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

VICERRECTORADO

CENTRO DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

REDISEÑO DEL SISTEMA DE TRASVASE DE GASOLINA DE AVIACIÓN DE ACUERDO AL REGLAMENTO DE OPERACIÓN DE PLANTAS DE COMBUSTIBLES LÍQUIDOS EN LA AEROPLANTA RIBERALTA

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

JUANA ARATEA ORTIZ

Sucre – Bolivia

2023

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.

Juana Aratea Ortiz

Sucre, diciembre de 2023

DEDICATORIA

A Dios por permitirme cumplir mis metas, por darme vida, salud y fuerza para seguir adelante con mis propósitos.

A MI PRIMA: FLORENCIA PEREZ Por haberme apoyado en mi formación no solo como profesional, sino también como persona.

A MI PADRE: NATIVO ARATEA C. que en paz descanse (+) que me guio desde arriba me dio fuerzas para no rendirme.

A MI MADRE: EMILDA ORTIZ mamita gracias por tu apoyo incondicional, por las enseñanzas que me diste.

A MIS HERMANOS: Se lo dedico a mis hermanos porque de alguna forma u otra siempre estuvieron presente apoyándome durante este largo camino.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, agradecer infinitamente a Dios, por darme salud para seguir adelante, apoyo moral para no rendirme y cumplir mis metas.

A mi familia, que fueron participes de este proceso directa o indirectamente, por el apoyo moral a no rendirme y cumplir mis metas.

A la universidad San Francisco Xavier de Chuquisaca por acogerme en sus instalaciones y poder nutrirme de conocimientos que me servirán para toda la vida, a los docentes de mi carrera, que fueron parte de todo el proceso formativo y de aprendizaje.

Agradezco también a mis amigos (as) y todas las personas, que fueron parte fundamental de todo el desarrollo de mi monografía, por el apoyo moral y motivacional para poder continuar y no tirar la toalla.

Este es un momento especial en mi vida y quiero compartirlo con todas las personas que agradecí.

RESUMEN

El sistema de despacho de combustibles de aviación de la aeroplanta de Riberalta, en la actualidad no cumple en su totalidad con las especificaciones recomendadas dentro del “Reglamento de diseño, construcción, operación de plantas de almacenamiento de combustibles líquidos”, debido a que el tipo de bomba centrifuga con el que cuentan no se encuentran normado y/o listado dentro de dicha norma, esto debido a que las bombas recomendadas presentaron problemas en la succión, por ende, tuvieron que ser reemplazados por otras bombas que aunque no sean las recomendables, pudieron trasvasar el combustible de los tanques a los gabinetes de descarga.

El presente proyecto identificó el problema que se tuvo con la succión de la bomba, para posteriormente proponer la instalación de un tanque cebador, de esta manera una vez solucionado el problema en la aspiración, se procedió a seleccionar una bomba que cumpla con los estándares recomendados en el reglamento de la ANSI/API.

La selección de la bomba API se realizó por medio de un software en línea, en la cual se introdujeron los parámetros operativos y automáticamente se detallaron los modelos recomendados, finalmente se calculó la potencia del motor de la bomba según la ecuación del Instituto Hidráulico. Respecto a la bomba ANSI, se hicieron uso de curvas de bombeo para seleccionar la bomba requerida, finalmente, al igual que en el anterior caso, se procedió a calcular la potencia de la bomba requerida. Una vez seleccionado la bomba de acuerdo a los estándares API/ANSI, se calculó el volumen de líquido dentro de las tuberías de succión, con ese dato de cálculo el volumen del tanque cebador y mediante un pequeño calculo iterativo se dimensiono dicho tanque.

De acuerdo a los resultados obtenidos con la bomba API y ANSI, se logró seleccionar la mejor opción de acuerdo a criterios técnico – económicos, de esta manera se da el cumplimiento a la norma API 2610, referente al dimensionamiento del tanque cebador, se garantiza que, con la implementación de este tanque, se solucionarían los problemas de succión debido a que el contenido de líquido dentro de dicho tanque es constante

INDICE DE CONTENIDO

1 CAPITULO No 1: INTRODUCCIÓN 1

1.1 ANTECEDENTES 1

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 1

1.3 JUSTIFICACIÓN 2

1.4 METODOLOGÍA 2

1.4.1 Métodos teóricos 2

1.4.2 Métodos empíricos 3

1.4.3 Técnicas e instrumentos de investigación 3

1.5 OBJETIVOS 3

1.5.1 Objetivo general 3

1.5.2 Objetivos específicos 4

2 CAPITULO No 2: DESARROLLO 5

2.1 MARCO TEÓRICO 5

2.1.1 Reglamento para Construcción y Operación de Plantas de Almacenaje de Combustibles Líquidos 5

2.1.2 Aeroplantas 6

2.1.2.1 Área de recepción de combustibles 6

2.1.2.2 Área de tanques de almacenamiento. 7

2.1.2.3 Área de despacho de combustibles. 7

2.1.2.4 Componentes de una aeroplanta 9

2.1.3 Bombas centrifugas 13

2.1.3.1 Clasificación de bombas de fluidos 13

2.1.3.2 Principio de funcionamiento 15

2.1.3.3 Componentes principales de una bomba centrifuga 15

2.1.3.4 Bombas centrifugas en la industria oíl & gas 20

2.1.4 Tanques Autocebantes 24

2.2 MARCO CONTEXTUAL. 25

2.2.1 Información general de la planta 25

2.2.2 Descripción del área de despacho de gasolina de aviación 30

2.2.2.1 Especificaciones técnicas de la bomba de descarga y/o recepción 32

2.2.3 Diagnóstico 33

2.3 INFORMACIÓN Y DATOS OBTENIDOS 33

2.3.1 Selección de la bomba centrifuga 35
2.3.1.1 Selección de la bomba KSB 35
2.4 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN 49
3 CONCLUSIONES 51
4 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS 52
5 ANEXOS 32

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Figura 1: Patio de tanque de almacenamiento 7
Figura 2: Isla de despacho 8
Figura 3: Bombas centrifugas 9
Figura 4: Bomba centrifuga 10
Figura 5: Tipos de válvula 10
Figura 6: Brazo de carga de combustibles 12
Figura 7: Estructura del área de despacho 13
Figura 8: Clasificación de las bombas centrifugas 14
Figura 9: Funcionamiento de una bomba centrifuga 15
Figura 10: Carcasa de una bomba centrifuga 16
Figura 11: Bridas de succión y descarga 16
Figura 12: Impulsor abierto 17
Figura 13: Impulsor semiabierto 17
Figura 14: Impulsor cerrado 18
Figura 15: Sello mecánico 18
Figura 16: Eje de la bomba 18
Figura 17: Cojinetes o rodamientos 19
Figura 18: Motor eléctrico 19
Figura 19: Acople flexible elástico 20
Figura 20: Tablero de control y accionamiento 20
Figura 21: Tablero de control y accionamiento 24
Figura 22: Ingreso a la aeroplanta zelin zaitun 25
Figura 23: Área de almacenamiento de la aeroplanta 26
Figura 24: Área de recepción y despacho 28
Figura 25: Oficinas administrativas 28
Figura 26: Layout de la aeroplanta Riberalta 29
Figura 27: Vista frontal del sistema de despacho de gasolina de aviación (av. gas) 31
Figura 28: Vista superior del sistema de despacho de gasolina de aviación (av. gas) 31
Figura 29: Mantenimiento de la bomba de paletas p-01 32
Figura 30: Esquema propuesto para la nueva instalación 34
Figura 31: Entorno para intrusión de datos del easy select 36
Figura 32: Modelos seleccionados de acuerdo al easy select 37
Figura 33: Curva de comportamiento de la bomba rph 38
Figura 34: Curva de rendimiento de la bomba rsa 40/260 43
Figura 35: Dimensiones de las tuberías de succión (vista frontal) 46
Figura 36: Dimensiones de las tuberías de succión (vista alzada) 47
Figura 37: Dimensiones de las tuberías de succión (vista alzada) 48

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Normas de diseño en bombas centrifugas....14
Tabla 2: Clasificación API de las bombas centrifugas....21
Tabla 3: Tipo de bombas centrifugas horizontales según api 610....22
Tabla 4: Tipo de bombas centrifugas verticales según api 610....23
Tabla 5: Capacidad de almacenamiento de la aeroplanta....26
Tabla 6: Capacidad de almacenamiento del tanque de agua....27
Tabla 7: Datos de proceso....30
Tabla 8: Fluido y propiedades físicas en las condiciones de succión....30
Tabla 9: Datos mecánicos....32
Tabla 10: Material de construcción de la bomba p-01....33
Tabla 11: Modelos de la marca ksb según el tipo de fluido....36
Tabla 12: Dimensiones de la bomba rph de ksb....37
Tabla 13: Cálculo de la potencia del motor....39
Tabla 14: Potencias comerciales de motores eléctricos....40
Tabla 15: Potencias comerciales de motores eléctricos....41
Tabla 16: Resumen de las especificaciones técnicas de la bomba multisteel....44
Tabla 17: Tabla comparativa de bombas API/ANSI....45
Tabla 18: Calculo de las dimensiones del tanque cebador....48
Tabla 19: Estimación de costos....49

CAPÌTULO No 1: INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

En la actualidad existe bastante información académica básica sobre la selección directa de unidades de bombeo, lo cual implica realizar el cálculo de pérdida de carga tomando en cuenta el caudal requerido por el sistema, pero no hay trabajos específicos que se enfoquen en rediseñar un sistema de succión y/o descarga, posiblemente por ser un tema muy específico y peculiar.

