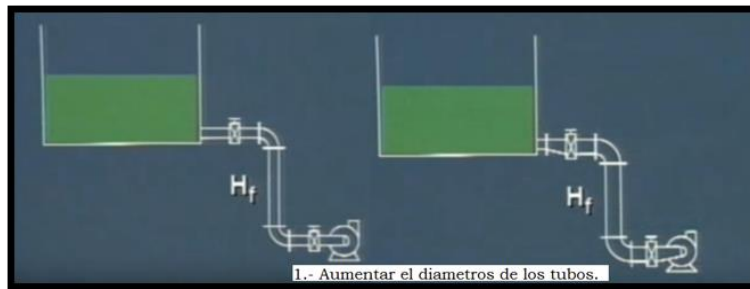


Figura 46 Reducir pérdidas por fricción – aumentar diámetros de tubería.
Fuente: Cavitación y NPSH, Archivo de video, A.W. Chesterton Co. (1999)

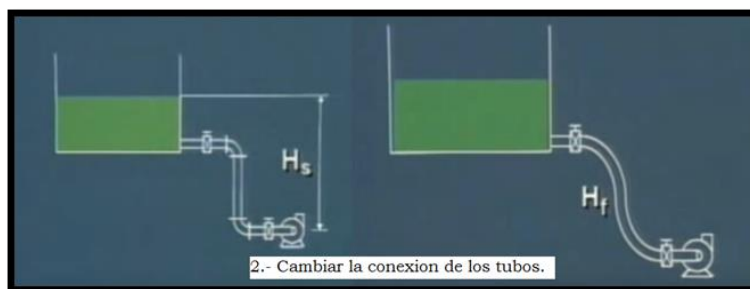


Figura 47 Reducir pérdidas por fricción – cambiar conexiones de tubería.
Fuente: Cavitación y NPSH, Archivo de video, A.W. Chesterton Co. (1999)

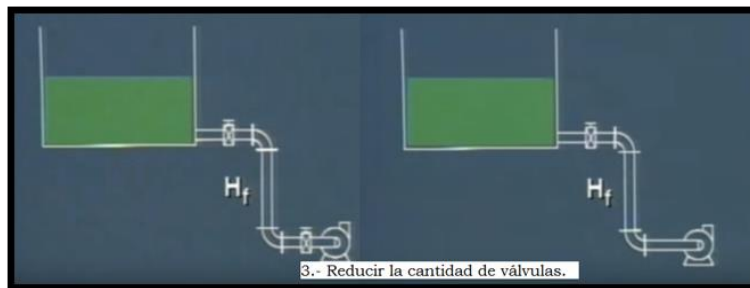


Figura 48 Reducir pérdidas por fricción – reducción cantidad de válvulas.
Fuente: Cavitación y NPSH, Archivo de video, A.W. Chesterton Co. (1999)

Ventajas

- Aumenta NPSH disponible del sistema.
- Los costos son medios.

Desventajas

- En algunos casos, el valor de pérdidas por fricción no podría ser un valor preponderante en el resultado final del cálculo del NPSH disponible.

Alternativas para disminuir el NPSH requerido del equipo

Alternativa 1: Modificar el área del ojo en el impulsor



Figura 49 Modificar el área del ojo en la entrada del impulsor.

Fuente: Cavitación y NPSH, Archivo de video, A.W. Chesterton Co. (1999)

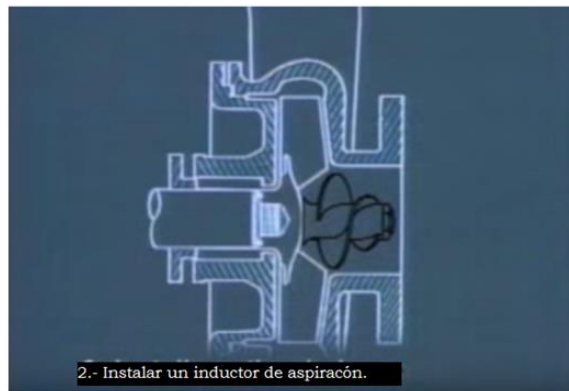
Ventajas

- Disminuye el NPSH requerido de la bomba.
- Los costos son relativamente bajos.

Desventajas

- Puede causar dificultades de circulación.
- Este procedimiento de alteración en el impulsor se tendrá que hacerse con el acompañamiento del fabricante.
- Se debe considerar como último recurso.

Alternativa 2: Instalar inductor de aspiración en la boca de entrada del impulsor



2.- Instalar un inductor de aspiración.

Figura 50 instalar inductor de aspiración en la boca del impulsor.

Fuente: Cavitación y NPSH, Archivo de video, A.W. Chesterton Co. (1999)

Ventajas

- El valor de NPSHR disminuye, reduciendo la pérdida de carga en la entrada de la bomba.
- El inductor funciona como rodete auxiliar del principal, reduciendo de esta manera el NPSHR por la bomba.
- Fácil de instalar y costos relativamente bajos.

Desventajas

- Depende del fabricante la disponibilidad del inductor.
- No hay disposición en el mercado de este elemento para este tipo de bomba.

Alternativa 3: Impulsor de doble succión

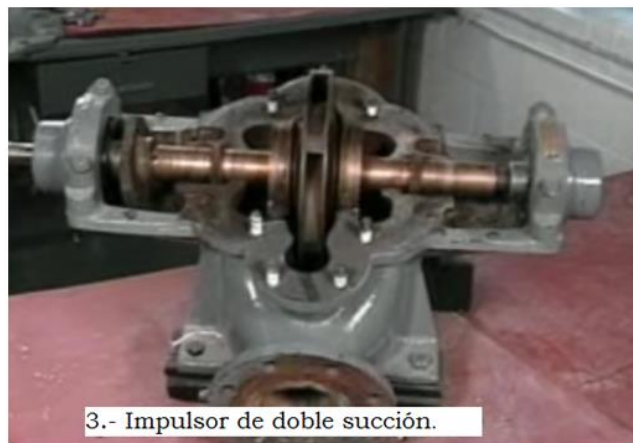


Figura 51 Impulsor de doble succión.

Fuente: Cavitación y NPSH, Archivo de video, A.W. Chesterton Co. (1999)

Ventajas

- Mejora notablemente el NPSH requerido de la bomba

Desventajas

- Diseño nuevo en la selección e instalación del equipo de bombeo.
- Este tipo de impulsor no se puede utilizar en la presente bomba.
- Requiere una nueva bomba.

- Para aplicar esta alternativa en el sistema se requiere cambiar de equipo de bombeo actual, por uno nuevo.

Alternativa 4: Usar la bomba a bajas revoluciones

Utilizar el equipo de bombeo a bajas revoluciones implica instalar un variador de frecuencia o utilizar un motor que funcione a menores revoluciones. En este caso en particular, hay que considerar que al variar la velocidad sí se disminuye notablemente el NPSH requerido del equipo, como lo muestran las hojas de resultados de los cálculos desarrollados en el software del fabricante en el Anexo 8. Sin embargo, aun con la velocidad más baja, no llega a cumplir la condición de $NPSH_D \geq NPSH_R$, por lo que continúa siendo necesario el aumento de la altura geométrica, lo que implicaría bajar el equipo de bombeo a una altura más factible.



Figura 52 Bomba a bajas revoluciones.

Fuente: Cavitación y NPSH, Archivo de video, A.W. Chesterton Co. (1999)

Ventajas

- Disminuye el NPSHR a bajas revoluciones.
- Costos moderados.

Desventajas

- Al variar la velocidad se alteran también las condiciones de caudal, TDH y presión.
- Se requiere de la instalación de un variador de frecuencia o cambio de motor eléctrico.

- Las averías del variador no se pueden reparar in situ, es necesario enviarlas a servicio técnico. Mientras tanto, debe disponerse de otro variador equivalente o dejar la instalación sin funcionamiento.

Alternativa 5: Instalar una bomba de refuerzo

Requiere instalar una bomba en serie para que alimente a la bomba principal y de esta manera elevar el NPSH disponible del sistema.



Figura 53 Instalación de bomba de refuerzo.

Fuente: Cavitación y NPSH, Archivo de video, A.W. Chesterton Co. (1999)

Ventajas

- Añade altura de presión al NPSH disponible.

Desventajas

- Requiere la utilización de una bomba nueva.

Criterios de evaluación de las alternativas

Para la evaluación técnica de las alternativas, se aplicarán los criterios descritos en la “**Matriz de resultados para la selección de alternativas**”, que se indican en Tabla 31 y Tabla 32.

Cada una de las alternativas será calificada sobre un puntaje total de 100 puntos. Los criterios de calificación de evaluación con sus correspondientes puntajes parciales se indican en Tabla 29.

Tabla 29 Criterios de calificación para selección de alternativas.

Criterios de calificación	Descripción
0-1	No apto
2-3	Baja
4-5	Apto
6-7	Buena
8-10	Excelente

Elaborada por: César Ríos

A fin de poder realizar la matriz de resultado para la selección de alternativas, debe especificarse cada parámetro e indicar la puntuación obtenida, esta se multiplicará por los valores de la tabla de criterios de calificación. Cuando alguna de las alternativas no cumplan con el mínimo especificado en la Matriz, su puntuación será cero.

En caso que el puntaje de la alternativa sea inferior al mínimo o no cumpla con alguno de los parámetros evaluados, la propuesta será rechazada y no será objeto de estudio.

Únicamente aquellas propuestas que hayan obtenido un puntaje igual o superior al mínimo requerido (7.0 del puntaje total máximo), serán consideradas como técnicamente calificadas para la ejecución del trabajo, y exclusivamente en esos casos se procederá a evaluar.

Parámetros de evaluación

Cada alternativa propuesta va a calificarse sobre un valor total de cien (100) puntos máximo, de acuerdo a los siguientes parámetros:

- **Factibilidad:** se refiere a la posibilidad de realizar el trabajo de una forma fácil y viable, considerando los recursos técnicos y humanos necesarios.
- **Proceso:** permite identificar la naturaleza del proyecto, si es nuevo, requiere de una ampliación, modificación o de una tecnología condicionada.
- **Inversión:** son todos los recursos necesarios para ejecutar la alternativa seleccionada.
- **Localización:** se refiere al lugar donde se debe implementar la propuesta, considerando su complejidad, acceso, ubicación del insumo, entre otros.

- **Tiempo:** se considera el tiempo de implantación de la propuesta.
- **Tamaño:** considera los aspectos del mercado o disponibilidad de insumos que se requieren para su implementación.
- **Mantenimiento:** se refiere al grado de complejidad que requiere hacer esta actividad en la propuesta.

En la Tabla 30 se define el peso correspondiente de los parámetros a evaluar.

Tabla 30 Peso de los parámetros a evaluar

Parámetros a evaluar	Peso
Factibilidad	31%
Proceso	18%
Inversión	14%
Localización	12%
Tiempo	10%
Tamaño	8%
Mantenimiento	7%

Elaborada por: César Ríos

Matriz de resultados para la selección de alternativas

Matriz de alternativas para aumentar el NPSH disponible

Las opciones presentadas en el presente documento para aumentar el NPSH disponible y que van a ser analizadas en la matriz de selección son:

1. Aumentar la altura geométrica
2. Reducir el valor de la presión de vapor
3. Reducir las pérdidas por fricción

Tabla 31 Alternativas para aumentar el NPSH disponible

AUMENTAR EL NPSH D	PESO	Alternativa 1		Alternativa 2		Alternativa 3	
		NOTA	TOTAL	NOTA	TOTAL	NOTA	TOTAL
Factibilidad	31	8	2.48	1	0.31	2	0.62
Proceso	18	7	1.26	1	0.22	6	1.08
Costos	14	5	0.7	3	0.42	5	0.7
Localización	12	7	0.84	8	0.9	5	0.6
Tiempo	10	6	0.6	4	0.4	5	0.5
Tamaño	8	9	0.72	8	0.64	8	0.64
Mantenimiento	7	9	0.63	8	0.56	8	0.56
TOTAL	100		7.23		3.45		4.7

Elaborada por: César Ríos

La alternativa que cumple con los parámetros de calificación establecidos en Tabla 29 es la alternativa 1.

Matriz de alternativas para disminuir el NPSH requerido

Las opciones presentadas para disminuir el NPSH requerido y que van a ser analizadas en la matriz de selección son:

1. Modificación del área del ojo en el impulsor
2. Instalar un inductor de aspiración en la boca de la entrada del impulsor
3. Impulsor de doble succión
4. Usar la bomba a bajas revoluciones
5. Instalar una bomba de refuerzo

Tabla 32 Alternativas para reducir el NPSH requerido

REDUCIR EL NPSH R	PESO	Alternativa 1		Alternativa 2		Alternativa 3		Alternativa 4		Alternativa 5	
		NOTA	TOTAL	NOTA	TOTAL	NOTA	TOTAL	NOTA	TOTAL	NOTA	TOTAL
Factibilidad	31	2	0.62	1	0.31	1	0.31	9	2.79	10	3.10
Proceso	18	2	0.36	2	0.36	1	0.18	7	1.26	8	1.44
Costos	14	7	0.98	5	0.7	1	0.14	6	0.84	9	1.26
Localización	12	9	1.08	9	1.08	8	0.96	4	0.48	10	1.20
Tiempo	10	6	0.6	6	0.6	4	0.4	5	0.5	7	0.70
Tamaño	8	1	0.08	1	0.08	8	0.64	8	0.64	9	0.72
Mantenimiento	7	8	0.56	8	0.56	8	0.56	8	0.56	7	0.49
TOTAL	100		4.28		3.69		3.19		7.07		8.91

Elaborada por: César Ríos

Como puede observarse, las alternativas que cumplen con los parámetros de calificación establecidos en Tabla 29 son las alternativas 4 y 5.

Análisis de alternativas

Combinación alternativa 1 (Tabla 31) y alternativa 4 (Tabla 32)

De los resultados obtenidos en la Tabla 31, se escoge la alternativa 1 (variar altura geométrica de aspiración de la bomba) debido a que obtiene una mayor ponderación que las otras dos presentadas. Esta opción es aumentar la altura geométrica y, para que sea factible, debe combinarse con la alternativa 4 (trabajar con el equipo de bombeo a bajas revoluciones) de la Tabla 32.

Para mejorar el NPSH disponible del sistema, debe aumentarse la altura geométrica de succión de la bomba, lo que implica reubicar el equipo de bombeo hasta que cumpla con la altura

geométrica requerida. Con los resultados de los cálculos realizados en la investigación precedente en esta tesis, dicha altura geométrica bordearía los siete (7) metros, aproximadamente. Para evitar considerar una altura geométrica de aspiración muy elevada (7 m. por debajo del nivel actual), se requiere reducir también el NPSH requerido del equipo de bombeo (alternativa 4), a una velocidad de 1950 rpm (Tabla 32) con la que obtendrá un desplazamiento del equipo de bombeo de aproximadamente de 2 metros (Tabla 21), con el $NPSH_R$ de 11.64 ft por debajo del nivel actual, como se explica en el capítulo 4.

A fin de llevar a cabo esta alternativa, el equipo de bombeo debe trabajar a bajas revoluciones (1950 rpm Tabla 24) y bajar la bomba a una altura de 2 metros. Con estas medidas, se podrá utilizar el equipo de bombeo actual sin la necesidad de adquirir un nuevo equipo, que implica realizar un proceso de selección, diseño, tiempos de gestión, asignación de recursos para el área usuaria, que incrementaría de manera excesiva los costos y los tiempos.

Alternativa 5 (Tabla 32)

De los resultados obtenidos en Tabla 32, se considera la alternativa 5 por ser la que obtiene la mayor ponderación en la matriz de resultados. Esta alternativa consiste en utilizar un equipo auxiliar para que alimente a la bomba principal de este sistema.

Esta alternativa de solución es altamente viable, ya que el sistema cuenta con la bomba P-230151-2-20-A que puede ser utilizada como bomba booster para realizar este trabajo. En la actualidad, la bomba se encuentra instalada en el sistema y montada en paralelo a la bomba de estudio. Esta bomba puede utilizarse sin tener que reubicar los equipos, modificando su conexión actual para que sirva de booster (bomba de refuerzo) para la bomba principal. Realizando una simulación en el software del fabricante se obtendrán los resultados de los parámetros de funcionamiento del equipo en serie.

De acuerdo a lo anterior, se escoge la alternativa 5 por ser la de mayor puntaje en la matriz de selección.

DISEÑO DE LA PROPUESTA

Cronograma de Actividades

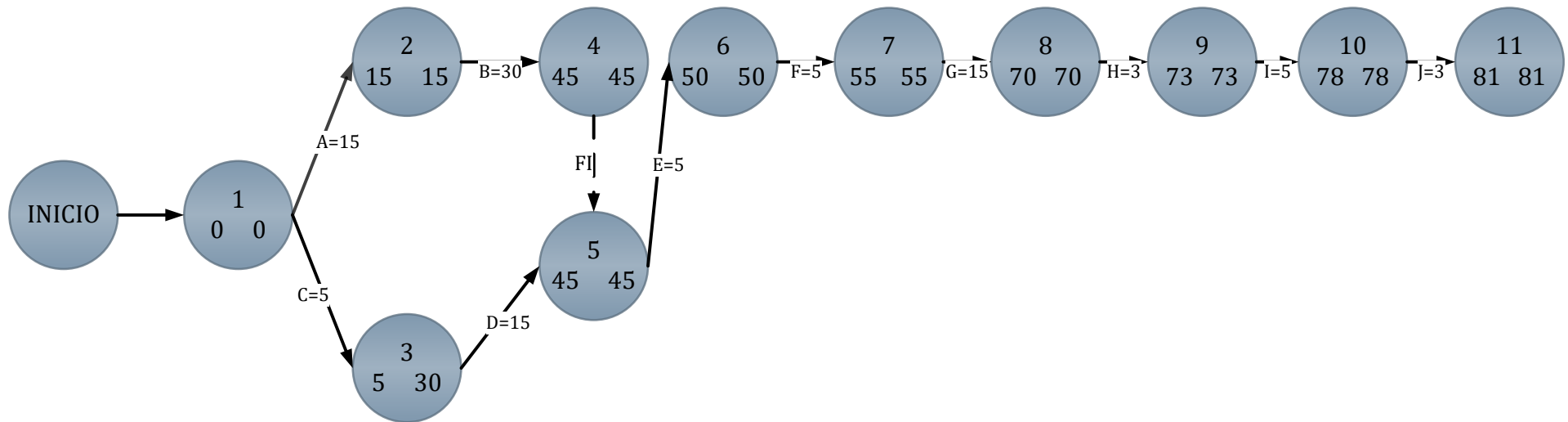
Tabla 33 Cronograma de actividades

	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesoras
1	Información entregada por Compañía de Mantenimiento DIMPROIN S.A.	15 días	lun 18/07/16	vie 05/08/16	
2	Análisis de la información	30 días	lun 08/08/16	vie 16/09/16	2
3	Visita técnica y recolección de datos	5 días	lun 19/09/16	vie 23/09/16	3
4	Análisis de recolección de datos	15 días	lun 26/09/16	vie 14/10/16	4
5	Estudio de variables	5 días	lun 17/10/16	vie 21/10/16	5
6	Búsqueda de alternativas para selección	5 días	lun 24/10/16	vie 28/10/16	6
7	Análisis de alternativas.	15 días	lun 31/10/16	vie 18/11/16	7
8	Selección de alternativa	3 días	lun 21/11/16	mié 23/11/16	8
9	Estudios de conexión en serie de bombas.	5 días	jue 24/11/16	mié 30/11/16	9
10	Comprobación de alternativa seleccionada.	3 días	jue 01/12/16	lun 05/12/16	10

Elaborada por: César Ríos

Diagrama de Pert

DIAGRAMA DE PERT



Ruta crítica:
 $A+B+F1+E+F+G+H+I+J$
 RUTA CRITICA=81

Figura 55 Diagrama de Pert y ruta crítica
 Elaborado por: César Ríos

SIMULACIÓN SITUACIÓN ACTUAL DEL EQUIPO DE BOMBEO

Partiendo del modelo de la bomba centrífuga P-230151-2-20-B, de la marca Ruhrpumpen, se procede a utilizar el software *Global Proposal System* versión 17.0.2.0, con el que se determinan las condiciones de funcionamiento actuales del equipo de bombeo. Para realizar esta simulación se toman como referencia los siguientes datos:

Velocidad:	3 550 rpm (dato de placa, véase Tabla 33).
Diámetro nominal del impulsor:	15.24" (véase Anexo 16)
NPSH disponible:	5.16 ft (véase capítulo IV Cálculos Hidráulicos)
Tipo de líquido:	Chemical (gasolina, diesel, Jet A-1) Véase Tabla 34
Temperatura máxima:	80° F (véase Tabla 34)
Densidad del líquido:	0.74/0.85 peso específico (véase Anexo 4)
Viscosidad:	8.78 cP (véase Anexo 4)
Presión de vapor de líquido:	10 psia (véase Anexo 4)

Con estos datos, inicia la simulación.

Hoja de datos características de la bomba

Cliente : DIMPROIN S.A Referencia cliente : Centrifugal pump Número de artículo : P-230151-2-20-B Servicio : ESTACION FAISANES Cantidad : 1	Número de cotización : Tamaño : SCE 4x2x17 (A) (OH2) Etapas : 1 Según el número de la curva : OKH 115 025.00 Fecha de último salvado : 01/22/2017 11:33 AM
Condiciones de operación	
Caudal, nominal : 621.7 USgpm Presión / altura diferencial, rated (requerido) : 780.4 ft Presión / altura diferencial, rated (efectiva) : 780.4 ft Presión de succión, diseño/máx. : 0.00 / 14.70 psi.g NPSH disponible, Diseño : 5.16 ft Frecuencia : 60 Hz	Líquido Tipo de líquido : Chemical También conocido como : GASOLINA,DIESEL,Jet A1 Diámetro máximo de sólidos : 0.00 in Concentración de sólidos, en volumen : 0.00 % Temperatura, máxima : 80.00 F Densidad del líquido : 0.743 / 0.851 Peso esp. Viscosidad, diseño : 8.78 cP Presión de vapor, diseño : 10.00 psi.a
Rendimiento	
Velocidad, valorada : 3550 rpm Diámetro de Impulsor, nominal : 15.24 in Diámetro de Impulsor, máximo : 17.24 in Diámetro de Impulsor, mínimo : 13.31 in Eficiencia : 49.8 % NPSH requerido / margen requerido : 26.34 / 0.00 ft Ns (flujo rodete) / Nss (flujo rodete) : 491 / 7,605 Unidades US Caudal estable continuo mínimo : 216.3 USgpm Altura máxima, diámetro nominal : 998.1 ft Aumento de la altura de elevación con flujo de impulsión cerrado : 27.89 % Caudal, punto de mejor rendimiento : 621.8 USgpm Relación de caudal, nominal / PMR : 99.99 % Relación de diámetro (nominal / máximo) : 88.36 % Relación de altura (diám. nominal / diám. máximo) : 68.76 % Cq/Ch/Ce/Cn [ANSI/HI 9.6.7-2010] : 1.00 / 1.00 / 0.96 / 1.00 Estado de la selección : Correspondencia parcial	Material Material seleccionado : S1
Datos presión	
Presión máxima de descarga : 382.4 psi.g Máxima presión de operación permisible : 580.2 psi.g Límite de presión de succión : 210.9 psi.g Presión de prueba hidrostática : 870.2 psi.g	
Datos unidad motriz & Potencia (@Max density)	
Margen sobre el criterio de potencia : Potencia nominal Margen de prestación : 0.00 % Factor de servicio : 1.00 Potencia, hidráulica : 104 hp Potencia, nominal : 209 hp Potencia máxima, diámetro nominal : 236 hp Potencia mínima recomendada de motor : 250 hp / 186 kW	

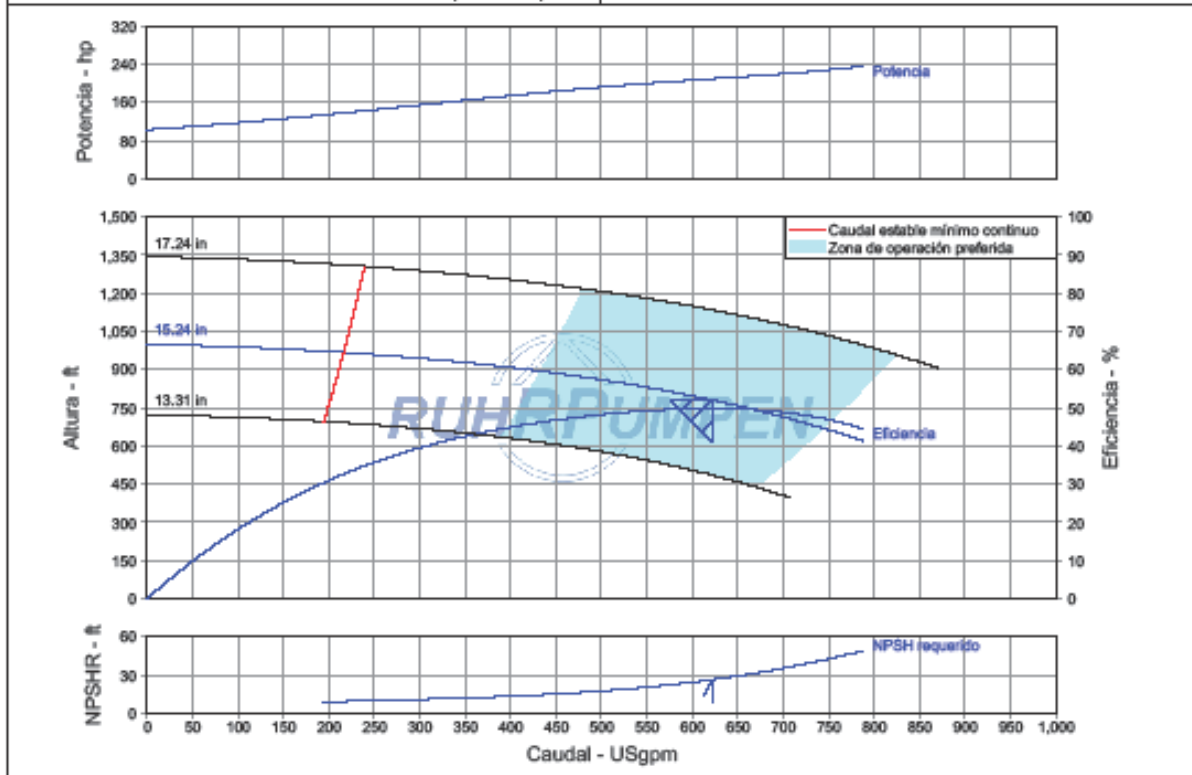


Figura 56 Situación actual de la bomba
 Elaborado por: César Ríos

En la Figura 56, se observan los resultados de la hoja de datos característicos de la bomba P-230151-2-20-B, en la que se definen, además de otros valores que se aprecian en la hoja de resultados, el estado de selección del equipo de bombeo, que en este caso es “Correspondencia parcial” (parámetro que se explica en la tabla 35 de este documento). El software detecta una observación en el parámetro de NPSH disponible ingresado, que no cumple con la condición $\text{NPSH disponible} > \text{NPSH requerido}$.

Parámetros de diseño considerando una bomba de refuerzo (booster)

Considerando que la alternativa seleccionada consiste en implementar una bomba de refuerzo (booster) a la bomba principal de reinyección P-230151-2-20-B, con la que se mejoraría el NPSH disponible del sistema y evitaría de esta manera el efecto de cavitación, que en la actualidad ocurre a una altura de 6.96 m, como se explica en capítulo IV de este documento, se propone colocar una bomba booster, misma que puede ser la bomba P-230151-2-20-A, actualmente se encuentra instalada en paralelo en el sistema de reinyección del tanque de alivio.

Hay que tomar en cuenta que la altura de descarga de la bomba de refuerzo será la altura de succión de la bomba principal. Con este criterio el NPSH disponible para la bomba de reinyección (B) sería el TDH de la bomba (A), y el caudal de bombeo de la bomba principal (B) sería el caudal que entregue la bomba (A), dando como resultado un caudal constante y la presión de descarga total del sistema será la suma de las presiones suministradas por cada bomba. Con estas nuevas condiciones de funcionamiento, el software empleado determinaría si el equipo de bombeo presenta una condición de funcionamiento aceptable o no.

