

**UNIVERSIDAD MAYOR, REAL Y PONTIFICIA DE
SAN FRANCISCO XAVIER DE CHUQUISACA
VICERRECTORADO**

**CENTRO DE ESTUDIOS DE POSGRADO E
INVESTIGACIÓN**

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA



**DISEÑO DE UN SISTEMA DE RECIRCULACIÓN DE
PETRÓLEO CRUDO DE LA PILETA API A LOS
TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE LA BATERÍA
TORO EN EL DEPARTAMENTO DE TARIJA**

**TRABAJO EN OPCIÓN A DIPLOMADO EN TRANSPORTE,
ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DE HIDROCARBUROS
VERSION III**

ROSA CARVAJAL SAIGUA

Sucre - Bolivia

2024

CESIÓN DE DERECHOS

Al presentar este trabajo como requisito previo a la obtención del Diplomado en Transporte, Almacenamiento y Distribución de Hidrocarburos de la Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca, autorizo al Centro de Estudios de Posgrado e Investigación o a la Biblioteca de la Universidad, para que se haga de este trabajo un documento disponible para su lectura, según normas de la Universidad.

También cedo a la Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca, los derechos de publicación de este trabajo o parte de él, manteniendo mis derechos de autor hasta un periodo de 30 meses posterior a su aprobación.



Rosa Carvajal Saigua

Sucre, 24 de mayo de 2024

DEDICATORIA

A mi madre y mi padre, por haberme dado la vida, por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional y porque con su presencia y persona han ayudado a construir y forjar la persona que ahora soy. A mi hijo, a quien amo infinitamente, por ser mi compañero, mi razón de ser y vivir. A mis hermanos, por siempre brindarme su apoyo incondicional. A mi tío, quien siempre me alentó a seguir adelante. A mis compañeros de la Universidad que estuvieron presentes en los días de estudio. A mis amigas, porque estuvieron apoyándome para lograr esta meta.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por darme siempre fuerzas para continuar en lo adverso, por guiarme en el camino de lo prudente y darme sabiduría para mejorar día a día mí que hacer profesional.

A la Universidad San Francisco Xavier de Chuquisaca que me acogió en sus instalaciones para guiar mi formación profesional. A mis prestigiosos docentes de la carrera de Ingeniería de Petróleo y Gas Natural por sus valiosos conocimientos y enseñanzas.

Agradezco a mi madre Julia Carvajal Cruz y mi padre Eleuterio Carvajal Saigua y mi tío Hermógenes Romero Condori por el cariño, afecto, dedicación y cuidado que me brindaron durante toda mi existencia.

También agradezco a mi pequeño hijo Gabriel Jesús Flores Carvajal, que es mi fortaleza y mi razón de seguir adelante a pesar de las dificultades.

A mis hermanas Soledad Carolina Carvajal Mamani, Fátima Belén Carvajal Mamani Fabiola Zulma Romero Carvajal, quienes fueron las que siempre me impulsaron a seguir adelante y fueron mi gran apoyo

A mis amigos Amanda Peñaranda, Jorge Luis Gutiérrez, Madeleine Choque, Soledad Gutiérrez, Yessica Palenque, por su apoyo incondicional y darme siempre aliento para seguir adelante.

RESUMEN

la presente monografía busca el proponer un diseño de un sistema de recirculación de petróleo crudo de la pileta api a los depósitos de almacenamiento de la batería toro en el departamento de Tarija, de esta manera dar solución a la problemática descrita líneas arriba. La metodología de investigación aplicada en este estudio, fue de tipo mixta cualitativa y cuantitativa mediante el uso de instrumentos como entrevistas realizadas a ingenieros que actualmente son operadores de la planta Bermejo-Toro y profesionales que realizan servicios de ingeniería a dicha planta obteniendo como resultado un diagnóstico de los problemas que se tienen con el sistema actual de trasvase de petróleo crudo tanto con el piping como en la bomba de inyección. De acuerdo a los resultados obtenidos, se obtuvo el diseño preliminar de un sistema de recirculación el cual estaría comprendido por una unidad de bombeo KSB RPH 25-180 cual cumple con los estándares de la norma API 610, una longitud total de piping de 95 m aproximadamente (tramos de descarga y succión). Cabe recalcar que la bomba trabajaría de manera automática, por ende, el trasvase de petróleo crudo se lo realizaría de manera segura, amigable con el medioambiente cumpliendo estándares de calidad de empresas propias del rubro petrolero. La factibilidad económica y técnica del trabajo permite su inclusión en el plan operativo anual de la empresa estatal petrolera, mejorando la eficiencia operativa y el cumplimiento de normativas.

INDICE DE CONTENIDO

RESUMEN.....	¡Error! Marcador no definido.
ÍNDICE DE CONTENIDO	¡Error! Marcador no definido.i
ÍNDICE DE FIGURAS.....	¡Error! Marcador no definido.
ÍNDICE DE TABLAS	¡Error! Marcador no definido.i
ÍNDICE DE ANEXOS.....	¡Error! Marcador no definido.
CAPITULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. ANTECEDENTES	1
1.1.1 Planteamiento del problema.....	1
1.1.2 Formulación del Problema.....	2
1.2 OBJETIVOS.....	2
1.2.1 OBJETIVO GENERAL.....	2
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
1.3 JUSTIFICACIÓN	3
1.3.1 Justificación Técnica	3
1.3.2 Justificación Económica	3
1.3.3 Justificación Ambiental	4
1.4 METODOLOGÍA.....	4
1.4.1 Paradigma de la investigación.....	4
1.4.2 Enfoque de la investigación	4
1.4.3 Tipo de investigación	4
1.4.4 Diseño de investigación	4
1.4.5 Método de investigación	5
1.4.6 Técnicas – instrumentos	5
CAPITULO II: DESARROLLO	6
2.1 MARCO TEÓRICO	6
2.1.1 MARCO CONCEPTUAL.....	6
2.1.1.1 Baterías de petróleo crudo	6
2.1.1.2 Colector de pozos	6
2.1.1.3 Separadores Gas – Líquido.....	7
2.1.1.4 Tanques de Almacenaje.....	8

2.1.1.5.	Bombas de Transferencia	9
2.1.1.6.	Calefacción de Petróleo	10
2.1.1.7.	Sistema de Drenaje general y Piletas Recuperadoras	10
2.1.1.8.	Chimenea de Quema.....	11
2.1.1.9.	Perdida de carga en Tuberías.....	12
2.1.1.10.	Tipos de perdida de carga	12
2.1.1.11.	Método del largo equivalente	13
2.1.1.12.	Tablas de lectura directa.....	15
2.1.1.13.	Bombas centrifugas.....	15
2.1.1.14.	Clasificación de bombas de Fluidos	15
2.1.1.15.	Principio de funcionamiento	17
2.1.1.16.	Componentes principales de una Bombas Centrifugas	17
2.1.1.17.	Tablero de Control de Bombas Rotodinámicas	23
2.1.1.18.	Dispositivos de protección	23
2.1.1.19.	Selección de las bombas.....	26
2.1.1.20.	Selección de modo de funcionamiento manual o automático	27
2.1.1.21.	Accionamiento de las bombas	28
2.1.1.22.	Marco Normativo	29
2.1.2.	MARCO CONTEXTUAL.	30
2.1.2.1.	Generalidades del campo Toro	30
2.1.2.2.	Esquema operativo de la Batería Toro.....	33
2.1.2.3.	Recepción de la producción	33
2.1.2.4.	Tanques de almacenamiento de Petróleo Crudo	35
2.1.2.5.	Bomba de Petróleo.....	36
2.1.2.6.	Bomba de recirculación de petróleo crudo	37
2.1.2.7.	Pileta API.....	37
2.1.2.8.	Análisis y calidad del Petróleo Crudo y Agua de la Batería Toro	38
2.1.2.9.	Layout de la Batería Toro	39
2.2.	INFORMACIÓN Y DATOS OBTENIDOS	41
2.2.1	Esquema propuesto para la recirculación de Petróleo crudo	41
2.2.2	Determinación del trazado del Piping	42
2.2.3	Determinación del Caudal	43
2.2.4	Determinación del diámetro del Piping	43

2.2.5	Cálculo de la Altura Manométrica Total.....	44
2.2.6	Selección de la Bomba.....	46
2.2.7	Selección del Tablero de Control.....	51
2.2.8	Estimación de costos del proyecto.....	52
2.3	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN.....	55
2.3.1	Análisis de resultados.....	55
2.3.2	Discusión de resultados.....	55
CAPÍTULO III: CONCLUSIONES.....		56
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....		57
ANEXOS.....		59

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Colector de Pozos Petroleros.....	7
Figura 2: Separador Vertical Gas – Petróleo.....	8
Figura 3: Tanques de Almacenamiento de Petróleo Crudo.....	9
Figura 4: Bomba Centrifuga Rotodinámica.....	9
Figura 5: Calefactor de Petróleo.....	10
Figura 6: Pileta API.....	11
Figura 7: Puente de Regulación de Gas.....	11
Figura 8: Esquema de la Perdida de Carga Distribuida.....	12
Figura 9: Esquema de la Perdida de Carga Localizada.....	12
Figura 10: Método del Largo Equivalente.....	13
Figura 11: Largo equivalente en Pérdidas de Carga Localizadas.....	14
Figura 12: Clasificación de las bombas centrifugas.....	16
Figura 13: Funcionamiento de una bomba centrifuga.....	17
Figura 14: Carcasa de una bomba centrifuga.....	18
Figura 15: Bridas de succión y descarga.....	18
Figura 16: Impulsor abierto.....	19
Figura 17: Impulsor semiabierto.....	19
Figura 18: Impulsor cerrado.....	20
Figura 19: Sello mecánico.....	20
Figura 20: Eje de la bomba.....	21
Figura 21: Cojinetes o rodamientos.....	21
Figura 22: Motor eléctrico.....	22
Figura 23: Acople flexible elástico.....	22
Figura 24: Tablero de control y accionamiento.....	23
Figura 25: Disyuntor diferencial.....	24
Figura 26: Interruptor magnético.....	24
Figura 27: Protector electrónico de baja tensión.....	25
Figura 28: Relé térmico de sobrecarga.....	25
Figura 29: Transformador reductor.....	26
Figura 30: Llave conmutadora.....	27
Figura 31: Llave selectora de funcionamiento manual /automático.....	28
Figura 32: Contactores de la marca ABB.....	28
Figura 33: Indicador luminoso de tres fases.....	29

Figura 34: Imagen Satelital con ubicación de pozos Bermejo y Toro	31
Figura 35: Correlación estructural Pozos BJO-44 y TOR-40.....	32
Figura 36: Ingreso a la batería Toro	33
Figura 37: Depurador de Gas en el campo Toro	34
Figura 38: Motor a gas para la bomba de inyección de agua.....	35
Figura 39: Tanques de almacenamiento del campo Toro.....	36
Figura 40: Bomba de Petróleo de la batería Toro	36
Figura 41: Bomba de recirculación de la batería Toro.....	37
Figura 42: Bomba para trasvase de petróleo	38
Figura 43: Layout de la Planta Toro	40
Figura 44: Esquema propuesto para la recirculación de petróleo.....	41
Figura 45: Isométrico propuesto para definir la trayectoria del piping.....	42
Figura 46: Parámetros de pérdida de carga seleccionados de acuerdo a tabla KSB	44
Figura 47: Esquema propuesto para la succión de petróleo.....	45
Figura 48: Entorno para intrusión de datos del EASY SELECT	48
Figura 49: Modelos seleccionados de acuerdo al EASY SELECT	48
Figura 50: Curva de comportamiento de la bomba RPH 25-180.....	49

ÍNDICE DE TABLA

Tabla 1: Normas de diseño en bombas centrifugas.....	16
Tabla 2: Totalidad de Pozos en el campo Toro	32
Tabla 3: Colectores de Petróleo en el campo Toro.....	33
Tabla 4: Listado de Tanques de almacenamiento de petróleo del campo Toro	35
Tabla 5: Resultados del análisis fisicoquímico al petróleo crudo de la Batería Toro	38
Tabla 6: Resultados del análisis fisicoquímico al petróleo crudo de la Batería Toro	39
Tabla 7: Modelos de la marca KSB según el tipo de fluido	47
Tabla 8. Cálculo de la potencia del motor	50
Tabla 9: Recomendaciones para la selección del Motor según la API 610.....	50
Tabla 10: Potencias comerciales de motores eléctricos	51
Tabla 11: Componentes del tablero eléctrico seleccionado	52
Tabla 12: Costos de las obras civiles	53
Tabla 13: Costos por la provisión de los equipos	53
Tabla 14: Costos por la puesta en marcha de la bomba.....	54

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: LARGO EQUIVALENTE PARA LAS PERDIDAS DE CARGA LOCALIZADAS

ANEXO 2: TABLA DE PERDIDA DE CARGA

ANEXO 3: TABLA DE PERDIDA DE CARGA (continuación)

ANEXO 4: MAPA ESTRUCTURAL CAMPOS BERMEJO – TORO

ANEXO 5: FOLLETO CARACTERISTICO DE LA BOMBA KSB RPH

ANEXO 6: FOLLETO CARACTERISTICO DE LA BOMBA KSB RPH (continuación)

ANEXO 7: DATA SHET BOMBA RPH 25-180

ANEXO 8: DATA SHET BOMBA RPH 25-180 (continuación)

ANEXO 9: DATA SHET BOMBA RPH 25-180 (continuación)

ANEXO 10: DATA SHET MOTOR ELECTRICO

ANEXO 11: DATA SHET MOTOR ELECTRICO (continuación)

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

En la actualidad no hay algún trabajo específico sobre el diseño de un sistema para trasvasar el petróleo separado de una pileta API a los tanques de almacenamiento de una batería o planta de almacenamiento; por ende, se desconoce de algún método o técnica para la selección del piping y alguna unidad de impulsión (bomba o gravedad) dependiendo la topografía del lugar.

Como proyectos referenciales que pueden ser de utilidad en la presente investigación, podemos resaltar los siguientes:

- En la **UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES**, la estudiante **VALERIA FERNANDA CHAVARRIA CAMACHO** (2020), elaboró un trabajo de grado titulado “**DISEÑO DE TANQUES DE PETROLEO CRUDO PARA AMPLIAR LA CAPACIDAD DE ALMACENAJE DE LA ESTACION TERMINAL ARICA**” cuya objetivo principal fue el de incrementar la capacidad de almacenamiento de la terminal Arica mediante el diseño de tanques de almacenamiento bajo la norma API 650, en la cual procedió al diseño mecánico del tanque más la fundación donde se asentara dicho tanque de almacenamiento.
- En la **UNIVERSIDAD DE COSTA RICA**, la estudiante **ESTHER VIRGINIA MONGE SANDÍ** (2015), elaboró un trabajo de grado titulado “**EVALUACIÓN TÉCNICA DEL SEPARADOR API PARA LAS AGUAS OLEAGINOSAS DEL ÁREA DE PRODUCTO NEGRO DEL PLANTEL DE RECOPE EN EL ALTO DE OCHOMOGO**” donde se propuso la implementación de una pileta API para la separación de aguas oleaginosas mediante parámetros normales de operación de la planta.

1.1.1 Planteamiento del problema

Actualmente la forma de transportar el petróleo crudo separado de las piletas API es a través de una motobomba, la cual llena de petróleo a un recipiente móvil, este se direcciona a los tanques de almacenamiento y por medio de la misma motobomba realiza el trasvase a los tanques de almacenamiento. Esta operación se considera demasiado riesgoso debido a que se está haciendo uso de un equipo que no está diseñado para trabajar bajo atmosferas

antiexplosivas, es decir no puede manejar líquidos catalogados como CRITICOS “Hidrocarburos”, este acto irresponsable podría ocasionar incendios, etc.

Por otro lado, esta actividad inusual podría generar impactos ambientales producto de una mala manipulación, la cual desencadenaría en un derrame de hidrocarburos en los suelos que corresponderían al trayecto de la pileta API a los tanques de almacenamiento. (aproximadamente 50 m)

Otro impacto negativo es el costo económico que implica el subcontratar un camión cisterna de manera constante para realizar la operación de trasvase. También se le debe sumar el tiempo que disponen por lo menos dos operadores de la planta en realizar esa operación durante 4 horas aproximadamente.

Por último, esa operación mal realizada no se encuentra estipulada dentro de los lineamientos del reglamento: “Diseño, Construcción, Operación, Mantenimiento e Inspección de Instalaciones de Terminales y Tanques”.

1.1.2 Formulación del Problema

¿De qué manera se podrá realizar el trasvase de petróleo crudo desde las piletas API hasta los tanques de almacenamiento de una manera segura y que cumpla los estándares internacionales y practicas recomendadas de la API?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar de un sistema de recirculación de petróleo crudo de la pileta API a los tanques de almacenamiento de la batería Toro para garantizar una operación segura y eficiente

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar una descripción de batería Toro, donde se describa los volúmenes de producción, proceso operativo.
- Realizar el trazado del piping desde la pileta API hasta los tanques de almacenamiento, tomando en cuenta la topografía e instalación actual de la planta.

- Seleccionar un medio de impulsión de petróleo crudo a los tanques de petróleo crudo.
- Seleccionar un tablero de control y/o accionamiento que automatice el trasvase de petróleo crudo.
- Estimar los costos de inversión para el desarrollo del presente proyecto.

1.3 JUSTIFICACIÓN

1.3.1 Justificación Técnica

La implementación de un sistema de trasvase de petróleo recuperado de las piletas API a los tanques de almacenamiento brindará mucha seguridad ya que se dará cumplimiento a lo enmarcado en la práctica recomendada de la API 2610 “Diseño, Construcción, Operación, Mantenimiento e Inspección de Instalaciones de Terminales y Tanques” la cual garantiza las operaciones seguras en plantas que manipulan hidrocarburos.

Por otro lado, se contará con equipos adecuados que despachen el hidrocarburo de manera eficiente donde no intervenga la mano del hombre, es decir, de manera automática se realice el despacho de petróleo mediante señales de control comandadas por un tablero eléctrico, de esta manera se garantiza el trasvase de manera segura, eficiente y sin posibilidades de ocasionar daños al medio ambiente.