En este sentido no hay trabajos de investigación publicados recientemente en Bolivia y Latinoamérica referentes a este tema, es decir, un estudio especifico y puntual producto de una mala instalación o modificación de un sistema de recepción y/o descarga de combustibles que conlleva a problemas operacionales. Las investigaciones actuales se limitan a desarrollar un tema genérico, por ende, para poder realizar un caso puntual, se deberá netamente recurrir a dichas bases.

Toda esta situación motiva a desarrollar el presente trabajo, el cual podría ser un referente para otros investigadores que buscan solucionar problemas resultado de malas instalaciones o caso contrario optimizar sistemas para una mejora operacional.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La aeroplanta de Riberalta, actualmente cuenta con una bomba del tipo paletas para realizar el cargado de la gasolina de aviación (Av. Gas) de un tanque de almacenamiento hacia los refuellers. Actualmente dicho equipo fue observado por la entidad reguladora Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH), la cual conminó realizar el cambio por un equipo que cumpla las especificaciones técnicas según el Reglamento de Construcción y Operación de Plantas de Almacenaje de Combustibles Líquidos que rige en Bolivia y que manifiesta que las bombas para el trasvase y recepción de combustibles deben ser del tipo rotodinámicos y deben cumplir la norma API o ANSI B73.1. (YPFB AVIACION, 2023)

Según indagaciones realizadas, la planta anteriormente contaba con una bomba rotodinámica que cumplía la norma ANSI, pero existían problemas con la succión, ya que la configuración de las cañerías de succión que conectan al tanque de almacenamiento generó que se tenga una presión de vacío o negativa, lo cual originó que la bomba presentara cavitación, y lo que comprometió la integridad del equipo y la normal operación de la planta. (Alcoba, 2023)

1.3 JUSTIFICACIÓN

Rediseñar el sistema de trasvase de gasolina de aviación, en primera instancia, permitirá seleccionar la bomba adecuada que trabaje con los puntos de operación requeridos, esta bomba deberá ser diseñada y construida bajo la norma constructiva API o ANSI, de esta manera se daría cumplimiento a lo estipulado en el reglamento de construcción y operación de plantas de almacenamiento de combustibles líquidos.

Para subsanar los problemas de succión que presentó la bomba rotodinámica instalada anteriormente, se pretende hacer el colocado de un tanque cebador, dicho tanque poseerá un compartimiento que se conectará directamente a la succión de la bomba. Cuando la bomba se detenga (debido a la presión negativa) se originará que el contenido de la tubería de succión regrese al tanque; cuando la bomba arranque nuevamente, el líquido retenido alimentará la bomba creando vacío en el sistema y en la línea de succión, lo cual hará que el líquido sea succionado de la fuente de suministros obligándolo a ingresar en el tanque cebador y de esta forma alimentar nuevamente la bomba.

1.4 METODOLOGÍA

1.4.1 Métodos teóricos

- **Método cuantitativo**
  Dentro del presente proyecto, este método tendrá su aplicación en la estimación numérica para el dimensionamiento del tanque cebador y la selección de la bomba.
- **Método inductivo**
  Se tendrá acceso a las fichas técnicas y reportes de mantenimiento de las bombas con la que operan en la actualidad y con las cuales se realizará la homologación del nuevo

referente a los puntos de operación. En consecuencia, toda la información referente al diagnóstico, será obtenido por este método.

- **Método analítico**
  El método, será de gran ayuda puesto que facilitará la tabulación, análisis y su interpretación, así como en base a un diagnóstico, plantear soluciones a los problemas identificados en la Aeroplanta Riberalta.

1.4.2 Métodos empíricos

- **Método bibliográfico**
  Es aplicable en la búsqueda de libros, revistas, artículos científicos publicados por diferentes investigadores, la cual será primordial en la elaboración de la fundamentación teórica.

1.4.3 Técnicas e instrumentos de investigación

- **Revisión bibliográfica**
  Es muy importante ya que a través de ella se extrajo toda la recopilación de información tanto de libros, revistas, informes electrónicos, catálogos, artículos de internet con la finalidad de estructurar la revisión de literatura, los cuales serán aprovechados dentro del presente trabajo.
- **Entrevistas**
  Se realizaron preguntas, consultas a personal técnico relacionado en el rubro y a operadores de bombas en plantas de hidrocarburos.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo general

Rediseñar el sistema de trasvase de Gasolina de aviación de acuerdo a lo estipulado en el Reglamento de Operación de Plantas de Combustibles Líquidos en la aeroplanta Riberalta.

1.5.2 Objetivos específicos

- Establecer los lineamientos principales del reglamento de Operación de Plantas de Combustibles Líquidos en la aeroplanta Riberalta para su posterior cumplimiento.
- Elaborar un diagnóstico del sistema actual de recepción y despacho de gasolina de aviación (Av. Gas).
- Seleccionar la bomba de reemplazo tomando en cuenta los puntos operativos de la bomba de paletas que actualmente está en operación.
- Dimensionar el tanque de acuerdo a las tuberías de la línea de succión.
- Estimar los costos de inversión para el desarrollo del presente proyecto.

CAPITULO No 2: DESARROLLO

2.1 MARCO TEÓRICO

2.1.1 Reglamento para Construcción y Operación de Plantas de Almacenaje de Combustibles Líquidos

En Bolivia, la actividad de Almacenaje de combustibles líquidos, es un servicio público, que debe ser prestado de manera regular y continua para satisfacer las necesidades energéticas de la población y de la industria orientada al desarrollo del país, por ende, para regular las operaciones normales desde la construcción hasta la operación, se cuenta con un reglamento, el cual tiene por objeto establecer las condiciones técnicas para el Diseño, Construcción y Operación de Plantas de Almacenaje de Hidrocarburos Líquidos. (ANH, 2012)

En el capítulo III “Infraestructura básica y normas técnicas para el diseño de plantas de almacenaje de hidrocarburos líquidos” se fijan los lineamientos de cumplimiento mínimo referente a la infraestructura. Lastimosamente en Bolivia no se cuenta con un recopilado propio adecuado a un contexto nacional, sin embargo, se hace una referencia a la norma “API STD 2610 Design, Construction, Operation, Maintenance & Inspection of Terminal and Tank Facilities”. (ANH, 2012)

Respecto al estándar API STD 2610, se constituye como una guía para la gestión operativa de las terminales de almacenamiento de combustibles líquidos, el cual se estructura de la siguiente manera:

- **Sección 1.-** Generalidades.
- **Sección 2.-** Selección del sitio y espacios requeridos.
- **Sección 3.-** Prevención de la contaminación y gestión de residuos.
- **Sección 4.-** Operaciones seguras.
- **Sección 5.-** Prevención y protección contra incendios.
- **Sección 6.-** Tanques de almacenamiento.
- **Sección 7.-** Diques y bermas.
- **Sección 8.-** Tuberías, válvulas, bombas y sistemas de tuberías.
- **Sección 9.-** Sistemas de recepción y despacho de combustibles.

- **Sección 10.-** Control de la corrosión.

En el capítulo de bombas, se sugiere el uso de equipos centrífugos y de desplazamiento positivo dependiendo del tipo de producto a bombear, los cuales deben cumplir los siguientes estándares:

- **Bombas centrifugas. -** Deberán estar de acuerdo al estándar ANSI/ASME B73.1 o al API 610.
- **Bombas de desplazamiento positivo. -** Deberán estar conforme al estándar API 674, API 675 y API 676.

Las bombas deben ser seleccionadas según el mejor rendimiento, el cual deberá ser compatible con la aplicación del servicio y los trabajos de mantenimiento. Las bombas y el motor seleccionados deben ser revisados para asegurar de que la curva de la potencia del motor, cumpla todos los puntos operativos de la curva de comportamiento.