Para determinar las nuevas condiciones de trabajo de la bomba (B), primero se recopilarán los datos técnicos de los equipos de bombeo y las características del fluido con mayor presión de vapor (gasolina), del sistema de reinyección del sistema de alivios y drenajes de la planta, que se pueden apreciar en las figuras 57, 58 y en las tablas 34, 35 y 36, respectivamente

Datos técnicos bomba P-230151-2-20-A



Figura 57 Bomba tanque de refuerzo

Elaborado por: César Ríos

Tabla 34 Datos bomba de refuerzo

Código:	P-230151-2-20-A
Marca:	Worthinton
Size:	3HX-12
Capacidad:	416 gpm
Velocidad Motor:	3 600 RPM
Caudal:	1 575 l/m
Altura:	95 m.c.l.
Potencia:	40,5 kW
TDH:	312 ft

Fuente: Estudios de Ingeniería TECNA (2009, pág. 20)

Elaborado por: César Ríos

Datos técnicos bomba P-230151-2-20-B



Figura 58 Bomba principal

Elaborado por: César Ríos

Tabla 35 Datos bomba principal

Código:	P-230151-2-20-B
Marca:	Ruhrpumpen
Size:	4x2x17
Velocidad Motor:	3 550 RPM
Caudal:	416 gpm
Potencia:	149,2 kW
TDH:	643.7 ft
Diámetro del impulsor nominal:	15.25' (Anexo 8)
Diámetro de impulsor máximo:	17.24'
Diámetro de impulsor mínimo:	13.31'
Eficiencia:	44.8%
NPSH disponible:*	311 ft
Estado de selección:	Aceptable
* El NPSH disponible es el TDH de la bomba de refuerzo, que equivale a 95 m.c.l. = 311 ft (Tabla 34)	

Fuente: Levantamiento de campo

Elaborado por: César Ríos

Características del líquido

Tabla 36 Características del líquido

Tipo de líquido:	Combustible
Nombre:	Gasolina
Temperatura máxima:	80° F
Densidad del líquido:	0.743/0.851 peso específico
Viscosidad:	8.78
Presión de vapor:	10.0 psia

Fuente: Estudios de Ingeniería TECNA (2009, pág. 20)

Elaborado por: César Ríos

Con estos datos, se procede a alimentar al software del fabricante *Global Proposal System* versión 17.0.2.0, mismo que realiza la simulación y determina en la Tabla 37 su estado de condición.

Tabla 37 Criterios de funcionamiento de equipo seleccionado

CONDICIÓN DE SELECCIÓN	
Aceptable	Significa que las condiciones operacionales de la bomba se encuentran en funcionamiento.
Correspondencia parcial	Significa que las condiciones operacionales de la bomba se encuentran fuera de rango de funcionamiento y el software indica las observaciones que se deben considerar para cambiar. El mensaje que rebota es “la selección no satisface las condiciones de asistencia”.

Fuente: Ruhrpumpen, Curva característica bomba Faisanes Estándar. Documento fabricante (2016).

Hoja de resultados de simulación

Los valores introducidos en el software del fabricante son los siguientes:

Condiciones de operación:

Caudal nominal:	416 USgpm
Presión de succión:	80/100 psig manométrica de Gauge
NPSH disponible:	311 ft
Frecuencia:	60 Hz

Rendimiento:

Velocidad:	3 550 rpm
Diámetro del impulsor nominal:	15.24’’

Líquido:

Temperatura máxima:	80° F
Densidad del líquido:	0.743/0.851 peso específico
Viscosidad de diseño:	8.78 cP
Presión de vapor de diseño:	10 psia

Con estos datos, se realiza la simulación en el software del fabricante, mismo que arroja la hoja de resultados de Figura 58, de la simulación de las bombas principal y auxiliar en serie. Como se explica en párrafos anteriores, el nuevo NPSH disponible de la bomba de reinyección sería el TDH de la bomba auxiliar booster, que es de 311 ft (véase Tabla 32).

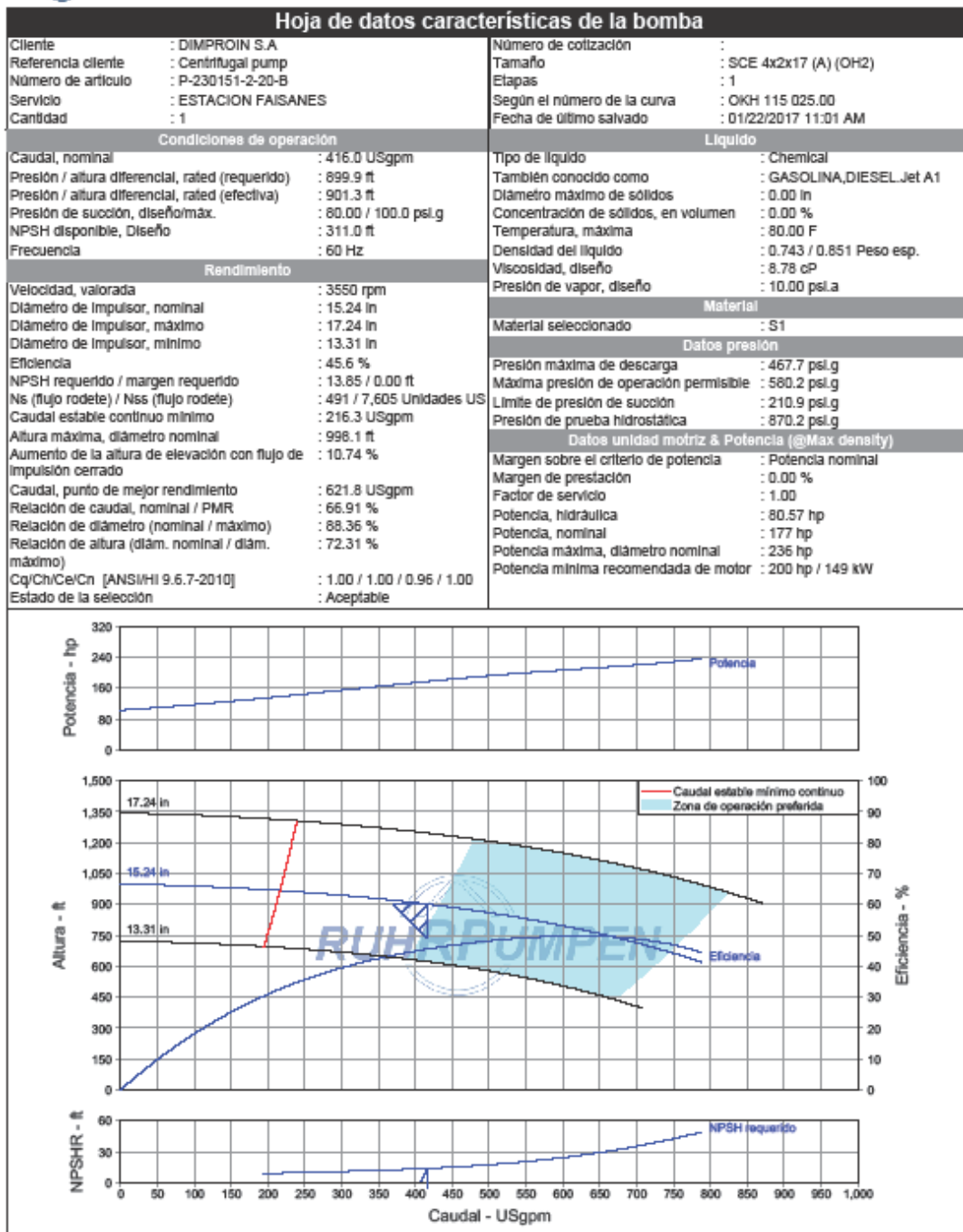


Figura 59 Resultados de simulación – Hoja de datos características de la bomba.

Elaborada por: César Ríos

Como se puede apreciar en los resultados, la curva característica arrojada por el software tiene una condición ACEPTABLE, por lo que el equipo de bombeo principal sí podrá funcionar en serie con la bomba de refuerzo que existe actualmente en el sistema y que se encuentra montada en paralelo.

Con los criterios señalados, se puede realizar una instalación en serie de los equipos de bombeo actuales. Es decir, la bomba de refuerzo abastecerá del caudal y el NPSH necesario para el funcionamiento de la bomba principal.

Diseño de conexión en serie

Para el diseño de conexión en serie, se realiza un levantamiento de los equipos de bombeo y las líneas de conexión para elaborar el modelado 3D y los planos isométricos del sistema actualmente instalado, como se puede apreciar en los anexos 13.3, 13.4, 13.5 y 13.6. Con esta información y con la ayuda de la utilización del software de diseño de plantas industriales *AutoPLANT Plant Design V8i*, se procederá a realizar los cortes necesarios en las líneas del sistema para crear los nuevos ruteados de tubería, que permitan realizar los acomodos necesarios para obtener un nuevo sistema en serie, considerando a la bomba P-230151-2-20-A como bomba primaria y la bomba P-230151-2-20-B como bomba principal o de reinyección, como se explica en Parámetros de diseño (véase en página 121).

En el anexo 13.7 se encuentran los planos de montaje de la situación propuesta para conectar en serie las bombas del sistema, en donde se señalan los planos de tubería para la nueva configuración de líneas

Planos isométricos propuestos

El modelo que arroja el programa *AutoPLANT* permite obtener los planos isométricos constructivos. Véanse anexo 13.8 y 13.9. En cada uno de ellos se detallan las dimensiones de las líneas, el diámetro, el número de pegas de soldadura, el número de accesorios, las especificaciones técnicas de los accesorios y el listado de materiales que se requiere para realizar el trabajo propuesto de rediseño.

Modelado 3D propuesto

En cuanto al modelado 3D, permite visualizar de mejor manera los planos constructivos de la planta, como referencia ver Anexos 13.3, 13.7 y 13.10.

EVALUACIÓN ECONÓMICA

Una vez establecidos los trabajos a realizar y los planos de diseño, se evalúan los costos y la rentabilidad que la empresa DIMPROIN S.A. obtendrá en la implementación de la solución.

Tabla 38 Sueldo personal operativo por 7 días

SUELDO EMPLEADOS POR 7 DÍAS LABORABLES								
Cantidad	DESCRIPCIÓN	Sueldo básico	Sueldo básico	Beneficios sociales provisión				TOTAL SUELDOS
				13ro.	14to.	Vacaciones	IESS 11.15%	
1	Supervisor Mecánico	1,500.00	350.00	29.17	31.25	14.58	39.03	464.03
1	Supervisor de SSAA	1,500.00	350.00	29.17	31.25	14.58	39.03	464.03
1	Supervisor de Calidad	1,500.00	350.00	29.17	31.25	14.58	39.03	464.03
1	Soldador calificado API	1,800.00	420.00	35.00	31.25	17.50	46.83	550.58
1	Ayudante de soldadura	800.00	186.67	15.56	31.25	7.78	20.81	262.06
1	Esmerilador	800.00	186.67	15.56	31.25	7.78	20.81	262.06
1	Tubero	1,200.00	280.00	23.33	31.25	11.67	31.22	377.47
TOTAL TRABAJADORES								2,844.25

Elaborada por: César Ríos

Tabla 39 Materiales

MATERIALES			
CANT	DESCRIPCIÓN	V. UNIT.	V. TOTAL
2	tubería 4	120.00	240.00
4	codo	40.00	160.00
1	cap	35.00	35.00
3	brida	45.00	135.00
3	empaque	25.00	75.00
16	pernos	8.00	128.00
SUMAN			773.00
FACTOR DE RIESGO POR SUSTITUCIÓN 16%			127.00
TOTAL MATERIALES			900.00

Elaborada por: César Ríos

La alternativa propuesta tiene un costo significativo menor a otras alternativas, como es la de implementar un variador de velocidad y bajar la bomba dos metros de altura. La diferencia en costos puede verse en Anexo 15.



DIMPROIN S.A.
 Diseño y Mantenimiento Industrial
 Av. General Enríquez e Isla Genovesa
 Centro Comercial Dos Ríos
 Telf.: (02) 2 868 214

COTIZACION

No: F514-P01-05

NOMBRE:	EP PETROECUADOR	FECHA:	20/1/2017
ASUNTO:	PUESTA EN SERIE DE BOMBA DE REFUERZO Y BOMBA PRINCIPAL	VALIDEZ OFERTA:	30 DIAS
Lugar:	Estación de Bombeo Faisanes		

ITEM	UNIDAD	DESCRIPCION	CANT.	V/UNIT	TOTAL
1	Gbl.	Diseño e ingeniería	1	2,000.00	2,000.00
2	Gbl.	Elaboración de planos constructivos	1	500.00	500.00
3	Gbl.	Materiales	1	900.00	900.00
4	U	Soportes	4	45.00	180.00
5	Plg. -Dia	Soldadura de tubería y accesorios	48	35.00	1,680.00
6	m2	Granallado SSPC 6 y pintura de tubería, primer anticorrosivo alquídico espesor en seco 2-2,5 mils	5	36.00	180.00
7	m2	Radiografía al 10%, placa radiografía, tintas penetrantes.	5	70.00	350.00
Trabajos de soldadura en campo					
8	Plg. -Dia	Soldadura de tubería y accesorios	16	85.00	1,360.00
9	Plg. -Dia	Ejecución de Tie - In	16	195.00	3,120.00
10	Gbl.	Desmontaje de líneas y válvulas	1	450.00	450.00
11	m2	Pintura tubería, segunda capa: esmalte alquídico:	5	70.00	350.00
12	Gbl.	prueba hidrostática del sistema	1	2,500.00	2,500.00
13	u	movilización	1	500.00	500.00
DETALLES DE PAGO					
FORMA DE PAGO: 70% ANTICIPO 30% ENTREGA				SUBTOTAL:	14,070.00
GARANTIA UN AÑO				I.V.A 14%	1,969.80
				TOTAL	16,039.80

Atentamente,

DEPARTAMENTO TÉCNICO
DIMPROIN S.A.
22867527

dimproinsa@outlook.es

DISEÑO Y MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

Figura 60 Proforma de trabajo propuesto.

Elaborado por: César Ríos

Tabla 40 Cálculo de TIR

CONCEPTO	PERIODO INICIO	PERIODO FINAL
INVERSION	(5,178.56)	
VENTAS		14,070.00
COSTOS Y GASTOS		4,978.56
DEPRECIACION ACTIVOS FIJOS		200.00
UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS		8,891.44
15% DE UTILIDAD TRABAJADORES		1,333.72
UTILIDAD ANTES DEL IMPUESTO A LA RENTA		7,557.72
25% IMPUESTO A LA RENTA		1,889.43
UTILIDAD NETA		5,668.29
DEPRECIACION ACTIVOS FIJOS		200.00
FLUJO EFECTIVO	(5,178.56)	5,868.29
CALCULO CON EL 0.133190%		5,178.56

TIR	13%
-----	-----

Elaborado por: César Ríos

Tabla 41 Cálculo de VAN

CALCULO DEL VAN	
inversion Y =	6,000.00
ingresos If=	14,070.00
desembolso Df =	5,178.56
valor de desecho Vs=	200.00
e=	2.718281828
r=	0.16
N=	-1
p=r*N	-0.16
e= ^{-r} *N	0.852143789
k=e ^r	1.173510871
VP =	1747.214129
	VAN>0

Elaborado por: César Ríos

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DE LA ALTERNATIVA PROPUESTA

CONCLUSIONES

- 1.** Se concluye que existen tres alternativas de solución para incrementar el NPSH del sistema y cinco alternativas de solución para reducir el NPSH requerido del equipo de reinyección instalado en el sistema de alivios y drenajes.
- 2.** Tras realizar un análisis de las alternativas propuestas, se concluye que la alternativa más viable para el problema presentado en el equipo de reinyección es la alternativa 5, que consiste en instalar una bomba de refuerzo (booster) a la bomba de reinyección. Esta propuesta reduce costos, tiempos y complejidad en su implementación.
- 3.** Una vez definida la alternativa, se concluye en utilizar como bomba de refuerzo a la bomba P-230151-2-20-A, instalada actualmente en paralelo a la bomba principal P-230151-2-20-B, que después de las simulaciones realizadas en el software del fabricante Ruhrpumpen, dio como resultado un estado de selección **ACEPTABLE**.

RECOMENDACIONES

1. Una vez establecidas las ocho alternativas de solución al problema suscitado en el equipo de reinyección instalado en el sistema de alivios y drenajes, se recomienda al cliente implementar la solución más acorde con los objetivos técnicos viables, que reduzca costos, tiempo y complejidad para su ejecución.
2. Dado que la alternativa más viable por los elementos mencionados es la alternativa 5, se recomienda al cliente dar las facilidades para implementar la solución consistente en instalar una bomba de refuerzo (booster) a la bomba de reinyección, por ser la que más se ajusta a las necesidades de operación de la estación de bombeo.
3. Una vez concluido que el resultado de las simulaciones en el software de Ruhrpumpen arrojan una condición de selección ACEPTABLE, se recomienda al cliente implementar el diseño propuesto en la presente alternativa que contempla utilizar como bomba de refuerzo a la bomba P-230151-2-20-A, instalada actualmente en paralelo a la bomba principal P-230151-2-20-B.

BIBLIOGRAFÍA

- TECNA Medanito del Ecuador. (04 de 03 de 2011). Estudios de Ingeniería básica y de detalle Proyecto Modernización y repotenciación de estaciones Poliducto Esmeraldas Quito. *Estación Faisanes PyD Sistemas de Alivios y Drenajes*. Santo Domingo, Santo Domingo, Ecuador: EP Petroecuador.
- A.W. Chesterton Co. (1999). PARTE 4 B_Cavitacion y NPSH. Groveland, Maryland, Estados Unidos. Recuperado el 21 de 01 de 2017, de <https://www.youtube.com/watch?v=jGN4l6f6xc8>
- Camacho Martínez, C. (21 de Enero de 2017). *Análisis de datos en Psicología*. Obtenido de Análisis de datos en Psicología - Universidad de Sevilla: <http://personal.us.es/vararey/adatos2/correlacion.pdf>
- Camacho O., M. (2006). *INTRODUCCIÓN A LA INGENIERÍA INDUSTRIAL*. Bogotá: Universidad Nacional Abierta y a Distancia.
- Carnicer Royo, E. y. (2004). *Bombas Centrífugas Segunda Edición*. Madrid: Thomson Editores Spain.
- Cejalvo Lapeña, A. (1995). NTP 342: Válvulas de seguridad (I): Características técnicas. *Nota técnica de prevención*. Madrid, España: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
- Durman. (13 de Noviembre de 2014). *Durman*. Obtenido de Durman Colombia: <http://www.durman.com.co/noticias/2014/Nov%2013.html>
- ECOPETROL. (20 de Marzo de 2013). Manual de medición de hidrocarburos y biocombustibles. *Medición estática*. Colombia: ECOPETROL.
- EP Petroecuador. (25 de Septiembre de 2012). Procedimiento: Aforo de tanques. *Manual para recibir y almacenar derivados*. Quito, Pichincha, Ecuador: EP Petroecuador.
- EP PETROECUADOR. (2013). *El petróleo en el Ecuador. La nueva era petrolera* (Primera edición ed.). Quito: Coordinación General de Imagen Empresarial EP Petroecuador.
- EP PETROECUADOR. (2015). *Informe Estadístico*. Quito: EP Petroecuador.
- EP PETROECUADOR. (02 de 11 de 2016). *EP PETROECUADOR*. Obtenido de EP PETROECUADOR EC: <http://www.eppetroecuador.ec/?p=2031>
- FIME-UNPRG. (2009). *Red Tecnológica Manual del Instalador Digital MID*. Obtenido de Red Tecnológica MID: www.sistemamid.com/download.php?a=838
- Flowserve. (09 de Octubre de 2013). *Curso básico de bombas*. s/l: s/e. Recuperado el 08 de 10 de 2016, de Scribd: <https://es.scribd.com/doc/174670642/Curso-Basico-de-Bombas>

- Giles, R. V. (1969). *Mecánica de los fluidos e hidráulica*. Naucalpan de Juarez, Mexico: McGraw-hill.
- Golzman, F. I. (2003). *Administración Nacional de Combustibles, Alcohol y Portland*. Obtenido de www.ancap.com.uy: http://www.ancap.com.uy/docs_concursos/ARCHIVOS/2%20LLAMADOS%20FINALIZADOS/2011/REF%2046_2011%20TECNICO%20AYUDANTE%20MANTENIMIENTO%20E%20INGENIERIA/08%20-%20MATERIAL%20DE%20ESTUDIO/METAL%20MECANICO%20CIVIL/CA%20C3%91ERIAS/PIPING_ESPAGNOL.PDF
- GRUPO ALMESA CO. (27 de Enero de 2017). *CATALOGO TECNICO ISO9001*. Obtenido de www.almesa.com: http://www.almesa.com/wp-content/uploads/CATALOGO_TECNICO_ISO9001.pdf
- Hernández Sampieri, R. y. (2010). *Metodología de la Investigación* (5ta. Edición ed.). México, D.F.: Mc Graw Hill / Interamericana Editores, S.A. de C.V.
- Hernández Sampieri, R. y. (2010). *Metodología de la Investigación Quinta edición*. México D.F.: McGraw Hill / interamericana de Editores, S.A. de C.V.
- LMNO Engineering, Research, and Software, Ltd. (28 de 12 de 2016). *LMNO Engineering, Research, and Software*. Recuperado el 28 de 12 de 2016, de <http://www.lmnoeng.com/>: <http://www.lmnoeng.com/surface.htm>
- Mataix, C. (1986). *Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas*. Madrid: Ediciones del Castillo S.A.
- Mott, R. L. (1996). *Mecánica de Fluidos Aplicada Cuarta Edición*. México: Prentice Hall Hispanoamericana, S.A.
- Ríos, C. A. (2005). *CARACTERIZACION DE LODOS CONTAMINADOS CON HIDROCARBUROS DE LA PISCINA DE LODOS DEL TERMINAL DE PRODUCTOS LIMPIOS DEL "BEATERIO"*. Quito: Universidad Tecnológica Equinoccial.
- RUHRPUMPEN. (28 de 12 de 2016). *Global Proposal System Ruhrpumpen*. Obtenido de Intelliquip Ruhrpumpen: ruhrpumpen.intelliquip.com
- Ruiz Olabuenaga, J. I. (2003). *Metodología de la investigación cualitativa* (3ra. edición ed.). Bilbao, España: Artes Gráficas Rontegui, S.A.L.
- SEIN S.A. (2010). *Curso de operación de poliductos HMI*. Quito: Sein SA.
- Streeter, V. L. (1970). *Mecánica de los fluidos*. Naucalpan de Juarez, México: McGraw-Hill.

- TECNA - Medanito del Ecuador. (25 de Noviembre de 2009). Estudios de Ingeniería básica y de detalle Proyecto Modernización y repotenciación de estaciones Poliducto Esmeraldas Quito. *Cálculo Hidráulico 080168-B-01-MC-001*. Quito, Pichincha, Ecuador: EP Petroecuador.
- TECNA - Medanito del Ecuador. (2009). *ESTUDIOS DE INGENIERÍA BÁSICA Y DE DETALLE, PROYECTO “MODERNIZACIÓN Y REPOTENCIACIÓN DE ESTACIONES Y POLIDUCTOS ESMERALDAS-SANTO DOMINGO, SANTO DOMINGO-QUITO, SANTO DOMINGO-PASCUALES”*. PETROCOMERCIAL. Quito: PETROCOMERCIAL.
- TECNA - Medanito del Ecuador. (2011). *ESTUDIOS DE INGENIERÍA BÁSICA Y DE DETALLE, PROYECTO “MODERNIZACIÓN Y REPOTENCIACIÓN DE ESTACIONES Y POLIDUCTOS ESMERALDAS-SANTO DOMINGO, SANTO DOMINGO-QUITO, SANTO DOMINGO-PASCUALES”*.
- TECNA Medanito del Ecuador. (18 de 03 de 2010). Estudios de Ingeniería Básica y de detalle Proyecto Modernización y Repotenciación de estaciones y poliductos. *Layout Soportes y Estructuras para Tuberías Estación Faisanes*. Santo Domingo, Santo Domingo, Ecuador: EP Petroecuador.
- TECNA Medanito del Ecuador. (10 de 03 de 2010). ESTUDIOS DE INGENIERÍA BÁSICA Y DE DETALLE, PROYECTO “MODERNIZACIÓN Y REPOTENCIACIÓN. *Memoria de Cálculo Sistema de Alivios y Drenajes Estación de Bombeo Faisanes*. Santo Domingo, Santo Domingo, Ecuador: EP Petroecuador.
- TECNA Medanito del Ecuador. (10 de Marzo de 2011). ESTUDIOS DE INGENIERÍA BÁSICA Y DE DETALLE, PROYECTO “MODERNIZACIÓN Y REPOTENCIACIÓN. *Información técnica del sistema SCADA 170102-D-78-EP-005*. Quito, Ecuador: EP Petroecuador.
- Tippens, P. E. (2011). *Física Conceptos y Aplicaciones*. México, D.F.: McGraw Hill / Interamericana Editores S.A. de C.V.
- VEMACERO S.A. . (27 de enero de 2017). *Vendedora de materiales de acero S.A*. Obtenido de www.vemacero.com: : <http://www.vemacero.com/Tablas/A53MP.pdf>
- Zamora M., R. (Enero de 2008). Diseño del sistema eléctrico y control para el montaje de dos tanques de almacenamiento de crudo de Petroproducción. *Diseño del sistema eléctrico y control para el montaje de dos tanques de almacenamiento de crudo de Petroproducción*. Quito, Pichincha, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional. Recuperado el 07 de Octubre de 2016

ANEXOS

Anexo 1: Coeficientes de Pérdidas Menores

Table of Minor Loss Coefficients (K has no units)

Fitting	K	Fitting	K
<i>Valves:</i>		<i>Elbows:</i>	
Globe, fully open	10	Regular 90°, flanged	0.3
Angle, fully open	2	Regular 90°, threaded	1.5
Gate, fully open	0.15	Long radius 90°, flanged	0.2
Gate 1/4 closed	0.26	Long radius 90°, threaded	0.7
Gate, 1/2 closed	2.1	Long radius 45°, threaded	0.2
Gate, 3/4 closed	17	Regular 45°, threaded	0.4
Swing check, forward flow	2		
Swing check, backward flow	infinity	<i>Tees:</i>	
		Line flow, flanged	0.2
<i>180° return bends:</i>		Line flow, threaded	0.9
Flanged	0.2	Branch flow, flanged	1.0
Threaded	1.5	Branch flow, threaded	2.0

Fuente: LMNO Engineering, Research, and Software, Ltd. (2016)

Anexo 2: Tipos de Planos y Diagramas

De acuerdo a Golzman (2003, págs. 41-42), los planos se clasifican en:

1. Diagramas de flujo

- a. Diagramas de Proceso: Son los diagramas preparados por la Ingeniería de Proceso que contienen, como mínimo:
 - a) Cañerías Principales con la indicación del fluido que conducen y el sentido de flujo
 - b) Las principales válvulas, dampers, etc.
 - c) Todos los recipientes (tanques, torres, intercambiadores) con sus n° de ítem y características básicas; dimensiones, presión, temperatura, etc.
 - d) Todos los equipos (bombas, compresores, etc.) con indicación de sus características, potencias, caudal etc.
 - e) Un cuadro de caudales, temperaturas y presiones de cada línea de conducción de fluidos.
- b. Diagrama de Piping-Instrumentos (P&ID): Son los diagramas preparados por los grupos Mecánico-Cañerías-Instrumentación y contienen:
 - a) Todos los recipientes, con dimensiones, identificación y todas sus conexiones a las cañerías
 - b) Todos los equipos secundarios, trampas, filtros etc.
 - c) Todas las válvulas, drenajes, venteos, aún las estaciones de utilidades (vapor, agua, aire), válvulas de alivio, retención, etc.
 - d) Todos los instrumentos de medición y control con sus líneas de transmisión y sus símbolos definiendo si es de control remoto o local.

2. Planos de Planta y Elevación

Además de incluir los caños con sus accesorios en escala, deben incluir:

- a. Líneas principales de referencia, con sus coordenadas, tales como: límites de "batería" o área, límite de los planos, de caminos y calles, diques, líneas de drenajes, recipientes, equipos, contorno de fundaciones, etc.
- b. Todos los soportes de cañerías , con numeración, indicación convencional del tipo, posición y elevación acotadas, inclusive las columnas de apoyo de caños elevados, indicados por su numeración

- c. Todas las plataformas de acceso con posiciones, elevación y dimensiones acotadas
- d. Todos los instrumentos, con identificación, indicación convencional y posición aproximada. Los conjuntos constituidos por las válvulas de control con sus by-pass, válvulas de bloqueo y regulación, son representados por todos sus accesorios indicando la identificación de los instrumentos con la sigla ISO correspondiente
- e. Indicación del NORTE de Planta y su ángulo con el geográfico normalmente dirigido hacia arriba o la derecha del plano
- f. Lista de soportes con los planos de referencia donde se puedan encontrar los detalles constructivos de los mismos
- g. Lista de planos de referencia de áreas contiguas y plano llave.

3. Planos isométricos de detalle, fabricación y soportes

Los planos isométricos contienen, según sea el caso:

- a. Conjunto de cañerías para ingeniería básica que abarcan áreas completas.
- b. Cañería individual, completa.
- c. Sector de una cañería.