1.3.2 Justificación Económica

Al realizar el trasvase con equipos especializados diseñados para el manejo de hidrocarburos, se garantiza la prevención de incidentes relacionados con atmósferas explosivas, lo que resulta en importantes beneficios económicos. Esta medida evita no solo posibles gastos considerables en reparaciones y reconstrucción debido a explosiones o incendios, sino también pérdidas financieras derivadas de interrupciones en la producción y posibles sanciones regulatorias. Al priorizar la seguridad y la prevención de riesgos, se protege el capital financiero de la empresa y se fomenta una operación más rentable y sostenible a largo plazo.

1.3.3 Justificación Ambiental

Al implementar un sistema de trasvase eficiente y conforme a los estándares ambientales de la industria petrolera, se reduce el riesgo de derrames de petróleo, protegiendo así el medio ambiente. Evitar la manipulación inadecuada del petróleo durante el trasvase, especialmente con equipos de menor capacidad, previene la contaminación y los costos asociados con la limpieza ambiental y sanciones regulatorias.

1.4 METODOLOGÍA

La metodología desempeña un papel fundamental en una investigación al proporcionarnos una hoja de ruta que nos orienta sobre las acciones a seguir y la manera de proceder.

1.4.1 Paradigma de la investigación

Sera un Paradigma Positivista, ya que implicara la recopilación de datos objetivos y medibles, como las distancias de los tanques de almacenamiento a la pileta API y otras características propias del fluido a trasvasar, etc.

1.4.2 Enfoque de la investigación

Tendrá un enfoque cuantitativo, ya que el estudio se centra en aspectos técnicos que ameritan el cálculo de pérdidas de cargas por medio de datos de campo. Además, este enfoque podría permitir la utilización de herramientas cuantitativas para tomar decisiones informadas y realizar análisis de costos y beneficios.

1.4.3 Tipo de investigación

Sera del tipo explicativo, ya que se centrará en proporcionar una comprensión más profunda sobre la selección de tubulares dentro de una planta de procesamiento de petróleo crudo.

1.4.4 Diseño de investigación

La investigación tendrá su enfoque principal en la recopilación de datos proporcionados por personal operador de la planta, cabe resaltar que, en el presente trabajo, no se realizaran pruebas del tipo experimental.

1.4.5 Método de investigación

a) Método teórico

- **Método bibliográfico:** Este enfoque se basa en la búsqueda y revisión exhaustiva de fuentes bibliográficas pertinentes, tales como catálogos de fabricantes de bombas, tuberías, informes técnicos, etc.
- **Método descriptivo:** Este método se centra en la recopilación sistemática y la presentación de datos y hechos relevantes relacionados con la planta de tratamiento de petróleo crudo y su disposición de aguas residuales.
- **El método sintético:** Este método nos permitirá integrar información y datos procedentes de diversas fuentes, tales como estudios técnicos previos, regulaciones, resultados de inspecciones, y datos operativos.

1.4.6 Técnicas – instrumentos

Se realizará entrevistas a personal estratégico que opera la batería Toro. De la misma manera proporcionaran una variedad de perspectivas y datos para abordar los objetivos de investigación. Y como instrumento se utilizará fichas técnicas, Excel, planillas, etc.

CAPITULO II: DESARROLLO

2.1 MARCO TEÓRICO

2.1.1 MARCO CONCEPTUAL

2.1.1.1. Baterías de petróleo crudo

La producción de fluido de los pozos de petróleo, (agua, gas y petróleo) es enviada mediante cañerías de conducción hacia las baterías colectoras en dónde se produce la separación del gas asociado y el almacenaje de los líquidos para su conteo y posterior envío a las Plantas de Tratamiento denominadas PTC (planta de tratamiento de crudo). (Cabrera, MANEJO DE LA PRODUCCION EN SUPERFICIE, 1990)

La ubicación de una batería colectoras en un yacimiento se efectúa básicamente en función de la equidistancia entre ésta y los pozos productores. Sobre el particular, la topografía del terreno tiene mucho que ver en la ubicación, fundamentalmente cuando se trata de terrenos irregulares, montañosos, de frondosa vegetación, cruces de ríos, etc., pero siempre se tratará de ubicarla en zonas dónde ofrezca el menor recorrido posible de las líneas de conducción de los pozos que concurran a ella.

Los elementos básicos constitutivos de una batería standard son los siguientes:

- Colector de pozos
- Separadores gas – líquido
- Tanques de almacenaje
- Bombas de transferencia
- Calentadores
- Piletas de drenaje
- Antorcha de gas

2.1.1.2. Colector de pozos

Los colectores se diseñan en función de los caudales de fluido que aportan los pozos en forma individual y en forma colectiva. Esto generalmente es así porque cada colector debe disponer de dos cañerías principales, a saber: la cañería de **general** adónde ingresa la producción de

todos los pozos en forma conjunta y la cañería de **control** adónde ingresa el pozo que se destina a controlar su producción. (Cabrera, 1990)

Figura 1

Colector de Pozos Petroleros



Fuente: Recopilado de (Cabrera, 1990)

2.1.1.3. Separadores Gas – Líquido.

Una de las funciones básicas de la batería es separar el gas asociado de los líquidos, tarea ésta que se efectúa en los separadores, ya sea el de general o en los de control. La diferencia entre un separador de general y uno de control es solamente su tamaño, es decir, la capacidad de tratamiento entre uno y otro. La constitución, la operación y el equipamiento es el mismo para ambos. (Cabrera, MANEJO DE LA PRODUCCION EN SUPERFICIE, 1990)

Los separadores pueden ser horizontales o verticales, son de uso más generalizado en las baterías de petróleo los separadores verticales, de todas formas, la selección generalmente está basada en los resultados deseados y el menor costo posible.

Figura 2

Separador Vertical Gas – Petróleo



Fuente: Recopilado de (Cabrera, 1990)

2.1.1.4. Tanques de Almacenaje

En una batería de petróleo los tanques de almacenaje son los que reciben las descargas de los separadores gas – líquido. En consecuencia, vamos a tener tanques de control y tanques de general. En los tanques de control se reciben las descargas de los separadores de control los cuales solamente tratan la producción individual de cada pozo, por lo que son tanques de menor capacidad. (Cabrera, MANEJO DE LA PRODUCCION EN SUPERFICIE, 1990)

Los tanques de general reciben la descarga de los separadores de general, es decir la producción total de líquidos de la batería menos la producción de los pozos que están en control. Por consiguiente, son tanques de mayor capacidad, generalmente de 160 m³ ó 320 m³ dependiendo del volumen de líquidos producidos.

Figura 3

Tanques de Almacenamiento de Petróleo Crudo



Fuente: Recopilado de (Cabrera, 1990)

2.1.1.5. Bombas de Transferencia

Son equipos rotativos por lo general fabricados en acero, cuya función es la de convertir la energía eléctrica en energía cinética. Las bombas se ubicarán a una distancia no menor de 30 metros de los tanques de almacenaje, separadores y colectores de pozos y no menor de 40 metros de las piletas de recuperación, cargaderos y descargaderos.

Figura 4

Bomba Centrifuga Rotodinámica



Fuente: Recopilado de (Cabrera, 1990)

2.1.1.6. Calefacción de Petróleo

En las baterías de petróleo es común el uso de calentadores de líquidos. La función de los mismos es la de elevar la temperatura y generar una disminución de la viscosidad. Esta disminución de la viscosidad favorece a la separación en los tanques de almacenaje, del agua asociada al petróleo para una buena medición de la producción, ya sea de cada pozo o de la general. Por otro lado, la reducción de la viscosidad favorece la bombeabilidad de los líquidos, fundamentalmente aquellos muy viscosos. (Cabrera, MANEJO DE LA PRODUCCION EN SUPERFICIE, 1990)

Figura 5

Calefactor de Petróleo



Fuente: Recopilado de (Cabrera, 1990)

2.1.1.7. Sistema de Drenaje general y Piletas Recuperadoras

Las baterías de petróleo deben tener una red de drenajes dispuesta de tal forma que pueda colectar los probables derrames de producto o agua de lluvia proveniente de los recintos de los tanques de almacenaje, zona de bombas, separadores, calentadores, cargaderos, etc. y serán encausados hacia una pileta de recuperación estanca e impermeabilizada. La pileta debe estar preferiblemente adentro del recinto de la batería en un lugar libre y a una distancia no menor a 50 metros de la instalación más cercana.

Figura 6

Pileta API



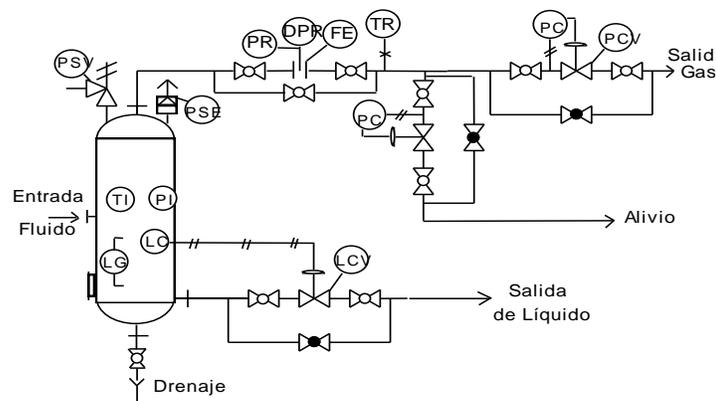
Fuente: Recopilado de (Cabrera, 1990)

2.1.1.8. Chimenea de Quema

Las chimeneas de quema deben instalarse como un elemento de seguridad y protección ante posibles inconvenientes en los sistemas de evacuación de gas de las baterías. Esta posibilitará mantener la producción y las instalaciones en marcha en caso de suscitarse inconvenientes en los sistemas de evacuación de gas.

Figura 7

Puente de Regulación de Gas



Fuente: Recopilado de (Cabrera, 1990)

2.1.1.9. Pérdida de carga en Tuberías

La pérdida de carga de un fluido en una tubería, ocurre debido al roce entre las partículas del mismo con las paredes de la tubería, así como al roce entre estas partículas. En otras palabras, es una pérdida de energía o de presión entre dos puntos de una tubería. (KSB , 2002)

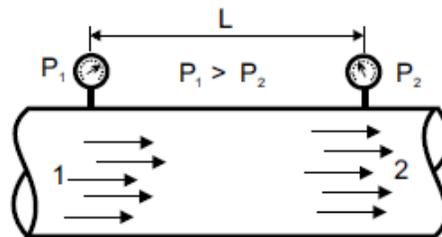
2.1.1.10. Tipos de pérdida de carga

→ Distribuida

Son aquellas que ocurren en tramos rectos de una tubería.

Figura 8

Esquema de la Pérdida de Carga Distribuida



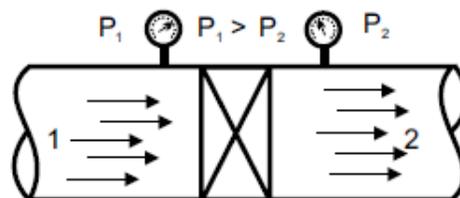
Fuente: Recopilado de (KSB , 2002)

→ Localizada

Son pérdidas de presión ocasionadas por las piezas y singularidades a lo largo de la tubería, tales como curvas, válvulas, desviaciones, reducciones, expansiones, etc.,

Figura 9

Esquema de la Pérdida de Carga Localizada



Fuente: Recopilado de (KSB , 2002)

→ **Total**

Es la suma de las pérdidas de cargas distribuidas en todos los tramos rectos de la tubería y las pérdidas de carga localizadas en todas las curvas, válvulas, uniones, etc.

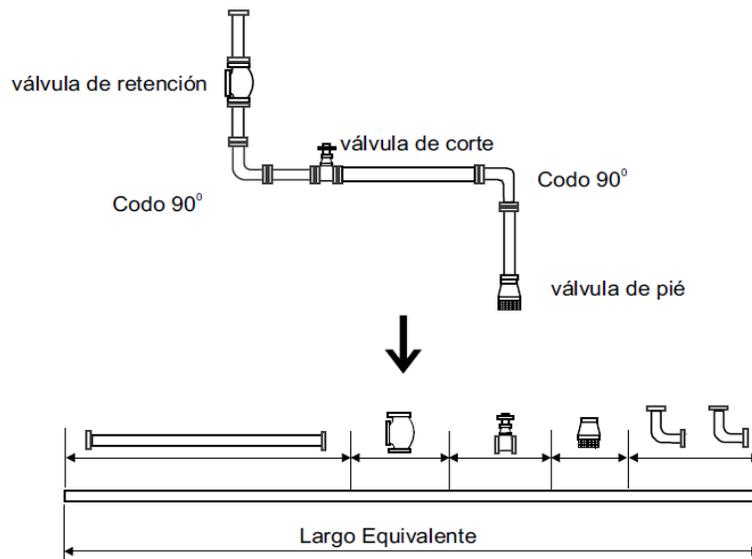
2.1.1.11. Método del largo equivalente

Una tubería que posee a lo largo de su extensión diversas singularidades, equivale, bajo el punto de vista de pérdida de carga, a una tubería rectilínea de largo mayor, sin las singularidades. (KSB , 2002)

El método consiste en aumentar el largo equivalente de la tubería, para efectos de cálculo, de forma tal que estas mayores longitudes corresponden a la misma pérdida de carga que causarían por sí mismas las singularidades existentes.

Figura 10

Método del Largo Equivalente



Fuente: Recopilado de (KSB , 2002)

Utilizando la fórmula de Darcy - Weisback, tenemos que:

$$H_p = f \cdot \frac{L_{eq}}{D} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

Ec. 1

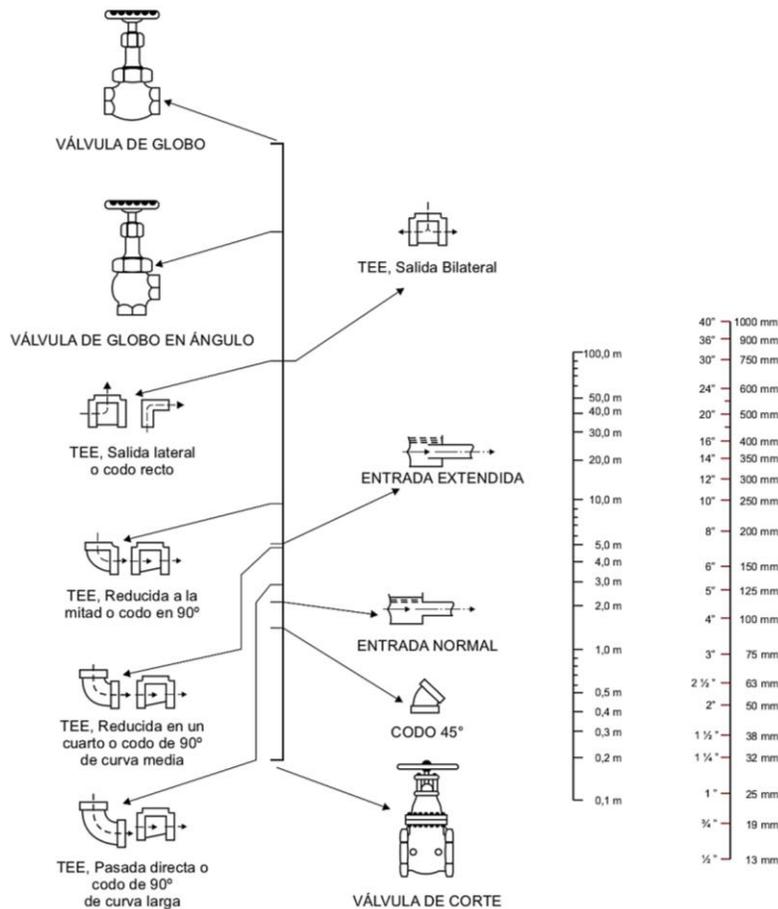
Fórmula de Darcy - Weisback

En el Anexo A-1 se presentan los largos equivalentes de las pérdidas de carga localizadas.

Tomando en cuenta el largo equivalente para pérdidas de carga localizadas se puede considerar la siguiente tabla:

Figura 11

Largo equivalente en Pérdidas de Carga Localizadas



Fuente: Recopilado de (KSB , 2002)

2.1.1.12. Tablas de lectura directa

Basadas en fórmulas y correlaciones sobre el cálculo de la pérdida de carga en tuberías, así como en datos experimentales, han sido elaboradas una serie de tablas de lectura directa, las que muestran las pérdidas de carga de los principales componentes de un sistema de bombeo, en función del caudal y el diámetro nominal de la tubería.

En el Anexo A-2 se dispone de las TABLADE PÉRDIDAS DE CARGA de KSB Bombas Hidráulicas S.A., las cuales son de gran utilidad en la estimación de la pérdida de carga en tuberías y accesorios. (KSB , 2002)

2.1.1.13. Bombas centrífugas

Las bombas centrífugas son equipos hidráulicos que transforman energía mecánica en energía cinética de presión a un fluido, dichos equipos aumentan la velocidad de los fluidos para que estos puedan desplazarse grandes distancias. (Viejo Zubicaray, 2001)

El funcionamiento sencillo de las bombas centrífugas las convierten en la elección perfecta para una amplia gama de aplicaciones industriales como: Gas & Oíl, construcciones civiles, Agricultura, industria química, generación de energía, tratamiento de aguas residuales, refinerías de petróleo, etc. Las bombas centrífugas se utilizan en industrias donde se requiere poca o ninguna elevación de succión. (Viejo Zubicaray, 2001)

2.1.1.14. Clasificación de bombas de Fluidos

Siendo tan variado los tipos de bombas que existen, es muy conveniente hacer una adecuada clasificación, la realizada por el "Hydraulic Institute", en la norma ANSI/HI 9.1-9.5 (Pumps – General Guidelines) es considerada como la más completa. (Viejo Zubicaray, 2001)

Tabla 1

Normas de diseño en bombas centrífugas

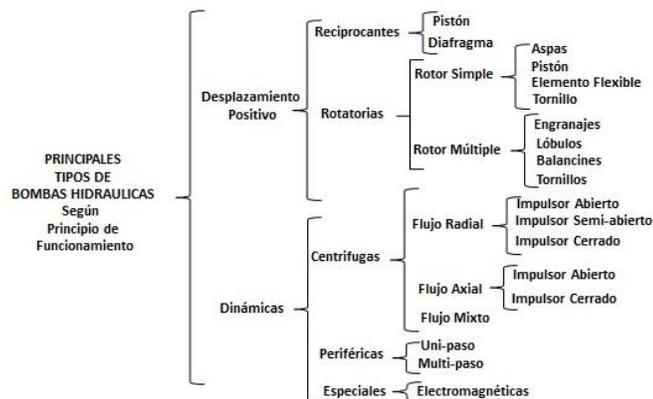
Tipo de Bomba	Normativa de diseño
API 610	API 610 (ISO 13709) – Bombas centrífugas para la industria del petróleo, petroquímica y gas natural.
ANSI/ ASME B73.1	ANSI/ ASME B73.1 – Especificaciones de bombas centrífugas horizontales en la industria química.
ISO	ISO 2858 – Bombas centrífugas de aspiración axial (16 bar). ISO 5199 – Especificaciones técnicas para bombas centrífugas.
DIN EN 733	DIN EN 733 - Bombas centrífugas de aspiración axial (10 bar) con soporte de cojinetes
SISTEMAS CONTRA INCENDIOS	NFPA 20 – Estándar de diseño para bombas en instalaciones contra incendio.
ANSI/ HI	Grupo de normas dirigidas a facilitar el entendimiento entre comprador, usuario y fabricante.