2.1.2 Aeroplantas

Las aeroplantas, son terminales de recepción y descarga de combustibles de aviación, donde se almacenan productos enviados desde las refinerías a la espera de su despacho a los camiones cisterna que realizan el carguío a los aviones. (YPF, 2011)

Una aeroplanta, cuenta con las siguientes áreas:

- Área de recepcion de combustibles.
- Área de tanques de almacenamiento.
- Área de despacho de combustible.
- Área de laboratorio

2.1.2.1 Área de recepción de combustibles

El sistema de recepción consta principalmente de un Manifold de recepción (colector), el cual permite la distribución de productos a los diferentes tanques, esta provisto de válvulas de bloqueo, válvulas de retención (check) e instrumentos mínimos necesarios: El Manifold deberá ser diseñado, además para realizar calibraciones utilizando un serafín como medida patrón.

El sistema de recepción consta de equipos como ser: Bombas centrífugas, medidores, controladores, filtros y medidores de presión diferencial, eliminadores de aire, desaereadores y válvulas de control. (YPF, 2011)

2.1.2.2 Área de tanques de almacenamiento

Comprende el conjunto de tanques metálicos donde se almacenan los combustibles, la cantidad y capacidad de los tanques a ser instalados, debe permitir realizar las operaciones de recepción y despacho de cisternas de manera segura, eficiente y en forma simultánea, brindando condiciones de trabajo adecuadas, minimizando los riesgos y optimizando los tiempos de operación, permitiendo satisfacer las necesidades de manera oportuna.(YPF, 2011)

Figura 1: Patio de tanque de almacenamiento

Fuente: www.ypfblogistica.com, 2018

2.1.2.3 Área de despacho de combustibles

El sistema de despacho debe estar provisto de **Islas de Despacho**, una para cada producto almacenado, con una **Sala de Bombas** ubicada fuera del área estanca de los muros contraincendios que permitirá el carguío de productos. (YPF, 2011)

Figura 2: Isla de despacho

Fuente: www.hidrocarburos.gob.ec, 2018

El sistema de despacho o cargadero de cisternas deberá contemplar en su diseño, la amplitud necesaria para el ingreso, circulación, posicionamiento y salida de los camiones cisterna de manera segura. El sistema de despacho deberá cumplir mínimamente con las siguientes características:

- Tuberías de interconexión a tanques de almacenaje diseñadas e instaladas de acuerdo Normas ASME B31.4 provistas con válvulas de cierre rápido ubicados en inmediaciones del cargadero de cisternas.
- Sistemas de carguío sobre plataforma de estructura metálica, provisto de válvulas de corte, filtros, desaereadores, medidores volumétricos, controladores de flujo, válvulas de control y brazos de carguío con codos articulados.
- Cubierta de cargadero de cisternas de características similares a las establecidas para estaciones de servicio de carburantes líquidos.
- La sala de bombas será ubicada de tal manera mejorar la hidráulica del sistema de despacho, permitiendo la operación de las bombas del sistema dentro de sus rangos de rendimiento aceptables, evitando problemas de cavitación en las mismas y deterioro de sus impulsores, reduciendo su consumo eléctrico y prolongando su vida útil. (YPF, 2011)

2.1.2.4 Componentes de una aeroplanta

Anteriormente, se describieron las distintas áreas con las que cuentan las aeroplantas, dichas áreas están equipadas con diversos equipos y elementos que forman parte de las operaciones de recepción y despacho de combustibles. (YPF, 2011)

- **Bombas centrifugas**

  Son equipos denominados “trasformadores de energía”, ya que recibe energía mecánica, la cual proviene de un motor eléctrico y la convierte en otro tipo de energía que un fluido adquiere en forma de presión, posición o velocidad.

Figura 3: Bombas centrìfugas

Fuente: *Catálogo Bombas Marzo****, 2018***

- **Tuberías**

  Las tuberías son conductos cilíndricos de material, diámetro y longitud variable, se identifican por su diámetro interno y espesor, el cual varía según el tipo y condición del fluido a transportar; están fabricadas de muchos materiales como acero al carbono, acero inoxidable, hierro fundido, cobre, plástico, etc.

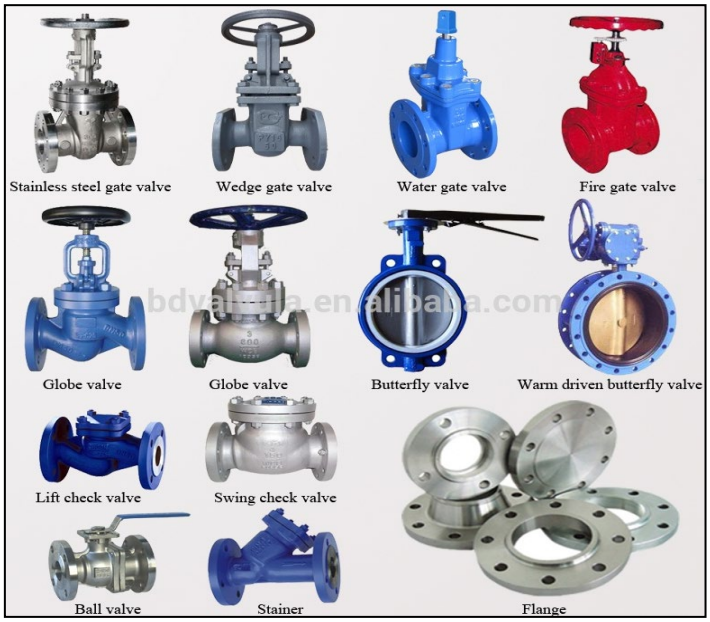
Figura 4: Bomba centrìfuga

Fuente: *Catàlogo bombas marzo,* ***2018***

- **Valvulería**

  Es un aparato mecánico que detiene o regula el flujo de líquidos o gases mediante una pieza movible que abre, cierra u obstruye en forma parcial uno o más orificios. Todos los tipos de válvulas recaen en nueve categorías: Válvulas de compuerta, válvulas de globo, válvulas de bola, válvulas de mariposa, válvulas de apriete, válvulas de diafragma, válvulas de macho, válvulas de retención y válvulas de desahogo (alivio).

Figura 5: Tipos de válvula



Fuente: *http://www.mavainsa.com/documentos/5_valvulas.pdf*

- **Válvula de alivio. -** Su función es controlar la presión interior de la línea (compensar la expansión térmica del producto), abriendo automáticamente cuando esa presión pasa a determinado valor, para la cual fue calibrada, la cual se denomina “presión de apertura de la válvula” por lo que la válvula de alivio se cierra enseguida, cuando la presión cae por debajo de la presión de apertura.
- **Válvula check. -** Son válvulas de retención. Estas permiten el flujo en un solo sentido y su aplicación principal en la descarga de bombas. Su función principal es prevenir que el flujo bombeado regrese una vez que las bombas se detienen. También evitan que el flujo de retorno provoque un giro inverso en las bombas, lo cual puede en algunos casos, dañar los equipos de bombeo.
- **Válvula de globo. -** La válvula de globo es adecuada para utilizarse en una amplia variedad de aplicaciones, desde el control de caudal hasta el control abierto-cerrado. Cuando el tapón de la válvula está en contacto firme con el asiento, la válvula está cerrada.

- **Eliminador de aire**

  Es un dispositivo diseñado para extraer volúmenes libres o acumulados de aire o vapor del sistema de medición de líquido para lograr resultados de medición precisos. Cada eliminador de aire tiene un tanque de almacenamiento en donde entra el aire o el vapor que es descargado a presión atmosférica con una pequeña cantidad de líquido.
- **Controlador accuload**

  El controlador permite medir el combustible que será despachado desde los camiones cisterna hasta el tanque en condiciones ambientales. La temperatura ambiente máxima no debe exceder los 140° F (60° C) para asegurar que no se exceda el límite de temperatura interior.
- **Manifold de recepción**

  La distribución en el Manifold se realiza mediante válvulas de bola y válvulas de doble bloqueo y drenaje en los tramos que van desde el Manifold hacia los estanques. Cuenta con una válvula, un filtro, con un filtro de respaldo y la válvula de corte de la línea, además de instrumentación para medir presión y temperatura.
- **Válvulas de control smith meter**

  La válvula de control smith meter modelo 210, se usa típicamente en conjunción con ya sea la Accuload Smith Meter o Controladores preestablecidos, para carga y

descarga de los camiones cisterna, en plantas de almacenamiento, o instalaciones de procesamiento.

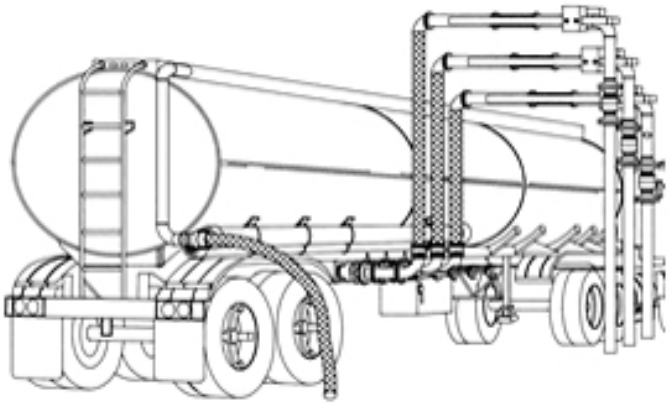
- **Medidor smith meter**

  Permite medir y registrar el flujo de caudal, que está siendo despachado desde los tanques hacia los camiones cisterna en los puntos de despacho. Estos equipos suelen colocarse en línea con la tubería que transporta el fluido.