Anexo 3: Formato y Entrevista a personal de Estación de Bombeo Faisanes

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA



**FORMATO DE ENTREVISTAS PARA EL PERSONAL
DE LA ESTACIÓN FAISANES - EP PETROECUADOR**

ENCUESTADO: _____

ENCUESTADOR: _____

Lugar y fecha: _____

Hoja 1

PREGUNTAS

1. Señale cuál era el proceso del sistema de alivios y drenajes anterior

2. Explique el procedimiento de vaciado del tanque de alivio en el sistema anterior

3. Cómo se realizaba el control operativo del tanque de alivio.

4. Con la repotenciación de la Estación, qué cambios se implementan en el sistema de alivios y drenajes

5. Explique el nuevo proceso del sistema de alivios y drenajes

6. Existen problemas con este nuevo sistema. Sí / No

Sí	No
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA



Hoja 2

7. Cuáles son los problemas que visualiza usted con este nuevo proceso

8. Qué reacción tuvo usted cuando cavitó el equipo

9. Qué medidas se tomó para desalojar el producto del tanque de alivio

10. Cuáles son las medidas del tanque de alivio y cuál es el volumen de fluidos que puede contener

11. Qué producto va hacia el tanque de alivio

12.Cuál es la cota que alcanza en la actualidad el tanque de alivio

13. Qué riesgos potenciales mira usted al no tener operativo el sistema de alivios y drenajes

14. En qué tiempo se llena el tanque de alivio

Transcripción de la entrevista al Supervisor de la Estación Faisanes, Poliducto Esmeraldas – Quito, EP Petroecuador

Por razones de seguridad y políticas de la empresa, el personal de planta de las estaciones de bombeo de la EP Petroecuador no puede dar su nombre sin autorización de la gerencia nacional. Sin embargo, pueden entregar información no sensible para la comunidad.

1. Señale cuál era el proceso del sistema de alivios y drenajes anterior

Recolectar los fluidos de la planta de bombeo por concepto de las descargas de las válvulas de alivios del sistema (en caso de sobrepresiones) y de drenajes por actividades operativas y de mantenimiento. Los fluidos son almacenados en el tanque de alivio de la estación y en el tanque sumidero, dependiendo su procedencia. Antes de ingresar al tanque sumidero, el producto procedente de los drenajes abiertos de la estación pasa por un proceso de separación de fases en el separador API para obtener producto limpio. Este tanque tiene la opción de enviar el producto almacenado a la succión de las bombas principales de bombeo y/o al tanque de alivio. En el tanque de alivio se almacenan todos los fluidos de la estación procedentes del sistema de alivios y drenajes. Por medio de su equipo de bombeo se conduce el producto almacenado al tanque sumidero.

2. Explique el procedimiento de vaciado del tanque de alivio en el sistema anterior

El operador monitorea diariamente el nivel operativo del producto almacenado en el tanque de alivio, y este tiene como criterio no rebasar el nivel de 1,5 m para proceder a desalojar el tanque. Una vez que define la altura de desalojo en el tanque, el operador verifica el tipo de producto contenido en el mismo (diesel, gasolinas, jet fuel). Y verifica el producto que se bombea en ese momento en la planta, si son compatibles lo reinyecta, de lo contrario, espera la partida pertinente, que puede tomar de uno a tres días aproximadamente.

3. Cómo se realizaba el control operativo del tanque de alivio.

El tanque dispone de un sistema de control electrónico cuyos niveles están seteados por caudal bajo a 350 mm o por caudal alto a 9 000 mm. Aquí se acciona una alarma en el HMI del operador. El operador dispone del sistema SCADA en la sala de operaciones, en el que puede ver las variables operacionales, que son: nivel del tanque, temperatura del producto, presión de descarga de la bomba y caudal de la bomba. En campo, dispone de un indicador de nivel directo en el tanque, llamado BAREC.

4. Con la repotenciación de la Estación, qué cambios se implementan en el sistema de alivios y drenajes

Se adquieren nuevos equipos de bombeo para el tanque de alivio y tanque sumidero. Se cambia el proceso de reinyección del producto contenido en el tanque de alivio y tanque sumidero.

5. Explique el nuevo proceso del sistema de alivios y drenajes

Se elimina la reinyección del producto desde el tanque sumidero hacia la succión de las bombas, como se hacía anteriormente, y se deja únicamente la opción de enviar el producto al tanque de alivio. Ahora se reinyecta desde el tanque de alivio hacia la succión de las bombas principales.

6. Existen problemas con este nuevo sistema. Sí / No Sí.

7. Cuáles son los problemas que visualiza usted con este nuevo proceso

El nuevo equipo de bombeo instalado está sobredimensionado (581 psi) porque cuando se lo accionó por primera vez, la presión de descarga de este equipo rebasó los setpoints de succión de los equipos de bombeo principales, que es de 125 psi, accionando los paros de emergencia de la planta. Para solucionar este problema, se procedió a estrangular la válvula de descarga del nuevo equipo de bombeo, y de esta manera controlar su presión de descarga, para que no interfiera con el sistema de seguridad de los equipos principales. La bomba funcionó hasta llegar a un nivel operativo en el tanque de 6 m. aproximadamente, en este punto el equipo de bombeo cavita, impidiendo el desalojo de más producto.

8. Qué reacción tuvo usted cuando cavitó el equipo

Se procedió a apagar el equipo de bombeo del tanque de alivio para preservarlo y porque ya no realizaba la operación de desalojo.

9. Qué medidas se tomó para desalojar el producto del tanque de alivio

Se procedió a enviar el producto del tanque de alivio hacia el tanque sumidero por la línea existente que no se removió, para poder desalojar el producto desde el tanque de alivio como se realizaba anteriormente. En el tanque sumidero, la bomba instalada actualmente no supera la presión de succión de los equipos de bombeo, que es de 125 psi. De esta manera, queda inoperativo este sistema para desalojar el volumen de producto almacenado. Se coordinó con las unidades Vacuum (autotanque) del poliducto para que evacúen el producto del tanque

manualmente. Y esta operación se realiza periódicamente hasta encontrar una solución en este sistema. El producto desalojado se lo destina directamente a las terminales de combustibles, Beaterio o Santo Domingo.

10. Cuáles son las medidas del tanque de alivio y cuál es el volumen de fluidos que puede contener

El tanque tiene una altura de 10 m, y el volumen es de 2000 bls.

11. Qué producto va hacia el tanque de alivio

Depende del producto que se dispone en el sistema en ese momento, que puede ser gasolinas, diesel o Jet A1. Una partida de producto dura de 3 a 4 días, dependiendo su volumen.

12.Cuál es la cota que alcanza en la actualidad el tanque de alivio

Como no se cuenta con una unidad Vacuum en la estación de bombeo permanentemente, ya que se coordina su servicio con la estación de Santo Domingo o El Beaterio, la cota del tanque alcanza su altura máxima de 9,75 m., cuando el nivel esperado debe ser de máximo 1,50 m aproximadamente, para tener disponible el tanque de alivio.



13. Qué riesgos potenciales mira usted al no tener operativo el sistema de alivios y drenajes

No se cuenta con un sistema autónomo para realizar este proceso que antes era periódico y cotidiano en la estación, ahora debe buscarse mecanismos ajenos a la estación para evacuar el producto. Esta operación nos toca hacerla dos veces al mes y eso tiene un costo adicional. El peor escenario que puede darse al no tener habilitado el tanque de alivios es que colapse el sistema y ocasione un derrame, afectando directamente al ambiente que rodea a la estación.

14. En qué tiempo se llena el tanque de alivio

Eso depende de la operación. Normalmente, el tanque de alivio se llena en 30 días, dependiendo de cuántas veces se accionen las válvulas de seguridad. Pero, en el peor de los casos, el tanque de alivio puede llenarse en su totalidad si las válvulas principales de seguridad se accionaran por un tiempo mayor a 30 minutos.

Anexo 4: Características de los fluidos

		080168-B-01-MC-001				Pág: 5 De: 21
CLIENTE:		PETROCOMERCIAL				
PROYECTO:		ESTUDIOS DE INGENIERÍA BÁSICA Y DE DETALLE, PROYECTO "MODERNIZACIÓN Y REPOTENCIACIÓN DE ESTACIONES Y POLIDUCTOS ESMERALDAS-SANTO DOMINGO, SANTO DOMINGO-QUITO, SANTO DOMINGO-PASCUALES"				
CÁLCULO HIDRÁULICO						
Tabla 1. Caudal de diseño						
Poliducto		Caudal				
		Diseño⁽²⁾	Máximo			
		BPH	BPH	BPD		
Esmeraldas – Sto. Domingo		4.860	4.375	105.000		
Tabla 2. Características bombas Booster vertical						
Caudal, GPM		1.700				
Head, ft		180				
En la tabla 2 se puede observar el punto operativo nominal de la bomba según su curva de operación ver anexo 6.2.1						
Tabla 3. Características bombas Booster horizontal						
Caudal, GPM		2.096				
Head, ft		320				
En la tabla 3 se puede observar el punto operativo nominal de la bomba según su curva de operación ver anexo 6.2.2						
3.1. CARACTERIZACIÓN DE LOS FLUIDOS						
Con los valores de las propiedades de los fluidos reportados en la tabla 4 se caracterizó el fluido en Hysys process 2006, comprobando que su comportamiento a 80°F cumpla con los rangos de presión de vapor, gravedad específica y viscosidad cinemática.						
A continuación se presenta en forma resumida las propiedades de los productos transportados:						
Tabla 4. Propiedades de los Fluidos transportados a condiciones de operación actuales⁽³⁾						
Fluido	Propiedad @ 80 °F	Valor	Unidad			
Gasolina	Gravedad específica	0,7428	-			
	Viscosidad cinemática	0,90	cst			
	Presión de Vapor	7 - 10	psia			
Diesel	Gravedad específica	0,8514	-			
<small>(2) Caudal de diseño provisto por PETROCOMERCIAL. (3) Propiedades proporcionadas por PETROCOMERCIAL.</small>						

Fuente: TECNA – Medanita del Ecuador. Estudios de Ingeniería básica y de detalle Proyecto Modernización y repotenciación de estaciones Poliducto Esmeraldas Quito (2009, pág. 5)

Elaborado por: César Ríos

CLIENTE:	PETROCOMERCIAL
PROYECTO:	ESTUDIOS DE INGENIERÍA BÁSICA Y DE DETALLE, PROYECTO "MODERNIZACIÓN Y REPOTENCIACIÓN DE ESTACIONES Y POLIDUCTOS ESMERALDAS-SANTO DOMINGO, SANTO DOMINGO-QUITO, SANTO DOMINGO-PASCUALES"

CÁLCULO HIDRÁULICO

Fluido	Propiedad @ 80 °F	Valor	Unidad
	Viscosidad cinemática	8,78	cSt
	Presión de Vapor	2 - 3	psia
Jet A-1	Gravedad específica	0,8118	-
	Viscosidad cinemática	2,00	cSt
	Presión de Vapor	3 - 4	psia
GLP	Gravedad específica	0,52	-
	Viscosidad cinemática	0,25	cSt
	Presión de Vapor	135-140	psia

En la tabla 5 se presenta en forma resumida las propiedades de los productos ya caracterizados.

Tabla 5. Propiedades de los Fluidos caracterizados

Fluido	Propiedad @ 80 °F	Valor	Unidad
Gasolina	Gravedad específica	0,7316	-
	Viscosidad cinemática	0,8803	cSt
	Presión de Vapor	7,112	psia
Diesel	Gravedad específica	0,8421	-
	Viscosidad cinemática	8,532	cSt
	Presión de Vapor	2,037	psia
Jet A-1	Gravedad específica	0,8009	-
	Viscosidad cinemática	1,951	cSt
	Presión de Vapor	2,764	psia
GLP	Gravedad específica	0,525	-
	Viscosidad cinemática	0,229	cSt
	Presión de Vapor	135,2	psia

3.2. CASOS DE ANÁLISIS

3.2.1. CASO 1 CONDICIÓN ACTUAL

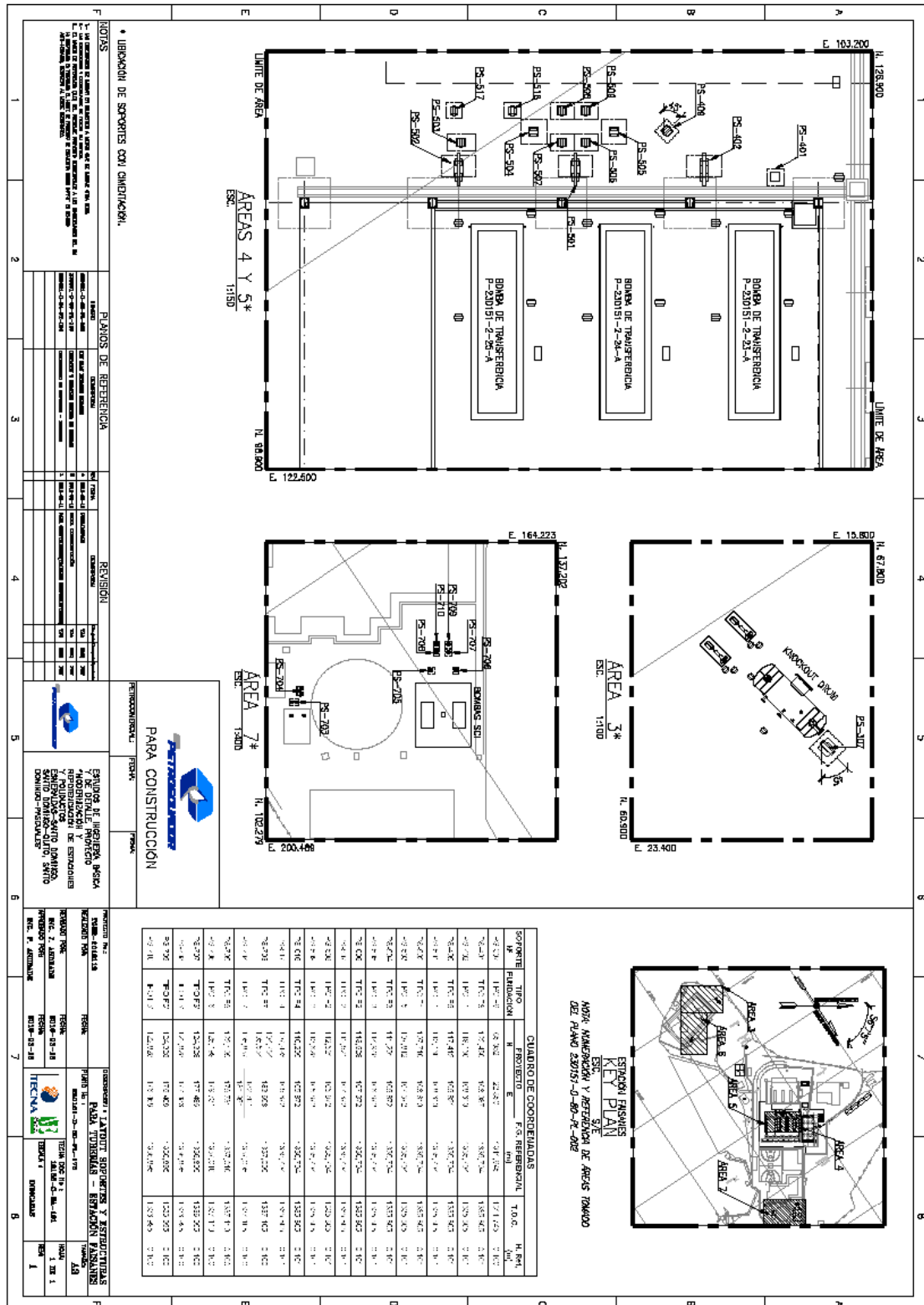
En este caso se analiza como está operando actualmente el sistema de bombeo, para tomarlo como referencia y cuantificar las velocidades y caídas de presión que actualmente se están manejando.

Se tomó como caso de análisis el máximo flujo operativo bombeado, (3.000 BPH).

3.2.2. CASO 2 CONDICIÓN FUTURA – INSTALACIÓN ACTUAL

En este caso se analiza como sería el comportamiento del fluido para el caudal de diseño en la instalación actual. Debido a que el caudal de cada bomba booster por separado no abastece el caudal de diseño (como se puede observar en las tablas 2 y 3), se plantea trabajar con las dos bombas

Anexo 5: Layout soportes y estructuras para tuberías – Estación Faisanes



Fuente: TECNA Medanito del Ecuador, Ingeniería Básica y de Detalle Proyecto Modernización y repotenciación de Poliductos, (2010).

Anexo 6: Accesorios de acero al carbono ASTM

Brida							Taladros				Peso (kg)
Diámetro nominal	Diámetro exterior de brida	Mínimo espesor de brida	Diámetro	Diámetro bisel al comienzo del cuello	Cuello soldado	Hueco	Diámetro de círculo de tornillos	Diámetro de hueco de tornillos (pulg.)	Nº de tornillos	Diámetro de tornillos (pulg.)	
NPS	O	tf	X	Ah	Y	B	W	-	-	-	
½	90	9,6	30	21,3	46	15,8	60,3	⅝	4	½	0,9
¾	100	11,2	38	26,7	51	20,9	69,9	⅝	4	½	0,9
1	110	12,7	49	33,4	54	26,6	79,4	⅝	4	½	1,4
1 ¼	115	14,3	59	42,2	56	35,1	88,9	⅝	4	½	1,4
1 ½	125	15,9	65	48,3	60	40,9	98,4	⅝	4	½	1,8
2	150	17,5	78	60,3	62	52,5	120,7	¾	4	⅝	2,7
2 ½	180	20,7	90	73,0	68	62,7	139,7	¾	4	⅝	3,6
3	190	22,3	108	88,9	68	77,9	152,4	¾	4	⅝	4,5
3 ½	215	22,3	122	101,6	70	90,1	177,8	¾	8	⅝	5,4
4	230	22,3	135	114,3	75	102,3	190,5	¾	8	⅝	6,8
5	255	22,3	164	141,3	87	128,2	215,9	⅞	8	¾	8,6
6	280	23,9	192	168,3	87	154,1	241,3	⅞	8	¾	10,9
8	345	27,0	246	219,1	100	202,7	298,5	⅞	8	¾	17,7
10	405	28,6	305	273,0	100	254,6	362,0	1	12	⅞	23,6
12	485	30,2	365	323,8	113	304,8	431,8	1	12	⅞	36,3
14	535	33,4	400	355,6	125	(1)	476,3	1 ⅛	12	1	50,0
16	595	35,0	457	406,4	125	(1)	539,8	1 ⅛	16	1	64,0
18	635	38,1	505	457,0	138	(1)	577,9	1 ¼	16	1 ⅛	68,0
20	700	41,3	559	508,0	143	(1)	635,0	1 ¼	20	1 ⅛	81,6
24	815	46,1	663	610,0	151	(1)	749,3	1 ¾	20	1 ¼	118,0

* Dimensiones en mm. excepto "Diámetro de tornillos" y "Diámetro de hueco de tornillo".

Fuente: Grupo Almesa, Catálogo Técnico ISO 9001 (2017, pág. 111)

Anexo 7: Tubería de acero al carbono



TUBERIA DE ACERO AL CARBONO
API 5L / ASTM A53 / A106

www.vemacero.com

Diámetro Nominal NPS		Diámetro Exterior Real		Espesor de Pared		Identificación		Peso del Tubo		ASTM A53 PRESION DE PRUEBA			
Pulgadas in.	Milímetros mm.	(in.)	(mm.)	Pulgadas (in.)	Milímetros (mm.)	Weight Class	Schedule	lb/ft	kg/m	GRABO A		GRABO B	
										psi	Kg/cm ²	psi	Kg/cm ²
1/2	15	0.840	21.3	0.109	2.77	STD	40	0.83	1.27	700	49	700	49
				0.147	3.73	XS	80	1.09	1.62	850	60	850	60
3/4	20	1.050	26.7	0.113	2.87	STD	40	1.13	1.69	700	49	700	49
				0.154	3.91	XS	80	1.47	2.20	850	60	850	60
1	25	1.315	33.4	0.133	3.38	STD	40	1.68	2.50	700	49	700	49
				0.179	4.55	XS	80	2.17	3.24	850	60	850	60
1-1/4	32	1.660	42.2	0.140	3.56	STD	40	2.27	3.39	1200	84	1300	91
				0.191	4.85	XS	80	3.00	4.47	1800	127	1900	134
1-1/2	40	1.900	48.3	0.145	3.68	STD	40	2.72	4.05	1200	84	1300	91
				0.200	5.08	XS	80	3.63	5.41	1800	127	1900	134
2	50	2.375	60.3	0.154	3.91	STD	40	3.63	5.44	2300	162	2300	176
				0.218	5.54	XS	80	5.02	7.48	2500	176	2500	176
2-1/2	65	2.875	73	0.203	5.16	STD	40	5.79	8.63	2500	176	2500	176
				0.276	7.01	XS	80	7.66	11.41	2500	176	2500	176
				0.375	9.52	-	160	-	-	2500	176	2500	176
				0.532	14.02	XXS	-	-	-	2500	176	2500	176
3	80	3.500	88.9	0.125	3.18	-	-	4.51	6.72	1290	91	1500	105
				0.156	3.96	-	-	5.57	8.29	1600	112	1870	131
				0.188	4.78	-	-	6.65	9.92	1930	136	2260	159
				0.216	5.49	STD	40	7.58	11.29	2220	156	2500	176
				0.250	6.35	-	-	8.68	12.93	2500	176	2500	176
				0.281	7.14	-	-	9.66	14.40	2500	176	2500	176
				0.300	7.62	XS	80	10.25	15.27	2500	176	2500	176
				0.312	7.92	-	-	-	-	-	-	-	-
4	100	4.500	114.3	0.125	3.18	-	-	5.84	8.71	1000	70	1170	82
				0.156	3.96	-	-	7.24	10.78	1250	88	1460	103
				0.188	4.78	-	-	8.66	12.91	1500	105	1750	123
				0.219	5.56	-	-	10.01	14.91	1750	123	2040	143
				0.237	6.02	STD	40	10.79	16.07	1900	134	2210	155
				0.250	6.35	-	-	11.35	16.90	2000	141	2330	164
				0.281	7.14	-	-	12.66	18.87	2250	158	2620	184
				0.312	7.92	-	-	13.98	20.78	2500	176	2800	197
				0.337	8.56	XS	80	14.98	22.32	2700	190	2800	197
				0.438	11.13	-	120	19.00	28.32	2800	197	2800	197
				0.531	13.49	-	160	22.31	33.34	2800	197	2800	197
				0.674	17.12	XXS	-	27.54	41.03	2800	197	2800	197
				5	125	5.563	141.3	0.188	4.78	-	-	10.79	16.09
0.219	5.56	-	-					12.50	18.61	1420	100	1650	116
0.238	6.55	STD	40					14.62	21.77	1670	117	1950	137
0.281	7.14	-	-					15.85	23.62	1820	128	2120	149
0.312	7.92	-	-					17.50	26.05	2020	142	2360	166
0.344	8.74	-	-					19.17	28.57	2230	157	2600	183
0.375	9.52	XS	80	20.78	30.94	2430	171	2800	197				
6	150	6.625	168.3	0.188	4.78	-	-	12.92	19.27	1020	72	1190	84
				0.219	5.56	-	-	14.98	22.31	1190	84	1390	98
				0.250	6.35	-	-	17.02	25.36	1360	96	1580	111
				0.280	7.11	STD	40	18.97	28.26	1520	107	1780	125
				0.312	7.92	-	-	21.04	31.32	1700	120	1980	139
				0.344	8.74	-	-	23.08	34.39	1870	131	2180	153
				0.375	9.52	-	-	25.02	37.28	2040	143	2380	167
				0.432	10.97	XS	80	28.37	42.58	2350	165	2740	193
				0.562	14.27	-	120	36.39	54.20	2800	197	2800	197
				0.719	18.26	-	160	45.35	67.56	2800	197	2800	197
				0.864	21.95	XXS	-	53.16	79.22	2800	197	2800	197

Tel/Fax: (0251) 269-2898 / 269-2487
Cel: (0414) 533-5833

Zona Industrial 2 Carrera 2 Módulo E Galpon 10 Barquisimeto

1 de 6

Fuente: Vemacero, Tablas de productos (2017, pág. 1)

Anexo 8: Criterios de diseño de sistema de Alivios y Drenajes

Equipo / Línea	Parámetro	Criterio ó Valor Recomendado
Colectores de alivio Descarga de PSVs	Contrapresión (psig)	Mayor a: Pset x 0,5 para válvulas pilotadas
		Máximo: Pset x 0,5 para válvulas balanceadas*
		Máximo: Pset x 0,1 para la válvula convencional
	Temperatura	80 (°F)
KOD (Knock Out Drum)	Diámetro de gotas de líquido a separar	300 (µm)**
	Tiempo mínimo de retención de líquidos	20 – 30 (min.)
Estaca de venteo	Velocidad Jet Mínima	150 (m/s)
	Reynolds Mínimo	1,54x10 ⁴ * (densidad gas / densidad del aire)
	N° de Mach en riser	Máximo 0,5
Cálculos hidráulicos de líneas	Rugosidad ²	Para línea nuevas 0.046 (mm)
		Para línea existentes 0.3 (mm)
	Velocidad	Succión de bombas 1 a 5 ft/s
		Descarga de bombas 4 a 8 ft/s
		Drenajes 1,5 a 4 ft/s

*Las válvulas balanceadas pueden operar con contrapresiones de hasta el 50% dependiendo del tipo de válvula (esto debe ser confirmado con el proveedor).

** Teniendo en cuenta que se trata de un KOD para estaca de venteo se considerará un margen considerable respecto del diámetro de gota de líquido a remover, siguiendo las recomendaciones de la normativa de referencia.

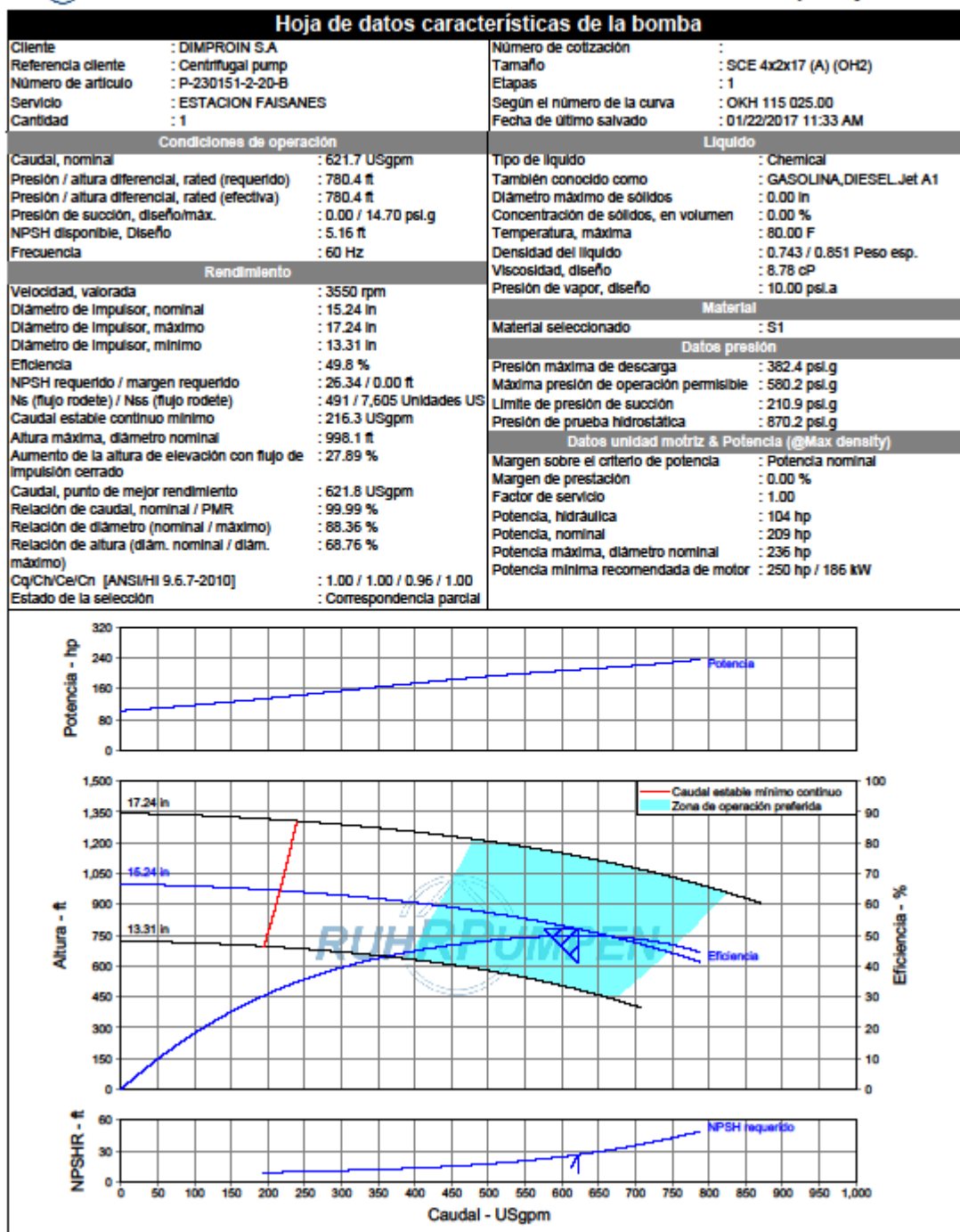
² Tomado de Chemical Engineering Fluid Mechanics pág. 163

Fuente: TECNA Medanita del Ecuador, Ingeniería Básica y de Detalle Proyecto Modernización y repotenciación de Poliductos, (2010)

Anexo 9: Curva característica Bomba Faisanes – Situación actual



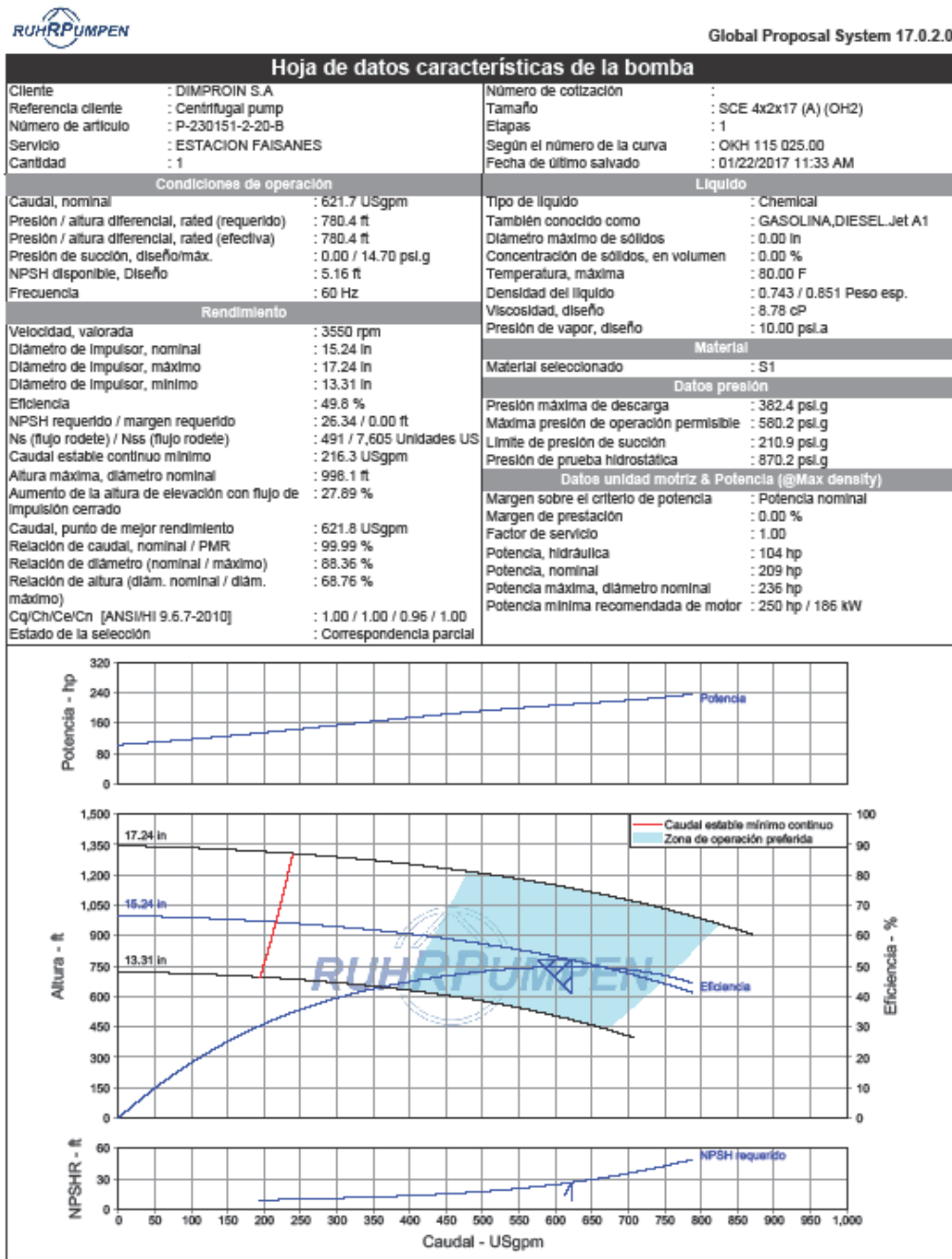
Global Proposal System 17.0.2.0



Fuente: Ruhrpumpen, Curva característica bomba Faisanes Estándar. Documento fabricante (2016).