Fuente: Recopilado de PumpsBombas, 2022

La clasificación del Hydraulic Institute permite apreciar la gran diversidad de tipos de bombas que existen y si a ello se agrega el material de construcción, tamaños diferentes para manejo de gasto y presiones diferentes sumamente variables y los diferentes líquidos a manejar.

Figura 12

Clasificación de las bombas centrífugas



Fuente: Recopilado de PumpsBombas, 2022

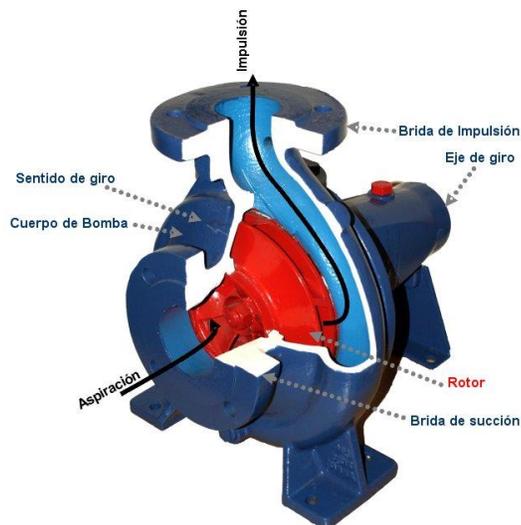
2.1.1.15. Principio de funcionamiento

Para hacer funcionar una bomba centrífuga se cumplen los siguientes pasos:

- El fluido ingresa por la brida de succión hacia el centro del rodete o impulsor de la máquina la cual dispone de una paleta curva, denominada álabe, que sirve para conducir el fluido.
- Debido a la fuerza centrífuga que produce la bomba, el fluido es impulsado hacia el exterior, donde es recogido por la carcasa o cuerpo de la bomba.
- Finalmente, gracias a la estructura de la maquinaria, el fluido es conducido por la brida de descarga hacia las tuberías de salida o hacia el siguiente rodete.

Figura 13

Funcionamiento de una bomba centrífuga



Fuente: Recopilado de Electroted, 2022

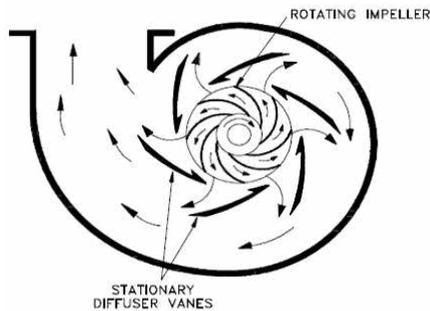
2.1.1.16. Componentes principales de una Bombas Centrífugas

Los elementos constructivos que conforman una bomba centrífuga son:

- Carcasa:** Parte que protege a todos los mecanismos internos que permiten el accionar de la bomba. Son elaboradas con variados materiales según su finalidad, como es en base a hierro fundido si se usará para bombear agua potable, o de acero inoxidable o de bronce si se pretende bombear un líquido que es muy corrosivo.

Figura 14

Carcasa de una bomba centrífuga



Fuente: Recopilado de Electroted, 2022

- b) Bridas de Succión y descarga:** Son conexiones que se acoplan a los conductos por donde circula el fluido.

Figura 15

Bridas de succión y descarga

Se muestra una bomba centrífuga de color azul montada sobre un pedestal. Una flecha naranja apunta a la brida de succión ubicada en la parte frontal izquierda de la carcasa. Otra flecha naranja apunta a la brida de descarga ubicada en la parte superior de la carcasa.

Fuente: Recopilado de Electroted, 2022

c) Impulsor o rodete. Es un dispositivo usado para impulsar el fluido contenida en la carcasa. Están formados por una serie de álabes de diversas formas que giran dentro de una carcasa circular. El rodete va unido solidariamente al eje y es la parte móvil de la bomba. (ELECTRORED, 2021).

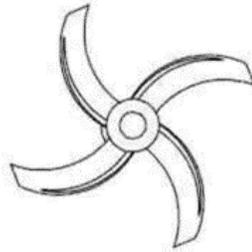
El impulsor de una bomba centrífuga puede ser de tres tipos:

18

- **Impulsor abierto:** Tienen las paletas libres en ambos lados, son estructuralmente débiles y por lo general se usan en bombas de pequeño diámetro y de bajo costo y en bombas que manejan sólidos suspendidos.

Figura 16

Impulsor abierto

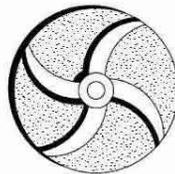


Fuente: Recopilado de Electroted, 2022

- **Impulsor semiabierto:** Los álabes son libres por un lado y cerrados por el otro, la cubierta agrega resistencia mecánica. También ofrecen mayores eficiencias que los impulsores abiertos. Se pueden usar en bombas de diámetro medio y con líquidos que contienen pequeñas cantidades de sólidos en suspensión.

Figura 17

Impulsor semiabierto

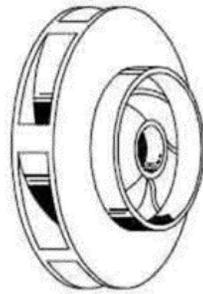


Fuente: Recopilado de Electroted, 2022

- **Impulsor cerrado.** Las paletas se encuentran entre los dos discos, todo en un solo bastidor. Se utilizan en bombas grandes con altas eficiencias y bajo cabezal de succión positivo neto requerido. Dependen de anillos de desgaste de espacio libre cercano en el impulsor y en la carcasa de la bomba.

Figura 18

Impulsor cerrado



Fuente: Recopilado de Electroted, 2022

- d) Sellos Mecánicos:** Son dispositivos diseñados para unir mecanismos con el fin de evitar una pérdida en los fluidos, mantener la presión de la instalación y la de no permitir una entrada de elementos externos a ella.

Figura 19

Sello mecánico



Fuente: Recopilado de Electroted, 2022

- e) Eje:** Elemento que sostiene el impulsor para que gire sobre este con la fuerza del motor. Según la posición del eje en bombas de eje horizontal y bombas de eje vertical. (ELECTRORED, 2021)

Figura 20

Eje de la bomba



Fuente: Recopilado de Electroted, 2022

Cojinetes o rodamientos: Piezas que sostienen adecuadamente el eje del impulsor.

Figura 21

Cojinetes o rodamientos



Fuente: Recopilado de Electroted, 2022

- f) **Motor:** Proporciona la fuerza motriz a la bomba centrífuga, transmitiéndola a través de un eje y acople. Según su potencia, podrá movilizar más agua en menos tiempo.

Figura 22

Motor eléctrico



Fuente: Recopilado de Electroted, 2022

- g) Acoples:** Son los elementos mecánicos que se utilizan para transmitir la potencia entre el motor y la bomba, uniendo sus ejes, adicionalmente por su diseño absorbe la desalineación que se produce entre el equipo impulsor y la bomba centrífuga.

Figura 23

Acople flexible elástico



Fuente: Recopilado de Electroted, 2022

- h) Panel de control:** Es un dispositivo que permite el accionamiento de la bomba, está conformado por elementos automatizados que controlan el funcionamiento de la bomba y lo protegen sobre descargas eléctricas.

Figura 24

Tablero de control y accionamiento



Fuente: Recopilado de Electroted, 2022

2.1.1.17. Tablero de Control de Bombas Rotodinámicas

El tablero de control de bombas, además de interconectar los dos sensores de los tanques antes mencionados, cumple otras funciones imprescindibles para el correcto y seguro funcionamiento del sistema:

- Protección eléctrica de los equipos y las personas.
- Selección de las bombas.
- Selección de modo de funcionamiento manual o automático.
- Accionamiento de las bombas.
- Indicación de presencia de tensión de entrada en las tres fases.

2.1.1.18. Dispositivos de protección

Este tablero cuenta con varios dispositivos de protección cada uno con una función distinta:

- **Disyuntor diferencial (interruptor diferencial ID o dispositivo diferencial residual DDR):** En este caso se encuentra conectado a modo de corte general y su función es proteger a las personas de accidentes provocados por el contacto con las partes energizadas de la instalación (contacto directo) o con elementos sometidos a potencial

debido a alguna derivación o fuga eléctrica por falta de aislamiento de las partes activas de la instalación (contacto indirecto). También protegen contra los incendios que se pudieran ocasionar por este tipo fallas. En este tablero utilizamos un disyuntor tetrapolar marca Sica de corriente nominal 40 Ampere y sensibilidad de 30 mili Ampere (0,03A). (Kessler, 2020)

Figura 25

Disyuntor diferencial



Fuente: Recopilado de (Kessler, 2020)

- **Llave térmica o interruptor termomagnético:** Su función es la de proteger a la instalación contra cortocircuitos (magnético) y sobrecargas (térmico). En este tablero instalaremos una llave termomagnética tetrapolar ABB de 4x16A curva C.

Figura 26

Interruptor magnético



Fuente: Recopilado de (Kessler, 2020)

- **Protector electrónico de sobre y baja tensión:** Este dispositivo interrumpe la alimentación eléctrica de la bobina del contactor cuando la tensión de la red sufre variaciones o interrupciones de fase o neutro y también monitorea constantemente la secuencia de las fases, sin conectar la salida ante una eventual inversión de esta. Para el tablero de bombas, seleccionamos el protector RBC Sitel 1109 trifásico.

Figura 27

Protector electrónico de baja tensión

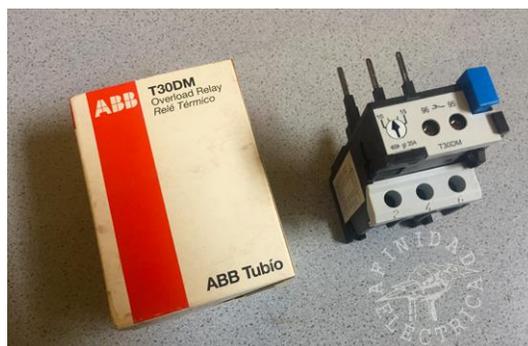


Fuente: Recopilado de (Kessler, 2020)

- **Relés térmicos de sobrecarga:** Acoplados a los contactores, protegen a los motores en caso de sobrecargas y recalentamientos causados generalmente por sobretensiones, fallos de fase o problemas mecánicos o eléctricos en los motores. Utilizamos dos relevos térmicos ABB T30DM con un rango de regulación de 10 a 15 Ampere con disparo clase A10 (aplicaciones corrientes con una duración de arranque inferior a 10 segundos o menos al 600% de su corriente nominal)

Figura 28:

Relé térmico de sobrecarga



Fuente: Recopilado de (Kessler, 2020)

- **Transformador reductor:** La función de este transformador es suministrar una tensión de seguridad de 24V CA al circuito de mando del sistema. Recordemos que un tablero de bombas se sitúa generalmente en sitios húmedos y los automáticos de los tanques se encuentran sumergidos en el agua. El de este circuito es un transformador de uso industrial de Eléctrica Cosmos, modelo TR 3005 TB, monofásico de 220 V a 24V con una potencia de 50W.

Figura 29

Transformador reductor



Fuente: Recopilado de (Kessler, 2020)

- **Puesta a tierra:** su finalidad es conducir eventuales desvíos de la corriente hacia la tierra, impidiendo que el usuario entre en contacto con la electricidad y provocando la actuación de las protecciones. Para asegurar la continuidad de la tierra, se conectarán mediante un cable verde amarillo todas las masas metálicas (tablero, cañerías y motores) con el conductor de protección.

2.1.1.19. Selección de las bombas

En la sala de bombas elevadoras, generalmente se encuentran dos bombas conectadas hidráulicamente en paralelo. La finalidad de esto es poder utilizar alternadamente una u otra, permitir las tareas de mantenimiento sin interrumpir el suministro de agua y tener siempre un equipo de resguardo ante la eventualidad de cualquier falla. Además, con el uso alternado se genera un desgaste parejo de ambos equipos.

Para la selección de bombas, utilizaremos una llave conmutadora Elibet 206 tipo interruptor a palanca con punto medio a la que le asignaremos las siguientes funciones: posición 1 (selección bomba 1), posición 0 (apagado) y posición 2 (selección bomba 2).

Figura 30

Llave conmutadora



Fuente: Recopilado de (Kessler, 2020)

2.1.1.20. Selección de modo de funcionamiento manual o automático

Además del funcionamiento automático, en ciertas ocasiones es útil que el accionamiento de las bombas sea del tipo manual independiente de los sensores instalados en los tanques. Para esta función se instala una llave selectora de modo de funcionamiento manual /automático. En este caso utilizaremos una llave Elibet 204 tipo interruptor a palanca con posiciones 0 y 1 a las que les asignaremos los modos Automático y Manual respectivamente.

Figura 31

Llave selectora de funcionamiento manual /automático.



Fuente: Recopilado de (Kessler, 2020)

2.1.1.21. Accionamiento de las bombas

El circuito de potencia de este tablero que maneja el encendido y apagado de las bombas, se realizará con dos contactores ABB AX18-30-10-81 de 18 Ampere y con bobina de 24V CA acorde a la tensión de seguridad del circuito de mando.

Figura 32

Contactores de la marca ABB



Fuente: Recopilado de (Kessler, 2020)

2.1.1.21.1. Indicación de presencia de tensión de entrada en las tres fases

En el frente del tablero, junto con las dos llaves selectoras de bombas y funcionamiento, se instalarán tres indicadores luminosos para señalar el estado de las tres fases de alimentación del circuito. Utilizaremos tres ojos de buey BAW B6EV674MB de led rojos para conexión a 220V CA.

En el frente del tablero, junto con las dos llaves selectoras de bombas y funcionamiento, se instalarán tres indicadores luminosos para señalar el estado de las tres fases de alimentación del circuito.

Figura 33

Indicador luminoso de tres fases



Fuente: Recopilado de (Kessler, 2020)

2.1.1.22. Marco Normativo

El presente proyecto de grado estará fundamentado bajo las siguientes leyes y reglamentos:

- **DS. 28397 (Reglamento de normas técnicas y de seguridad para las actividades de exploración y explotación de hidrocarburos).**

ARTICULO 152°

El Titular deberá cumplir las medidas de seguridad que deben adoptarse en instalaciones hidrocarburíferas de Producción que se encuentran en las normas de seguridad API y/o NFPA, como mínimo.

ARTICULO 153°

Se debe aplicar buenas prácticas técnicas de la industria que como mínimo podrán incluir las Prácticas Recomendadas por el API en las actividades que correspondan y las siguientes especificaciones que sean aplicables.

2.1.1.22.1. Marco Legal

- **Ley de hidrocarburos (Ley 3058)**

Capítulo I: Política Nacional de Hidrocarburos y principios generales

Artículo 9°. - (Política de Hidrocarburos, Desarrollo Nacional y Soberanía). El aprovechamiento de los hidrocarburos deberá promover el desarrollo integral, sustentable y equitativo del país, garantizando el abastecimiento de hidrocarburos al mercado interno, incentivando la expansión del consumo en todos los sectores de la sociedad, desarrollando su industrialización en el territorio nacional y promoviendo la exportación de excedentes en condiciones que favorezcan los intereses del Estado y el logro de sus objetivos de política interna y externa, de acuerdo a una Planificación de Política Hidrocarburífera.

Artículo 10°. - (Principios del Régimen de los Hidrocarburos) Las actividades petroleras se regirán por los siguientes principios:

Calidad: que obliga a cumplir los requisitos técnicos y de seguridad establecidos;

Continuidad: que obliga a que el abastecimiento de los hidrocarburos y los servicios de transporte y distribución, aseguren satisfacer la demanda del mercado interno de manera permanente e ininterrumpida, así como el cumplimiento de los contratos de exportación.

Adaptabilidad: El principio de adaptabilidad promueve la incorporación de tecnología y sistemas de administración modernos, que aporten mayor calidad, eficiencia, oportunidad y menor costo en la prestación de los servicios.

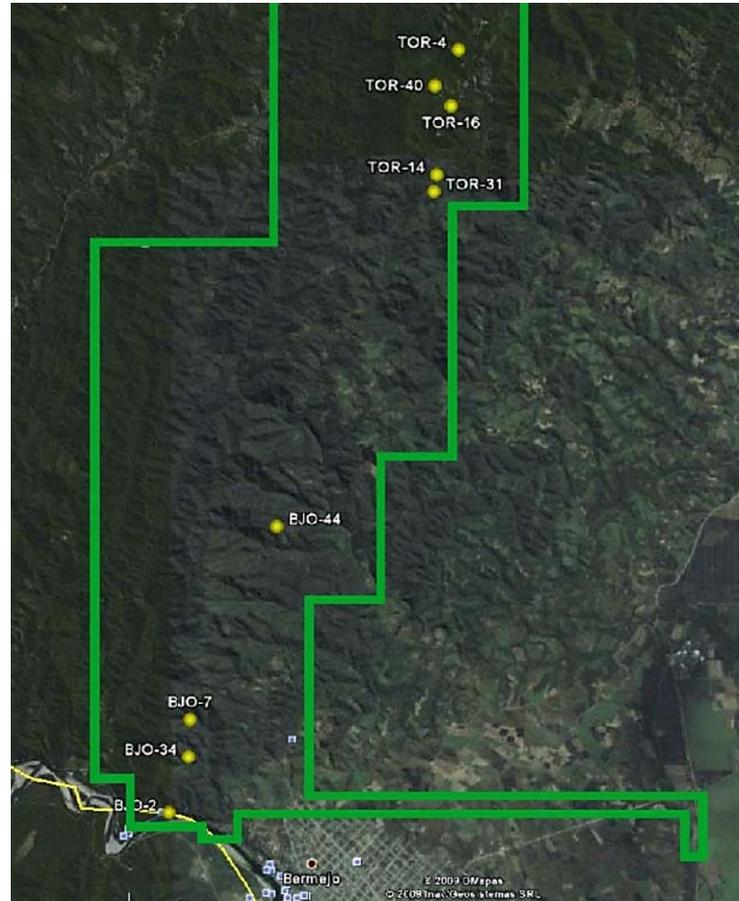
2.1.2. MARCO CONTEXTUAL.