- **Brazo de carga de combustibles**

  Este tipo de brazo articulado, es el de mayor aplicación, debido a su facilidad de operación es utilizado en la carga de camiones que tienen la boca en su parte superior del tanque. La cualidad principal de este brazo es la maniobrabilidad que le dan las diferentes articulaciones reemplazando el uso de las clásicas mangueras, pero con mayor confiabilidad y seguridad para el operador.

Figura 6: Brazo de carga de combustibles



Fuente: *Manual de pefow equipamientos S.A.*

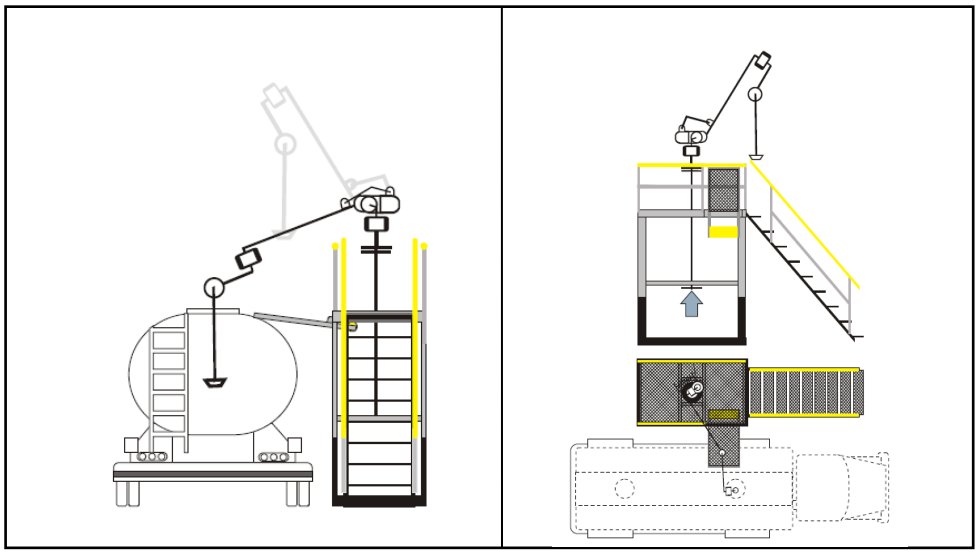
- **Filtros smith meter**

  Estos elementos evitan el paso de impurezas, que son arrastrados por los líquidos a través de las tuberías en las operaciones de planta. Permiten que se almacene un producto dentro de las especificaciones de calidad establecidos.

- **Estructuras de despacho**

  Para utilizar los brazos cargadores de combustibles en camiones, es aconsejable montarlos sobre una estructura apta para esta área, estos módulos de carga deben contar con accesorios apropiados como escalera de acceso, plataforma basculante y barandas perimetrales. La estructura debe ser fuerte y diseñada para las condiciones de trabajo que va a realizar.

Figura 7: Estructura del área de despacho



Fuente: *YPFB Logística, 2001*

2.1.3 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 a grandes distancias. (Viejo Zubicaray, 2001)

El funcionamiento sencillo de las bombas centrifugas 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.

2.1.3.1 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)

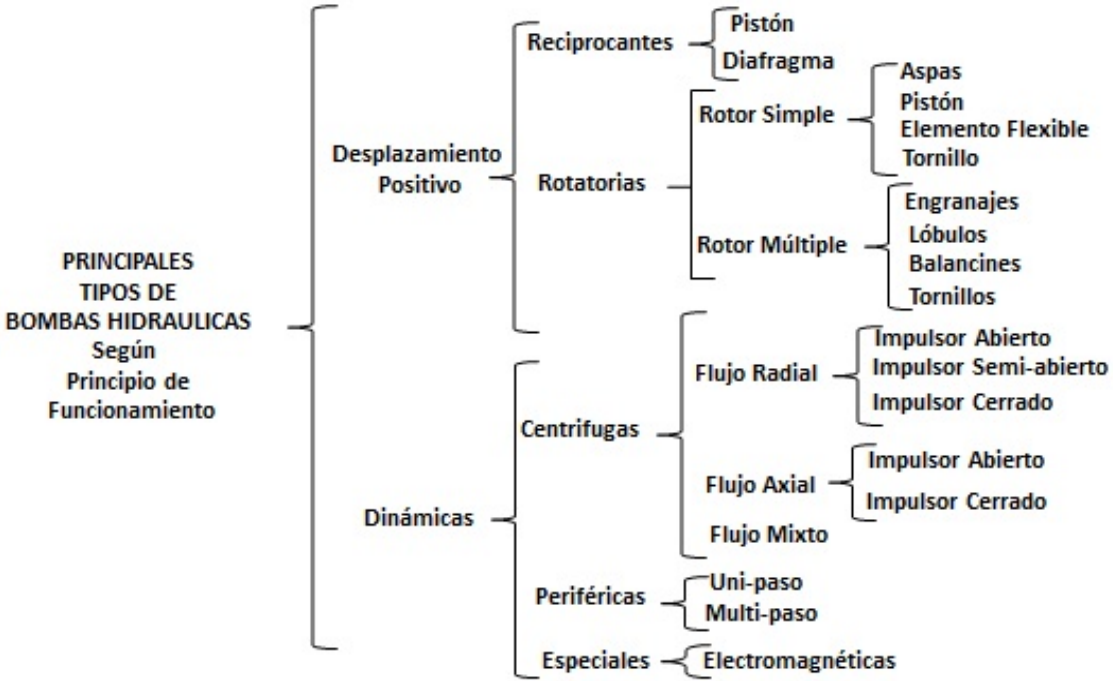
Tabla 1: Normas de diseño en bombas centrifugas

Tipo de bomba	Normativa de diseño
API 610	API 610 (ISO 13709) – Bombas centrifugas para la industria del petróleo, petroquímica y gas natural.
ANSI/ ASME B73.1	ANSI/ ASME B73.1 – Especificaciones de bombas centrifugas horizontales en la industria química.
ISO	ISO 2858 – Bombas centrifugas de aspiración axial (16 bar).
	ISO 5199 – Especificaciones técnicas para bombas centrifugas.
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: *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 8: Clasificación de las bombas centrìfugas



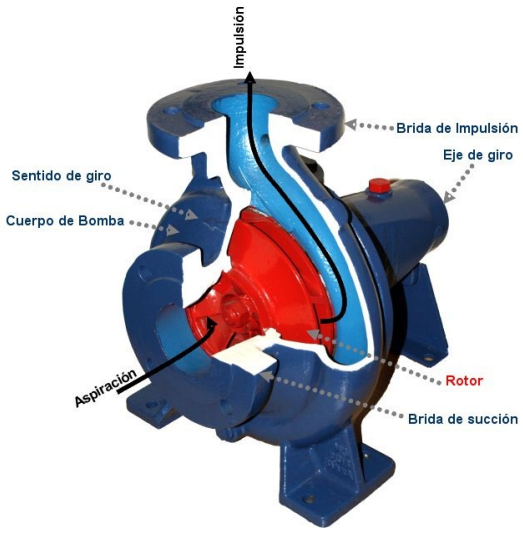
Fuente: *PumpsBombas, 2022*

2.1.3.2 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 9: Funcionamiento de una bomba centrìfuga



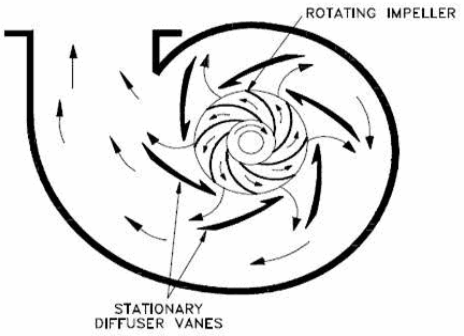
Fuente: *Electroted, 2022*

2.1.3.3 Componentes principales de una bomba centrífuga

Los elementos constructivos que conforman una bomba centrífuga son:

a) **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.