Anexo 10: Simulación de curvas características de la bomba a distintos diámetros

10.1 Diámetro de impulsor: 15.24 pulgadas

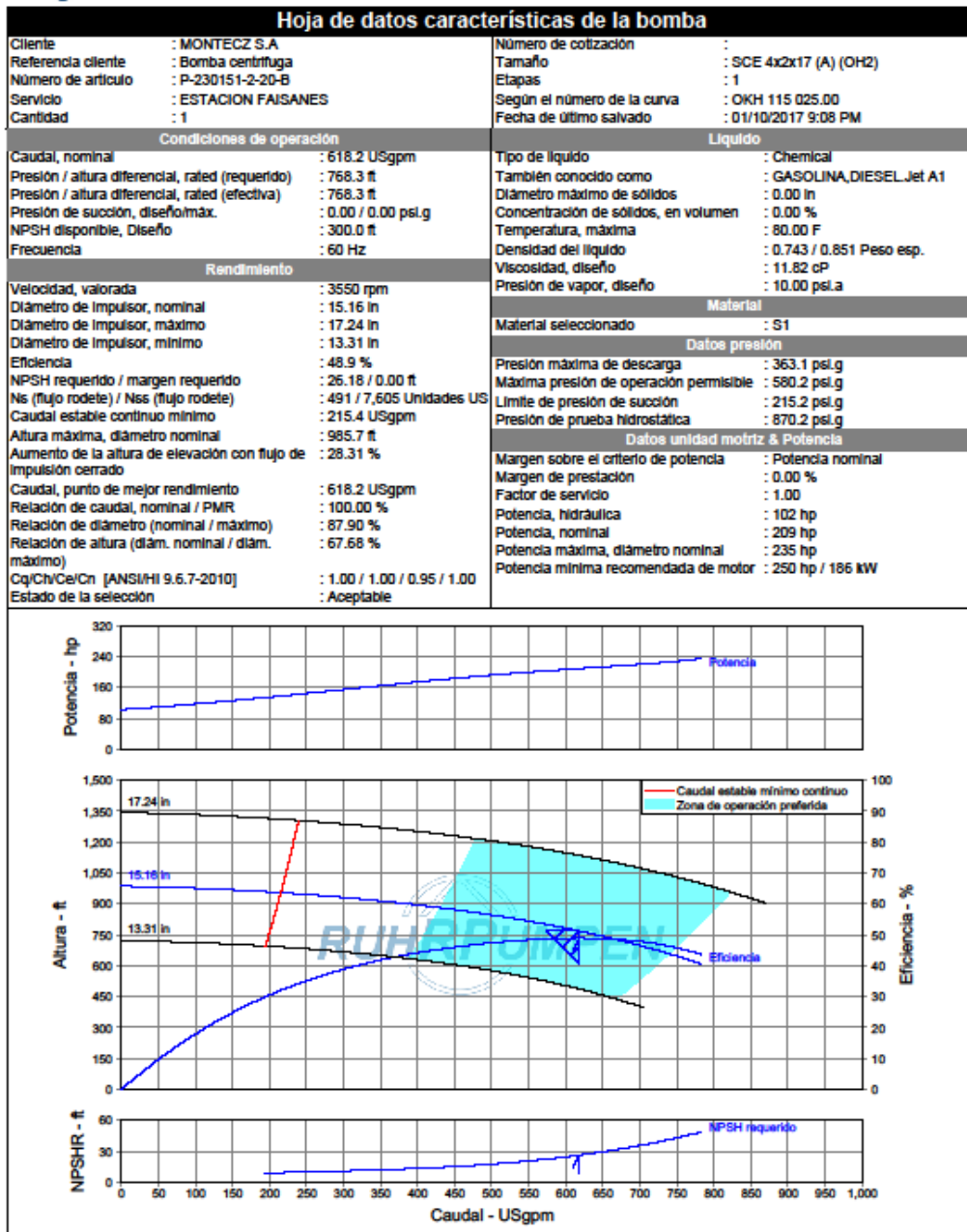


Fuente: Ruhrpumpen, Curva característica bomba Faisanes Stándar. Documento fabricante (2016).

10.2 Diámetro de impulsor: 15.16 pulgadas



Global Proposal System 16.5.1.0

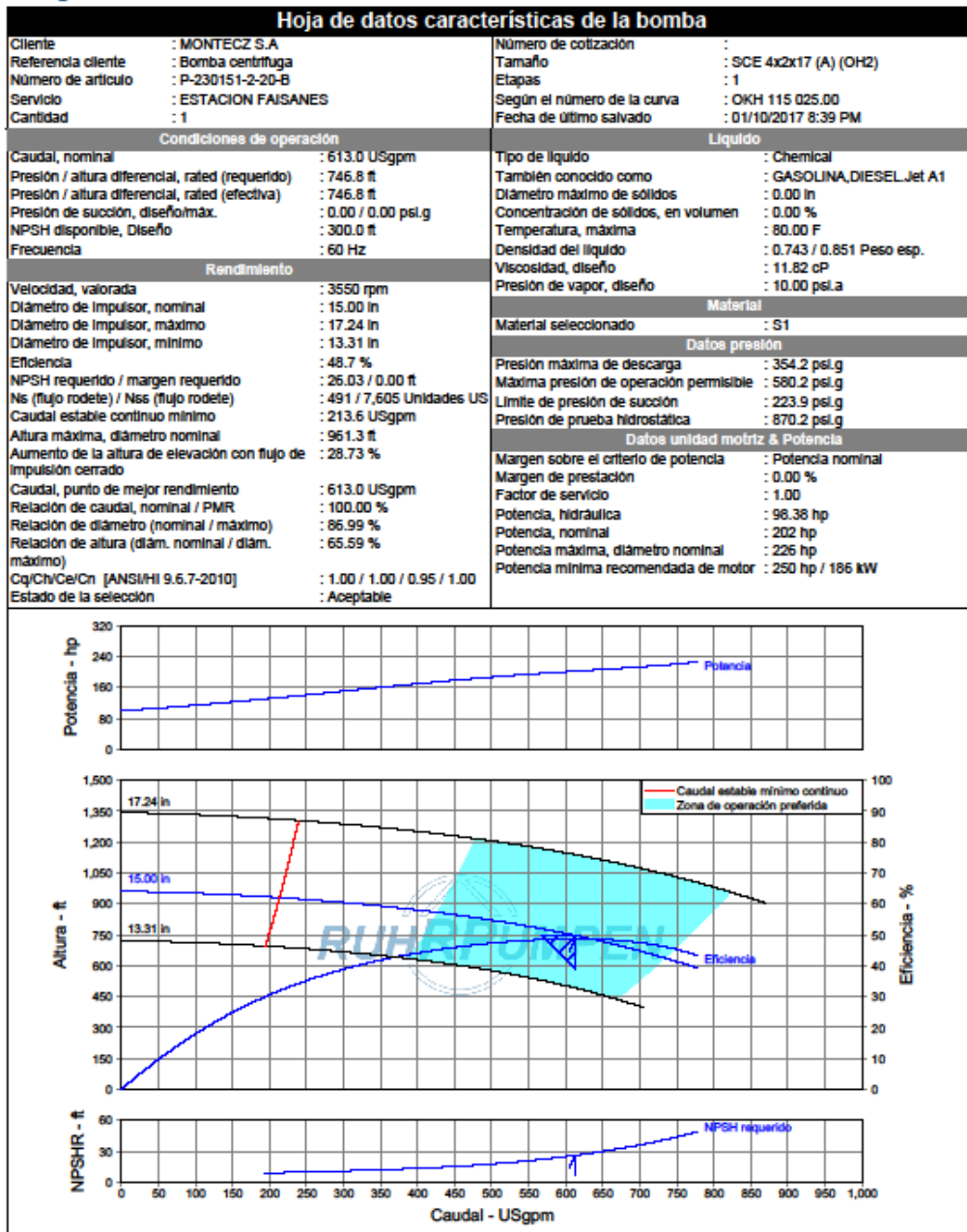


Fuente: Ruhrpumpen, Curva característica bomba Faisanes Stándar. Documento fabricante (2016).

10.3 Diámetro de impulsor: 15.00 pulgadas



Global Proposal System 16.5.1.0

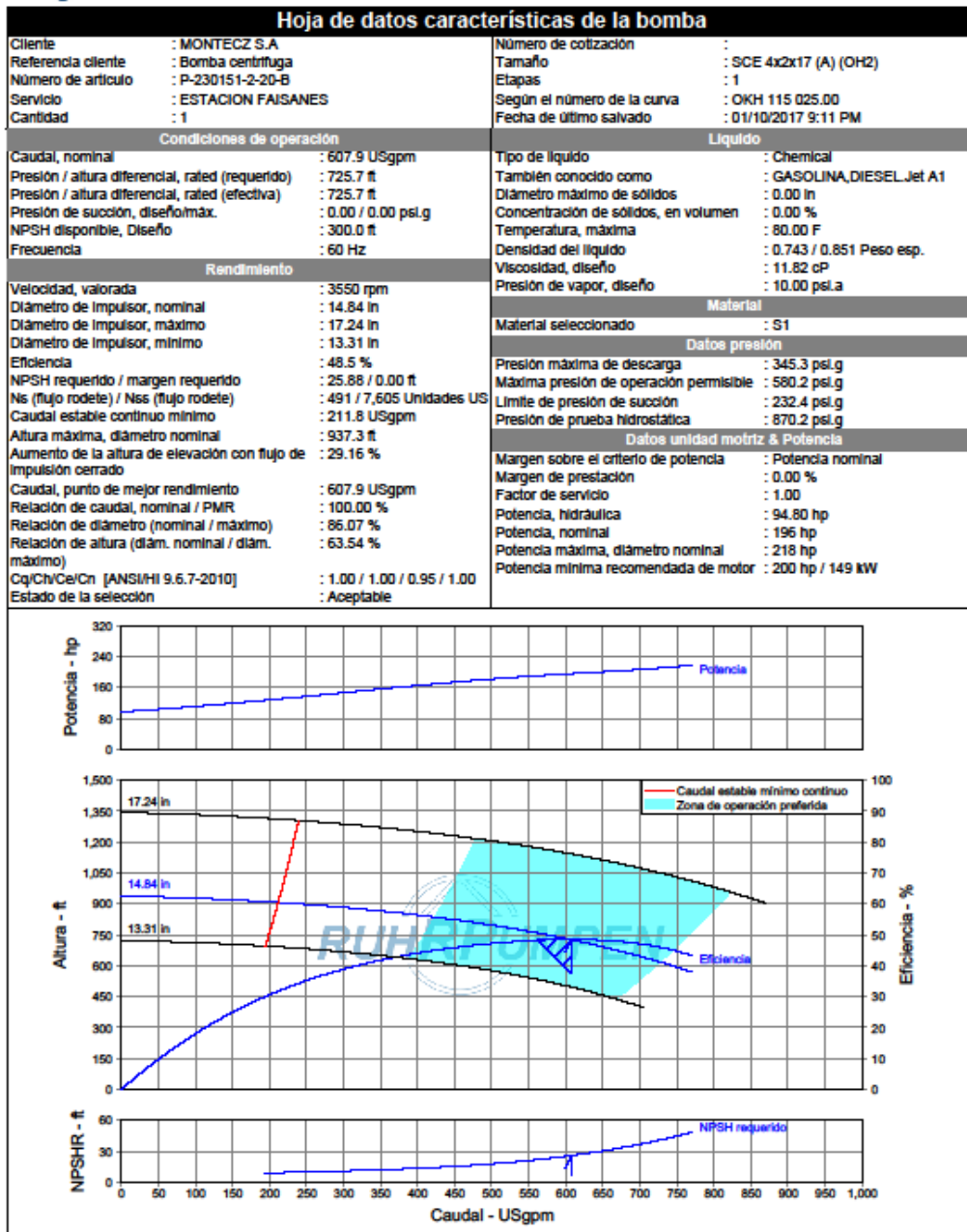


Fuente: Ruhrpumpen, Curva característica bomba Faisanes Stándar. Documento fabricante (2016).

10.4 Diámetro de impulsor: 14.84 pulgadas



Global Proposal System 16.5.1.0

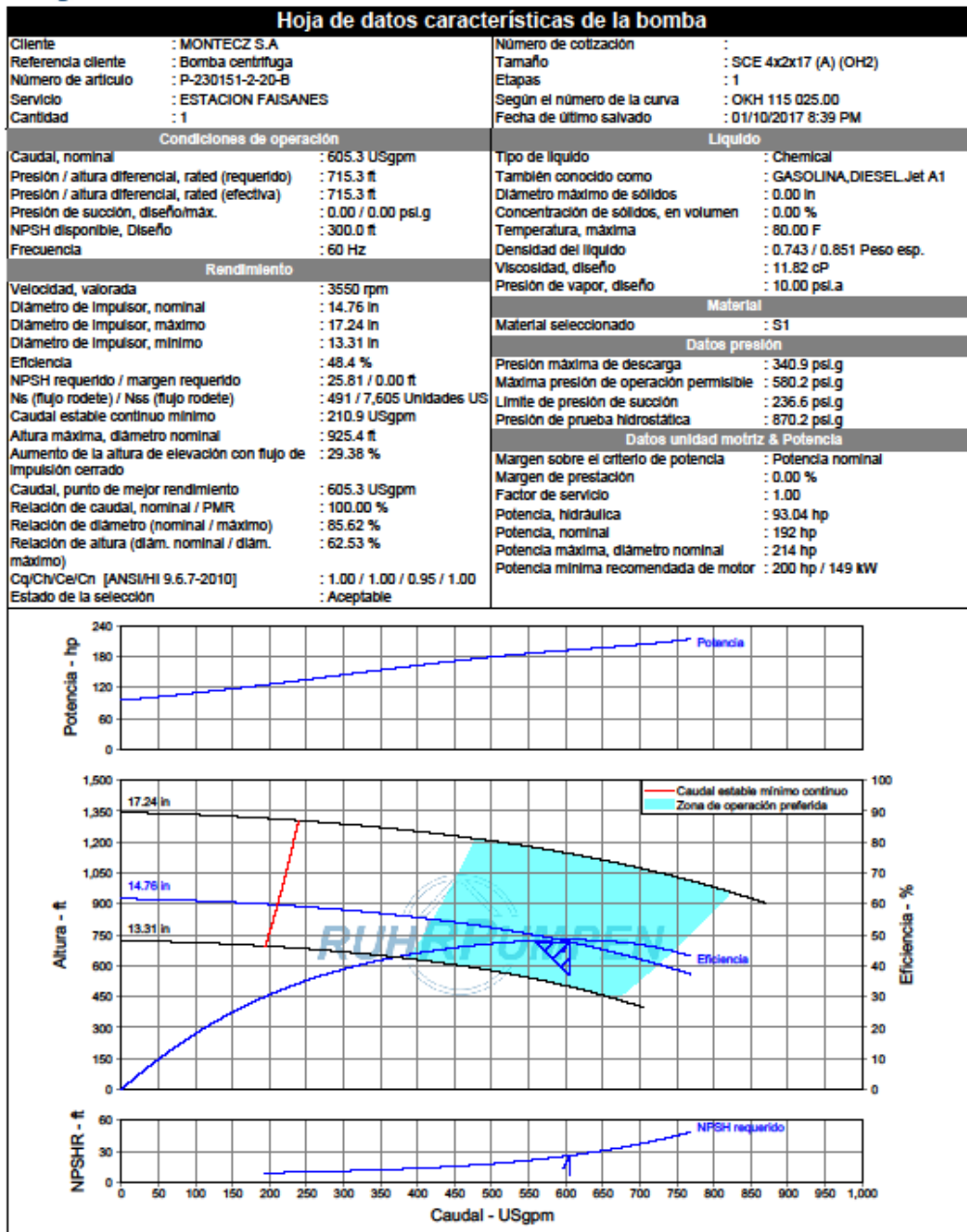


Fuente: Ruhrpumpen, Curva característica bomba Faisanes Stándar. Documento fabricante (2016).

10.5 Diámetro de impulsor: 14.76 pulgadas



Global Proposal System 16.5.1.0

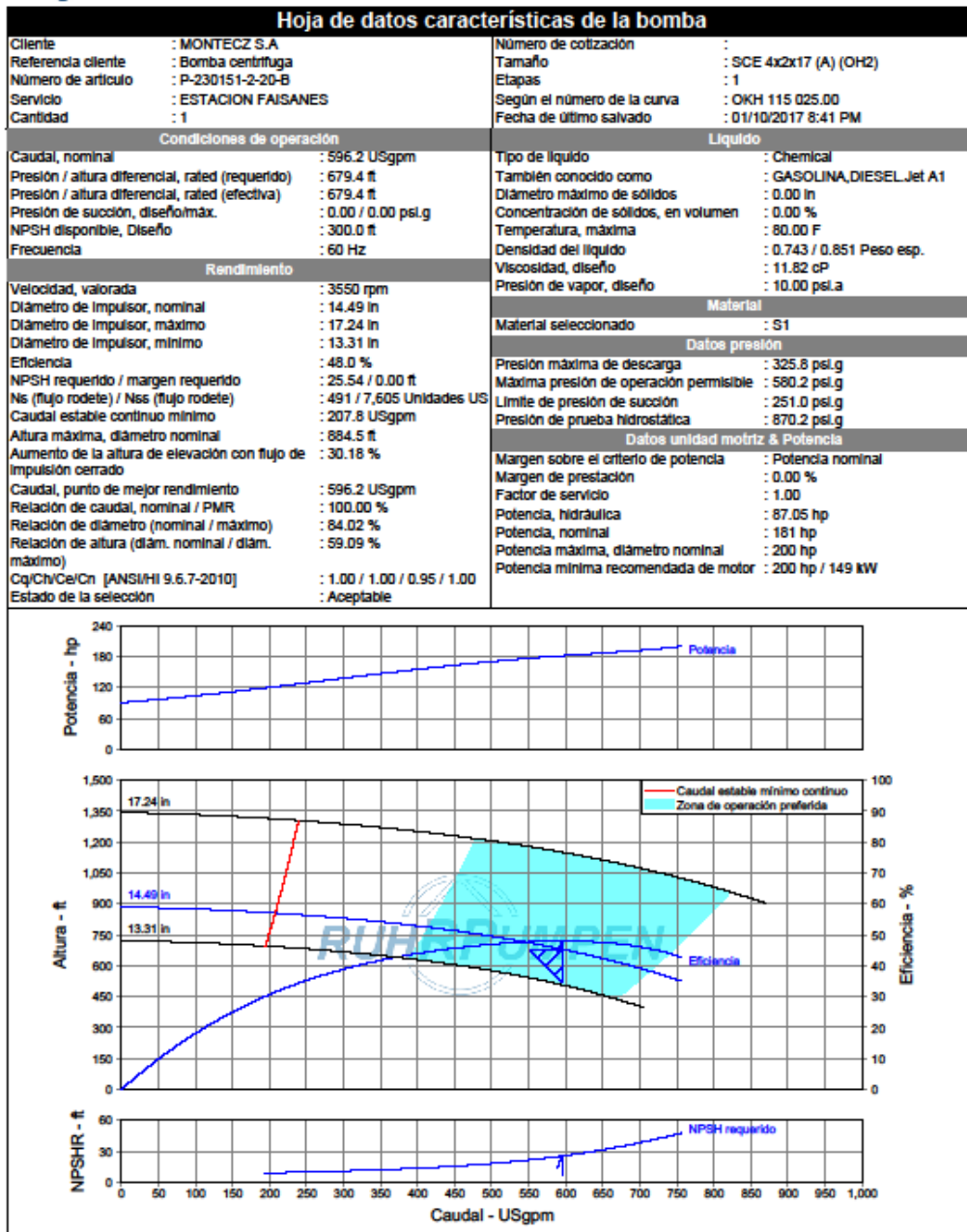


Fuente: Ruhrpumpen, Curva característica bomba Faisanes Stándar. Documento fabricante (2016).

10.6 Diámetro de impulsor: 14.49 pulgadas



Global Proposal System 16.5.1.0

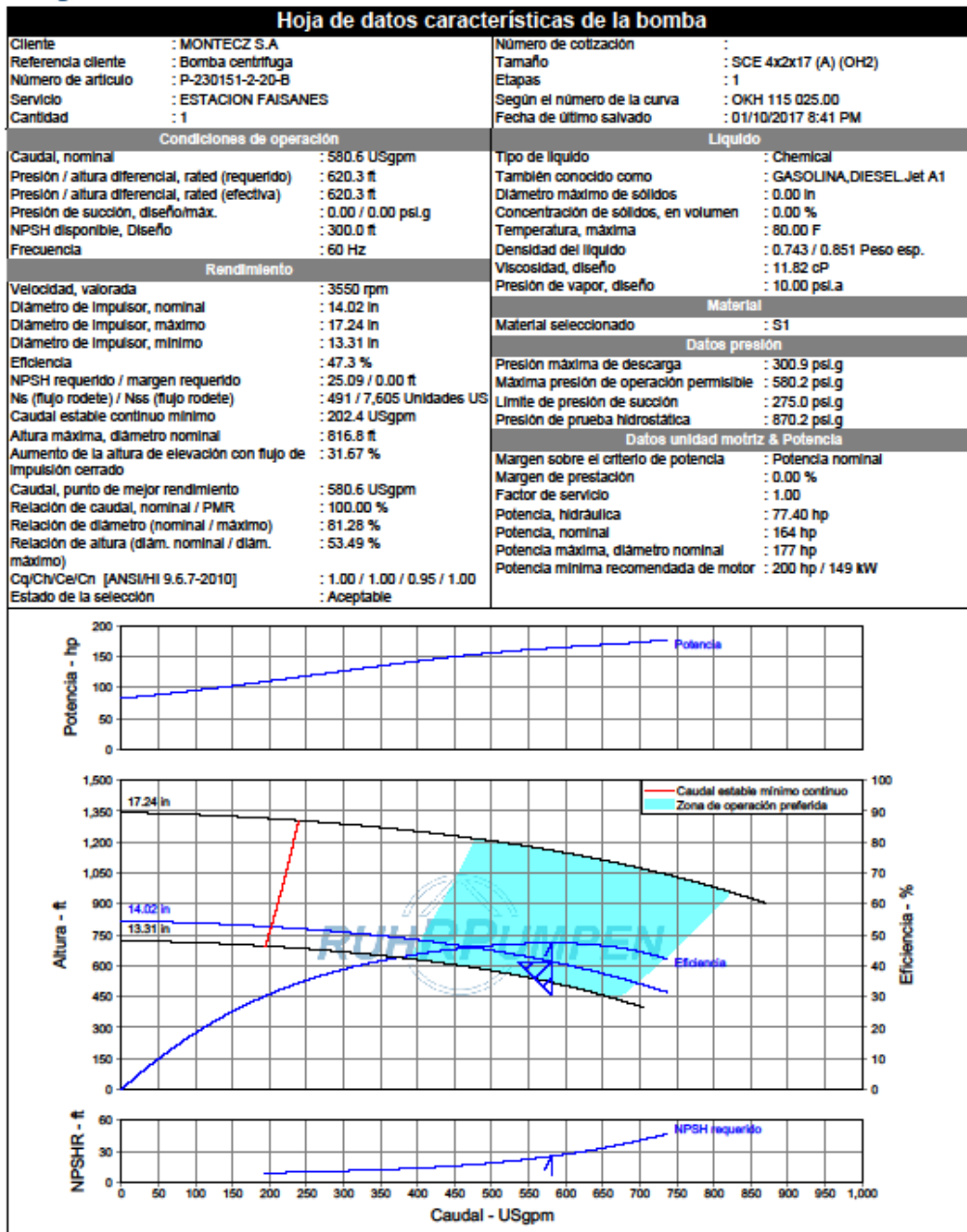


Fuente: Ruhrpumpen, Curva característica bomba Faisanes Stándar. Documento fabricante (2016).

10.7 Diámetro de impulsor: 14.02 pulgadas



Global Proposal System 16.5.1.0



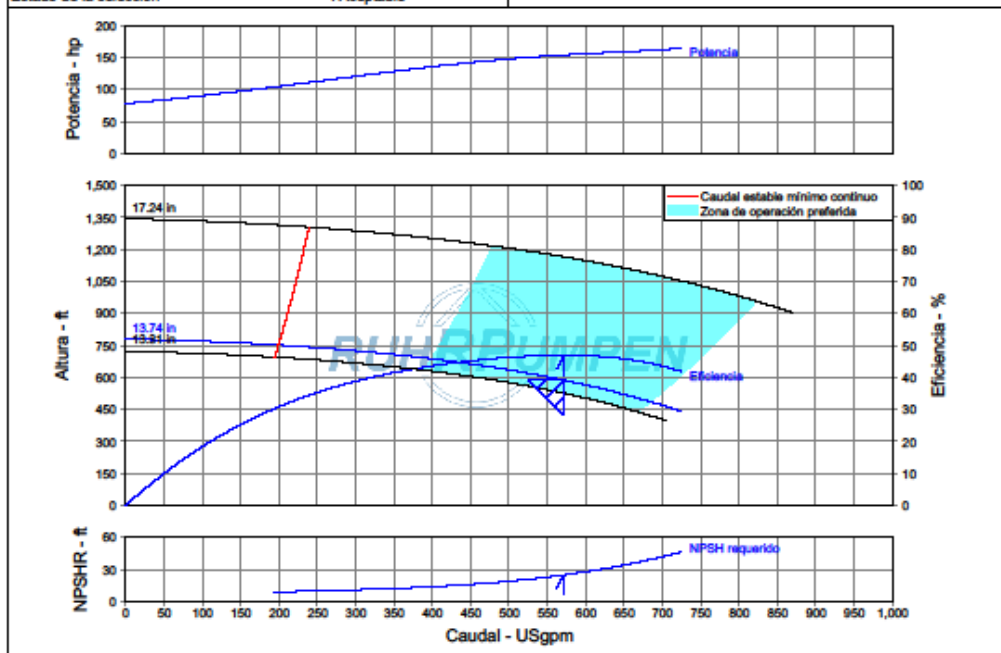
Fuente: Ruhrpumpen, Curva característica bomba Faisanes Stándar. Documento fabricante (2016).