2.1.2.1. Generalidades del campo Toro

El Campo Toro, ubicado en la serranía Candado - Suaruro en el Subandino Sur, fue un mega campo de gas y condensado que fue descubierto en Latinoamérica. Forma parte del lineamiento estructural San Telmo, Toro, Barretero, y Bermejo, situados en la provincia Arce.

Figura 34

Imagen Satelital con ubicación de pozos Bermejo y Toro

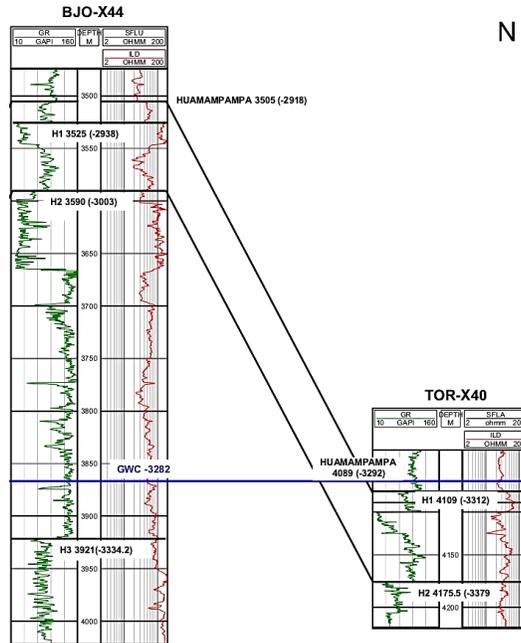


Fuente: Recopilado de (PLUSPETROL BOLIVIA CORPORATION S.A., 2017)

Muy importante tomar en cuenta que debido a la cercanía que existe entre los campos Toro y Bermejo, existe una interconectividad estructural de subsuelo, por ende, en ambos campos se explotan los hidrocarburos de la formación Huamampampa. (Anexo A-3)

Figura 35

Correlación estructural Pozos BJO-44 y TOR-40



Fuente: Recopilado de (PLUSPETROL BOLIVIA CORPORATION S.A., 2017)

El campo cuenta con un total de 14 pozos productores, 2 pozos inyectoros, 3 pozos esperando abandono y 13 pozos abandonados. En la tabla siguiente, se muestra la descripción de los pozos del campo Toro.

Tabla 2

Totalidad de Pozos en el campo Toro

Descripción	Pozos
Pozos productores	T-4, T-6, T-7, T-8, T-12, T-14, T-15, T-16, T-19, T-24, T-25, T-29, T-31, T-39
Pozos inyectoros	T-1, T-2
Pozos esperando abandono	T-20, T-22, T-32
Pozos abandonados	T-3, T-5, T-11, T-17, T-18, T-21, T-23, T-27, T-28, T-33, T-35, T-36, T-40

Fuente: Recopilado de (HANSA LTDA, 2022)

Figura 36

Ingreso a la batería Toro



Fuente: Recopilado de (HANSA LTDA, 2022)

2.1.2.2. Esquema operativo de la Batería Toro

2.1.2.3. Recepción de la producción

La producción de petróleo crudo se centraliza a través de dos colectores que ingresan a la batería de producción, dicha producción proviene de los siguientes pozos:

Tabla 3

Colectores de Petróleo en el campo Toro

TAG	Detalle	Diámetro	Pozos Petroleros
M-1	Manifold No 1	4 pulg.	Pozos: T-4, T-16, T-24, T-25, T-29, T-39
M-2	Manifold No 2	4 pulg.	Pozos: T-19, T-8, T-15, T-6, T-12, T-14, T-31, T-4

Fuente: Recopilado de (HANSA LTDA, 2022)

Toda la producción proveniente de los dos colectores, es direccionada a los tanques de almacenamiento a través de una línea de 2 pulg. de diámetro bajo la siguiente secuencia:

- **Colector No 1 (Tag M-1):**
 - **Línea 4x2”:** Alimenta de petróleo a los tanques TK-4 y TK-3
 - **Línea 3”:** Alimenta de petróleo a los tanques TK-1318 y TK-5
- **Colector No 2 (Tag M-2):**
 - **Línea 4x2”:** Alimenta de petróleo a los tanques TK-2 y TK-1

En lo que respecta a la producción de gas natural, este ingresa a la batería Toro a través de una línea de recolección de gas de 2 pulg., la cual ingresa a dos depuradores de gas (Tag V-1, Tag V-2), posteriormente se generan dos ramales salientes de los depuradores, por un lado se tiene una corriente de gas seco, la cual alimenta de combustible a los motores de gas natural de las bombas recíprocas y por otra parte se tiene una corriente de agua contaminada con hidrocarburos la cual es direccionada a las piletas API.

Figura 37

Depurador de Gas en el campo Toro



Fuente: Recopilado de (HANSA LTDA, 2022)

Figura 38

Motor a gas para la bomba de inyección de agua



Fuente: Recopilado de (HANSA LTDA, 2022)

2.1.2.4. Tanques de almacenamiento de Petróleo Crudo

Toda la producción de petróleo que ingresa a la batería Toro es direccionada a una playa de seis tanques de almacenamiento de petróleo crudo de techo fijo, los cuales tienen las siguientes características:

Tabla 4

Listado de Tanques de almacenamiento de petróleo del campo Toro

TAG	PRODUCTO	CAPACIDAD (m³)	ALTURA (m)	DIAMETRO (m)
TK-1318	Petróleo crudo	162,4	4,8	6,57
TK-5	Petróleo crudo	151,6	4,8	6,35
TK-4	Petróleo crudo	82,8	4,8	4,69
TK-3	Petróleo crudo	82,8	4,8	4,69
TK-2	Petróleo crudo	80,8	4,7	4,69
TK-1	Petróleo crudo	167	4,9	6,58

Fuente: Recopilado de (HANSA LTDA, 2022)

Figura 39

Tanques de almacenamiento del campo Toro



Fuente: Recopilado de (HANSA LTDA, 2022)

2.1.2.5. Bomba de Petróleo

Todos los tanques de almacenamiento están conectados por una línea de descarga de 3" de diámetro, la cual se conecta a una bomba API la cual despacha el petróleo crudo a la Batería Bermejo a través de una línea de 3".

Figura 40

Bomba de Petróleo de la batería Toro



Fuente: Recopilado de (HANSA LTDA, 2022)

2.1.2.6. Bomba de recirculación de petróleo crudo

Por otro lado, la línea de recirculación es conectada a una bomba (P-102 A/B) que despacha nuevamente el petróleo a todos los tanques de almacenamiento, de esta manera se incrementa la energía perdida e incrementa la velocidad de flujo.

Figura 41

Bomba de recirculación de la batería Toro



Fuente: Recopilado de (HANSA LTDA, 2022)

2.1.2.7. Pileta API

Toda la mezcla agua-petróleo-condensado es centralizada a través de una cámara de drenajes, posteriormente a través de una línea de 3" por medio de la caída de presión por acción de la fuerza de gravedad es enviada a una pileta API de tres compartimentos donde se realiza la separación de la mezcla agua – hidrocarburo.

En el primer compartimento se realiza la separación primaria, posteriormente la producción pasa a un segundo compartimento donde se profundiza la separación, finalmente el fluido separado pasa por un tercer compartimento donde ya se tienen claramente separados las mezclas de líquidos. Por un lado, el petróleo recuperado, se envía nuevamente a los tanques de almacenamiento de petróleo crudo.

Figura 42

Bomba para trasvase de petróleo



Fuente: Recopilado de (HANSA LTDA, 2022)

Cabe recalcar que el petróleo crudo separado del compartimento número tres, es despachado a través de una bomba improvisada de transmisión por correa, la cual no cumple con ninguna medida de seguridad y con la cual el trasvase se lo realiza por medio de un tanque cisterna.

2.1.2.8. Análisis y calidad del Petróleo Crudo y Agua de la Batería Toro

De acuerdo a un análisis realizado al tipo de petróleo crudo que se manipula en la batería Toro, se tiene lo siguiente:

Tabla 5

Resultados del análisis fisicoquímico al petróleo crudo de la Batería Toro

MENSURANDO	UNIDAD	METODO	ESPECIFICACIONES VALOR (PROM.)	
Agua y sedimentos	% V/V	ASTM D-1796	1.0 max	0.00
Gravedad API (60°F)	°API	ASTM D-4052	21 superior	23,81
Densidad (60°F)	gr/cm ³	ASTM D-4052	NE	0,91015
Tensión de vapor de REID (100°F)	psia	ASTM D-323	12 max	1,7

Fuente: Recopilado de (YPFB CORPORACION, 2022)

En lo que respecta al agua de formación que se recolecta en la Batería Toro, se cuenta con el siguiente reporte:

Tabla 6

Resultados del análisis fisicoquímico al petróleo crudo de la Batería Toro

MENSURANDO	UNIDAD	METODO	ESPECIFICACIONES	VALOR (PROM.)
PH	-	SM4500	N/E	7,34
Conductividad	mS/cm	SM 2510 B	N/E	65,1
Solidos totales disueltos	g/l	Electrométrico	NE	37,9
Turbidez	NTU	Nefelométrico	N/E	41,5
Solidos totales suspendidos	mg/l	Espectrométrico	N/E	46
Hierro	mg/l	Espectrométrico	N/E	2,43
Cobre	mg/l	Espectrométrico	N/E	0,33
Sulfatos	mg/l	Espectrométrico	N/E	4
Sodio	mg/l	Ion selectivo	N/E	2,24 E4
Cloruros	mg/l	Titulación	N/E	18231,94
Dureza total	mg CaCO3/L	Titulación	N/E	1352
Nitritos	mg/l	Espectrométrico	N/E	0,011
Nitratos	mg/l	Espectrométrico	N/E	20,9
Densidad	g/cm ³	Densitómetro	N/E	1,02691

Fuente: Recopilado de (YPFB CORPORACION, 2022)

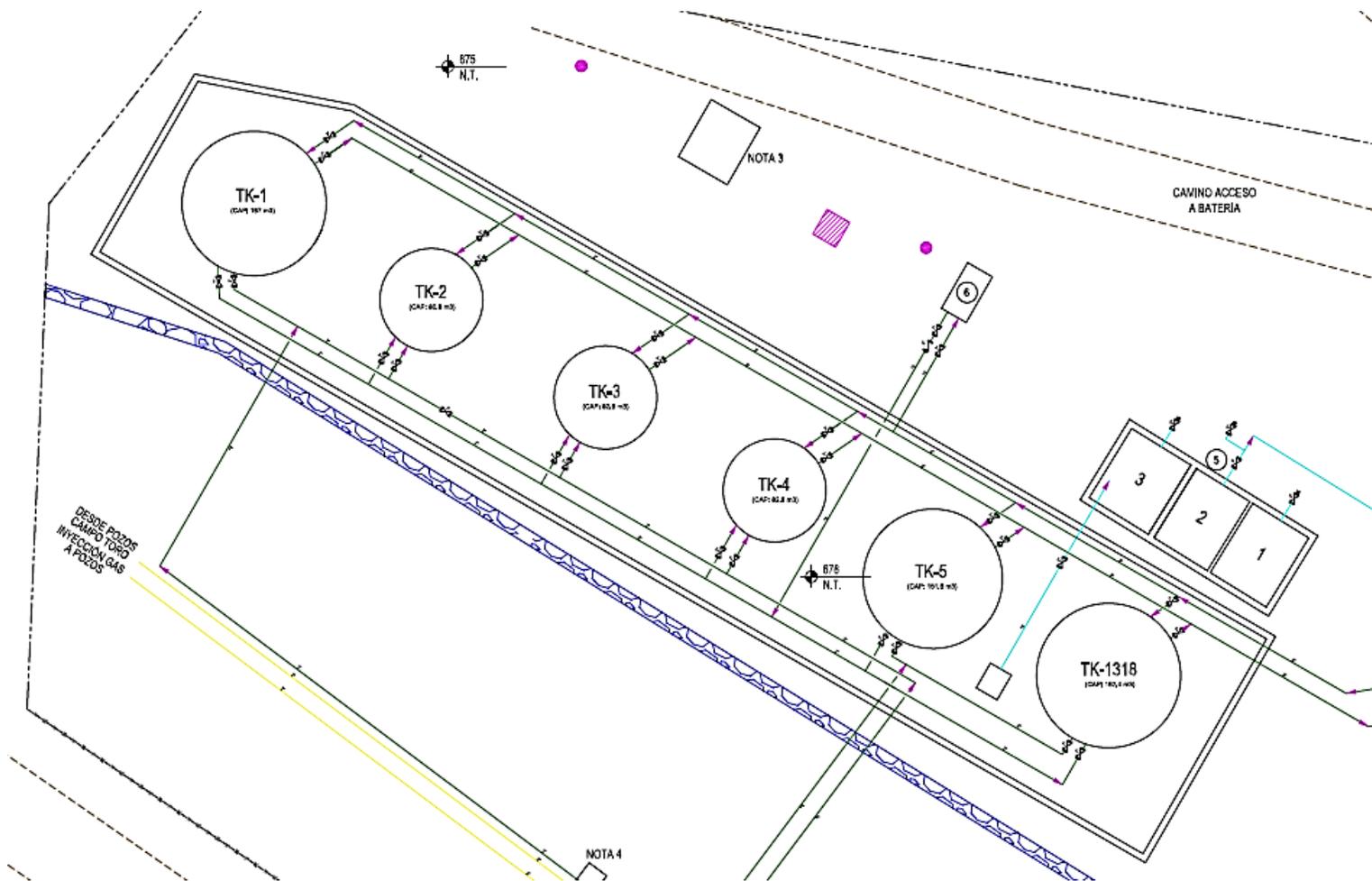
Se deberá tomar en cuenta que al momento de ingresar la mezcla de hidrocarburo-agua en la pileta API, se tiene una mezcla de ambos fluidos; pero al momento de realizar la descarga de dicha pileta, se tendrá únicamente la presencia de petróleo crudo.

2.1.2.9. Layout de la Batería Toro

Se cuenta con la siguiente disposición en planta de todos los componentes de la batería Toro.

Figura 43

Layout de la Planta Toro



Fuente: Recopilado de (PLUSPETROL, 2018)

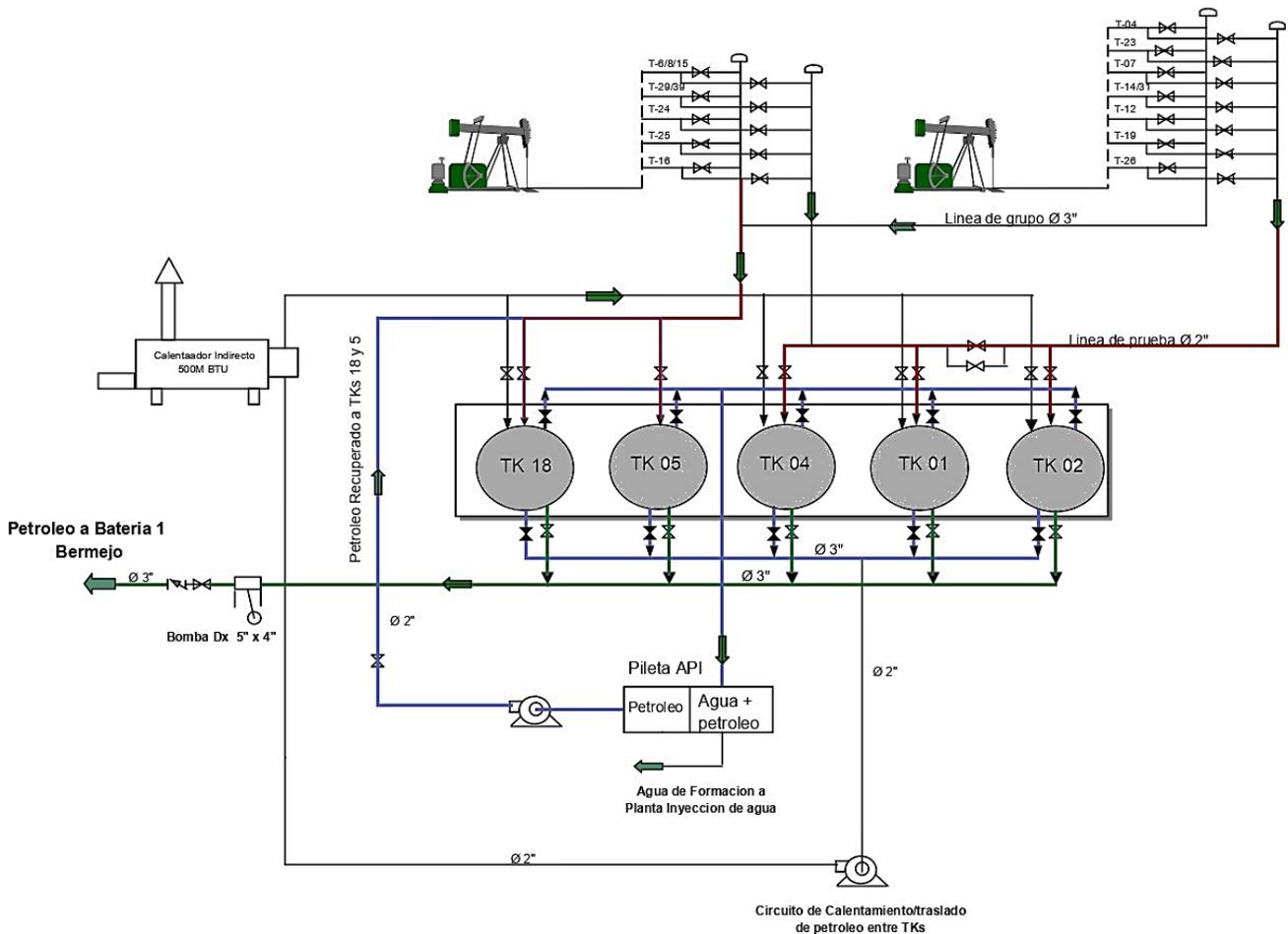
2.2. INFORMACIÓN Y DATOS OBTENIDOS

2.2.1 Esquema propuesto para la recirculación de Petróleo crudo

Tomando en cuenta la filosofía de operación descrita en la sección anterior y considerando la habilitación de la pileta API por medio de un sistema de impulsión directa, es que se propone el siguiente esquema:

Figura 44

Esquema propuesto para la recirculación de petróleo



Fuente: Elaboración propia, 2024

Cabe resaltar que la recirculación de petróleo proveniente de la pileta API será direcciona solamente a los tanques: TK 18 y TK 5, esto debido a que son los de mayor dimensión.