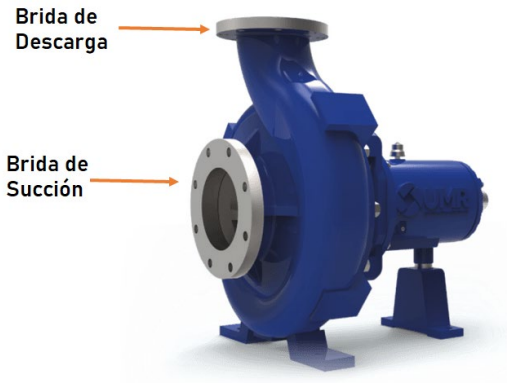
Figura 10: Carcasa de una bomba centrifuga



Fuente: *Electroted, 2022*

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

Figura 11: Bridas de succión y descarga



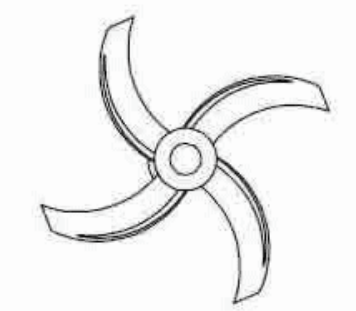
Fuente: *Electroted, 2022*

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.

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

- **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.

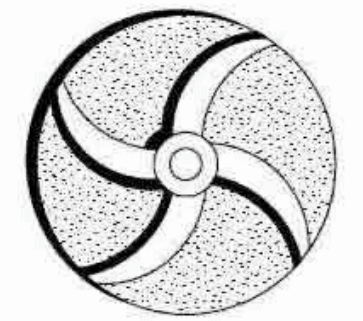
Figura 12: Impulsor abierto



Fuente: *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 13: Impulsor semiabierto



Fuente: *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 14: Impulsor cerrado

Fuente: *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 15: Sello mecánico

Fuente: *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.

Figura 16: Eje de la bomba

Fuente: *Electroted, 2022*

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

Figura 17: Cojinetes o rodamientos

Fuente: *Electroted, 2022*

g) **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 18: Motor eléctrico

Fuente: *Electroted, 2022*

h) **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 19: Acople flexible elástico

Fuente: *Electroted, 2022*

i) **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 20: Tablero de control y accionamiento

Fuente: *Electroted, 2022*

2.1.3.4 Bombas centrífugas en la industria oíl & gas

En la industria hidrocarburífera, las bombas centrífugas son uno de los equipos más utilizados, se estima que, en una planta típica de procesamiento de petróleo y/o gas, casi el 80-90% son bombas de este tipo.

Las bombas centrífugas son ampliamente utilizadas debido a su simplicidad de diseño, de alta eficiencia, amplia gama de capacidad, carga, velocidad de flujo, facilidad de operación y mantenimiento.

La norma la API 610, clasifica las bombas según su configuración como se muestra en la siguiente tabla:

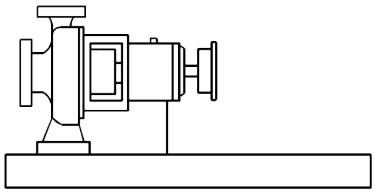
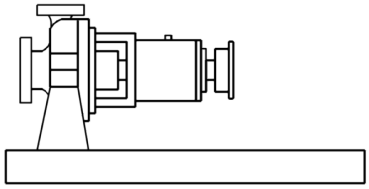
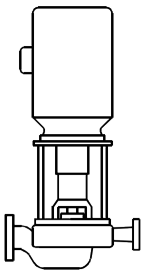
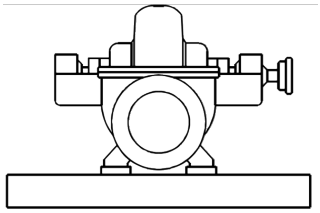
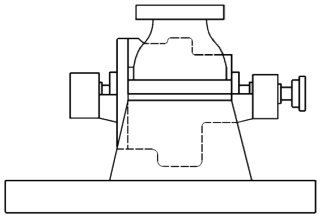
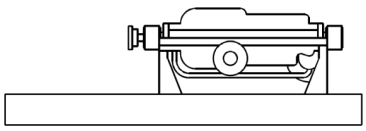
Tabla 2: Clasificación API de las bombas centrìfugas

Bombas Centrifugas	En Voladizo	Acoplamiento flexible	Horizontal	Pie Soporte	OH1
				Centralmente soportado	OH2
			Vertical “in line” con soporte rodamientos		OH3
		Acoplamiento rígido	Vertical “in line”		OH4
		Acoplamiento cerrado	Alta velocidad engranajes integrados		OH5
	Entre Rodamientos	1 y 2 etapas	Axialmente partida		BB1
			Radialmente partida		BB2
		Multietapa	Axialmente partida		BB3
			Radialmente partida	Carcasa simple	BB4
				Doble carcasa	BB5
	Verticalmente Suspendidos	Carcasa simple	Descarga a través de la columna	Difusores	VS1
				Voluta	VS2
				Flujo Axial	VS3
			Descarga separada	Eje en línea	VS4
				Voladizo	VS5
		Doble carcasa	Difusores		VS6
			Voluta		VS7

Fuente: *API 610, 2022*

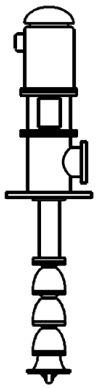
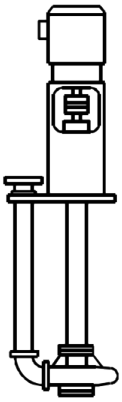
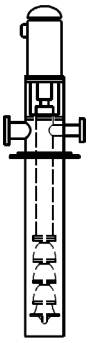
Dentro del catálogo de bombas centrifugas más renombradas aplicadas en la industria petrolera y petroquímica; se detallan los siguientes modelos:

Tabla 3: Tipo de bombas centrìfugas horizontales según API 610

	**Bomba tipo OH1**	Caudales hasta 1,022 m^3/h Carga hasta 222 m.c.a.
	**Bomba tipo OH2**	Caudales hasta 1,580 m^3/h Carga hasta 305 m.c.a.
	**Bomba tipo OH3**	Caudales hasta 363 m^3/h Carga hasta 289 m.c.a.
	**Bomba tipo BB1**	Caudales hasta 1,590 m^3/h Carga hasta 152 m.c.a.
	**Bomba tipo BB2**	Caudales hasta 1,090 m^3/h Carga hasta 204 m.c.a.
	**Bomba tipo BB3**	Caudales hasta 565 m^3/h Carga hasta 1520 m.c.a.

Fuente: *API 610, 2022*

Tabla 4: Tipo de bombas centrìfugas verticales según api 610

	**Bomba tipo VS1**	Caudales hasta 1,136 m^3/h Carga hasta 1067 m.c.a.
	**Bomba tipo VS5**	Caudales hasta 296 m^3/h Altura hasta 61 m.c.a.
	**Bomba tipo VS6**	Caudales hasta 1,136 m^3/h Altura hasta 1067 m.c.a.

Fuente: *API 610, 2022*

2.1.4 Tanques autocebante

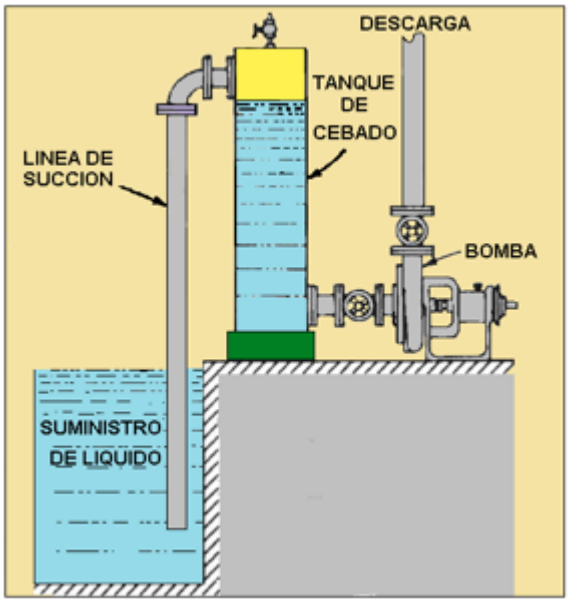
Los tanques autocebantes son equipos que se conectan antes de la succión de la bomba para mejorar problemas en la succión. Estos tanques poseen un solo compartimiento y tienen la salida conectada directamente a la succión de la bomba. (López, 2001)

El requisito básico para un tanque de este tipo, es que la capacidad del tanque sea por lo menos tres veces el volumen que contiene la tubería de succión, es decir:

Vol. TK Cebador = 3 x Vol. Piping Succión

La figura siguiente detalla el diagrama recomendado de un tanque autocebante:

Figura 21: Tablero de control y accionamiento



Fuente: *Elaboración propia, 2023*

Cuando la bomba se detiene y la succión es negativa el líquido contenido en la tubería de succión regresa al recipiente que está suministrando el líquido, sin embargo, en el tanque de *cebado* se retiene una buena porción de líquido, debido a la diferencia de nivel entre la succión y la descarga del tanque.