10.8 Diámetro de impulsor: 13.74 pulgadas



Global Proposal System 16.5.1.0

Hoja de datos características de la bomba			
Cliente	: MONTECZ S.A	Número de cotización	:
Referencia cliente	: Bomba centrífuga	Tamaño	: SCE 4x2x17 (A) (OH2)
Número de artículo	: P-230151-2-20-B	Etapas	: 1
Servicio	: ESTACION FAISANES	Según el número de la curva	: OKH 115 025.00
Cantidad	: 1	Fecha de último salvado	: 01/10/2017 8:42 PM
Condiciones de operación		Líquido	
Caudal, nominal	: 571.4 USgpm	Tipo de líquido	: Chemical
Presión / altura diferencial, rated (requerido)	: 587.3 ft	También conocido como	: GASOLINA, DIESEL, Jet A1
Presión / altura diferencial, rated (efectiva)	: 587.3 ft	Diámetro máximo de sólidos	: 0.00 in
Presión de succión, diseño/máx.	: 0.00 / 0.00 psi.g	Concentración de sólidos, en volumen	: 0.00 %
NPSH disponible, Diseño	: 300.0 ft	Temperatura, máxima	: 80.00 F
Frecuencia	: 60 Hz	Densidad del líquido	: 0.743 / 0.851 Peso esp.
Rendimiento		Viscosidad, diseño	: 11.82 cP
Velocidad, valorada	: 3550 rpm	Presión de vapor, diseño	: 10.00 psi.a
Diámetro de impulsor, nominal	: 13.74 in	Material	
Diámetro de impulsor, máximo	: 17.24 in	Material seleccionado	: S1
Diámetro de impulsor, mínimo	: 13.31 in	Datos presión	
Eficiencia	: 46.9 %	Presión máxima de descarga	: 286.9 psi.g
NPSH requerido / margen requerido	: 24.82 / 0.00 ft	Máxima presión de operación permisible	: 580.2 psi.g
Ns (flujo rodete) / Nss (flujo rodete)	: 491 / 7,605 Unidades US	Límite de presión de succión	: 288.4 psi.g
Caudal estable continuo mínimo	: 199.3 USgpm	Presión de prueba hidrostática	: 870.2 psi.g
Altura máxima, diámetro nominal	: 778.8 ft	Datos unidad motriz & Potencia	
Aumento de la altura de elevación con flujo de impulsión cerrado	: 32.62 %	Margen sobre el criterio de potencia	: Potencia nominal
Caudal, punto de mejor rendimiento	: 571.4 USgpm	Margen de prestación	: 0.00 %
Relación de caudal, nominal / PMR	: 100.00 %	Factor de servicio	: 1.00
Relación de diámetro (nominal / máximo)	: 79.68 %	Potencia, hidráulica	: 72.11 hp
Relación de altura (diám. nominal / diám. máximo)	: 50.39 %	Potencia, nominal	: 154 hp
Cq/Cv/Ce/Cn [ANSI/HI 9.6.7-2010]	: 1.00 / 1.00 / 0.95 / 1.00	Potencia máxima, diámetro nominal	: 164 hp
Estado de la selección	: Aceptable	Potencia mínima recomendada de motor	: 200 hp / 149 kW

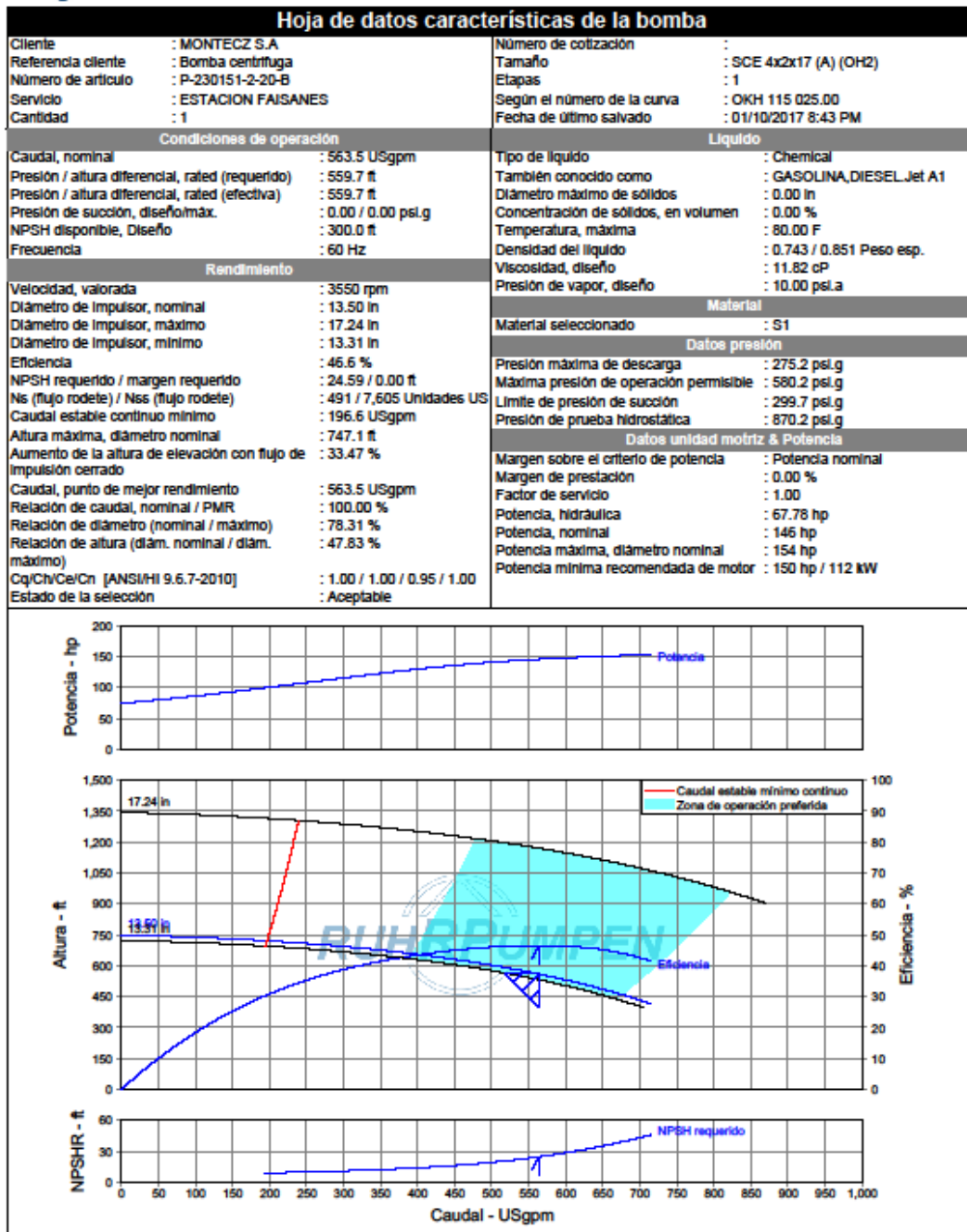


Fuente: Ruhrpumpen, Curva característica bomba Faisanes Stándar. Documento fabricante (2016).

10.9 Diámetro de impulsor: 13.50 pulgadas



Global Proposal System 16.5.1.0

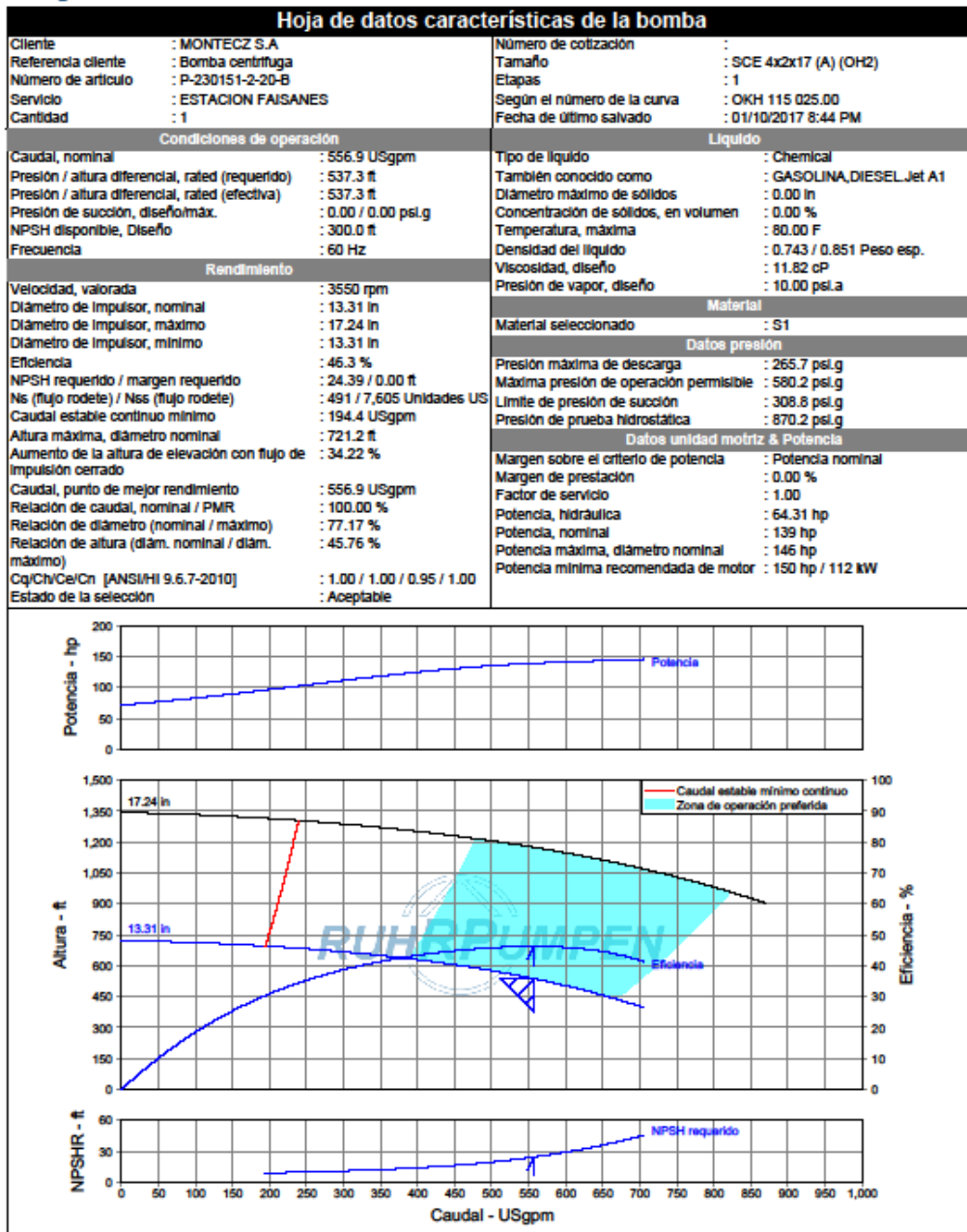


Fuente: Ruhrpumpen, Curva característica bomba Faisanes Stándar. Documento fabricante (2016).

10.10 Diámetro de impulsor: 13.31 pulgadas



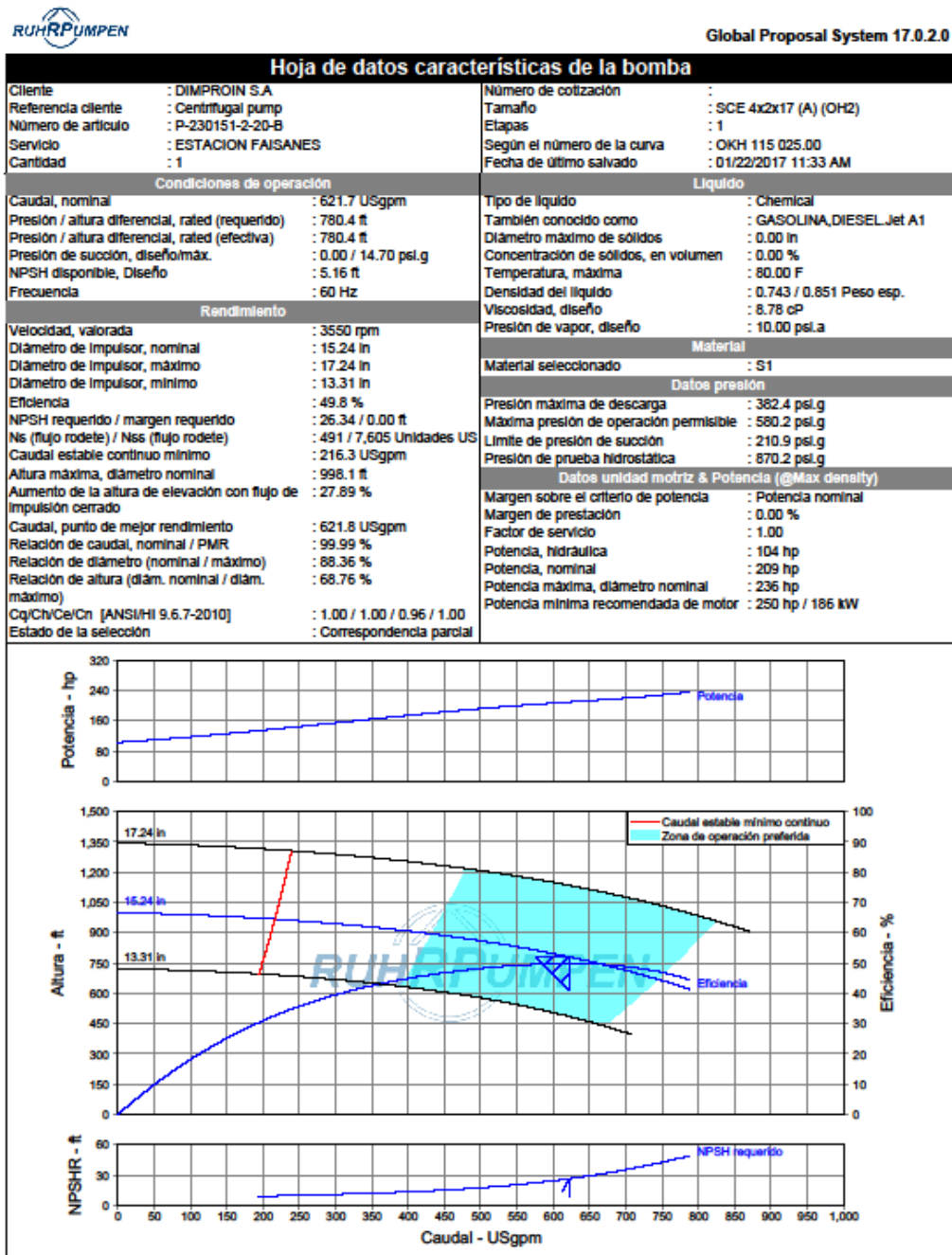
Global Proposal System 16.5.1.0



Fuente: Ruhrpumpen, Curva característica bomba Faisanes Stándar. Documento fabricante (2016).

Anexo 11: Simulación de curvas características de la bomba a distintas velocidades

11.1 Velocidad: 3550 RPM



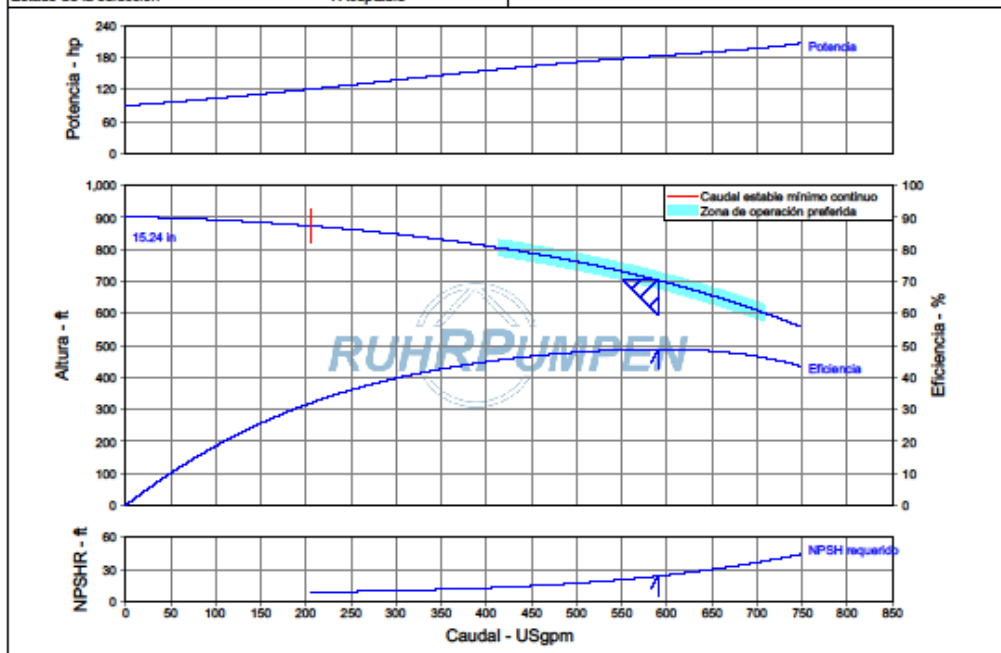
Fuente: Ruhrpumpen, Curva característica bomba Faisanes Stándar. Documento fabricante (2016).

11.2 Velocidad: 3375 RPM



Global Proposal System 16.5.1.0

Hoja de datos características de la bomba			
Cliente	: MONTECZ S.A	Número de cotización	:
Referencia cliente	: Bomba centrífuga	Tamaño	: SCE 4x2x17 (A) (OH2)
Número de artículo	: P-230151-2-20-B	Etapas	: 1
Servicio	: ESTACION FAISANES	Según el número de la curva	: OKH 115 025.00
Cantidad	: 1	Fecha de último salvado	: 01/10/2017 8:56 PM
Condiciones de operación		Líquido	
Caudal, nominal	: 590.0 USgpm	Tipo de líquido	: Chemical
Presión / altura diferencial, rated (requerido)	: 703.9 ft	También conocido como	: GASOLINA, DIESEL, Jet A1
Presión / altura diferencial, rated (efectiva)	: 703.9 ft	Diámetro máximo de sólidos	: 0.00 in
Presión de succión, diseño/máx.	: 0.00 / 0.00 psi.g	Concentración de sólidos, en volumen	: 0.00 %
NPSH disponible, Diseño	: 300.0 ft	Temperatura, máxima	: 80.00 F
Frecuencia	: 60 Hz	Densidad del líquido	: 0.743 / 0.851 Peso esp.
Rendimiento		Viscosidad, diseño	: 11.82 cP
Velocidad, valorada	: 3375 rpm	Presión de vapor, diseño	: 10.00 psi.a
Diámetro de impulsor, nominal	: 15.24 in	Material	
Diámetro de impulsor, máximo	: 17.24 in	Material seleccionado	: S1
Diámetro de impulsor, mínimo	: 13.31 in	Datos presión	
Eficiencia	: 48.8 %	Presión máxima de descarga	: 332.3 psi.g
NPSH requerido / margen requerido	: 23.71 / 0.00 ft	Máxima presión de operación permisible	: 580.2 psi.g
Ns (flujo rodete) / Nss (flujo rodete)	: 491 / 7,605 Unidades US	Límite de presión de succión	: 244.8 psi.g
Caudal estable continuo mínimo	: 205.6 USgpm	Presión de prueba hidrostática	: 870.2 psi.g
Altura máxima, diámetro nominal	: 902.1 ft	Datos unidad motriz & Potencia	
Aumento de la altura de elevación con flujo de impulsión cerrado	: 28.15 %	Margen sobre el criterio de potencia	: Potencia nominal
Caudal, punto de mejor rendimiento	: 590.0 USgpm	Margen de prestación	: 0.00 %
Relación de caudal, nominal / PMR	: 100.00 %	Factor de servicio	: 1.00
Relación de diámetro (nominal / máximo)	: 88.36 %	Potencia, hidráulica	: 89.25 hp
Relación de altura (diám. nominal / diám. máximo)	: 68.74 %	Potencia, nominal	: 183 hp
Cq/Cv/Ce/Cn [ANSI/HI 9.6.7-2010]	: 1.00 / 1.00 / 0.95 / 1.00	Potencia máxima, diámetro nominal	: 206 hp
Estado de la selección	: Aceptable	Potencia mínima recomendada de motor	: 200 hp / 149 kW

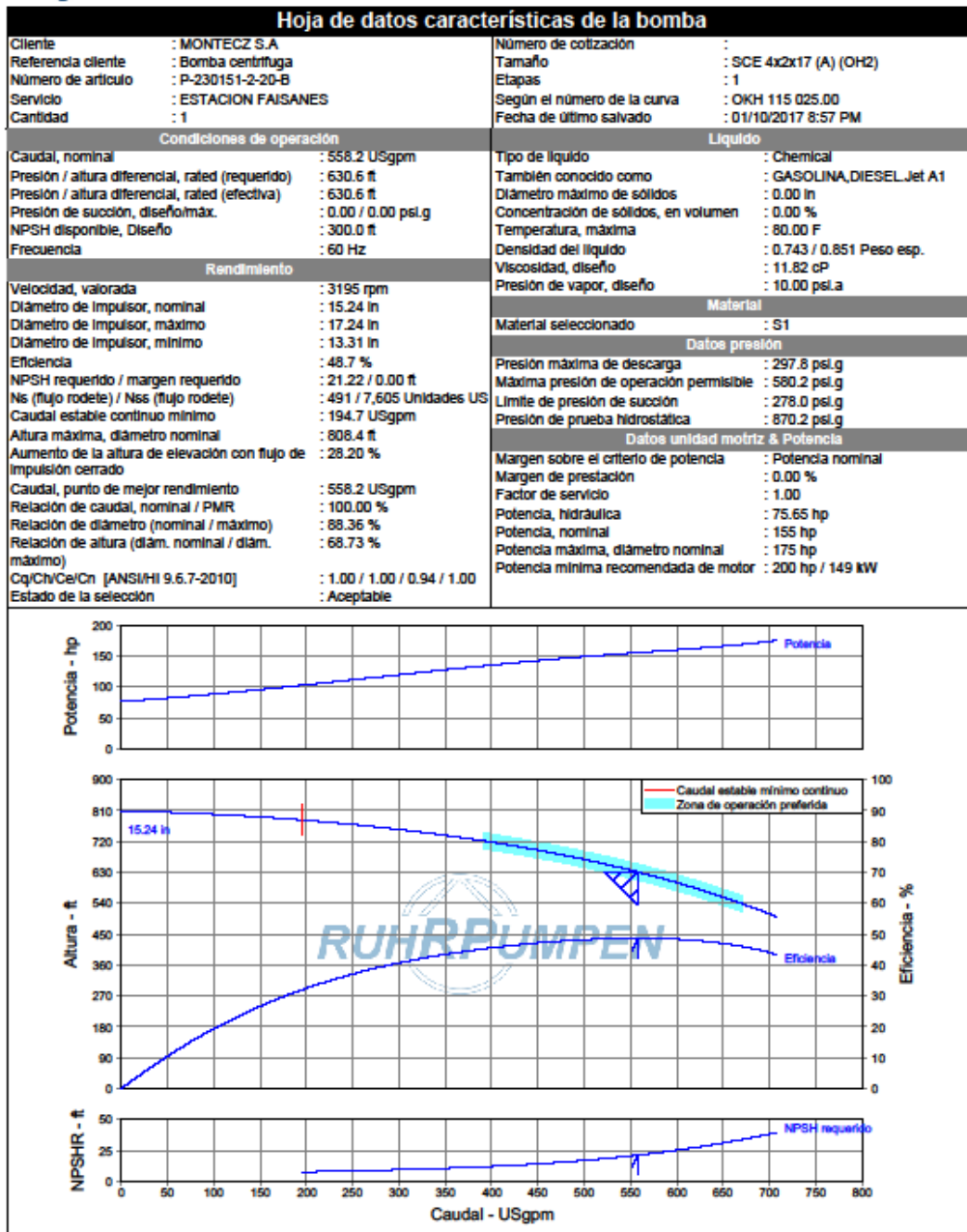


Fuente: Ruhrpumpen, Curva característica bomba Faisanes Stándar. Documento fabricante (2016).

11.3 Velocidad: 3195 RPM



Global Proposal System 16.5.1.0

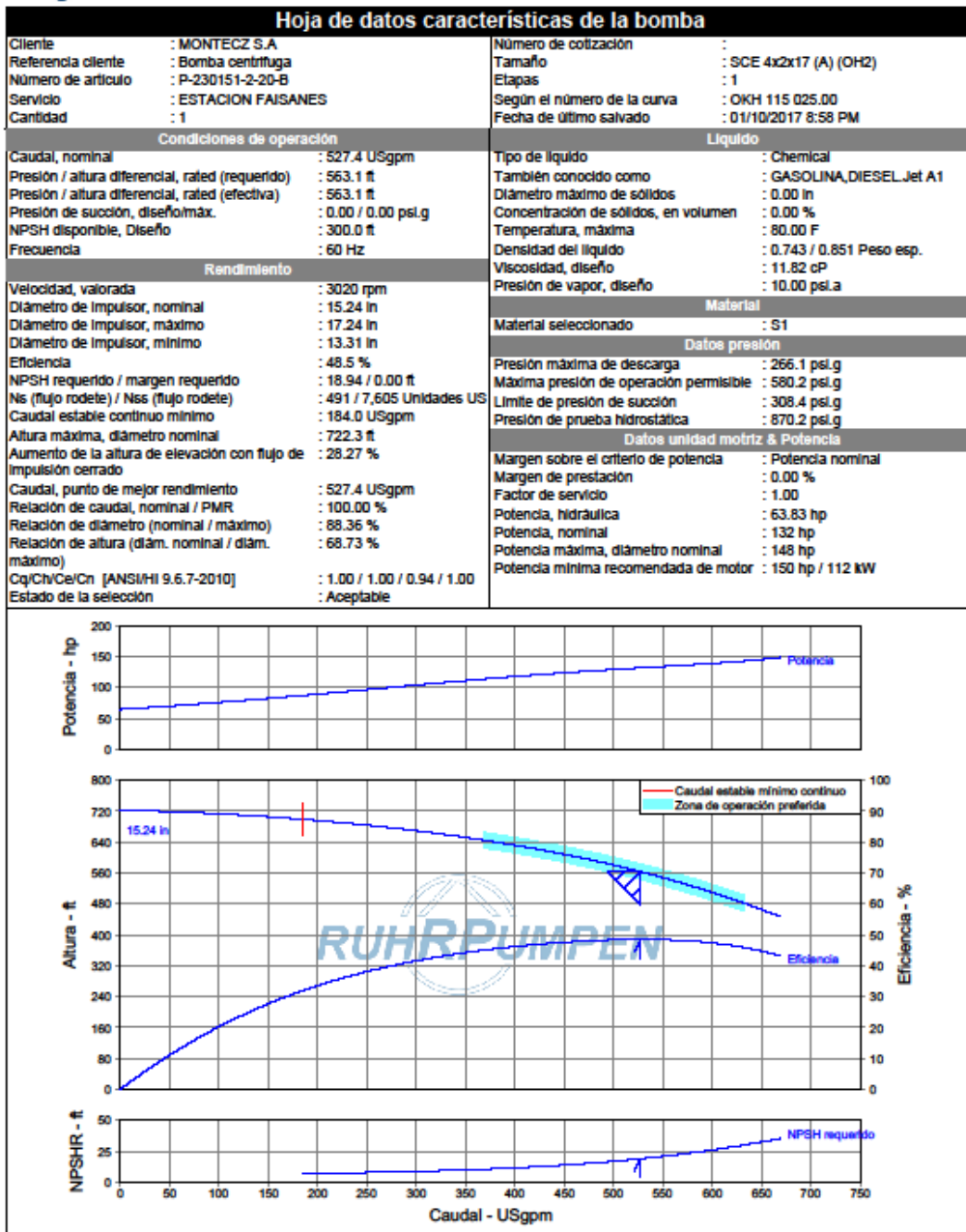


Fuente: Ruhrpumpen, Curva característica bomba Faisanes Stándar. Documento fabricante (2016).