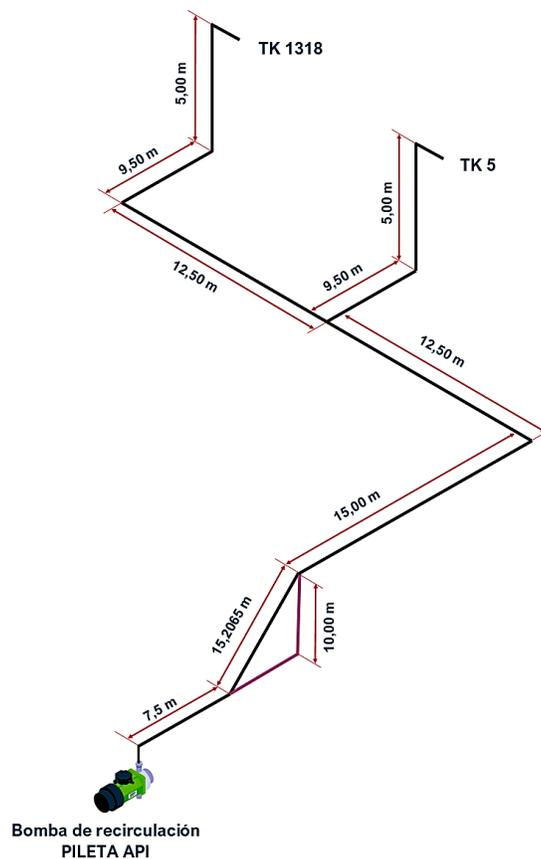
2.2.2 Determinación del trazado del Piping

Tomando en cuenta la topografía y la distancia de la pileta API hacia los tanques de petróleo crudo, se elaborará un isométrico tomando en cuenta las siguientes consideraciones:

- Existe una diferencia de cotas (nivel) de aproximadamente 15 m.
- Solamente se tomará en cuenta la recirculación a los TK18 y TK 5.

Figura 45

Isométrico propuesto para definir la trayectoria del piping



Fuente: Elaboración propia, 2024

2.2.3 Determinación del Caudal

Se procederá a determinar una caudal aproximado, tomando en cuenta los siguientes pasos:

a) Cálculo del Volumen de despacho de Petróleo Crudo.

Tomando en cuenta las dimensiones de la pileta API, las cuales fueron proporcionados por un operador de la batería Toro:

Ancho = 1 m

Largo = 1 m

Profundidad = 2 m

Se procede a calcular el volumen del tanque acumulador de petróleo:

$$\text{Volumen} = \text{Ancho} \times \text{Largo} \times \text{Profundidad}$$

$$\text{Volumen} = 1 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 2 \text{ m} = 2 \text{ m}^3$$

b) Estimación de del tiempo de descarga de la pileta API.

Realizando consultas al personal operativo de la planta, estos manifiestan que el periodo adecuado para realizar la descarga de la pileta API es de aproximadamente 20 min (0,34 horas).

c) Cálculo del caudal de trabajo:

Con los valores determinados anteriormente, se procede a calcular el caudal de petróleo aproximado:

$$Q = \text{Vol} / \text{Tiempo}$$

$$Q = 2 \text{ m}^3 / 0,34 \text{ h} = 5,88 \text{ m}^3/\text{h} = 6 \text{ m}^3/\text{h}$$

2.2.4 Determinación del diámetro del Piping

Utilizando la tabla de pérdidas de carga (Anexo No 2), y tomando en cuenta el caudal calculado (6 m³/h), se procederá a tabular diferentes valores de pérdidas de carga de acuerdo a diferentes diámetros de cañerías.

Figura 46

Parámetros de pérdida de carga seleccionados de acuerdo a tabla KSB

Diámetro Nominal Vazão (m³/h)	1"					1 ¼"					1 ½"					2"					2 ½"				
	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
1	2.70	0.01	--	0.02	0.01	0.75	--	--	--	--	0.22	--	--	--	--	0.08	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1.5	6.00	0.02	--	0.06	0.04	1.60	0.01	--	0.02	0.01	0.50	--	--	--	--	0.17	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2	10.0	0.06	--	0.15	0.09	2.70	0.02	--	0.05	0.03	0.80	--	0.10	--	--	0.28	--	--	--	--	0.07	--	--	--	--
3	21.5	0.12	--	0.30	0.18	6.00	0.04	--	0.10	0.06	1.80	0.02	0.15	0.04	0.02	0.60	--	0.10	--	--	0.16	--	--	--	--
4	27.0	0.25	--	0.60	0.36	10.0	0.08	--	0.20	0.12	3.00	0.03	0.20	0.07	0.04	1.05	--	0.15	--	--	0.27	--	0.10	--	--
5	55.0	0.32	--	0.80	0.48	15.5	0.12	--	0.30	0.18	4.70	0.04	0.25	0.11	0.06	1.60	--	0.15	--	--	0.42	--	0.10	--	--
6	80.0	0.40	--	1.00	0.60	22.0	0.16	--	0.40	0.30	6.60	0.06	0.35	0.15	0.09	2.20	0.03	0.20	0.07	0.04	0.60	X	0.15	X	X
8						37.0	0.28	--	0.70	0.40	11.5	0.12	0.65	0.30	0.18	3.90	0.04	0.25	0.11	0.06	1.00	X	0.20	X	X
10						56.0	0.45	--	1.10	0.65	17.0	0.20	--	0.50	0.30	5.70	0.08	0.40	0.20	0.12	1.50	0.03	0.25	0.06	0.04
12											24.0	0.23	--	0.72	0.33	8.00	0.12	0.58	0.29	0.17	2.20	0.04	0.28	0.09	0.06
14											32.0	0.31	--	0.98	0.45	11.0	0.15	0.75	0.38	0.23	2.90	0.05	0.38	0.13	0.08
15											37.0	0.40	--	1.00	--	12.5	0.16	--	0.40	0.24	3.30	0.06	0.40	0.15	0.04
16											42.0	0.46	--	1.14	0.68	14.0	0.18	--	0.46	0.27	3.70	0.07	0.46	0.17	0.10
18											51.0	0.64	--	1.59	0.95	17.0	0.25	--	0.63	0.38	4.50	0.10	0.53	0.23	0.14
20											63.0	0.80	--	2.00	1.20	21.5	0.30	--	0.70	0.40	5.70	0.10	0.60	0.25	0.15
22																26.0	0.36	--	0.85	0.48	6.80	0.12	0.83	0.30	0.18
24																30.0	0.40	--	1.01	0.56	8.00	0.16	0.97	0.36	0.22
25																33.0	0.40	--	1.10	0.65	8.50	0.18	--	0.45	0.27
26																35.0	0.43	--	1.19	0.70	9.00	0.17	--	0.48	0.29
28																40.0	0.50	--	1.38	0.82	11.0	0.22	--	0.56	0.34
30																45.0	0.60	--	1.50	0.90	12.0	0.24	--	0.60	0.36
35																61.0	0.80	--	2.00	1.20	16.0	0.30	--	0.75	0.45

Cálculo da Altura Manométrica Total

Para se calcular a Altura Manométrica Total que a bomba centrífuga KSB deverá atender, deve-se proceder da seguinte forma:

a) Definir a vazão desejada;

b) Definir os desníveis de sucção e recalque, tomando como referência a linha de centro da bomba;

Fuente: Recopilado de (KSB , 2002)

- El diámetro mínimo seleccionado para la tubería de succión será de 1 1/2" pero el valor de la pérdida de carga es relativamente grande (6,6 m), por ende, el diámetro seleccionado tendrá que ser de 2" o superior.
- El diámetro mínimo seleccionado para la tubería de descarga tendrá que ser mayor a 2", debido a que con ese valor la pérdida de carga es mínima.
- Se deberá considerar que para un flujo óptimo, el diámetro de la tubería de descarga tiene que ser menor al diámetro de la tubería de succión.

Tomando en cuenta lo descrito anteriormente, definimos los diámetros a continuación:

- **Succión:** Cañería de 2 ½"
- **Descarga:** Cañería de 2"

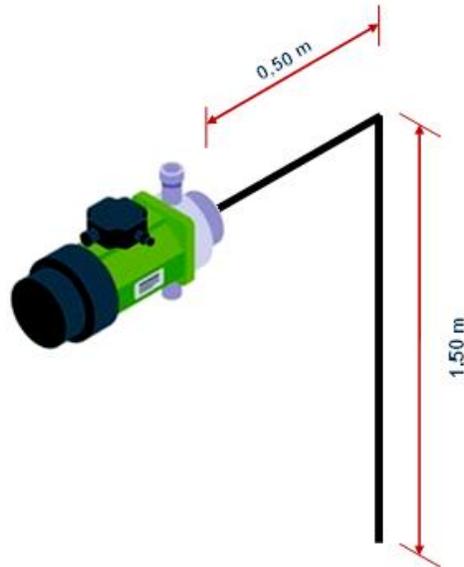
2.2.5 Cálculo de la Altura Manométrica Total.

- **Cálculo de la pérdida de carga en la SUCCION:**

Considerando el siguiente esquema en el tramo de succión:

Figura 47

Esquema propuesto para la succión de petróleo



Fuente: Elaboración propia, 2024

Tenemos:

Longitud del tramo = 2 m (De acuerdo a la sumatoria de la longitud vertical y horizontal, es decir: 1,5 m + 0,5 m = 2 m)

Desnivel de succión = 1,5 m

Calculando las pérdidas de carga, se tiene:

0,5 m de tubería de 2 1/2":	$0,5 \times (0,6/100)$	= 0,003 m
1 reducción 2 1/2 x 2 pulg:	$1 \times 0,35$	= 0,35 m
1 rejilla de entrada 2 1/2 pulg:	$1 \times 0,8$	= 0,8

Perdida de carga succión = 1,5 + 0,003 + 0,35 + 0,8

Perdida de carga succión = 2,6 m

- **Cálculo de la pérdida de carga en la DESCARGA:**

De acuerdo a las dimensiones descritas en el plano isométrico, se procederá a determinar los siguientes valores:

Longitud Total del tramo de descarga = 92,9 m

Desnivel de descarga = 15,00 m

A través de tablas de lectura directa de KSB, calculamos las pérdidas de carga de cada accesorio:

92,9 m de tubería de 2 pulg:	$92,9 \times (2,2/100)$	= 2,04 m
1 reducción 1 ½ x 2 pulg:	1 x 0,25	= 0,25 m
1 válvula de retención 2 pulg:	1 x 0,27	= 0,27
1 válvula de compuerta 2 pulg:	1 x 0,23	= 0,23
9 codos de 90°:	7 x 0,2	= 1,4
2 codos de 45°:	2 x 0,14	= 0,28
1 Tee:	1 x 1	= 0,6

Perdida de carga descarga = 15 + 2,04 + 0,25 + 0,27 + 0,23 + 1,4 + 0,28 + 0,6

Perdida de carga descarga = 20,07 m

La pérdida de carga total en el sistema será:

Pérdida de carga Total: 2,6 + 20,07 = 22,67 m

Por factores de seguridad se le asignará un Factor de respaldo del 30% que garantice el flujo optimo:

Pérdida de carga Total: 22,67 • 1,3 = 29 m (Aprox. 30 m)

2.2.6 Selección de la Bomba.

De acuerdo a la siguiente secuencia de pasos se procederá a determinar y seleccionar la bomba centrífuga adecuada:

a) Selección del tipo de la bomba

Tomando de referencia a uno de los fabricantes más conocidos a nivel mundial (KSB), solo se podrá tomar en consideración un equipo de norma constructiva API, debido a que las exigencias sobre normas constructivas en plantas petroleras solo permiten ese tipo de equipos.

En base a los modelos de la marca KSB existen muchos tipos y diferentes aplicaciones como se muestra en la tabla 7, la selección de la bomba en nuestro caso será una

bomba de procesos petroquímicos y en cuestión al modelo será RPH por que este modelo es el más eficiente para estas aplicaciones.

Tabla 7

Modelos de la marca KSB según el tipo de fluido

Tipo / Aplicación	Modelo
Bombas normalizadas / monobloc	Meganorm, Megabloc, Etanorm
Bombas de agua caliente	HPK-L, HPH, HPK
Bombas de agua caliente / aceite térmico	Etanorm SYT / RSY, Etabloc SYT, Etaline SYT
Bombas químicas normalizadas	MegaCPK, CPKN
Bombas de procesos petroquímicos	RPH, RPH-LF, RPH-V
Equipos de presión	Hyamat V, Hyamat SVP, Hyamat SVP ECO
Instalaciones elevadoras / bombeo	Amaclean, Ama-Drainer-Box Mini, Evamatic-Box
Bombas autoaspirantes	Etaprime L, Etaprime B, EZ B/L, AU Monobloc
Bombas de alta presión	Movitec H(S)I, Movitec, Multitec
Bombas de cámara partida	Omega, RDLO, RDLP

Fuente: Recopilado de (KSB , 2002)

De todo el detalle descrito anteriormente, se seleccionará el modelo RPH (Anexo A-4), debido a que ese modelo tiene las siguientes características:

- **Modelo:** RPH
- **Características:** Bomba de proceso
- **Norma de diseño:** OH2 de tipo heavy duty según ISO 13709 / API 610
- **Campos de aplicación:** Petróleo y gas, petroquímica, centrales eléctricas

b) Selección del tamaño de la Bomba

Con los datos descritos a continuación:

Q: 6 m³/h

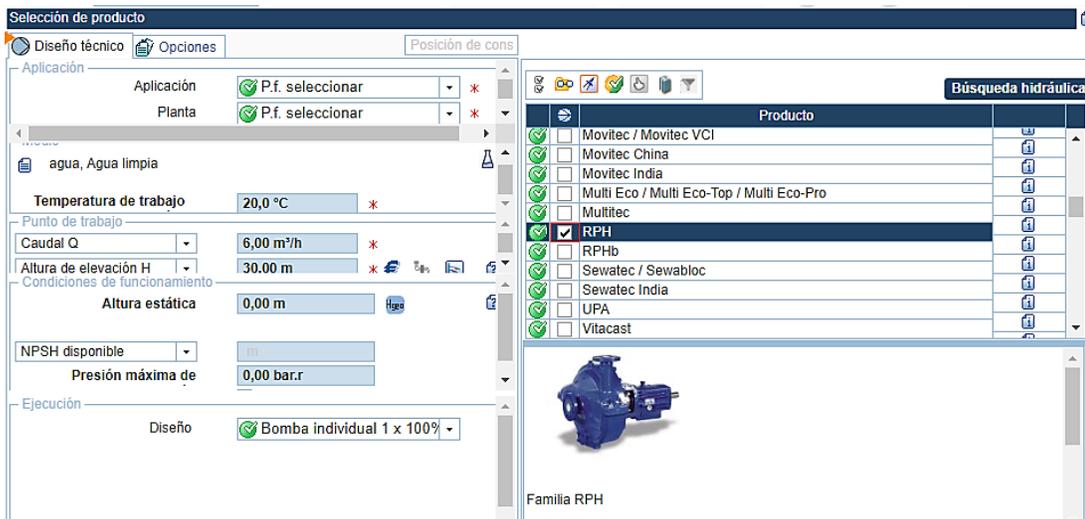
H: 30 m

Tipo de fluido: Petróleo crudo

- Haciendo uso del software gratuito “Easy Select”, el cual se encuentra en la página de KSB, colocamos los puntos de operación:

Figura 48

Entorno para intrusión de datos del EASY SELECT



Fuente: Easy Elect KSB pump, 2023

→ El sistema nos pone una gran gamma de opciones que cumplen los puntos de operación, por ende, se deberá seleccionar una de ellas.