Cuando se dà partida nuevamente a la bomba el líquido retenido en el tanque de *cebado* alimenta la bomba creando vacío en el sistema y en la línea de succión, lo cual hace que el líquido sea succionado de la fuente de suministros obligándolo a ingresar en el tanque de *cebado* y de esta forma alimentar la bomba. (López, 2001)

2.2 MARCO CONTEXTUAL

2.2.1 Información general de la planta

La aeroplanta Riberalta, se encuentra en los predios del aeropuerto Selin Zeitun Lopez. Es considerado como la segunda aeroplanta más importante del Beni y también es uno de los más modernos, ya que fue construido el año 2018.

Figura 22: Ingreso a la aeroplanta Selin Zeitun

Fuente: *Elaboración propia, 2023*

La aeroplanta, está conformada por las siguientes dependencias:

- **Área de almacenamiento:** Conformada por dos tanques de almacenamiento horizontales atmosféricos los cuales almacenan Jet Fuel (TK-8001) con capacidad de 40.000 L y Gasolina de Aviación (TK-8002) con capacidad de 40.000 L. (YPFB AVIACION, 2023)

Paralelamente a la operación de los tanques de combustible, se cuenta con un tanque de agua, cuya finalidad es almacenar la cantidad (15.000 L) de agua recomendable según normas de seguridad en caso de emergencias contra incendios.

La capacidad de almacenamiento de la planta, es de 80.000,00 L (80 m^3) de Jet Fuel y Gasolina de Aviación, la cual es descrita a continuación:

Tabla 5: Capacidad de almacenamiento de la aeroplanta Riberalta

TANQUES ATMOSFÈRICOS HORIZONTALES		
TAG	**CAPACIDAD (Litros)**	**COMBUSTIBLES**
TK 8001	40.000,00	Jet fuel
TK 8002	40.000,00	Gasolina de aviación
TOTAL (Litros)	80.000,00	

Fuente: *Elaboración propia en base a información proporcionada por YPFB Aviación, 2023*

Figura 23: Área de almacenamiento de la aeroplanta

Fuente: *YPFB Aviación, 2023*

Con respecto al tanque de almacenamiento de agua para el sistema contra incendio, este tiene las siguientes características:

Tabla 6: Capacidad de almacenamiento del tanque de agua

TANQUE DE AGUA	
TAG	**CAPACIDAD (Litros)**
TK 1	15.000,00
TOTAL (Litros)	15.000,00

Fuente: *Elaboración propia en base a información proporcionada por YPFB Aviación, 2023*

- **Área de recepción y despacho:** Encargada de recepcionar y despachar los respectivos combustibles, cuentan con bombas para la recepción/descarga, filtros y gabinetes de despacho.

  Las bombas con la que se cuenta son del tipo paletas, es decir, son equipos de desplazamiento positivo, los cuales fueron diseñados y construidos con normas propias del fabricante. Por otro lado, para el reabastecimiento de combustible eficiente y seguro en cualquier lugar de la pista aérea, se cuenta con un refuellers, los cuales están conformados por un sistema de bombeo, filtrado y sistemas de medición, los horarios de atención son las 24 horas al día. (YPFB AVIACION, 2023)

  Los refuellers de aeronaves constan de unidades de chasis rígidas que tienen compartimentos individuales o dobles para tanques de productos que van desde 2.600,00 L a 17.000,00 L. Las unidades articuladas también están disponibles para los requisitos del tanque sobre 2.000,00 L. Diseñadas específicamente para el combustible JET o AVGAS, las unidades están típicamente equipadas con una bomba que suministra una manguera y una boquilla de submarino o rebasamiento a través del recipiente del filtro y medidor. (YPFB AVIACION, 2023)

Figura 24: Área de recepción y despacho

Fuente: *YPFB Aviación, 2023*

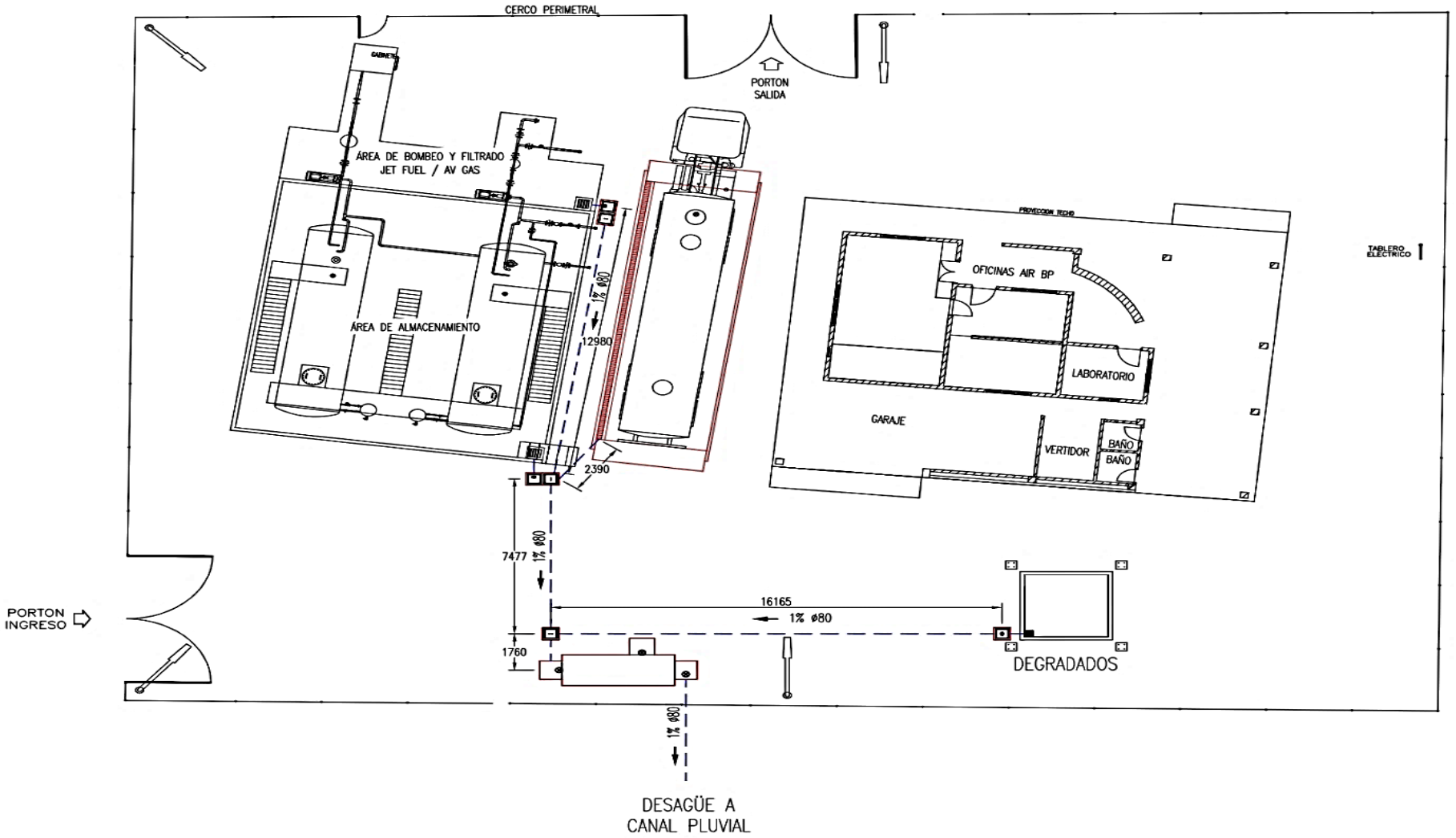
- **Área administrativa:** Ambientes que funcionan como oficinas administrativas y laboratorio para la medición o muestreo de calidad de los combustibles.

Figura 25: Oficinas administrativas

Fuente: *YPFB Aviación, 2023*

- **Área de servicios auxiliares:** La planta cuenta con una cámara separadora de líquidos (Pileta API) la cual recepciona efluentes desde la planta de almacenamiento de combustible y de las instalaciones del aeropuerto de Riberalta y conexiones a las áreas de contención.