11.4 Velocidad: 3020 RPM



Global Proposal System 16.5.1.0

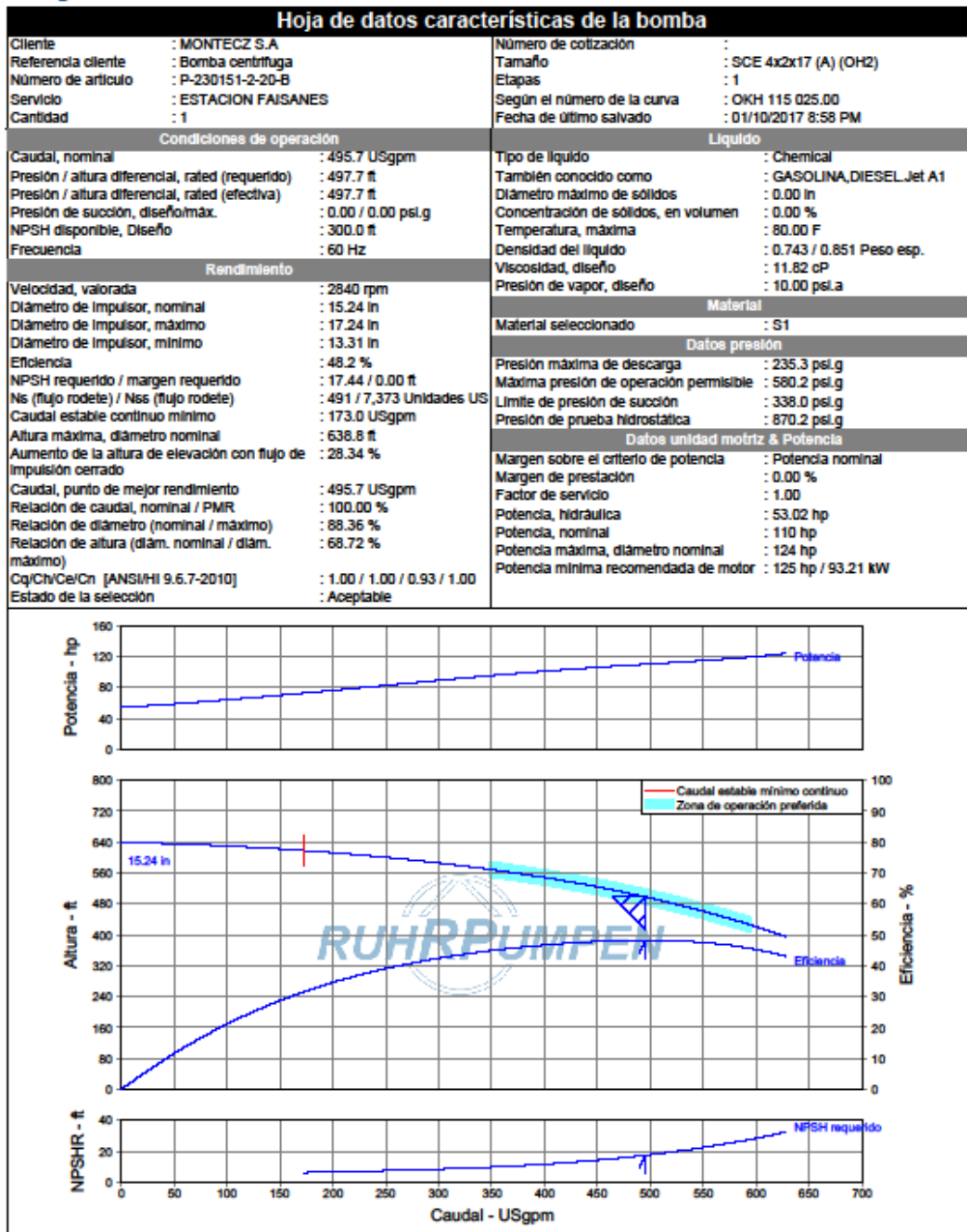


Fuente: Ruhrpumpen, Curva característica bomba Faisanes Stándar. Documento fabricante (2016).

11.5 Velocidad: 2840 RPM



Global Proposal System 16.5.1.0

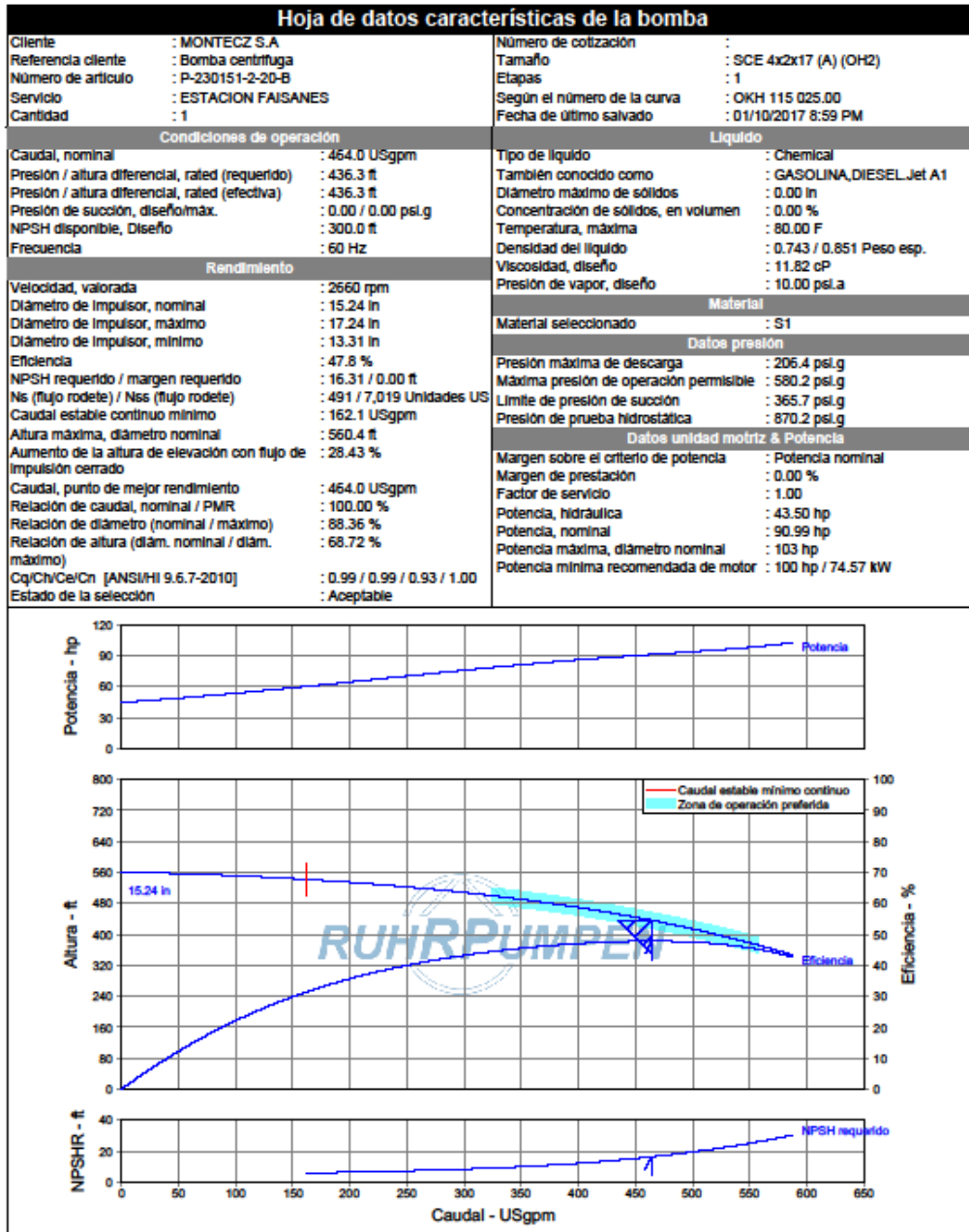


Fuente: Ruhrpumpen, Curva característica bomba Faisanes Stándar. Documento fabricante (2016).

11.6 Velocidad: 2660 RPM



Global Proposal System 16.5.1.0

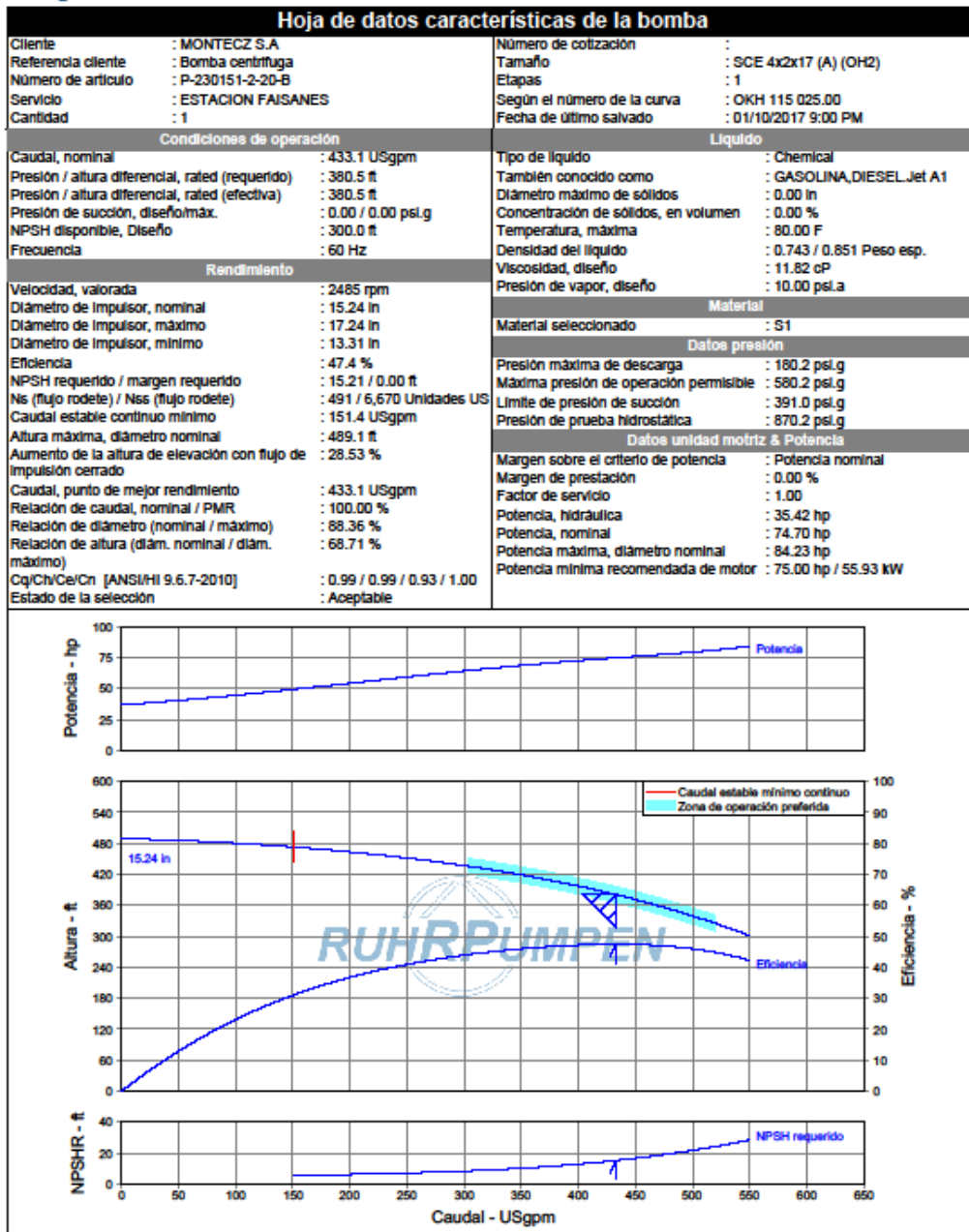


Fuente: Ruhrpumpen, Curva característica bomba Faisanes Stándar. Documento fabricante (2016).

11.7 Velocidad: 2485 RPM



Global Proposal System 16.5.1.0

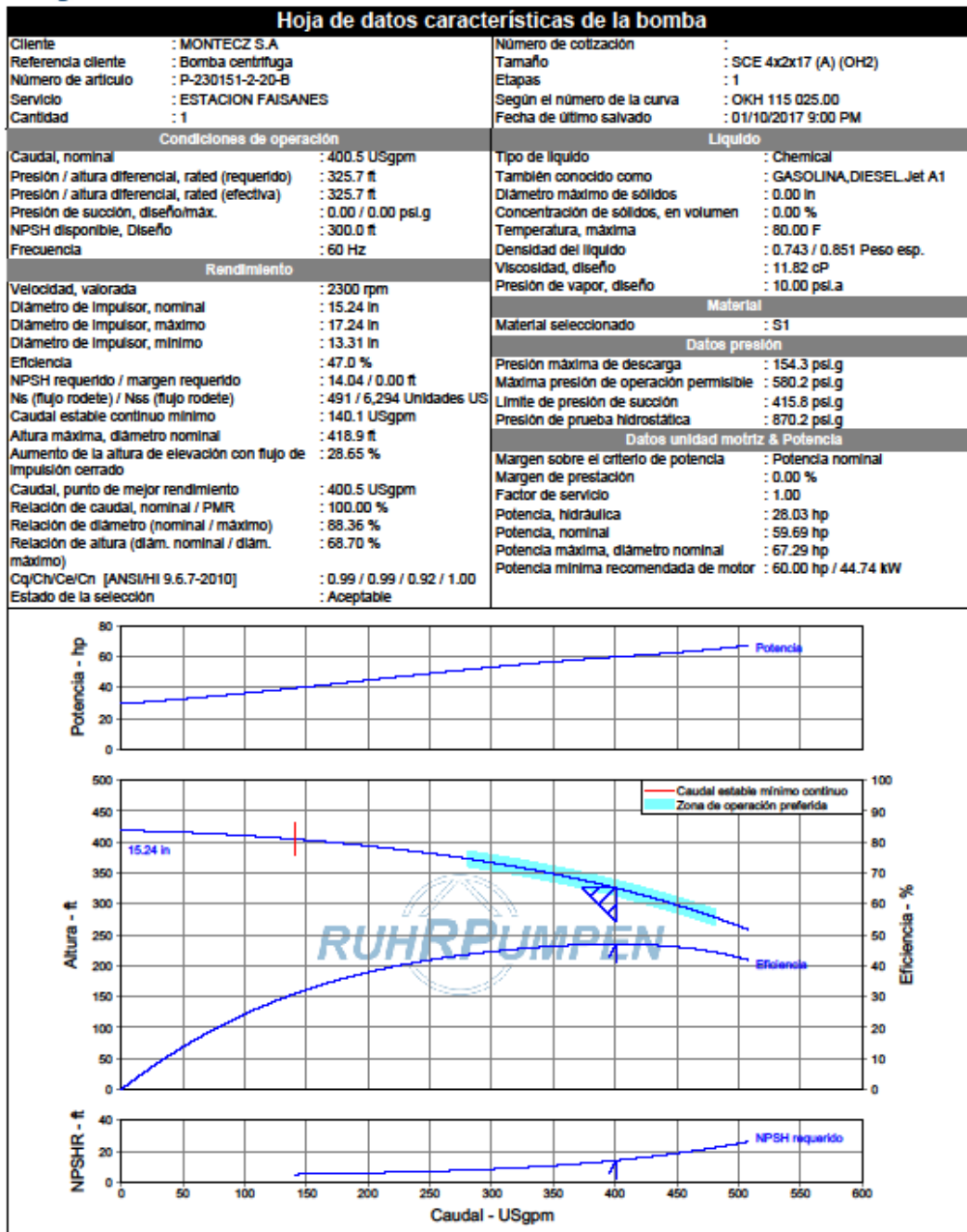


Fuente: Ruhrpumpen, Curva característica bomba Faisanes Stándar. Documento fabricante (2016).

11.8 Velocidad: 2300 RPM



Global Proposal System 16.5.1.0

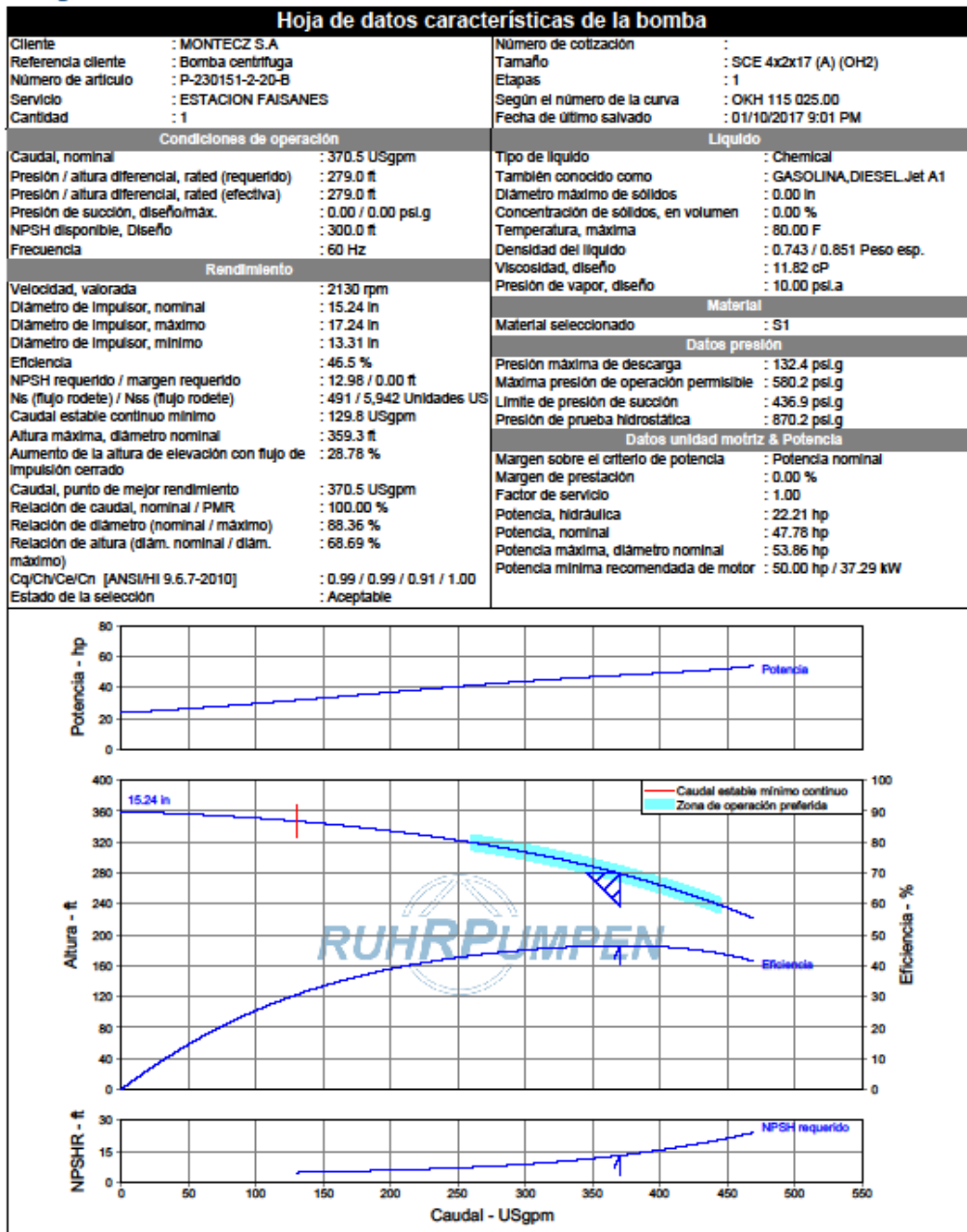


Fuente: Ruhrpumpen, Curva característica bomba Faisanes Stándar. Documento fabricante (2016).

11.9 Velocidad: 2130 RPM



Global Proposal System 16.5.1.0

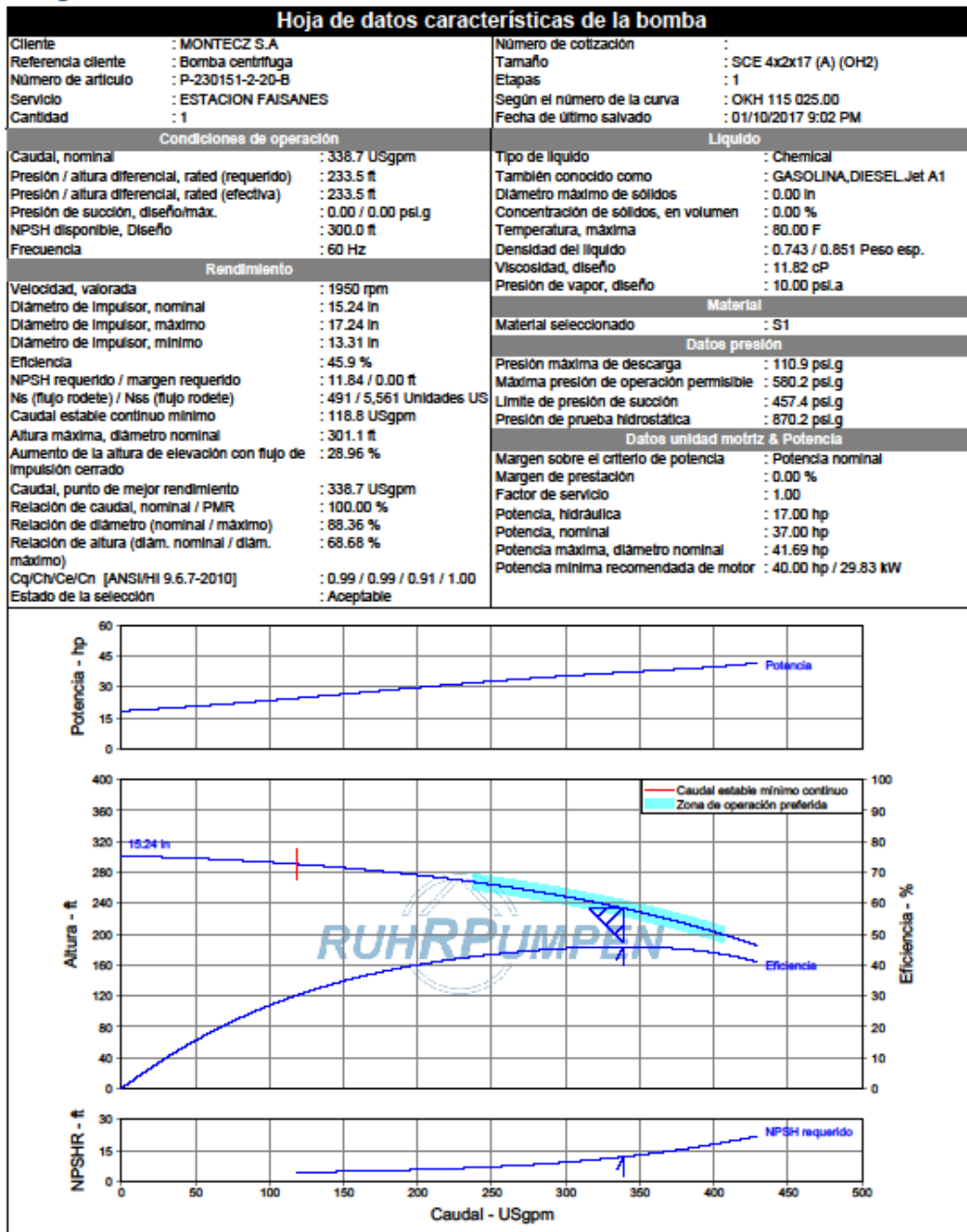


Fuente: Ruhrpumpen, Curva característica bomba Faisanes Stándar. Documento fabricante (2016).

11.10 Velocidad: 1950 RPM



Global Proposal System 16.5.1.0



Fuente: Ruhrpumpen, Curva característica bomba Faisanes Stándar. Documento fabricante (2016).

Anexo 12: Tabla de densidades y pesos específicos de sustancias

Densidad y peso específico

Sustancia	ρ		$D, \text{lb/ft}^3$
	kg/m^3	g/cm^3	
Sólidos:			
Acero	7 800	7.8	487
Aluminio	2 700	2.7	169
Cobre	8 890	8.89	555
Hielo	920	0.92	57
Hierro	7 850	7.85	490
Latón	8 700	8.7	540
Oro	19 300	19.3	1 204
Plata	10 500	10.5	654
Plomo	11 300	11.3	705
Roble	810	0.81	51
Vidrio	2 600	2.6	162
Líquidos:			
Agua	1 000	1.0	62.4
Alcohol	790	0.79	49
Benceno	880	0.88	54.7
Gasolina	680	0.68	42
Mercurio	13 600	13.6	850
Gases (0°C):			
Aire	1.29	0.00129	0.0807
Helio	0.178	0.000178	0.0110
Hidrógeno	0.090	0.000090	0.0058
Nitrógeno	1.25	0.00126	0.0782
Oxígeno	1.43	0.00143	0.00892

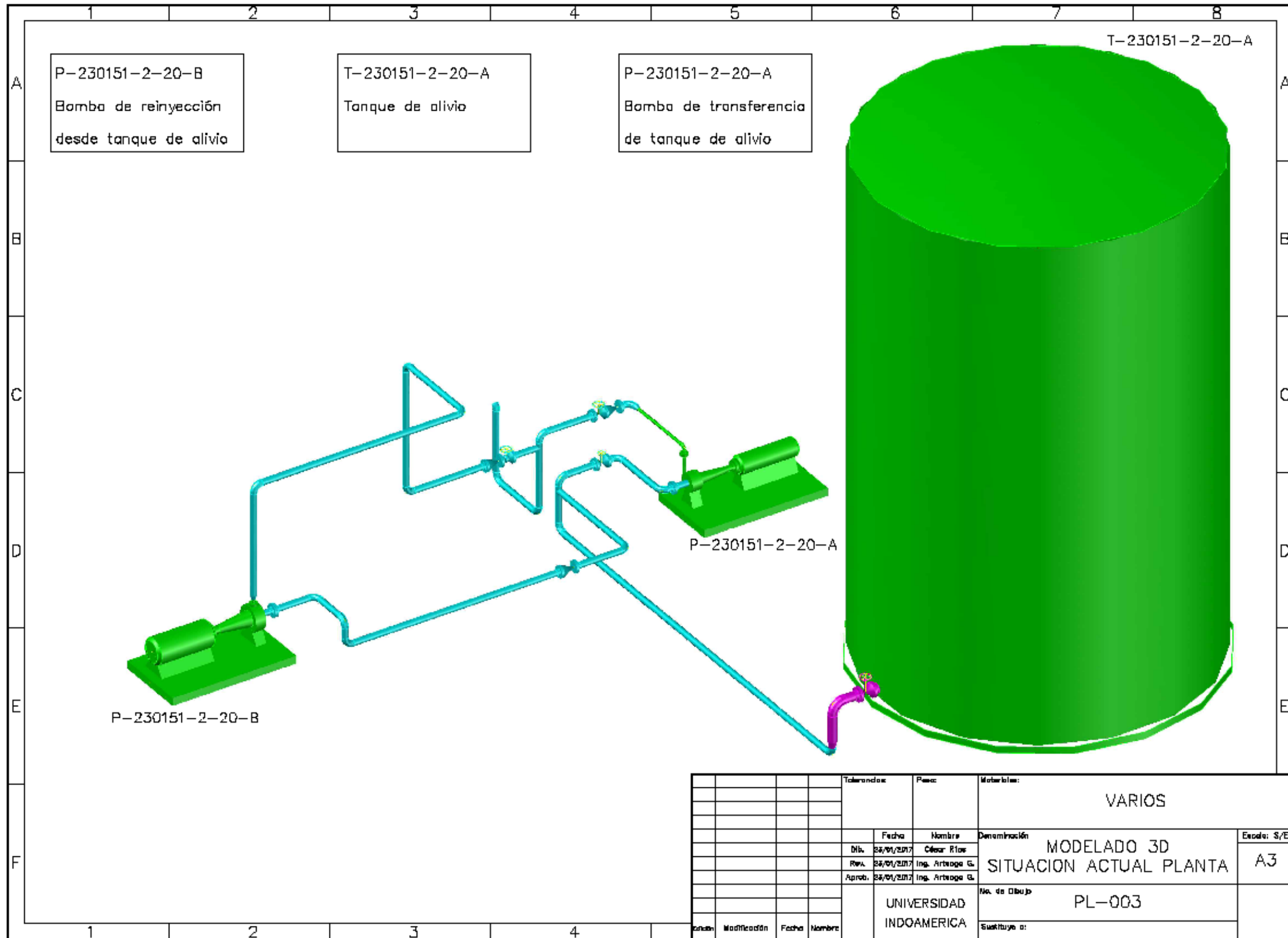
Fuente: Tappens, Paul. Física: conceptos y aplicaciones (Tappens, 2011, pág. 303)