Figura 49

Modelos seleccionados de acuerdo al EASY SELECT

Propuestas de solución

Alternativas | Curvas de comportamiento | Lista de resultados rechazados

Sort by: Recomendación KSB then Filter prices for My SalesOn **Seleccionar**

	Serie	Tamaño constructivo	Precios de	Prec	Selecci	Eficiencia	Potencia absorbida	Velocidad	Paso libre	NPSH requerido	Potencia máxima para curva	Relación Q / Qopt
1	RPH	025-180	ix 88,34		<input checked="" type="checkbox"/>	38,64 %	1,27 kW	2864 rpm	0 mm	1,04 m	1,67 kW	75,47 %
2	RPH	040-180.1	previa demanda		<input type="checkbox"/>	33,89 %	1,45 kW	2866 rpm	0 mm	1,04 m	2,23 kW	54,03 %
3	RPH	025-180.1	previa demanda		<input type="checkbox"/>	30,17 %	1,62 kW	2869 rpm	0 mm	1,04 m	2,31 kW	100,68 %
4	RPH	040-180	previa demanda		<input type="checkbox"/>	34,93 %	1,40 kW	2865 rpm	0 mm	1,04 m	2,16 kW	45,80 %
5	RPH	040-181	previa demanda		<input type="checkbox"/>	26,95 %	1,82 kW	2875 rpm	0 mm	1,64 m	3,14 kW	22,00 %
6	RPH	040-181B	previa demanda		<input type="checkbox"/>	23,42 %	2,09 kW	2894 rpm	0 mm	1,39 m	2,77 kW	30,52 %

Fuente: Easy Elect KSB pump, 2023

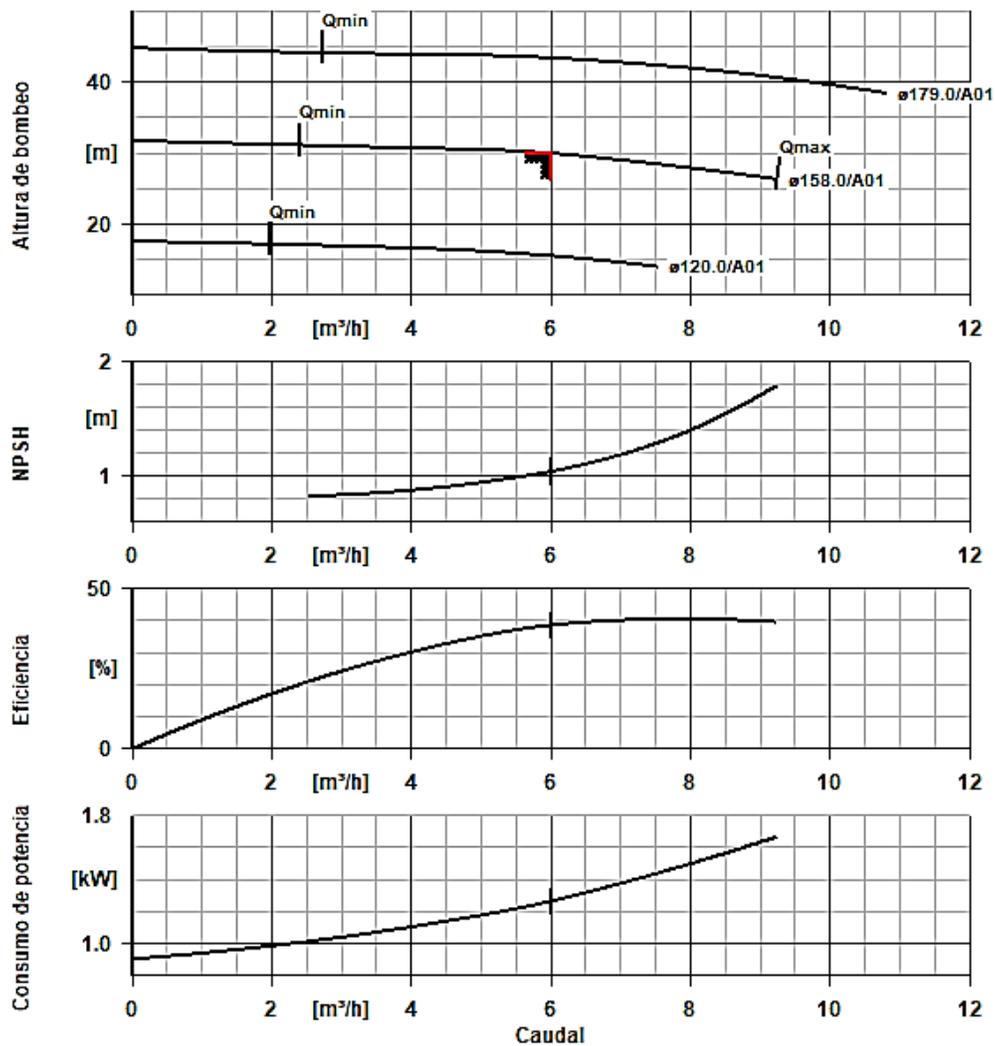
→ Entonces, la bomba seleccionada será la:

KSB RPH 25-180

→ Dando continuidad a la selección de la bomba mediante el software graficamos la curva característica de la bomba:

Figura 50

Curva de comportamiento de la bomba RPH 25-180



Fuente: Easy Elect KSB pump, 2023

De acuerdo a la curva de la bomba seleccionada, se aprecia que el punto de trabajo se encuentra en una zona estable, por lo que se garantiza estabilidad en el flujo.

c) Cálculo de la Potencia del Motor

Determinamos la Potencia del Motor mediante la fórmula propuesta por la HI, donde:

$$\text{Potencia} = \frac{H \cdot Q \cdot \gamma}{270 \cdot n} \quad \text{Ec. 2}$$

Donde:

H: Altura de bombeo → **Total, Cabeza entregado:** 30 m

Q: Caudal requerido en → **Caudal:** 6 m³/h

n: Eficiencia → 38,64 %

g: Gravedad específica → **Gravedad específica:** 0,91 (Tabla No 2.5)

Haciendo uso de una tabla en Excel, calculamos la potencia requerida:

Tabla 8

Cálculo de la potencia del motor

Parámetro	Símbolo	Valor
Altura	H	30 m.c.a
Caudal	Q	06 m ³ /h
Eficiencia	n	38,64 %
Peso específico	g	0,92
Potencia Teórica	Pot	1,24 HP

Fuente: Elaboración propia, 2024

Tomando en cuenta las recomendaciones de la API 610:

Tabla 9

Recomendaciones para la selección del Motor según la API 610

Motor nameplate rating		Percentage of rated pump power %
kW	hp	
<22	<30	125
22 to 55	30 to 75	115
>55	>75	110

Fuente: Recopilado de (API 610, 2021)

Se pide dimensionar la potencia del motor en un 125%, es decir:

$$\text{Potencia Motor Eléctrico} = 1,24 \text{ HP} \times 2,25 = 2,8 \text{ HP}$$

En el mercado, es imposible encontrar un motor con la potencia específica seleccionada, por tal manera, hay que seleccionar un equipo que sea comercial:

Tabla 10

Potencias comerciales de motores eléctricos

HP	KW	Frame
0,50	0,37	80
0,75	0,55	80
1,00	0,75	90S
1,50	1,10	90L
2,00	1,50	100L
3,00	2,20	112M
4,00	3,00	132S
5,50	4,00	132M
7,50	5,50	132M
10,00	7,50	160M

Fuente: Recopilado de (WEG, 2021)

Entonces la potencia del motor requerido será de 3 HP. La ficha técnica de la bomba a detalle que se obtuvo por medio del software se lo adjunta en el Anexo A - 5.

2.2.7 Selección del Tablero de Control

En primer lugar, definimos las características del motor eléctrico (adjunto Anexo A-6) con el que se accionara la bomba:

- **Fabricante del motor:** WEG
- **Tamaño del motor:** 100 L
- **Potencia del motor:** 3 HP
- **N.º de polos:** 2
- **Velocidad de giro:** 2973 rpm
- **Posición de la caja de bornes:** 0° (arriba)
- **Corriente nominal:** 4,71/2,71 A
- **Corriente de arranque:** 35,3/20,3 A

Tomando en cuenta que el accionamiento del motor eléctrico deberá ser automatizado y que además deberá tener elementos de protección, es que detallamos el listado de componentes del tablero eléctrico:

Tabla 11

Componentes del tablero eléctrico seleccionado

CANT.	UND.	MARCA	DESCRIPCION
1	Pzs	RITTAL	Gabinete metálico autoportante IP55 de 80x210x60cm Ind. Alemana
2	Pzs	EATON	Protecciones tipo breaker caja moldeada, regulable 4,71/2,71 A con contacto auxiliar para circuito de control. Ind. Europea
2	Pzs	SCHNEIDER	Accionamientos mediante Variador de Frecuencia.
1	Pzs	PHOENIX C	Relé de nivel para monitoreo de la succión de las bombas
GBL	Pzs	PHOENIX C	Relés y contactores auxiliares para circuito de control 1 PLC (Controlador lógico Programable) para automatización de trabajo alternado de las bombas, así como también realizar el control y monitoreo a distancia del tablero de accionamiento, mediante la función de WEB Server incluida en el equipo.
1	Pzs	-	La función de WEB Server nos permite desarrollar un interfaz gráfico para monitorear parámetros importantes del sistema como ser el estado (ON - OFF - TRIP) de los accionamientos y controlar de manera remota el accionamiento de las bombas, similar a un sistema SCADA. Esta visualización se puede realizar desde un computador conectado al PLC a través de una red ethernet, el computador no está incluido en la oferta.
GBL	Pzs	-	Elementos de mando y señalización

Fuente: Elaboración propia, 2024

2.2.8 Estimación de costos del proyecto

Tomando en cuenta presupuestos referenciales de proyectos offset y de igual manera, solicitando información a empresas proveedoras de equipos y empresas de servicios petroleros, se determinará el costo del presente proyecto de acuerdo al siguiente detalle:

- **Costos de las obras civiles**

Tabla 12

Costos de las obras civiles

ITEM	Descripción del ITEM	Unidad	Cantidad	Precio Unit. USD	Precio Total Bs	Precio Total USD
1	Cavado de zanjas	m ³	40,5	29,10	8.202,71	1.178,55
2	Rellenado y compactado manual	m ³	40,5	24,5	6.906,06	992,25
Total, dólares						2.170,8
Observaciones:				Total, bolivianos		15.108,76
				Tipo de cambio 1USD		6,96

Fuente: Elaboración propia basada en (CYPE INGENIEROS, 2024)

- **Costos de la provisión equipos**

Tabla 13

Costos por la provisión de los equipos

ITEM	Descripción del ITEM	Unidad	Cantidad	Precio Unit. USD	Precio Total Bs	Precio Total USD
1	Bomba RPH 25-180 SM + Motor 3 HP, 2P + Acople + Base estructural	GBL	1	43.757,00	43.757,00	43.757,00
2	Válvula de Compuerta 2" #150	pza	1	328,00	2.282,88	328,00
3	Válvula Check 2" #150	pza	1	680,00	4.732,8	680,00
4	Reducción 1" x 2"	pza	1	40,00	278,4	40,00
5	Reducción 1 ½" x 2"	pza	1	56,00	389,76	56,00
5	Provisión de cañería de succión de 2 ½"	pza	1	160,00	1.113,6	160,00
6	Provisión de cañería de descarga de 2"	pza	20	180,00	25.056	3.600,00
7	Codo de 90°, 2"	pza	7	31,00	1.510,32	217,00
8	Codo de 90°, 2 ½"	pza	1	34,00	236,64	34,00
9	Codo de 45°, 2"	pza	2	35,00	487,2	70,00
10	Tee, 2"	pza	1	27,00	187,92	27,00
Observaciones:				Total, dólares		48.969,00

Total, bolivianos 340.824,24
Tipo de cambio
1USD 6,96

Fuente: Elaboración propia basada en (CYPE INGENIEROS, 2024)

- **Costos del armado de tableros eléctricos**

Tabla 14

Costos por la puesta en marcha de la bomba

ITEM	Descripción del ITEM	Unidad	Cantidad	Precio Unit. USD	Precio Total Bs	Precio Total USD
1	Puesta en marcha de las unidades de Bombeo.	GBL	1	1.023,00	7.120,08	1.023,00
2	Servicios de ingeniería para la construcción del Tablero Eléctrico.	GBL	1	818,00	5.693,28,00	818,00
				Total, dólares		1.841,00
Observaciones:				Total, bolivianos		12.813,36
				Tipo de cambio 1USD		6,96

Fuente: Elaboración propia basada en (CYPE INGENIEROS, 2024)

El costo total tentativo del presente proyecto será igual a la sumatoria de los costos por las obras civiles, provisión de equipos y servicios especializados por la puesta en marcha. Cabe recalcar que dentro de la “Gestión de Proyectos” se suele añadir un valor del 10% por temas administrativos y/o seguridad legal, dichos montos no fueron tomados en cuenta al tratarse de un proyecto de índole académico.

$$\text{Costo Total (USD)} = 2.170,8 + 48.969,00 + 3.870,00 + 1.841,00$$

$$\text{Costo Total (USD)} = 56.850,80$$

El monto calculado líneas arriba es un monto relativamente accesible para la empresa operadora, por lo cual puede ser fácilmente registrable dentro del programa operativo anual.

2.3 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

2.3.1 Análisis de resultados

De acuerdo a los problemas operativos con los que se cuenta actualmente en la batería Toro se propuso el instalar un sistema de recirculación de petróleo crudo, donde los principales puntos a resaltar son los siguientes:

- Por la topografía de la zona, la trayectoria de la cañería propuesta considerando la diferencia de cotas se aproxima a los 100 m de longitud lineal, la cual por temas de seguridad será instalada con cañería de acero negro al carbono, ya que es un material de bajo costo y se encuentra dentro de los estándares que rigen las prácticas recomendadas de las empresas petroleras.
- La bomba seleccionada es de pequeñas dimensiones, pero tiene un costo relativamente alto, esto se debe a que el equipo propuesto cumple los estándares de la API 610, este tipo de unidades son exclusivas para la manipulación de hidrocarburos y se encuentra inscrita dentro de las reglamentaciones que se aplican en la operación de plantas que manipulan hidrocarburos.
- El tablero de control propuesto fue seleccionado de acuerdo a la potencia del motor calculado y cumple con todos los requisitos mínimos que se exigen en plantas petroleras.

2.3.2 Discusión de resultados

Como se mencionó en los antecedentes del presente proyecto, no se pudieron recabar información de trabajos de investigación relacionados con el tema de estudio, ni a nivel local, nacional e internacional, por lo que no es posible realizar una comparativa de los resultados obtenidos con dichos trabajos.

CAPÍTULO III: CONCLUSIONES

Se determinó la capacidad operativa de la Batería de almacenamiento Toro, la cual recibe la producción de petróleo y agua de los pozos del Campo Toro, y cuenta en la actualidad con 5 tanques abulonados de 500 y 1000 Bbl, que suman una capacidad total de 2.500 Bbl.

Se elaboró un esquema isométrico para definir la trayectoria ascendente de la tubería que conectará la pileta API, situada a un nivel inferior, con los tanques de almacenamiento, calculando una longitud total de aproximadamente 100 metros. Además, se determinó que el diámetro recomendado de la cañería es de 2 pulgadas, basado en el caudal y la pérdida de carga calculados, considerando la longitud total del tramo y los accesorios a instalar.

Se determinó que la bomba debía ser construida exclusivamente bajo los estándares de la norma API 610. Se consideró la marca KSB debido a su prestigio como uno de los mayores fabricantes a nivel mundial y la disponibilidad de abundante información gratuita para descarga y estudio. El modelo elegido fue el RPH 25-180, que cumple con los estándares de la API 610. La potencia del motor seleccionada es de 3 HP, ya que el caudal calculado es relativamente bajo. Además, la bomba es adecuada para trabajar en instalaciones con succión negativa.

Los componentes seleccionados para el armado del tablero de control incluyen dispositivos estándar de control y protección, como relés, contactores, interruptores y unidades de monitoreo, diseñados específicamente para asegurar la operación eficiente y segura de la bomba. Estos componentes garantizan la protección contra sobrecargas, cortocircuitos y otros fallos eléctricos, además de proporcionar funcionalidades de automatización y control remoto que optimizan la gestión del sistema de bombeo.

El costo total para la implementación del proyecto asciende a 56.850,80 USD. Este monto incluye la provisión completa de todos los equipos necesarios, tales como la bomba, el tablero de control, válvulas, y tuberías, además de los servicios de instalación y puesta en marcha. Los servicios abarcan la configuración inicial, pruebas de funcionamiento, calibración de sistemas y la capacitación del personal operativo, asegurando así que el sistema esté completamente funcional y alineado con los estándares de calidad y seguridad establecidos.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- 1) Alcoba, Y. C. (2023). Jefa de Proyectos Multisteel Bolivia. (R. A. Llanos, Entrevistador)
- 2) ANH. (2012). REGLAMENTO PARA CONSTRUCCION Y OPERACIÓN DE PLANTAS DE ALMACENAJE DE COMBUSTIBLES LIQUIDOS. ANH.
- 3) API. (2014). API 2610. Washington D. C.: API.
- 4) API 610. (2021). Centrifugai Pumps for Petroleum Petrochemical, and Natural Gas Industries. Washington D. C.: API.
- 5) Cabrera, J. A. (1985). Manejo de la Producción en Superficie. Mexico DF: UNAM.
- 6) Cabrera, J. A. (1990). MANEJO DE LA PRODUCCION EN SUPERFICIE. MEXICO: UNAM.
- 7) CYPE INGENIEROS. (2024). GENERADOR DE PRECIOS - ESPACIOS URBANOS. Obtenido de http://www.bolivia.generadordeprecios.info/espacios_urbanos/Acondicionamiento_del_terreno/AC_Movimiento_de_tierras_en_obra_/Excavaciones/Excavacion_de_zanjas__con_explosivos_0_0_0_0_0_0_6_0.html
- 8) E. Luna, M. (3 de Julio de 2006). Guia para la Seleccin de Válvulas de Retención.
- 9) ELECTRORED. (2021). AUTOMATIZACION DE BOMBAS CENTRIFUGAS. BOGOTA: ELECTRORED.
- 10) HANSA LTDA. (2022). Informe de relevamiento de bombas. Santa Cruz.
- 11) Kessler, L. (2020). AFINIDAD ELECTRICA. MEXICO: UNAM.
- 12) KSB . (2002). SELECCIÓN Y APLICACIÓN DE BOMBAS CENTRIFUGAS. Buenos Aires - Argentina: KSB GROUP.
- 13) KSB . (2022). BOMBAS RPH. FRANKENTHAL: KSB.
- 14) López, J. E. (2001). Manual de instalaciones de GLP. Madrid - España: CEPESA ELF GAS, S.A.
- 15) MULTISTEEL. (2022). CATALOGO BOMBAS RSA. SAU PAULO: MULTISTEEL.
- 16) Pefow Equipamientos S.A. (2005). Manuel de Equipos Pefow. Buenos Aires.
- 17) PLUSPETROL. (2018). RELEVAMIENTO DE CAMPO. TARIJA.
- 18) PLUSPETROL BOLIVIA CORPORATION S.A. (2017). PROGRAMA DE TRABAJO Y PRESUPUESTO - 2017 "CAMPOS BERMEJO - TORO". SANTA CRUZ: PLUSPETROL.
- 19) Viejo Zubicaray, M. (2001). Bombas: Teoría, diseño y aplicaciones. a: b.
- 20) WEG. (2021). MOTORES ELECTRICOS. RIO DE JANEIRO: WEG.

- 21) YPF. (2011). Manual de Operaciones y Mantenimiento en Aeroplantas. BUENOS AIRES: YPF.
- 22) YPFB AVIACION. (2023). INFORME TECNICO ANUAL. SANTA CRUZ : YPFB AVIACION.
- 23) YPFB Corporación. (2012). YPFB Corporación. Recuperado el 4 de abril de 2012, de La Industria del Petróleo y del Gas: <http://www.ypfb.gob.bo>
- 24) YPFB CORPORACION. (2022). ANALISIS Y CALIDAD DE LOS HIDROCARBUROS PLANTA BERMEJO-TORO. SANTA CRUZ.