Figura 26: Layout de la aeroplanta Riberalta



Fuente: YPFB Aviación, 2023

2.2.2 Descripción del área de despacho de gasolina de aviación

La aeroplanta Riberalta cuenta con un sistema poco convencional para el despacho de gasolina desde los tanques hasta el gabinete de despacho, los datos del proceso recopilados, con la que actualmente se cuenta de una placa de bomba son los siguientes:

Tabla 7: Datos de proceso

Descripción del proceso	Trasvase de gasolina de aviación
Norma constructiva y de diseño	Reglamento de diseño, construcción y operación de plantas de almacenamiento de combustibles líquidos
Número	1
Tag. N°	P-01
Fluido	Gasolina de Aviación (Av-Gas)
Muy Inflamable	Si
Temperatura	35 °C
Temperatura min/máx.	8 – 45 °C
Clasificación de áreas peligrosas	Clase 1, Div. 1 grupo D T3 EEX d o EEX e II A T3

Fuente: *YPFB Aviación, 2023*

Referente a la bomba para la gasolina de aviación, este presenta las siguientes características:

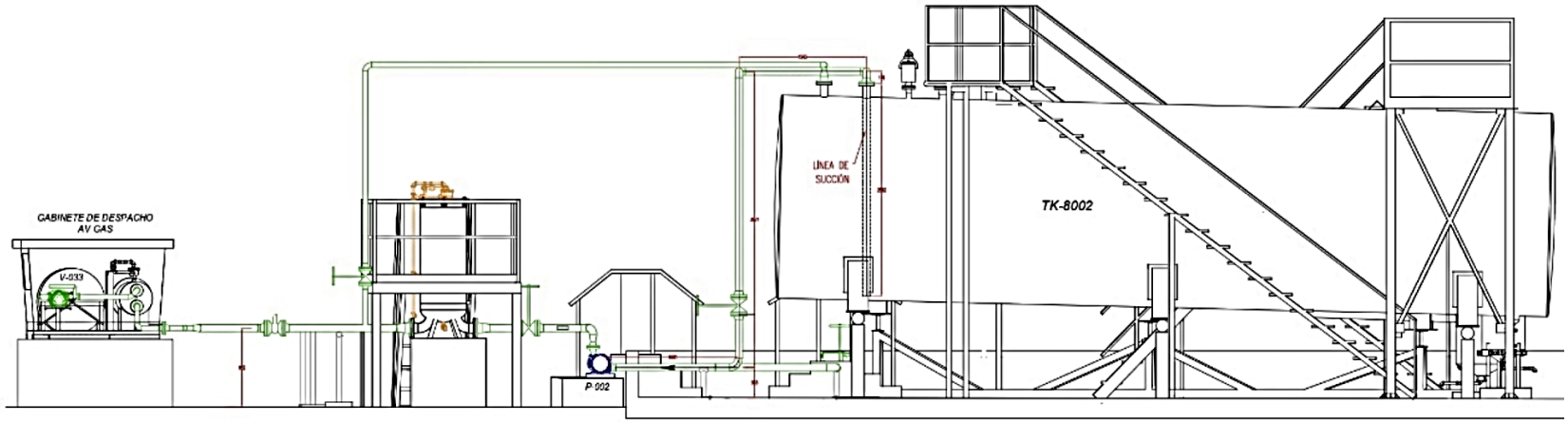
Tabla 8: Fluido y propiedades físicas en las condiciones de succión

Caudal	400 LPM
Punto de Inflamación (ºC)	40
Presión de Vapor a Temp. de operación	0.46
Viscosidad a Temp. de operación (a 20ºC)	0.68 Centistoke
Densidad a Temp. de operación (a 15ºC)	690 - 715 Kg/m³

Fuente: *YPFB Aviación, 2023*

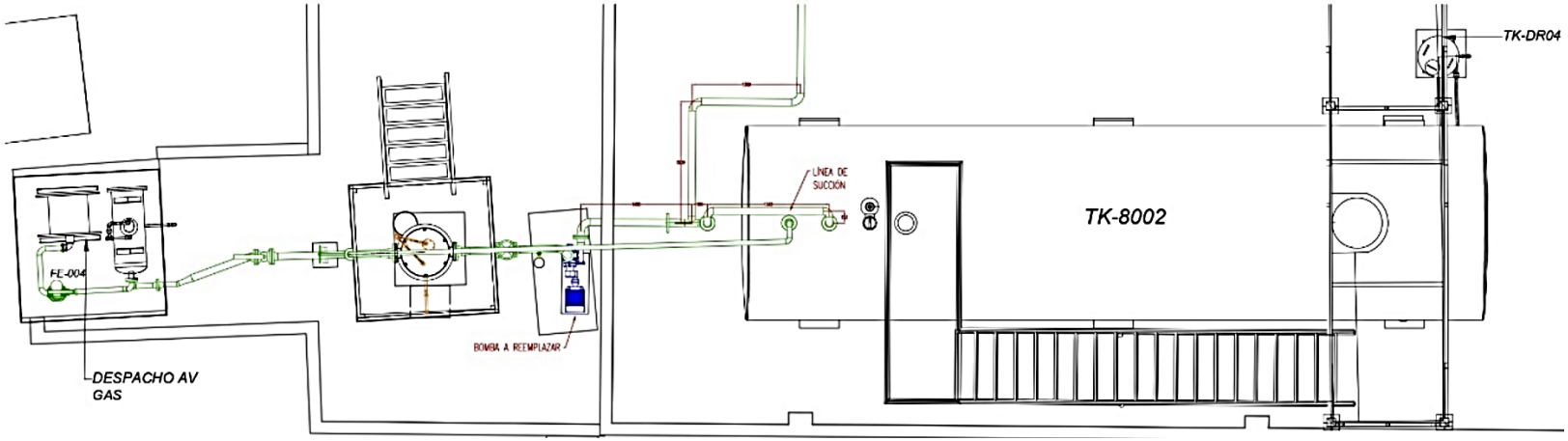
Muy importante resaltar que referente al NPSH o presión admisible en la succión de la bomba, se tiene un valor negativo, el cual no puede ser medible, pero si genera un vacío al momento de succionar la gasolina de aviación.

Figura 27: Vista frontal del sistema de despacho de gasolina de aviación (av. gas)



Fuente: *YPFB Aviación, 2023*

Figura 28: Vista superior del sistema de despacho de gasolina de aviación (av. gas)



Fuente: *YPFB Aviación, 2023*

2.2.2.1 Especificaciones técnicas de la bomba de descarga y/o recepción

Actualmente para subsanar los problemas de la presión negativa en la succión, se instaló una bomba del tipo paletas con el TAG P-01 de la marca Blackmer, la cual no cumple una norma específica de diseño que se indique en el reglamento de construcción y operación de plantas de almacenamiento.

Figura 29: Mantenimiento de la bomba de paletas p-01

Fuente: *YPFB Aviación, 2023*

Los datos mecánicos de la bomba son los siguientes:

Tabla 9: Datos mecánicos

Configuración de bomba	Bomba centrifuga.
Brida de succión	3” (Esquema ANSI 150#, RF)
Brida de descarga	2” (Esquema ANSI 150#, RF)
Presión min. en punta de manguera	20 psi
Velocidad	1450 rpm
Ruido máximo	85 dB
Empuje	Motor eléctrico
Punto de trabajo	Entre el 70% y 100% (punto de mayor eficiencia)

Fuente: *Elaboración propia, 2023*

Otros datos adicionales de la bomba con la que actualmente cuentan en planta y lo cual nos podría servir en la selección de la nueva bomba es la siguiente:

Tabla 10: Material de construcción de la bomba p-01

Carcasa	Fundición de acero al carbono
Anillo carcasa	Acero al carbono
Impulsor	Fundición de acero al carbono Hierro fundido de alta resistencia a la tracción Acero inoxidable
Camisa del eje	Acero inoxidable o acero al 12% de cromo (cr).
Tubing	Tubo de acero inoxidable tipo 316 o Tubing 316L, Sin costura, estirados en frío, totalmente recocido, 2 mm de espesor de pared mínimo, máximo de dureza Rockwell B90. Accesorios de compresión para las conexiones de acero inoxidable
Sello mecánico	Sello mecánico único
Requerimiento de la base	Acero al carbono
Rodamientos y lubricación	Rodamientos externos/ bola o rodillo