Anexo 13: Planos propuestos

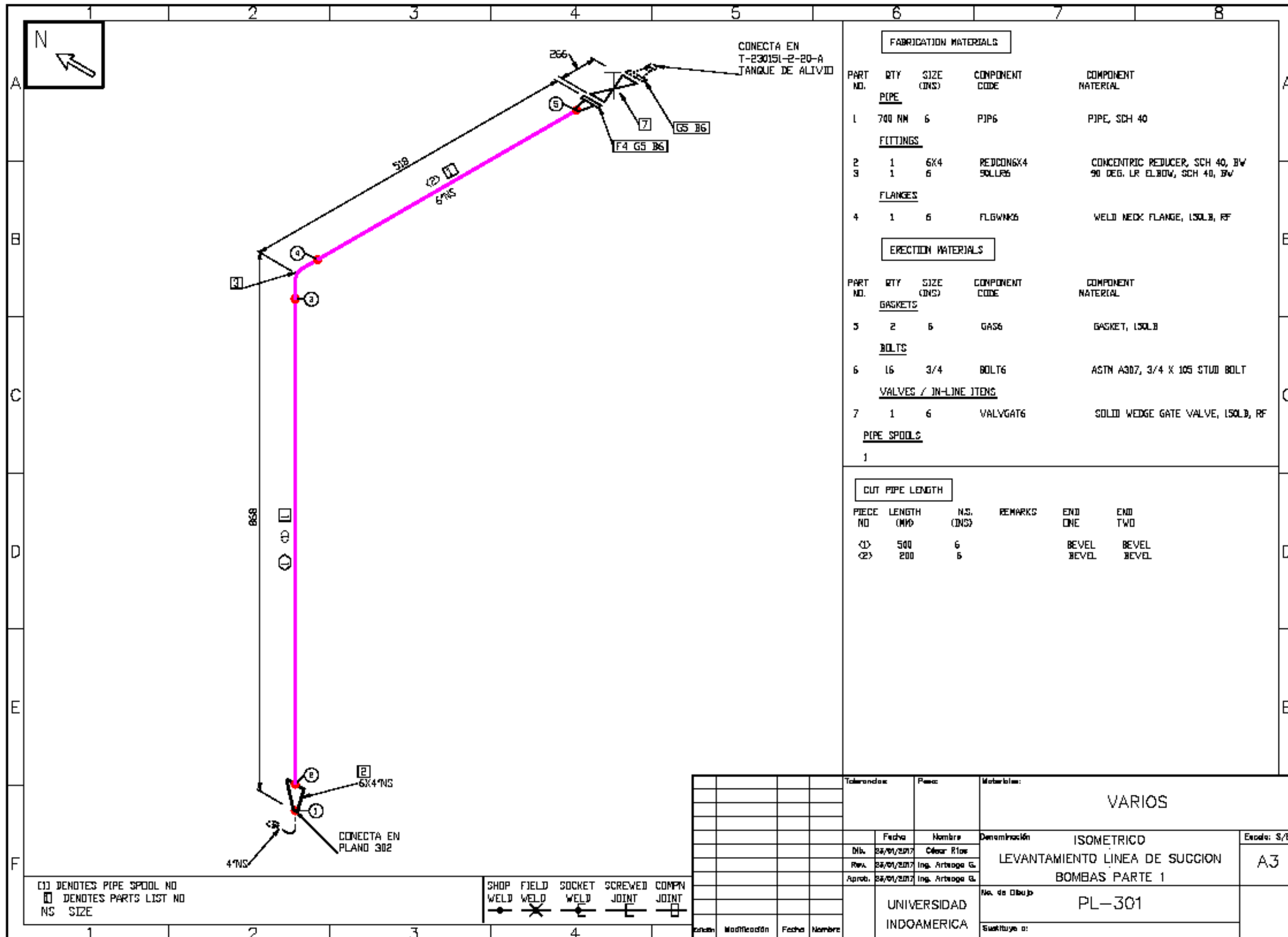
Anexo 13.2: PL-002 Leyenda para diagrama de proceso e instrumentación

1	2	3	4	5	6	7	8																																																								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="4"></td> <td>Tolerancias:</td> <td>Peso:</td> <td colspan="2">Materiales: VARIOS</td> </tr> <tr> <td colspan="4"></td> <td>Fecha:</td> <td>Nombre:</td> <td colspan="2">Denominación: LEYENDA</td> </tr> <tr> <td colspan="4"></td> <td>Dib. 24/01/2017</td> <td>César Ríos</td> <td colspan="2">DIAGRAMA DE PROCESOS E INS.</td> </tr> <tr> <td colspan="4"></td> <td>Rev. 24/01/2017</td> <td>Ing. Arístegui G.</td> <td colspan="2">Escala: S/E</td> </tr> <tr> <td colspan="4"></td> <td>Aprob. 24/01/2017</td> <td>Ing. Arístegui G.</td> <td colspan="2">A3</td> </tr> <tr> <td colspan="4"></td> <td colspan="2">UNIVERSIDAD INDOAMERICA</td> <td colspan="2">No. de Dibujo: PL-002</td> </tr> <tr> <td>Elaboró:</td> <td>Modificó:</td> <td>Fecha:</td> <td>Nombre:</td> <td colspan="4">Escala: S/E</td> </tr> </table>												Tolerancias:	Peso:	Materiales: VARIOS						Fecha:	Nombre:	Denominación: LEYENDA						Dib. 24/01/2017	César Ríos	DIAGRAMA DE PROCESOS E INS.						Rev. 24/01/2017	Ing. Arístegui G.	Escala: S/E						Aprob. 24/01/2017	Ing. Arístegui G.	A3						UNIVERSIDAD INDOAMERICA		No. de Dibujo: PL-002		Elaboró:	Modificó:	Fecha:	Nombre:	Escala: S/E			
				Tolerancias:	Peso:	Materiales: VARIOS																																																									
				Fecha:	Nombre:	Denominación: LEYENDA																																																									
				Dib. 24/01/2017	César Ríos	DIAGRAMA DE PROCESOS E INS.																																																									
				Rev. 24/01/2017	Ing. Arístegui G.	Escala: S/E																																																									
				Aprob. 24/01/2017	Ing. Arístegui G.	A3																																																									
				UNIVERSIDAD INDOAMERICA		No. de Dibujo: PL-002																																																									
Elaboró:	Modificó:	Fecha:	Nombre:	Escala: S/E																																																											

Anexo 13.3: PL-003 Modelado 3D situación actual



Anexo 13.4: PL-301 Isométrico levantamiento línea de succión bombas parte 1

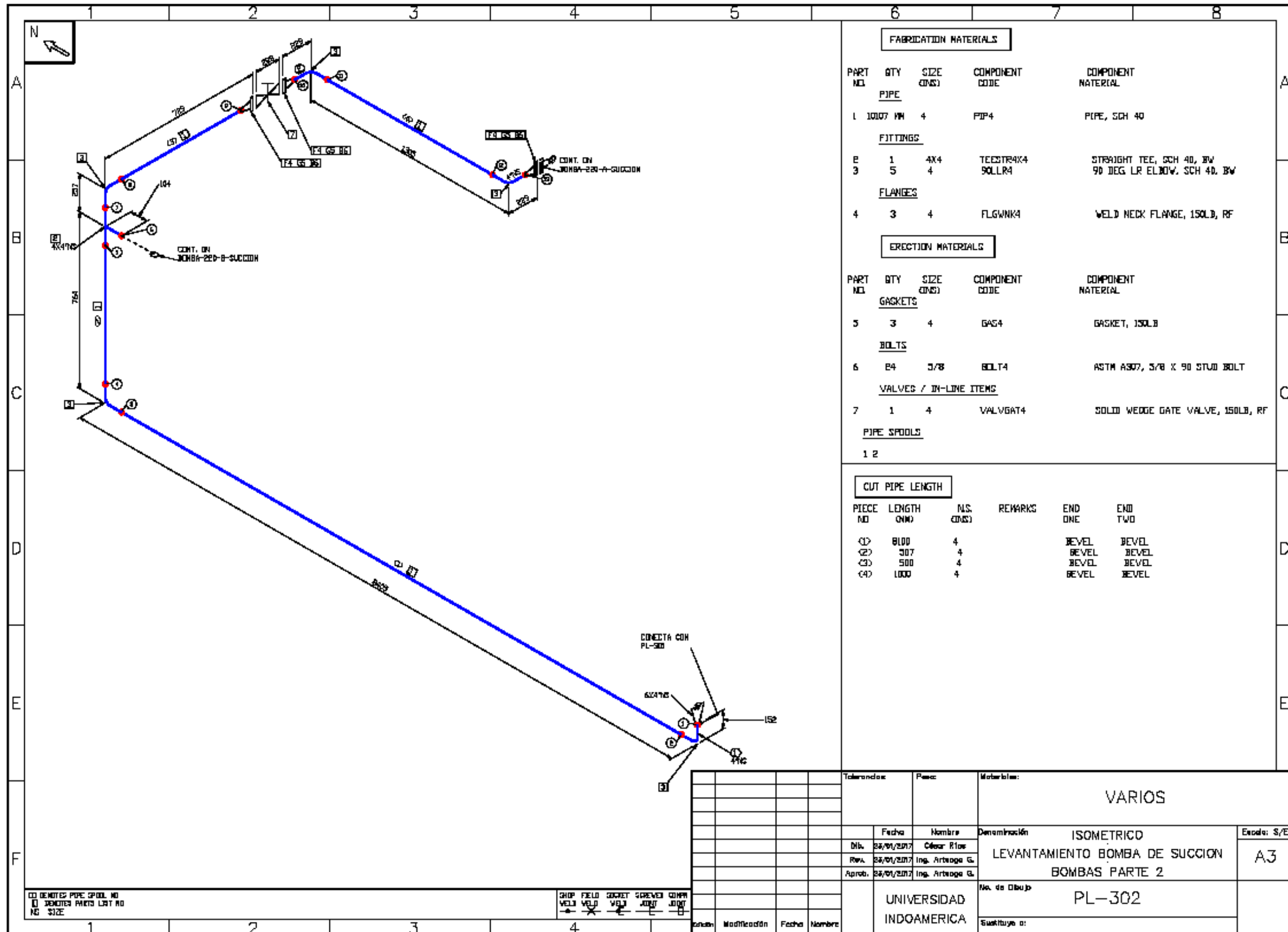


FABRICATION MATERIALS				
PART NO.	QTY	SIZE (IN)	COMPONENT CODE	COMPONENT MATERIAL
PIPE				
1	700 MM	6	PIP6	PIPE, SCH 40
FITTINGS				
2	1	6X4	REDCON6X4	CONCENTRIC REDUCER, SCH 40, BW
3	1	6	SOELR6	90 DEG. LR ELBOW, SCH 40, BW
FLANGES				
4	1	6	FLGWK6	WELD NECK FLANGE, (SO)B, RF
ERECTION MATERIALS				
PART NO.	QTY	SIZE (IN)	COMPONENT CODE	COMPONENT MATERIAL
GASKETS				
5	2	6	GASK6	GASKET, (SO)B
BOLTS				
6	16	3/4	BOLT6	ASTM A307, 3/4 X 105 STUD BOLT
VALVES / IN-LINE ITENS				
7	1	6	VALVGAT6	SOLID WEDGE GATE VALVE, (SO)B, RF
PIPE SPOOLS				
1				

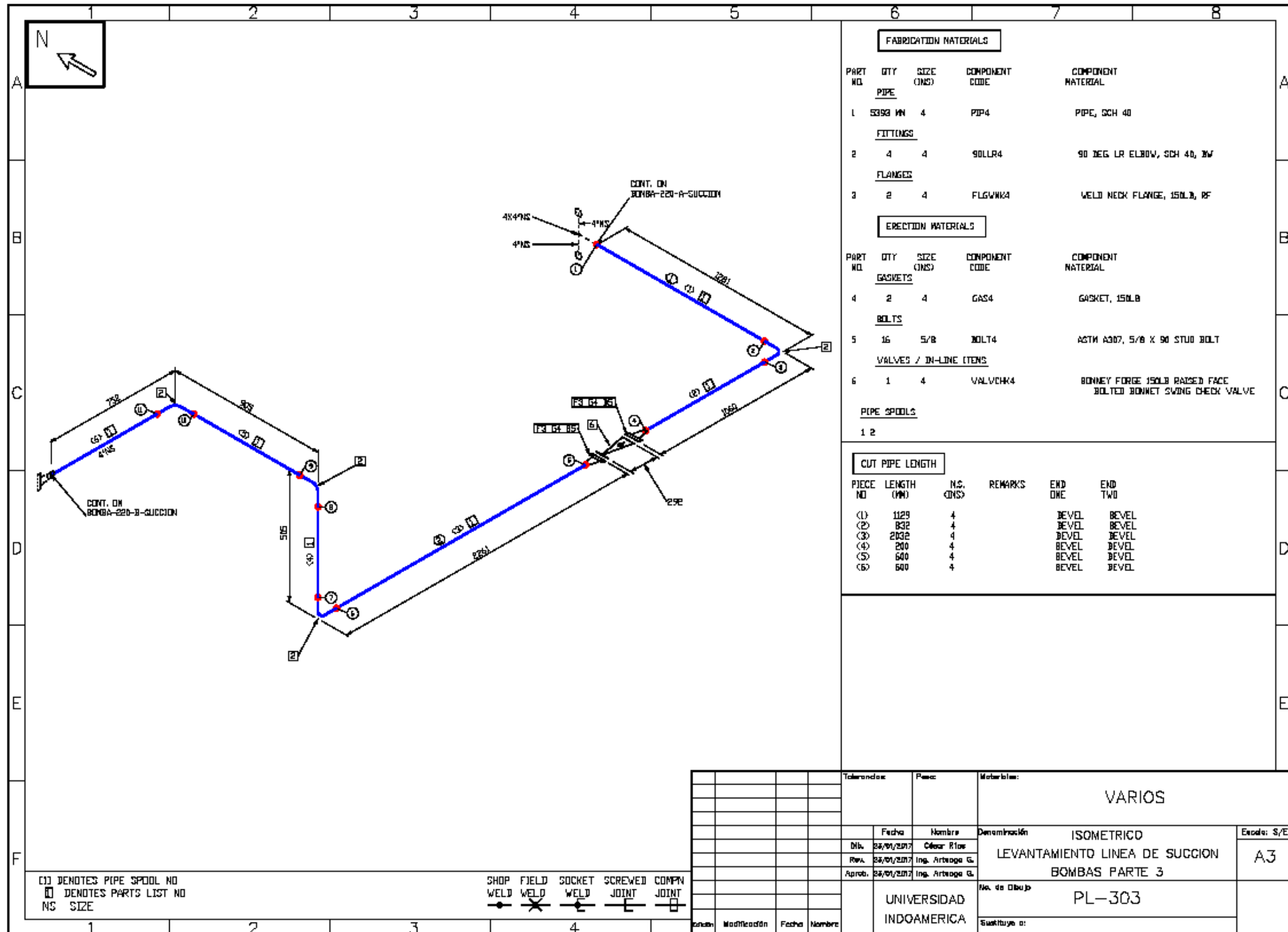
CUT PIPE LENGTH					
PIECE NO	LENGTH (MM)	N.S. (IN)	REMARKS	END ONE	END TWO
<1>	500	6		BEVEL	BEVEL
<2>	200	6		BEVEL	BEVEL

Tolerancias:	Presc:	Material:	VARIOS	
Fecha:	Nombre:	Denominación:	ISOMETRICO	Escala: S/E
Dib. 24/01/2017	César Ríos	LEVANTAMIENTO LINEA DE SUCCION		A3
Rev. 24/01/2017	Ing. Artoaga G.	BOMBAS PARTE 1		
Aprob. 24/01/2017	Ing. Artoaga G.	No. de Dibujo:	PL-301	
UNIVERSIDAD INDOAMERICA		Escritura a:		

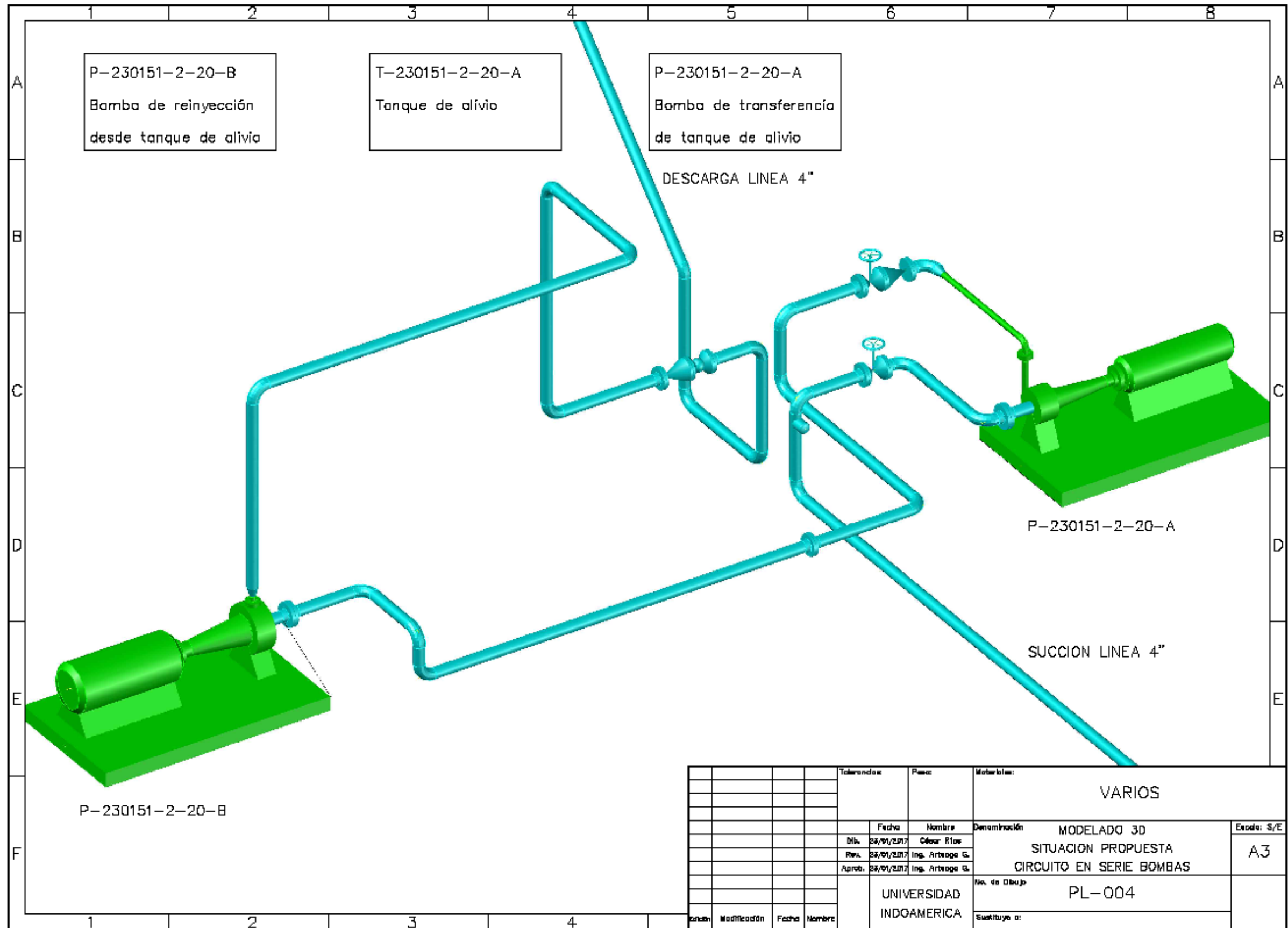
Anexo 13.5: PL-302 Isométrico levantamiento línea de succión bombas parte 2



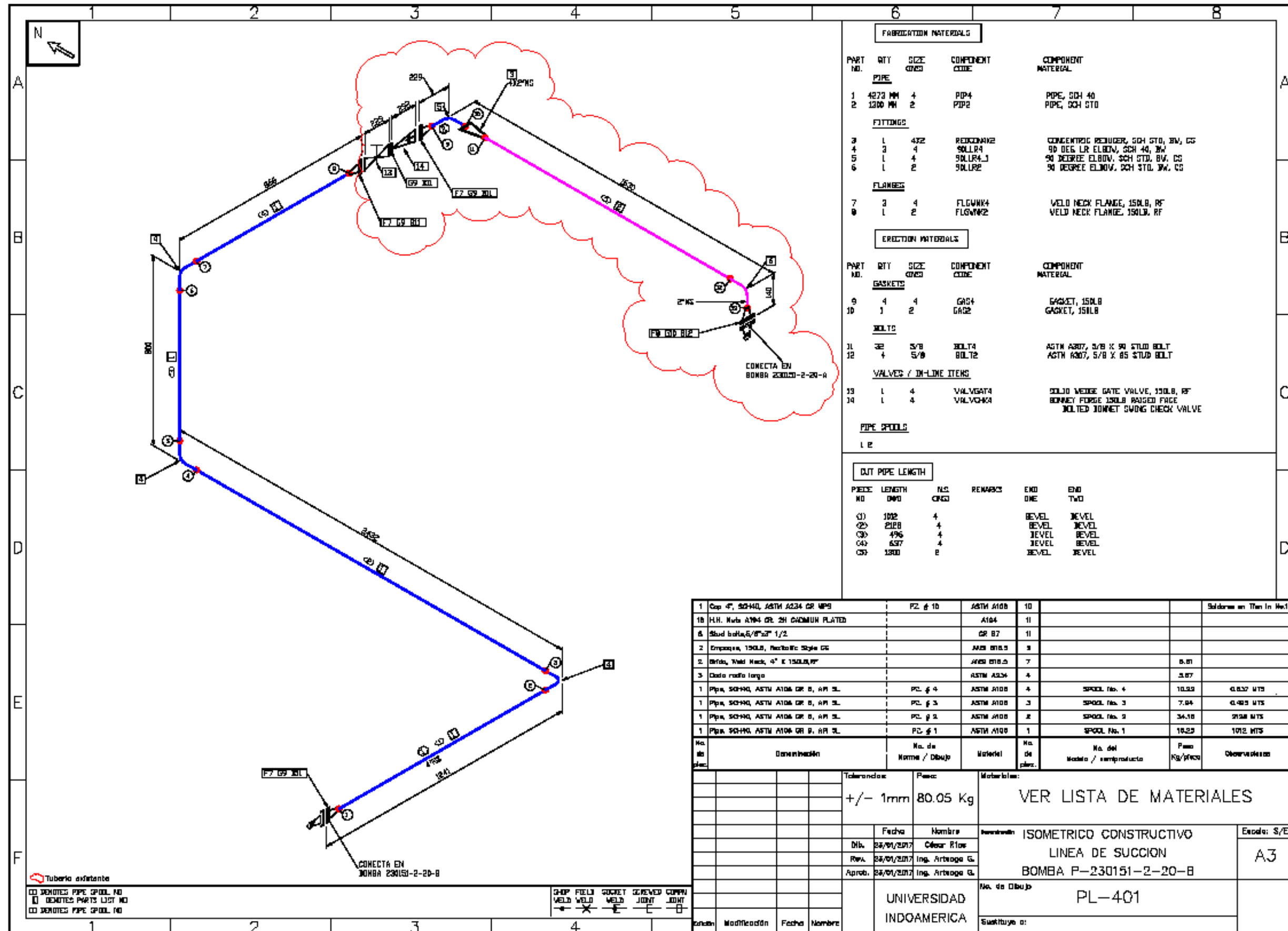
Anexo 13.6: PL-303 Isométrico levantamiento línea de succión bombas parte 3



Anexo 13.7: PL-004 Modelado 3D, Situación de propuesta, circuito en serie bombas



Anexo 13.8: PL-401 Isométrico constructivo, Línea de succión bomba P-230151-2-20-B

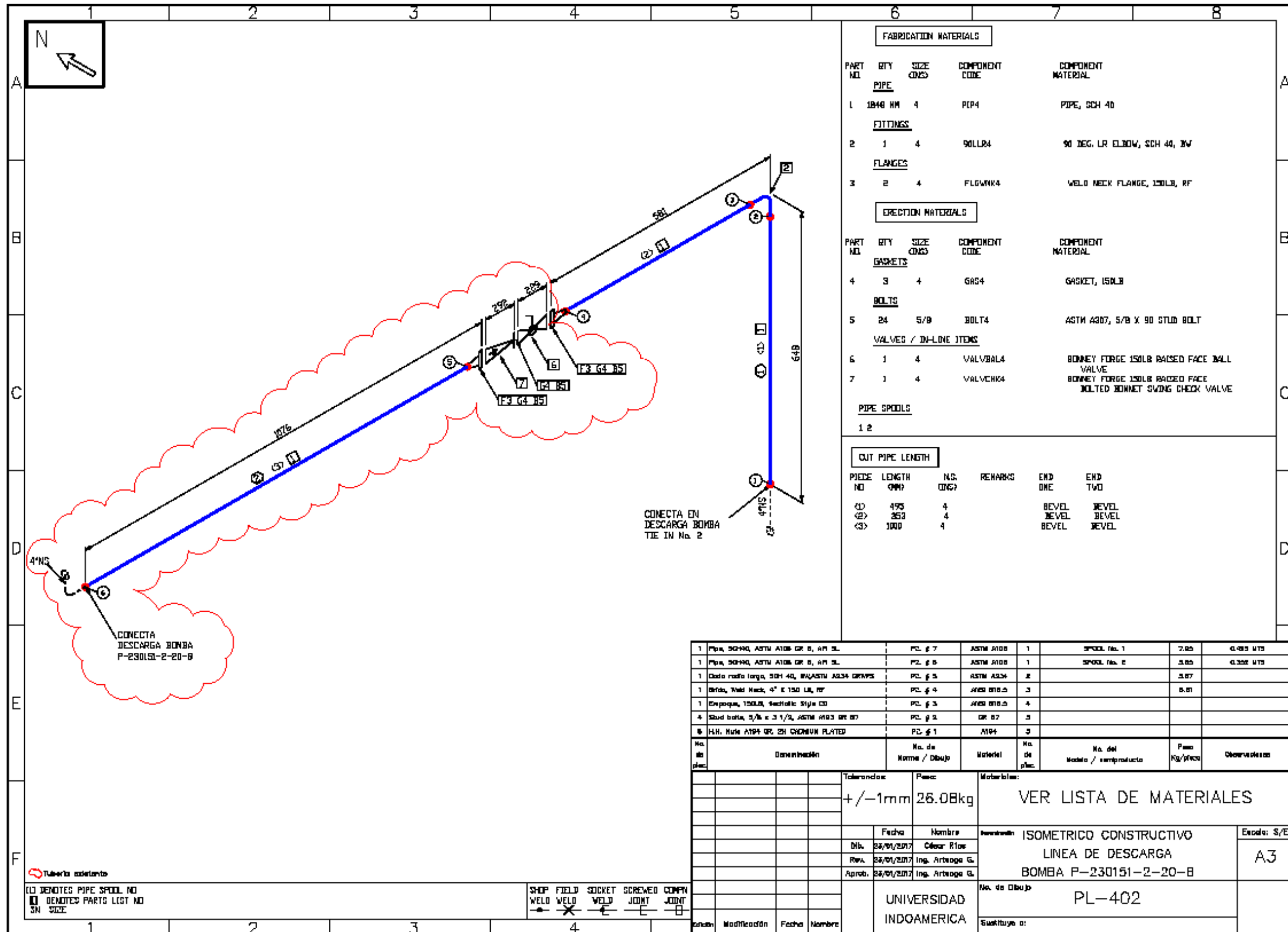


FABRICATION MATERIALS					
PART NO.	QTY	SIZE (INCH)	COMPONENT CODE	COMPONENT MATERIAL	
PIPE					
1	4273	MM	PIP4	PIPE, SCH 40	
2	1300	MM	PIP2	PIPE, SCH STD	
FITTINGS					
3	1	432	REDUCION	CONCENTRIC REDUCER, SCH STD, BW, CS	
4	3	4	90LR4	90 DEG LR ELBOW, SCH 40, BW	
5	1	4	90LR4-J	90 DEGREE ELBOW, SCH STD, BW, CS	
6	1	2	90LR2	90 DEGREE ELBOW, SCH STD, BW, CS	
FLANGES					
7	3	4	FLGWNK4	WELD NECK FLANGE, 150LB, RF	
8	1	2	FLGWN2	WELD NECK FLANGE, 150LB, RF	
ERECTION MATERIALS					
GASKETS					
9	4	4	GAS4	GASKET, 150LB	
10	1	2	GAS2	GASKET, 150LB	
BOLTS					
11	32	5/8	BOLT4	ASTM A307, 5/8 X 90 STUD BOLT	
12	4	5/8	BOLT2	ASTM A307, 5/8 X 85 STUD BOLT	
VALVES / IN-LINE ITEMS					
13	1	4	VALVIGAT4	SOLID WEDGE GATE VALVE, 150LB, RF	
14	1	4	VALVCHK4	BONNEY FORGE 150LB RAISED FACE MOLDED BOWNET SWING CHECK VALVE	
PIPE SPOOLS					
1 2					
CUT PIPE LENGTH					
PIECE NO	LENGTH (MM)	NO. OF PCS	REMARKS	END ONE	END TWO
1	1022	4		BEVEL	BEVEL
2	2128	4		BEVEL	BEVEL
3	496	4		BEVEL	BEVEL
4	637	4		BEVEL	BEVEL
5	1300	2		BEVEL	BEVEL