ANEXOS

ANEXO 1: LARGO EQUIVALENTE PARA LAS PERDIDAS DE CARGA LOCALIZADAS

DIAMETRO D			CODIGO 90° CURVA LARGA		CODIGO 90° CURVA MEDIA		CODIGO 90° CURVA CORTA		CODIGO 45°		CURVA 90° R/D - 1 1/2		CURVA 90° R/D - 1		CURVA 45°		ENTRADA NORMAL		ENTRADA EXTENDIDA		VÁLVULA DE CORTE ABIERTA		VÁLVULA DE GLOBO ABIERTA		VÁLVULA DE GLOBO EN ÁNGULO ABIERTA		TEE CON PASAJE DIRECTO		TEE CON SALIDA LATERAL		TEE CON SALIDA BILATERAL		VÁLVULA DE PIE Y FILTRO		SALIDA CANALIZACIÓN		VÁLVULA DE RETENCIÓN TIPO BOLA		VÁLVULA DE RETENCIÓN TIPO CHAPALETA	
	mm	pulg																																						
13	½	0.3	0.4	0.5	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.4	0.4	0.1	0.1	4.9	2.6	0.3	1.0	1.0	3.6	0.4	1.1	1.6										
19	¾	0.4	0.6	0.7	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.5	0.5	0.1	0.1	6.7	3.6	0.4	1.4	1.4	5.6	0.5	1.6	2.4										
25	1	0.5	0.7	0.8	0.4	0.3	0.4	0.3	0.4	0.3	0.4	0.3	0.4	0.3	0.4	0.3	0.3	0.7	0.7	0.2	0.2	8.2	4.6	0.5	1.7	1.7	7.3	0.7	2.1	3.2										
32	1¼	0.7	0.9	1.1	0.5	0.4	0.5	0.4	0.6	0.3	0.4	0.5	0.4	0.5	0.4	0.5	0.4	0.9	0.9	0.2	0.2	11.3	5.6	0.7	2.3	2.3	10.0	0.9	2.7	4.0										
38	1½	0.9	1.1	1.3	0.6	0.5	0.6	0.5	0.7	0.3	0.5	0.6	0.5	0.6	0.5	0.6	0.5	1.0	1.0	0.3	0.3	13.4	6.7	0.9	2.8	2.8	11.6	1.0	3.2	4.8										
50	2	1.1	1.4	1.7	0.8	0.6	0.8	0.6	0.9	0.4	0.7	0.8	0.7	0.8	0.7	0.8	0.7	1.5	1.5	0.4	0.4	17.4	8.5	1.1	3.5	3.5	14.0	1.5	4.2	6.4										
63	2½	1.3	1.7	2.0	0.9	0.7	1.0	0.8	1.0	0.5	0.9	0.9	0.9	1.0	0.9	1.0	0.9	1.9	1.9	0.4	0.4	21.0	10.0	1.3	4.3	4.3	17.0	1.9	5.2	8.1										
75	3	1.6	2.1	2.5	1.2	1.0	1.3	1.0	1.3	0.6	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1	1.2	1.1	2.2	2.2	0.5	0.5	26.0	13.0	1.6	5.2	5.2	20.0	2.2	6.3	9.7										
100	4	2.1	2.8	3.4	1.3	1.3	1.6	1.3	1.6	0.7	1.6	1.6	1.6	1.7	1.6	1.7	1.6	3.2	3.2	0.7	0.7	34.0	17.0	2.1	6.7	6.7	23.0	3.2	6.4	12.9										
125	5	2.7	3.7	4.2	1.9	1.6	2.1	1.6	2.1	0.9	2.0	2.0	2.0	2.1	2.0	2.1	2.0	4.0	4.0	0.9	0.9	43.0	21.0	2.7	8.4	8.4	30.0	4.0	10.4	16.1										
150	6	3.4	4.3	4.9	2.3	1.9	2.5	1.9	2.5	1.1	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	5.0	5.0	1.1	1.1	51.0	26.0	3.4	10.0	10.0	39.0	5.0	12.5	19.3										
200	8	4.3	5.5	6.4	3.0	2.4	3.3	2.4	3.3	1.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	6.0	6.0	1.4	1.4	67.0	34.0	4.3	13.0	13.0	52.0	6.0	16.0	25.0										
250	10	5.5	6.7	7.9	3.8	3.0	4.1	3.0	4.1	1.8	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	7.5	7.5	1.7	1.7	85.0	43.0	5.5	16.0	16.0	65.0	7.5	20.0	32.0										
300	12	6.1	7.9	9.5	4.6	3.6	4.8	3.6	4.8	2.2	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	9.0	9.0	2.1	2.1	102.0	51.0	6.1	19.0	19.0	78.0	9.0	24.0	38.0										
350	14	7.3	9.5	10.5	5.3	4.4	5.4	4.4	5.4	2.5	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	11.0	11.0	2.4	2.4	120.0	60.0	7.3	22.0	22.0	90.0	11.0	28.0	45.0										

Fuente: KSB pump, 2023

ANEXO 2:
TABLA DE PERDIDA DE CARGA

Vazão (m³/h)	1"					1.¼"					1.½"					2"				
	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
1	2.70	0.01	--	0.02	0.01	0.75	--	--	--	--	0.22	--	--	--	--	0.08	--	--	--	--
1.5	6.00	0.02	--	0.06	0.04	1.60	0.01	--	0.02	0.01	0.50	--	--	--	--	0.17	--	--	--	--
2	10.0	0.06	--	0.15	0.09	2.70	0.02	--	0.05	0.03	0.80	--	0.10	--	--	0.28	--	--	--	--
3	21.5	0.12	--	0.30	0.18	6.00	0.04	--	0.10	0.06	1.80	0.02	0.15	0.04	0.02	0.60	--	0.10	--	--
4	27.0	0.25	--	0.60	0.36	10.0	0.08	--	0.20	0.12	3.00	0.03	0.20	0.07	0.04	1.05	--	0.15	--	--
5	55.0	0.32	--	0.80	0.48	15.5	0.12	--	0.30	0.18	4.70	0.04	0.25	0.11	0.06	1.60	--	0.15	--	--
6	80.0	0.40	--	1.00	0.60	22.0	0.16	--	0.40	0.30	6.60	0.06	0.35	0.15	0.09	2.20	0.03	0.20	0.07	0.04
8						37.0	0.28	--	0.70	0.40	11.5	0.12	0.65	0.30	0.18	3.90	0.04	0.25	0.11	0.06
10						56.0	0.45	--	1.10	0.65	17.0	0.20	--	0.50	0.30	5.70	0.08	0.40	0.20	0.12
12											24.0	0.23	--	0.72	0.33	8.00	0.12	0.58	0.29	0.17
14											32.0	0.31	--	0.98	0.45	11.0	0.15	0.75	0.38	0.23
15											37.0	0.40	--	1.00	--	12.5	0.16	--	0.40	0.24
16											42.0	0.46	--	1.14	0.68	14.0	0.18	--	0.46	0.27
18											51.0	0.64	--	1.59	0.95	17.0	0.25	--	0.63	0.38
20											63.0	0.80	--	2.00	1.20	21.5	0.30	--	0.70	0.40
22																26.0	0.36	--	0.85	0.48
24																30.0	0.40	--	1.01	0.58
25																33.0	0.40	--	1.10	0.65
26																35.0	0.43	--	1.19	0.70
28																40.0	0.50	--	1.38	0.82
30																45.0	0.60	--	1.50	0.90
35																61.0	0.80	--	2.00	1.20
40																				
45																				
50																				
55																				
60																				
65																				
70																				
75																				
80																				
85																				
90																				
95																				
100																				
110																				
120																				
130																				
140																				
150																				
160																				
170																				
180																				
190																				
200																				
210																				
220																				
240																				
260																				
280																				
300																				
320																				
340																				
360																				
380																				
400																				
450																				
500																				
Vazão (m³/h)	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
Diámetro Nominal	25 mm					32 mm					40 mm					50 mm				

Fuente: KSB pump, 2023

ANEXO 3:
TABLA DE PERDIDA DE CARGA (continuación)

2.1/2"					3"					4"					5"					Diámetro Nominal	Vazão (m³/h)
A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E		
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	1	
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	1,5	
0.07	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	2	
0.16	--	--	--	--	0.05	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	3	
0.27	--	0.10	--	--	0.10	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	4	
0.42	--	0.10	--	--	0.15	--	--	--	--	0.05	--	--	--	--	--	--	--	--	--	5	
0.60	X	0.15	X	X	0.20	X	0.10	X	X	0.07	X	X	X	X	--	--	--	--	--	6	
1.00	X	0.20	X	X	0.35	X	0.15	X	X	0.13	X	0.10	X	X	--	--	--	--	--	8	
1.50	0.03	0.25	0.06	0.04	0.50	X	0.20	X	X	0.20	X	0.10	X	X	0.06	--	--	--	--	10	
2.20	0.04	0.28	0.09	0.06	0.73	X	0.23	X	X	0.26	X	0.14	X	X	0.09	--	--	--	--	12	
2.90	0.05	0.38	0.13	0.08	1.00	X	0.29	X	X	0.35	X	0.19	X	X	0.10	--	0.10	--	--	14	
3.30	0.06	0.40	0.15	0.04	1.10	0.02	0.30	0.06	0.04	0.40	X	0.20	X	X	0.13	--	0.15	--	--	15	
3.70	0.07	0.46	0.17	0.10	1.25	0.02	0.34	0.07	0.05	0.45	X	0.23	X	X	0.12	--	0.15	--	--	16	
4.50	0.10	0.53	0.23	0.14	1.60	0.03	0.37	0.08	0.05	0.56	X	0.26	X	X	0.17	--	0.20	--	--	18	
5.70	0.10	0.60	0.25	0.15	2.00	0.04	0.40	0.11	0.07	0.70	0.03	0.30	0.07	0.04	0.23	--	0.25	--	--	20	
6.80	0.12	0.83	0.30	0.18	2.30	0.05	0.48	0.13	0.08	0.80	0.04	0.31	0.08	0.05	0.25	--	0.25	--	--	22	
8.00	0.16	0.97	0.36	0.22	2.70	0.06	0.50	0.16	0.10	0.95	0.04	0.33	0.08	0.05	0.30	--	0.26	--	--	24	
8.50	0.18	--	0.45	0.27	3.00	0.08	0.50	0.20	0.12	1.10	0.04	0.35	0.08	0.05	0.35	--	0.30	--	--	25	
9.00	0.17	--	0.48	0.29	3.20	0.09	0.54	0.22	0.13	1.00	0.04	0.35	0.09	0.05	0.35	--	0.27	--	--	26	
11.0	0.22	--	0.56	0.34	3.60	0.10	0.57	0.25	0.15	1.30	0.05	0.38	0.10	0.06	0.40	--	0.29	--	--	28	
12.0	0.24	--	0.60	0.36	4.20	0.10	0.60	0.25	0.15	1.50	0.05	0.40	0.12	0.07	0.50	--	0.30	--	--	30	
16.0	0.30	--	0.75	0.45	5.70	0.15	0.80	0.35	0.21	2.00	0.06	0.45	0.15	0.09	0.65	0.02	0.35	0.06	0.04	35	
20.5	0.45	--	1.10	0.65	7.00	0.18	--	0.45	0.27	2.50	0.07	0.50	0.18	0.11	0.80	0.03	0.35	0.08	0.05	40	
26.0	0.55	--	1.40	0.85	9.00	0.22	--	0.55	0.33	3.10	0.08	0.60	0.20	0.12	1.00	0.04	0.40	0.10	0.05	45	
32.0	0.60	--	1.50	0.90	11.0	0.26	--	0.65	0.40	3.80	0.12	0.70	0.30	0.18	1.25	0.05	0.45	0.15	0.09	50	
43.0	0.67	--	--	--	11.7	0.33	--	0.77	0.47	4.80	0.12	--	0.35	0.19	1.70	0.06	0.54	0.16	0.11	55	
					16.0	0.40	--	1.00	0.60	5.50	0.16	--	0.40	0.25	1.80	0.08	0.50	0.20	0.12	60	
Coluna A = tubulação					16.4	0.42	--	1.10	0.68	6.20	0.18	--	0.47	0.26	2.20	0.08	0.61	0.55	0.14	65	
Coluna B = curva de 90°					21.0	0.60	--	1.50	0.90	7.20	0.22	--	0.55	0.33	2.40	0.10	0.60	0.25	0.15	70	
Coluna C = válvula de pé					--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	75	
Coluna D = válvula de retenção					26.5	0.80	--	2.00	1.20	9.20	0.26	--	0.65	0.40	3.10	0.12	0.70	0.30	0.18	80	
Coluna E = válvula gaveta					30.0	0.90	--	--	--	10.0	0.30	--	0.78	0.47	3.40	0.13	0.75	0.33	0.19	85	
										12.0	0.32	--	0.80	0.50	3.80	0.14	--	0.35	0.20	90	
										12.3	0.40	--	0.96	0.60	4.50	0.16	--	0.40	0.25	95	
										14.0	0.50	--	1.20	0.70	4.70	0.18	--	0.46	0.27	100	
										17.0	0.60	--	1.45	0.85	5.60	0.21	--	0.58	0.34	110	
										20.0	0.80	--	2.00	1.20	6.60	0.26	--	0.65	0.40	120	
										7.25	0.30	--	0.76	0.45						130	
										9.00	0.34	--	0.85	0.50						140	
										9.20	0.42	--	0.97	0.60						150	
										11.5	0.45	--	1.10	0.65						160	
										12.5	0.55	--	1.20	0.78						170	
										14.0	0.60	--	1.50	0.90						180	
										14.8	0.70	--	1.80	1.05						190	
										17.5	0.80	--	2.00	1.20						200	
										19.5	--	--	--	--						210	
										22.0	--	--	--	--						220	
										26.0	--	--	--	--						240	
										29.0	--	--	--	--						260	
										32.0	--	--	--	--						280	
										36.0	--	--	--	--						300	
																				320	
																				340	
																				360	
																				380	
																				400	
																				450	
																				500	
																				600	
A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	Diámetro Nominal	Vazão (m³/h)
65 mm					80 mm					100 mm					125 mm						

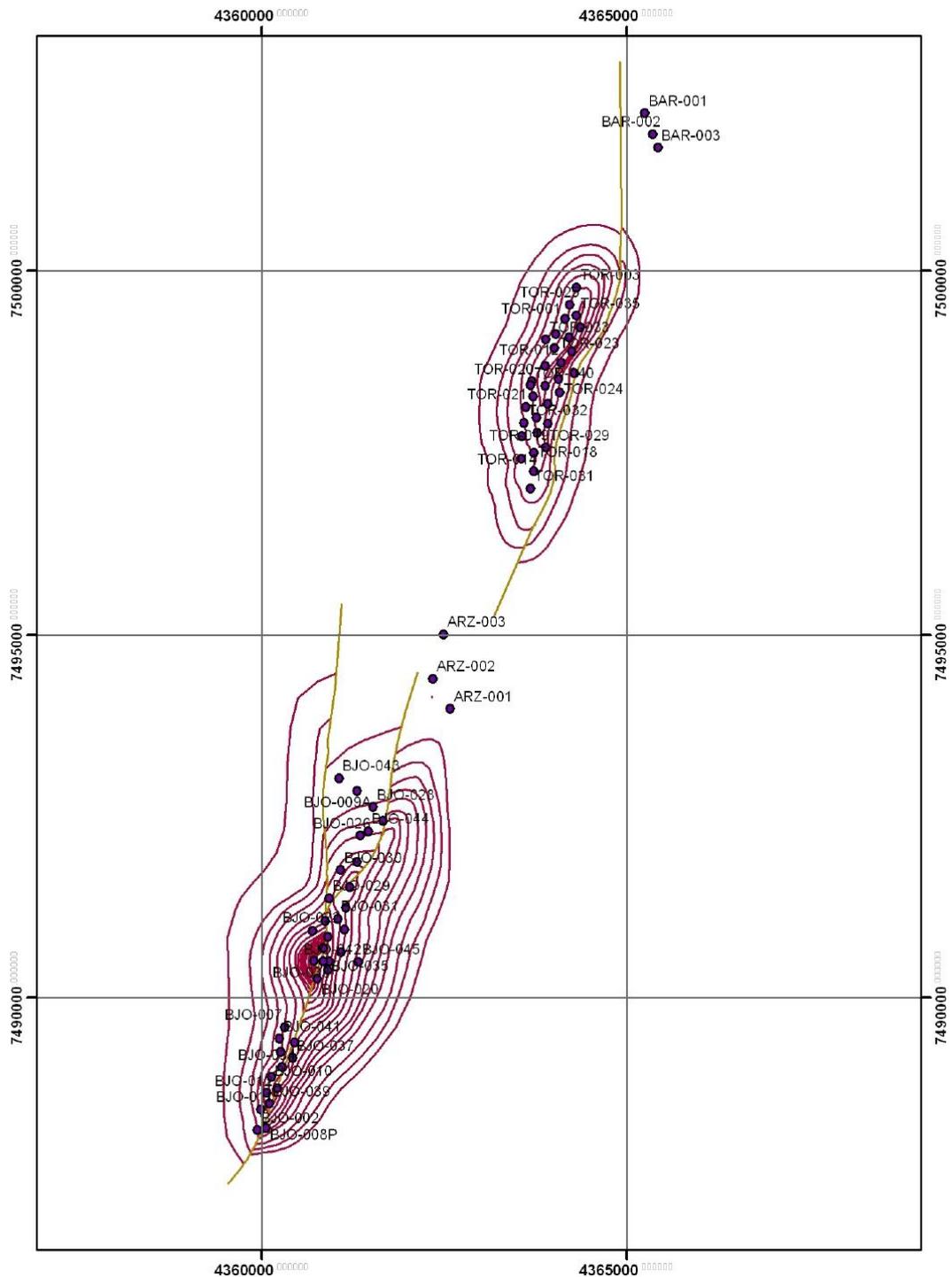
Observações:

- 1- As perdas de pressão estão expressas em metros por 100 metros para tubulações de ferro fundido ou galvanizado (Coluna A) e em metros para o demais acessórios (Colunas B, C, D e E).
- 2- Para as tubulações de sucção, não utilizar os valores contidos nos [] devido a velocidade excessiva no tubo.
- 3- Tubos de aço sem costura, alumínio ou plástico, possuem perdas de pressão inferiores ao informado nesta tabela (aproximadamente 20%). No entanto, quando estes tubos estiverem providos de juntas rápidas, os mesmos oferecem perdas maiores, sendo preferível não aplicar a redução informada.
- 4- Para tubos usados, a perda de carga deve ser determinada através de testes. Como de uso sobre os valores da Coluna A.
- 5- Para uma melhor compreensão da Tabela de Perdas de Carga, verificar o exemplo correspondente constante no item "Cálculo da Altura Manométrica Total".