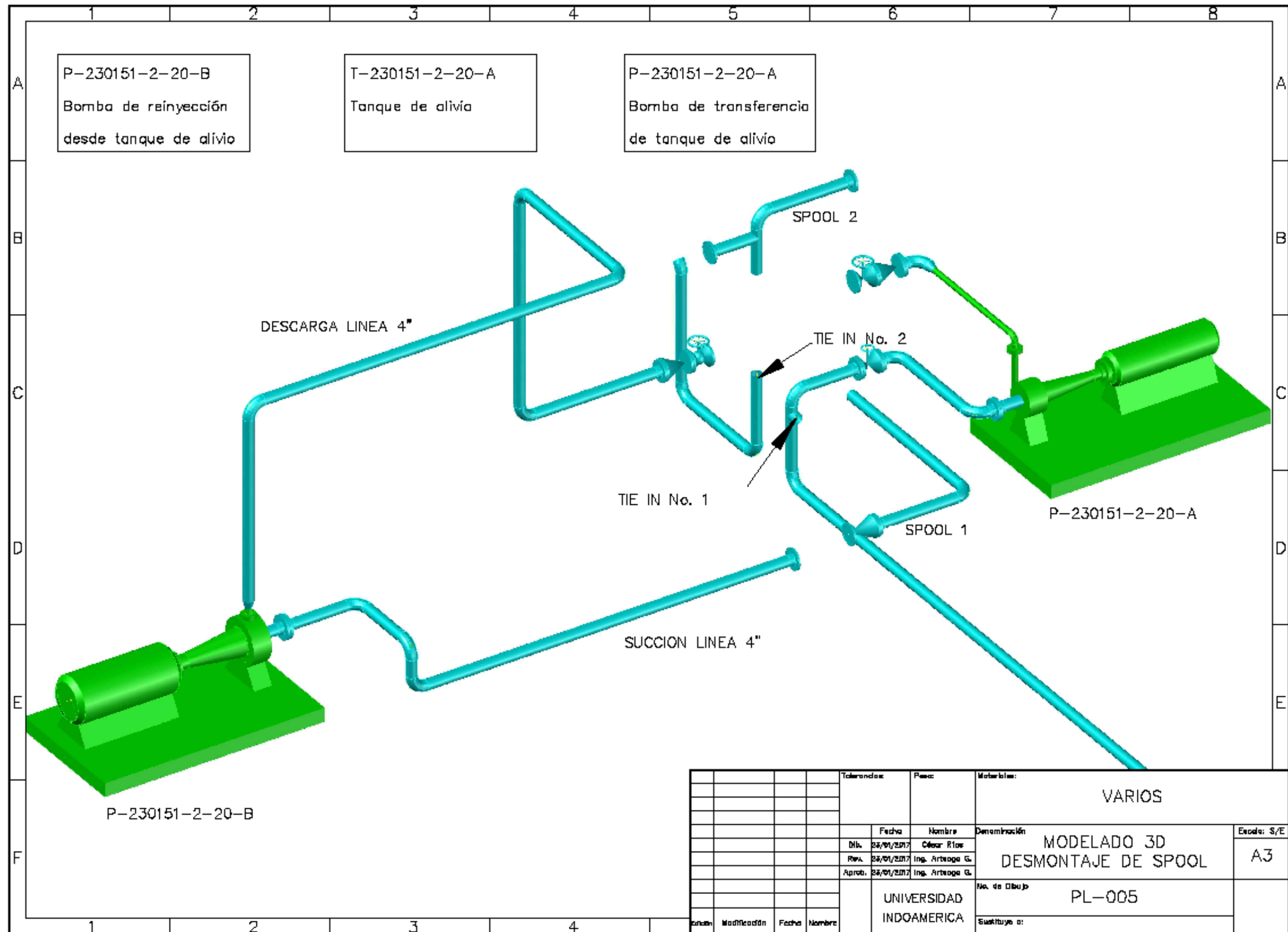
No. de Pieza	Descripción	No. de Norma / Dibujo	Materiales	No. de Modelo / semiproducto	Peso Kg/pieza	Observaciones
1	Cap 4", SCH40, ASTM A234 GR WPB	PL # 10	ASTM A106	10		Soldadura en T en Ho1
18	H.H. Nubs A194 GR 2H CHROMIUM PLATED		A194	11		
8	Stud bolts, 5/8"x2" 1/2		GR B7	11		
2	Empacasa, 150LB, Neobitic Style CS		ANSI B16.3	3		
2	Orific, Weld Neck, 4" X 150LB, RF		ANSI B16.3	7		5.81
3	Orific radio largo		ASTM A234	4		5.87
1	Pipa, SCH40, ASTM A106 GR B, AP SL	PL # 4	ASTM A106	4	SPOOL No. 4	10.33 0.837 MTS
1	Pipa, SCH40, ASTM A106 GR B, AP SL	PL # 3	ASTM A106	3	SPOOL No. 3	7.84 0.403 MTS
1	Pipa, SCH40, ASTM A106 GR B, AP SL	PL # 2	ASTM A106	2	SPOOL No. 2	34.18 3.158 MTS
1	Pipa, SCH40, ASTM A106 GR B, AP SL	PL # 1	ASTM A106	1	SPOOL No. 1	18.23 1.012 MTS

Tolerancias:	Peso:	Materiales:	VER LISTA DE MATERIALES ISOMETRICO CONSTRUCTIVO LINEA DE SUCCION BOMBA P-230151-2-20-B	Escala: S/E A3
+/- 1mm	80.05 Kg			
Fecha:	Nombre:			
Dib. 28/01/2017	César Ríos			
Rev. 28/01/2017	Ing. Arteaga G.			
Aprob. 28/01/2017	Ing. Arteaga G.			
UNIVERSIDAD INDOAMERICA			No. de Dibujo: PL-401	
Modificación:			Sustituye a:	

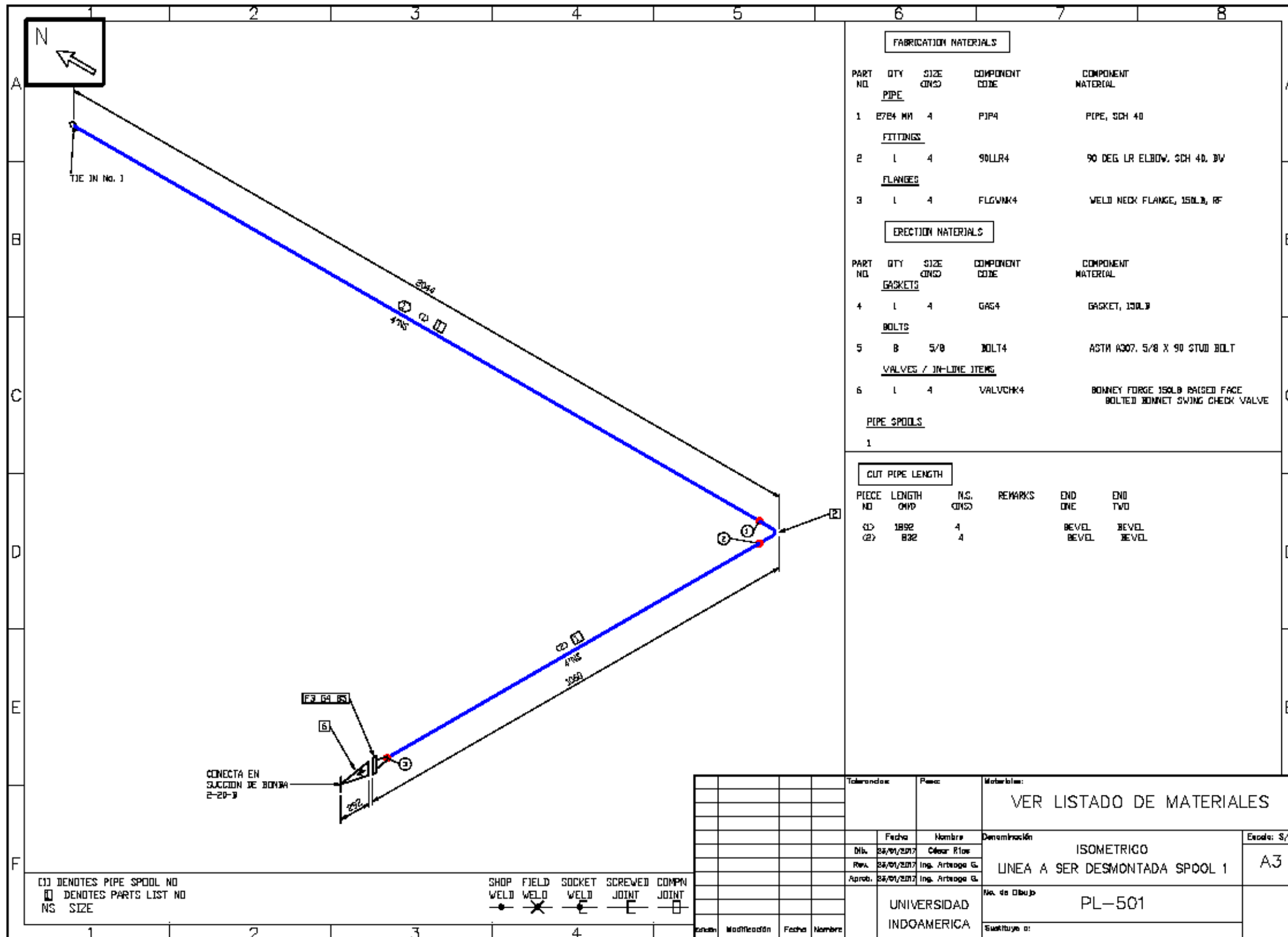
Anexo 13.9: PL-402 Isométrico constructivo, Línea de descarga bomba P-230151-2-20-B



Anexo 13.10: PL-005 Modelado 3D, desmontaje de spools



Anexo 13.11: PL-501 Isométrico, Línea a ser desmontada Spool 1



FABRICATION MATERIALS				
PART NO.	QTY	SIZE	COMPONENT CODE	COMPONENT MATERIAL
<u>PIPE</u>				
1		E784 MM 4	P3P4	PIPE, SCH 40
<u>FITTINGS</u>				
2	1	4	90LLR4	90 DEG LR ELBOW, SCH 40, 90
<u>FLANGES</u>				
3	1	4	FLGWNK4	WELD NECK FLANGE, 150LB, RF
<u>ERECTION MATERIALS</u>				
PART NO.	QTY	SIZE	COMPONENT CODE	COMPONENT MATERIAL
<u>GASKETS</u>				
4	1	4	GAG4	GASKET, 150LB
<u>BOLTS</u>				
5	8	5/8	BOLT4	ASTM A307, 5/8 X 90 STUD BOLT
<u>VALVES / IN-LINE ITEMS</u>				
6	1	4	VALVCHK4	BONNEY FORGE 150LB RANGED FACE BOLTED BONNET SWING CHECK VALVE
<u>PIPE SPOOLS</u>				
1				

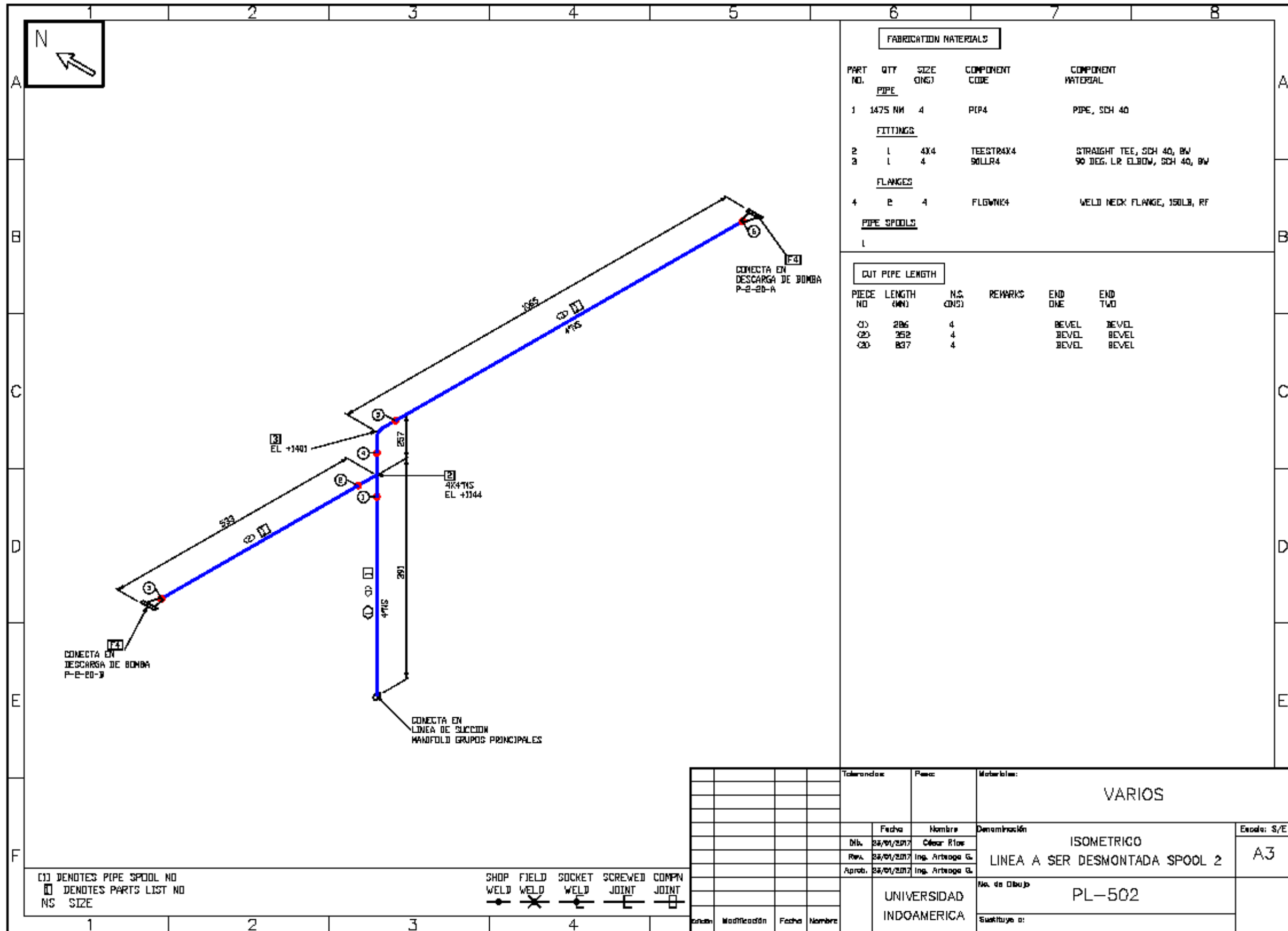
CUT PIPE LENGTH					
PIECE NO.	LENGTH	N.S.	REMARKS	END ONE	END TWO
(1)	1892	4		BEVEL	BEVEL
(2)	832	4		BEVEL	BEVEL

(1) DENOTES PIPE SPOOL NO
 (2) DENOTES PARTS LIST NO
 NS SIZE

SHOP WELD FIELD WELD SOCKET WELD SCREWED JOINT COMPN JOINT

Tolerancias:	Presc:	Materiales:	VER LISTADO DE MATERIALES	
Dib. 28/01/2017	Fecha	Nombre	Denominación	Escala: S/E
Rev. 28/01/2017	Fecha	Nombre	ISOMETRICO	A3
Aprob. 28/01/2017	Fecha	Nombre	LINEA A SER DESMONTADA SPOOL 1	
UNIVERSIDAD INDOAMERICA		No. de Dibujo	PL-501	
Sustituye a:				

Anexo 13.12: PL-502 Isométrico, Línea a ser desmontada Spool 2



FABRICATION MATERIALS				
PART NO.	QTY	SIZE (ING)	COMPONENT CODE	COMPONENT MATERIAL
PIPE				
1	1475	NM 4	PIP4	PIPE, SCH 40
FITTINGS				
2	1	4X4	TEESTRAX4	STRAIGHT TEE, SCH 40, BW
3	1	4	90LLR4	90 DEG. LR. ELBOW, SCH 40, BW
FLANGES				
4	2	4	FLGWNK4	WELD NECK FLANGE, 150LB, RF
PIPE SPOOLS				
L				

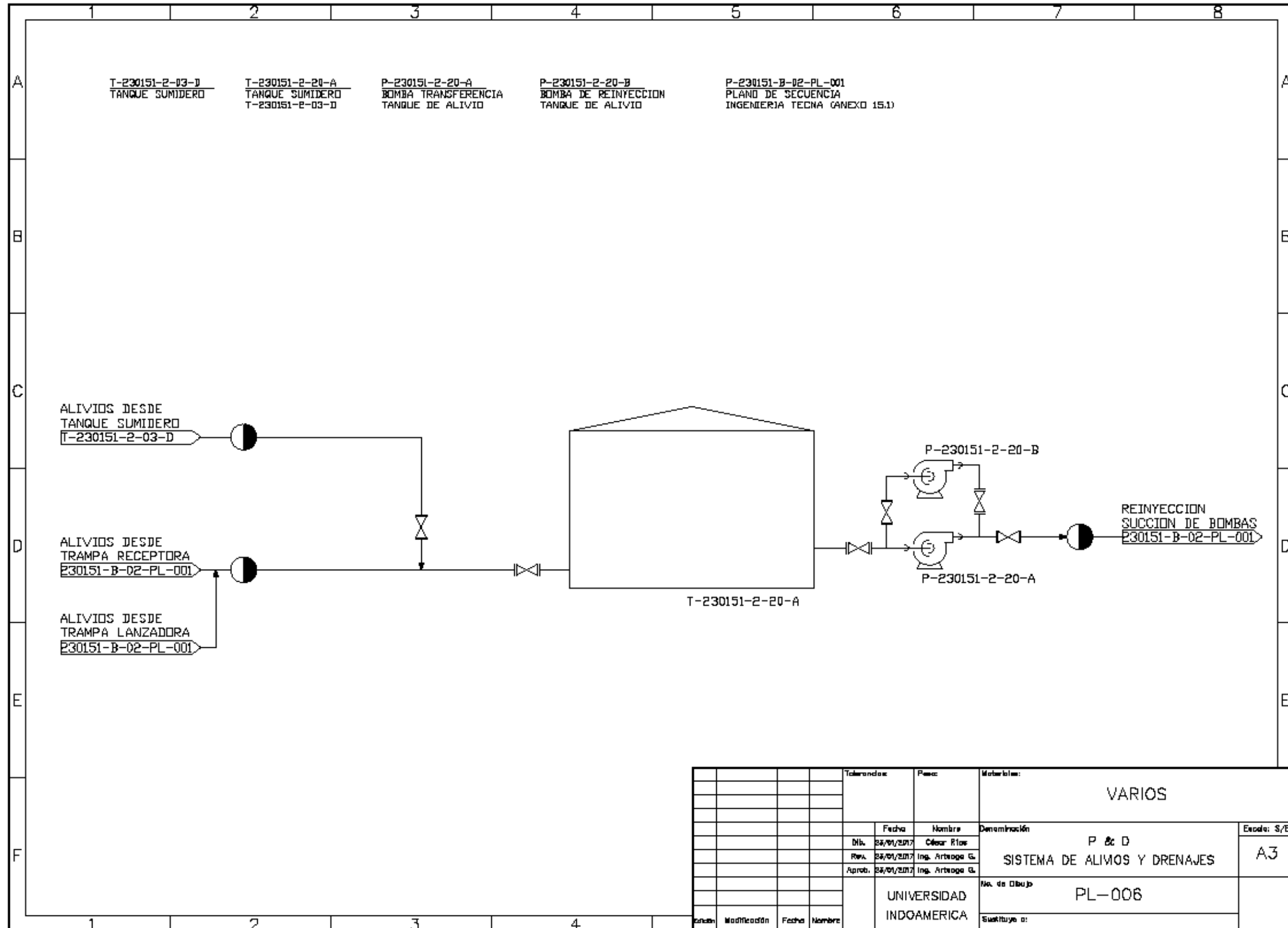
CUT PIPE LENGTH					
PIECE NO	LENGTH (MM)	N.S. (IN)	REMARKS	END ONE	END TWO
C1	286	4		BEVEL	BEVEL
C2	352	4		BEVEL	BEVEL
C3	837	4		BEVEL	BEVEL

Tolerancias:		Pais:		Materiales:	
				VARIOS	
Fecha		Nombre		Denominación	
Dib. 25/01/2017		César Ríos		ISOMETRICO	
Rev. 25/01/2017		Ing. Arteaga G.		LINEA A SER DESMONTADA SPOOL 2	
Aprob. 25/01/2017		Ing. Arteaga G.		No. de Dibujo	
		UNIVERSIDAD INDOAMERICA		PL-502	
Escala: S/E		Sueltos:		A3	

(C) DENOTES PIPE SPOOL NO
 (F) DENOTES PARTS LIST NO
 NS SIZE

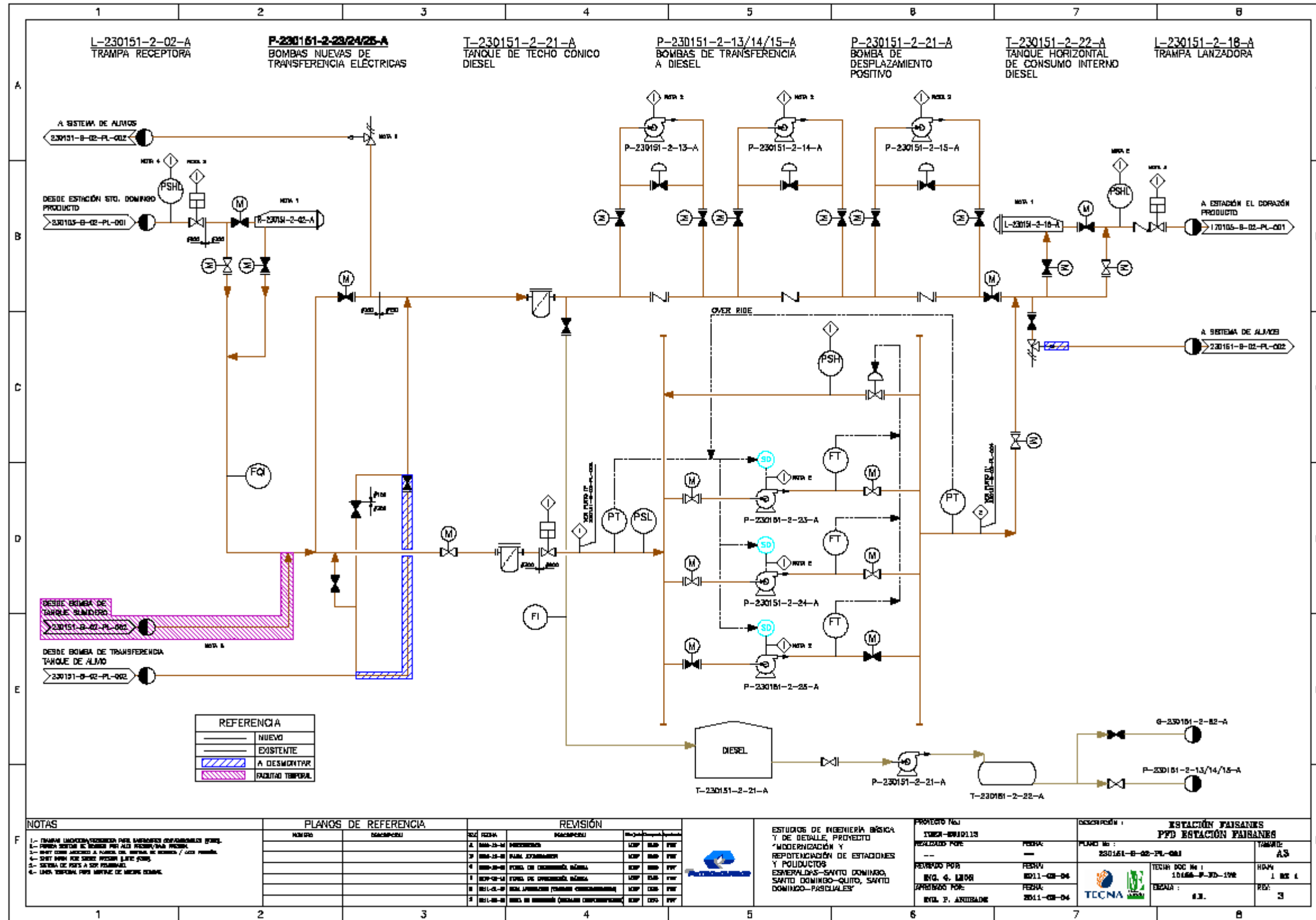
SHOP WELD FIELD WELD SOCKET WELD SCREWED JOINT COMP. JOINT

Anexo 14: PL-006 P&D Sistema de alivios y drenajes




				Tolerancias:	Piezas:	Materiales: VARIOS	
				Fecha:	Nombre:	Denominación: P & D	
				Dib. 24/01/2017	César Ríos	SISTEMA DE ALIVIOS Y DRENAJES	
				Rev. 24/01/2017	Ing. Arango G.	Escala: S/E	
				Aprob. 24/01/2017	Ing. Arango G.	A3	
				UNIVERSIDAD INDOAMERICA		No. de Dibujo: PL-006	
				Sueltos:			
Estado	Modificación	Fecha	Nombre				

Anexo 14.1: 230151-B-02-PL-001 P&ID Estación Faisanes Ingeniería TECNA (TECNA - Medanito del Ecuador, 2011)



Anexo 15: Propuesta de reubicación bomba tanque de alivio

		DIMPROIN S.A. Diseño y Mantenimiento Industrial Av. General Enríquez e Isla Genovesa Centro Comercial Dos Ríos Telf.: (02) 2 868 214			
		COTIZACION		No: F514-P01-05	
NOMBRE:	EP PETROECUADOR		FECHA:	20/1/2017	
ASUNTO:	REUBICACIÓN TANQUE DE ALIVIO FAISANES		VALIDEZ OFERTA:	30 DIAS	
Lugar:	Estación de Bombeo Faisanes				
ITEM	UNIDAD	DESCRIPCION	CANT.	V/UNIT	TOTAL
1	m	1. Obra Civil Movimiento de tierras Base de Bomba Colocación de Cubierta	1	12,019.37	12,019.37
1	U	2. Obra Eléctrica Provisión, Instalación y puesta en marcha de variador de frecuencia para motor eléctrico de 200HP.	1	31,590.00	31,590.00
	m	Provisión e Instalación de cable armado 200 m	200	123.50	24,700.00
	m	Provisión e Instalación de bandejas 200 m	200	88.40	17,680.00
1	u	3.- OBRA MECÁNICA Provisión de materiales y accesorios	1	37,700.00	37,700.00
	u	Mano de Obra mecánica: Prefabricados en taller y campo Montaje en campo de líneas, bomba. Pruebas Hidrostáticas END's Limpieza, suministro, preparación de superficie, aplicación de pintura e identificación de tuberías	1	61,097.08	61,097.08
DETALLES DE PAGO					
FORMA DE PAGO: 70% ANTICIPO 30% ENTREGA			SUBTOTAL:		184,786.45
GARANTIA UN AÑO			I.V.A 14%		25,870.10
			TOTAL		210,656.55
Atentamente, <div style="border: 1px solid black; border-radius: 15px; padding: 10px; width: fit-content; margin: 0 auto;"> <p style="text-align: center;"> DEPARTAMENTO TÉCNICO DIMPROIN S.A. 22867527 dimproinsa@outlook.es DISEÑO Y MANTENIMIENTO INDUSTRIAL </p> </div>					

Anexo 16: Prueba de desempeño fabricante – hoja de datos

	Ruhrpumpen, S.A. de C.V. Niquel 9204, Int.C, Parque Industrial Mitras García, Nuevo León, 66000 México	Fecha : Sep/09/2014 Página : 1/4
	PRUEBA DE DESEMPEÑO	Nr. Prueba : TNP1

DATOS DE LA BOMBA

Ciente	: MONTECZ, S.A.	Diám. de la Tubería en la Succión	: 4.026 in
Tipo	: SCE 4x2x17 (A)	Diám. de la Tubería en la Descarga	: 2.067 in
Núm. O.C.	: P5-021	Diferencia de Elev. entre :	
Partida	: P-220161-2-20-B	Manómetros de Succión y Descarga	: 0 ft
Núm. Proj.	: 111000400	Nivel de Ref. de NPSH y Línea Central del Impulsor	: 0 ft
Manómetro en la Suc.	: EM-643 Manometro (0-100psi)	Acción Especial	Comportamiento
Manómetro en la Desc.	: EM-644 Manometro (0-500psi)		
Medidor de Flujo	: EM-036 Medidor de flujo de 8"		
Medidor de Veloc.	: EM-967 Fototacometro		

Impulsoras

Tipo	Cont.	Diám. Externo in	Diám. Interno in	Diám. Prom. in	Afilado Ancho in	Afilado Largo in
Radial Fluo (1 diameter)	1	15.25	15.25	15.25	0.5	3

DATOS DEL MOTOR

Núm. de Motor	: Motor 33	Tipo de Motor	: J
Fabricante	: US	Potencia	: 250 hp
Núm. de Serie	: H911W057046501M3	Eficiencia	: 93.6%
Velocidad	: 3571 rpm	Corriente	: 276 A
Voltaje	: 460 V	Factor de Potencia	: 0
Frecuencia	: 60 Hz		

PUNTOS DE GARANTIA

Punto de Garantía	Número de Puntos de Garantía : 1								
	Velocidad	Densidad	Viscosidad	Flujo	Carga Total	Eficiencia Bomba	Potencia Bomba	NPSHR	
	n rpm	ρ kg/dm ³	ν cSt	Q US-gpm	H ft	η_p %	P_p hp	NPSHR ft	
1	3550	.051	11.016	116	639	45.1	141.23	12.97	

Inspeccionado por : Compañía :	Técnico de Pruebas : Aldo Vázquez 
-----------------------------------	---