X Valores desprezíveis

ANEXO 4: MAPA ESTRUCTURAL CAMPOS BERMEJO – TORO



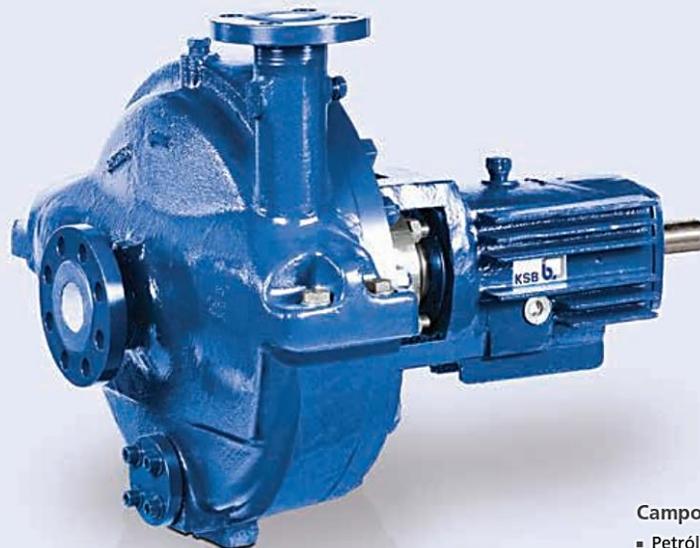
Fuente: (PLUSPETROL BOLIVIA CORPORATION S.A., 2017)

ANEXO 5:
FOLLETO CARACTERISTICO DE LA BOMBA KSB RPH

➤ **Nuestra tecnología. Su éxito.**
Bombas - Válvulas - Servicio



RPH – bomba de proceso OH2 de tipo
heavy duty según ISO 13709 / API 610



Campos de aplicación:

- Petróleo y gas, industria petroquímica, centrales eléctricas

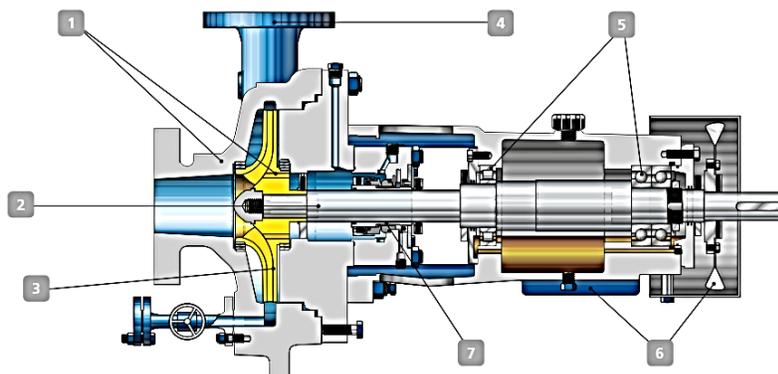
Información adicional:

www.ksb.com/products

Fuente: KSB pump, 2023

ANEXO 6:
FOLLETO CARACTERISTICO DE LA BOMBA KSB RPH (continuación)

RPH – bomba de proceso OH2 de tipo heavy duty según ISO 13709 / API 610



1 Bajos costes de mantenimiento

- Gracias al diseño personalizado del dispositivo de descarga en función del punto de servicio, se reducen notablemente las fuerzas axiales y se prolonga la vida útil de los cojinetes.
- La doble voluta (a partir de DN 80) reduce la fuerza radial y previene la flexión del eje, disminuyendo de forma considerable las cargas sobre los cojinetes y el cierre mecánico.

2 Larga vida útil del cierre mecánico

El diámetro máximo permitido del eje según API 610 se traduce en una escasa flexión del eje y un bajo nivel de vibraciones.

3 Costes operativos reducidos

Con más de 70 sistemas hidráulicos, siempre existe un diseño óptimo conforme con API para mejorar el rendimiento.

4 Flexibilidad elevada

Las bridas de bomba son disponibles para todos los tipos de tubería habituales, ya que se fabrican según los requisitos de todas las normas hasta PN100 / clase ASME 600.

Materiales

S1, S5, S6, S8, C6, A8, D1 y materiales especiales

5 Larga vida útil y gran fiabilidad de los cojinetes

- Los robustos cojinetes axiales de contacto angular de 40° superan los requisitos de la norma API.
- Lubricación por baño de aceite o nebulización.

6 No se requiere circuito de refrigeración

En caso de temperaturas del fluido y ambiente altas, los soportes de acero de los cojinetes con aletas de refrigeración integradas y el ventilador opcional evitan el sobrecalentamiento de la bomba.

7 Bajo mantenimiento

Los cierres mecánicos según ISO 24109 / API 682 de tipo cartucho facilitan el mantenimiento, dado que se montan y desmontan con rapidez.

Datos técnicos	50 Hz	60 Hz
DN [mm]	25 – 400	25 – 400
DN [inch]	1 – 16	1 – 16
Q [m³/h]	máx. 4.150	máx. 5.000
Q [US.gpm]	máx. 18.200	máx. 22.000
H [m]	máx. 270	máx. 270
H [ft]	máx. 885	máx. 885
p [bar]	máx. 110	máx. 110
p [psi]	máx. 1.595	máx. 1.595
T [°C]	de -70 a +450	de -70 a +450
T [°F]	de -94 a +842	de -94 a +842



KSB SE & Co. KGaA
Johann-Klein-Straße 9
67227 Frankenthal (Alemania)
www.ksb.com

Fuente: KSB pump, 2023

ANEXO 7:
DATA SHET BOMBA RPH 25-180

Nº de posición del cliente:
 Pedido fechado:
 Doc. no.: Quick quote
 Cantidad: 1

Número: ES 8002979850
 Nº de artículo: 100
 Desede: 19/05/2024
 Página: 1 / 10

RPH S6 025-180

Bomba centrífuga de servicio pesado conforme a API 610, 12ª versión

Versión nº.: 1

Datos de trabajo

Caudal bombeado requerido	6,00 m ³ /h	Eficiencia	25,5 %
Altura de bombeo requerida	30,00 m	Absorción de potencia	1,92 kW
Medio bombeado	agua	Velocidad de rotación de la bomba	2957 rpm
	Agua limpia	NPSH 3%	1,05 m
Indicaciones detalladas sobre el líquido de bombeo	No contiene sustancias químicas o mecánicas que afecten a los materiales	NPSH requerido	1,05 m
Temperatura ambiente máxima	20,0 °C	Presión permitida de trabajo	40,00 bar.r
Temperatura ambiente mínima	20,0 °C	Pres. descarga	2,94 bar.r
Temperatura del medio a bombear	20,0 °C	Presión diferencial	2,94 bar
Densidad del fluido	998 kg/m ³	Pres. prensaestopa	2,29 bar
Viscosidad del medio a bombear	1,00 mm ² /s	Altura de bombeo en el punto de caudal cero	32,04 m
Presión del vapor	0,02 bar.a	Presión en el punto de caudal cero	3,14 bar.r
Máx presión de aspiración	0,00 bar.r	Índice de mínimo flujo térmico	0,89 m ³ /h
Temperatura de diseño	20,0 °C	Min.caudal permitido para funcionamiento estable continuo	2,66 m ³ /h
Presión de diseño máxima (MAWP) al alcanzar la temperatura de diseño	40,00 bar.r	Máx.caudal permisible (bomba)	9,26 m ³ /h
Relación Q / Qopt	67,6 %	Se recomienda Qmin	6,21 m ³ /h
Potencia máxima de curva	2,30 kW	Se recomienda Qmax	9,26 m ³ /h
		Velocidad de aspiración espec. (NSS)	140
		Nivel de presión sonora LpA para bomba con motor	72 dBa
		Marcha de prueba hidráulica	Sí

Fuente: KSB pump, 2023

ANEXO 8: DATA SHET BOMBA RPH 25-180 (continuación)

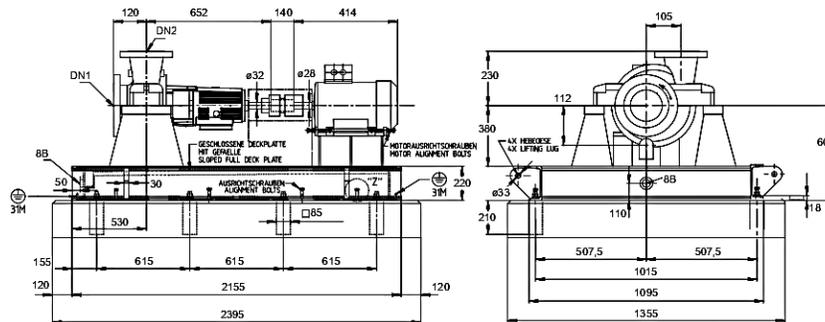
Nº de posición del cliente:
Pedido fechado:
Doc. no.: Quick quote
Cantidad: 1

Número: ES 8002979850
Nº de artículo:100
Desede: 19/05/2024
Página: 6 / 10

RPH S6 025-180

Versión nº.: 1

Bomba centrífuga de servicio pesado conforme a API 610, 12ª versión



El plano no es para medir

Solo temporalmente

Dimensiones en mm

Motor

Fabricante del motor	Motor KSB
Tamaño del motor	112M
Potencia del motor	4,00 kW
Nº de polos	2
Velocidad de giro	2973 rpm
Posición de la caja de bornes	0° (arriba)
	visto desde el accionamiento

Conexiones

Tipo de superficie	Cara con realce (B / RF)
Brida de succión conforme a (DN1)	EN1092-1 / DN 40 / PN 40
Brida de descarga conforme a (DN2)	EN1092-1 / DN 25 / PN 40

Aberturas con bridas se facilitan con cierres metálicos de al menos 5 mm de espesor, con juntas de elastómero y al menos 4 tornillos de diámetro total.

Placa de base

Ejecución	Construcción de acero soldada según API 610, 12ª edición (Tipo B)
Tamaño	K3.5
Material	Acero ST
Placa base drenaje fugas (8B)	NPT 2, Placa de cubierta cerrada con declive
Modelo del conducto de purga de la bancada	Sin
Pernos de anclaje	M20x250 (necesario, no incluido en el volumen de suministro)

Acoplamiento

Fabricante de acoplamiento	KTR
Tipo de acoplamiento	Rigidflex -N
Tamaño de acoplamiento	46
Pieza de separación	140,0 mm

Peso neto

Bomba	141 kg
Placa de base	763 kg
Acoplamiento	3 kg
Protección del acoplamiento	4 kg
Motor	38 kg
Total	949 kg

Conectar tuberías sin tensión o resistencia

Ver plano extra para las conexiones auxiliares

Fuente: KSB pump, 2024

ANEXO 9: DATA SHET BOMBA RPH 25-180 (continuación)

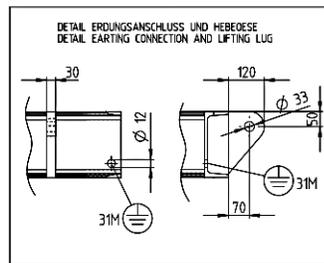
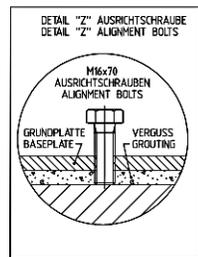
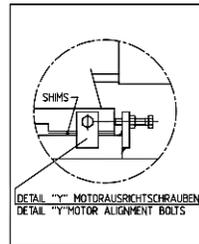
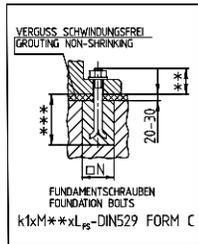
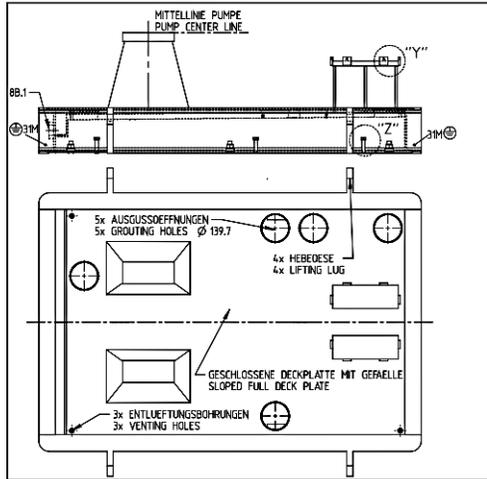
Nº de posición del cliente:
 Pedido fechado:
 Doc. no.: Quick quote
 Cantidad: 1

Número: ES 8002979850
 Nº de artículo:100
 Desede: 19/05/2024
 Página: 7 / 10

RPH S6 025-180

Bomba centrífuga de servicio pesado conforme a API 610, 12ª versión

Versión nº.: 1



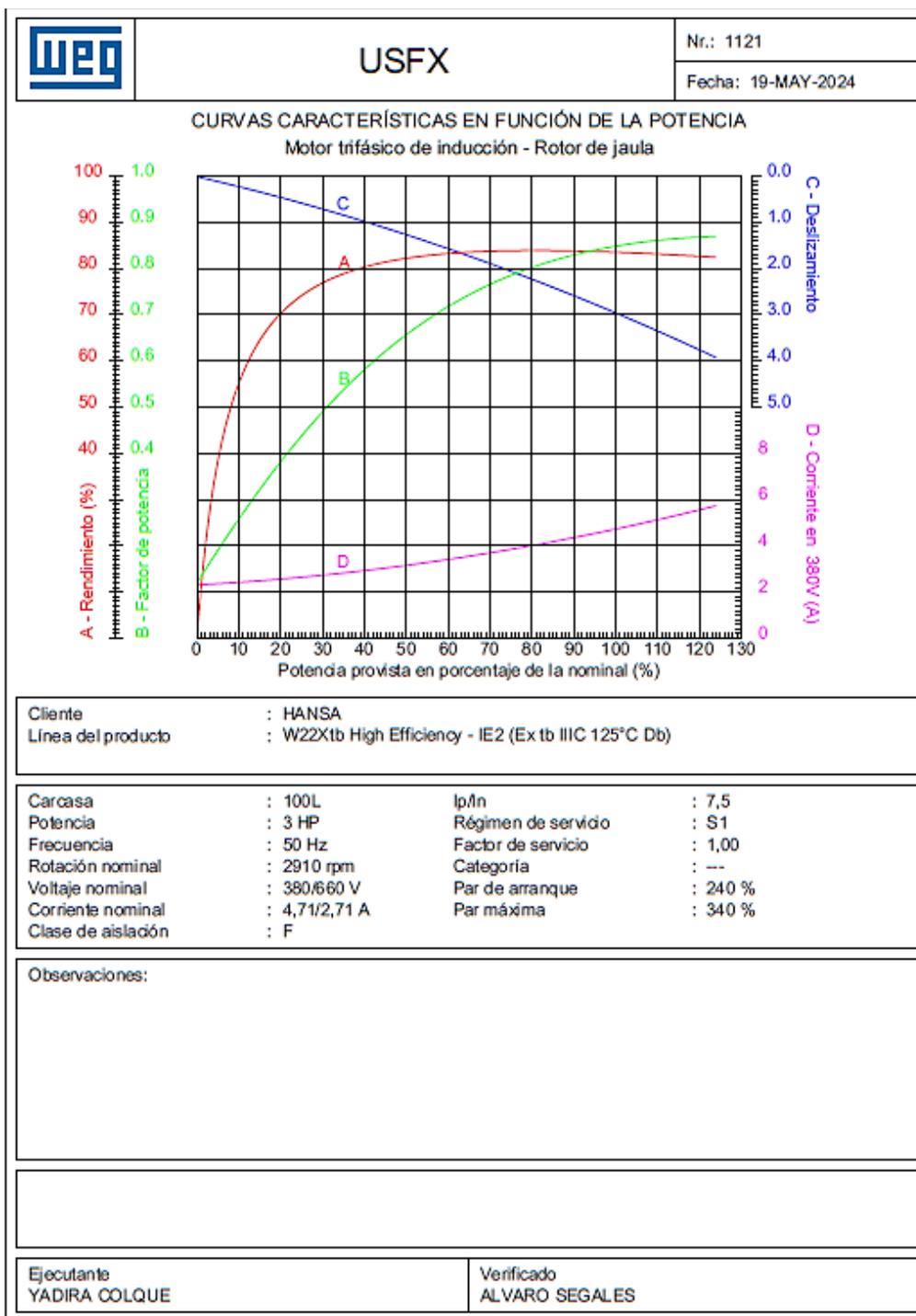
Fuente: KSB pump, 2024

ANEXO 10:
DATA SHET MOTOR ELECTRICO

	USFX		Nr.: 1121			
			Fecha: 19-MAY-2024			
HOJA DE DATOS Motor trifásico de inducción - Rotor de jaula						
Cliente : HANSA Línea del producto : W22Xtb High Efficiency - IE2 (Ex tb IIC 125°C Db)						
Carcasa : 100L Potencia : 3 HP Frecuencia : 50 Hz Polos : 2 Rotación nominal : 2910 rpm Deslizamiento : 3,00 % Voltaje nominal : 380/660 V Corriente nominal : 4,71/2,71 A Corriente de arranque : 35,3/20,3 A Ip/In : 7,5 Corriente en vacío : 2,32/1,33 A Par nominal : 7,22 Nm Par de arranque : 240 % Par máxima : 340 % Categoría : — Clase de aislación : F Elevación de temperatura : 80 K Tiempo de rotor bloqueado : 15 s (caliente) Factor de servicio : 1,00 Régimen de servicio : S1 Temperatura ambiente : -20°C - +40°C Altitud : 1000 m Protección : IP66 Masa aproximada : 31 kg Momento de inercia : 0,00428 kgm² Nivel de ruido : 67 dB(A)						
		Delantero	Trasero	Carga	Factor de potencia	Rendimiento (%)
Rodamiento		6206 ZZ	6205 ZZ	100%	0,85	83,6
Intervalo de lubricación		—	—	75%	0,78	83,6
Cantidad de grasa		—	—	50%	0,66	82,5
Observaciones:						
Rendimiento de acuerdo con el método indirecto de IEC 60034-1:2007 con pérdidas aleatorias de la carga determinadas de las medidas.						
Ejecutante YADIRA COLQUE				Verificado ALVARO SEGALES		

Fuente: WEG, 2024

ANEXO 11:
DATA SHET MOTOR ELECTRICO (continuación)



Fuente: WEG, 2024