Fuente: *Elaboración propia, 2023*

2.2.3 Diagnóstico

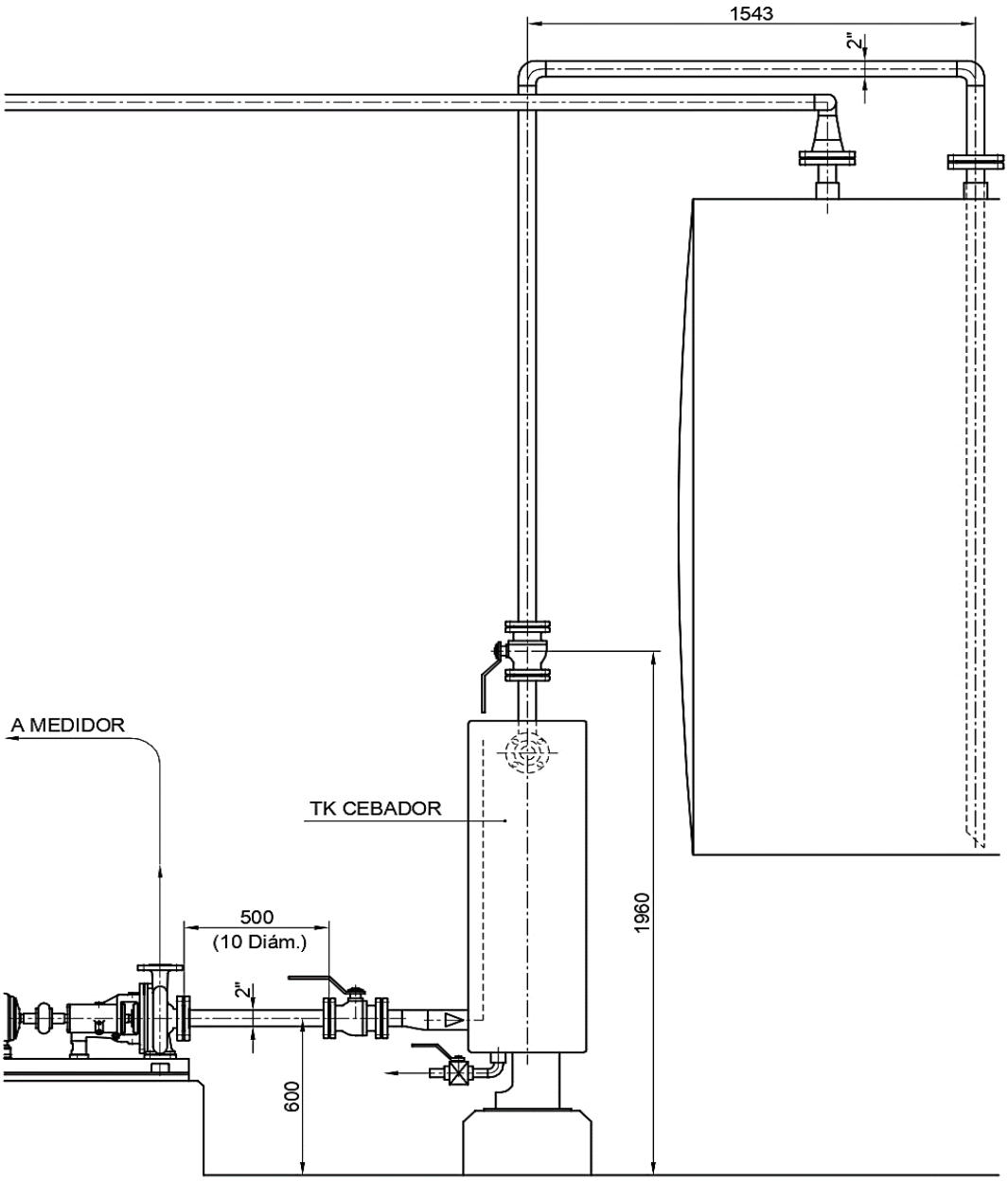
Actualmente la bomba del tipo paletas con el TAG 01 que realiza el despacho de la gasolina de aviación, no cumple con los estándares de diseño (ANSI/API) según lo estipulado en el reglamento de diseño, construcción y operación de plantas de almacenamiento de combustibles líquidos de la ANH, dicha bomba fue instalada en reemplazo de una bomba rotodinámica, la cual tenía problemas de cavitación debido a la succión negativa.

Según recomendaciones de la ANH y de especialistas en seguros contra accidentes, se les pidió realizar el recambio de la bomba por una que cumpla con las exigencias de una planta de combustibles, para ello se deberá corregir el problema de la presión negativa que se tiene actualmente.

2.3 INFORMACIÓN Y DATOS OBTENIDOS

El objetivo principal del presente proyecto es evitar los problemas en la succión del equipo, por ende, el esquema propuesto para la instalación es el siguiente:

Figura 30: Esquema propuesto para la nueva instalación



Fuente: *Elaboración propia, 2023*

Tomando en cuenta en grafico anterior, deducimos que las modificaciones a las cañerías de succión (piping) serán mínimas y básicamente no se alterara la hidráulica del sistema que vino operando hasta la actualidad. Por tal motivo, las dos actividades principales serán las siguientes:

- Seleccionar una bomba rotodinámica de norma constructiva y de diseño ANSI/API.
- Dimensionar un tanque cebador.

2.3.1 Selección de la bomba centrífuga

Tomando en cuenta que la bomba deberá cumplir con la norma constructiva ANSI o API, en el mercado se encuentran disponibles las siguientes opciones:

- Bomba KSB de fabricación alemana, estándar API 610.
- Bomba Multisteel de fabricación brasilera, estándar ANSI.

Por lo tanto, se deberá realizar la selección tomando en cuenta uno de los fabricantes y aplicando el mejor criterio técnico comercial. Muy importante resaltar que los puntos operativos para la selección de la nueva bomba, serán los mismos con los que la bomba actual de paletas vino trabajando en la actualidad, es decir:

- **Caudal:** 400 LPM (24 m^3/h).
- **Total, Cabeza entregado:** 20 m.
- **Fluido:** Gasolina de aviación (Av. Gas).
- **Gravedad especifica:** 0,72.

Si bien, no hay información clara sobre el NPSH disponible (dato clave para la selección de una bomba), aclarar que, debido a que en el esquema propuesto se contempla la instalación de un tanque cebador, con esa medida se garantiza que no habrá problemas con la succión debido a que transforma a la bomba a un equipo autocebante.

2.3.1.1 Selección de la bomba KSB

En la marca KSB, solo se podrá tomar en consideración un equipo de norma constructiva API, debido a que al ser una marca características europea, las bombas para procesos químicos están diseñadas de acuerdo al estándar ISO.

Tabla 11: 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

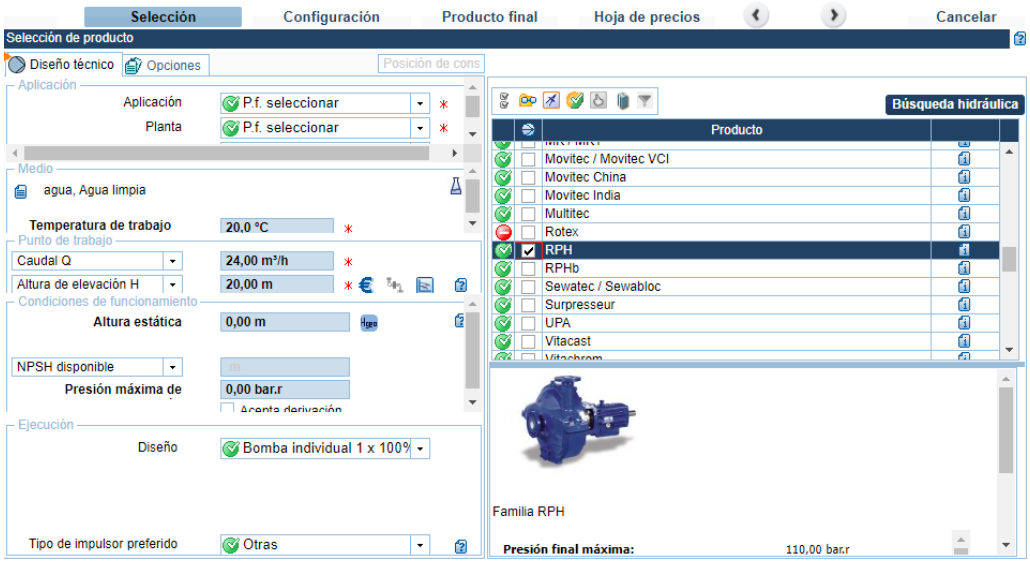
Fuente: *KSB pump, 2023*

De todo el detalle descrito anteriormente, se seleccionará el modelo RPH (Anexo A), 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.

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

Figura 31: Entorno para intrusión de datos del easy select



Fuente: *Easy Elect KSB pump, 2023*

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

Figura 32: Modelos seleccionados de acuerdo al easy select

	Serie	Tamaño constructivo	Precios de	Prec	Selecci	Eficiencia	Potencia absorbida	Velocidad	Paso libre	NPSH requerido	Potencia máxima para curva	Relación Q / Qopt
1	RPH	040-181	previa demanda		☑	54,08 %	2,41 kW	2880 rpm	0 mm	4,53 m	2,57 kW	98,40 %
2	RPH	040-181B	previa demanda		☐	42,53 %	3,07 kW	2902 rpm	0 mm	3,13 m	3,09 kW	110,58 %
3	RPH	050-280	previa demanda		☐	56,16 %	2,32 kW	1436 rpm	0 mm	0,91 m	2,96 kW	76,68 %
4	RPH	080-280B	previa demanda		☐	54,23 %	2,40 kW	1439 rpm	0 mm	1,08 m	3,09 kW	63,59 %
5	RPH	050-280.1	previa demanda		☐	50,30 %	2,60 kW	1439 rpm	0 mm	1,08 m	3,49 kW	101,81 %
6	RPH	050-360.1	previa		☐	39,80 %	3,29 kW	1442 rpm	0 mm	1,13 m	4,02 kW	120,49 %

Fuente: *Easy Elect KSB pump, 2023*

c) Para no modificar la instalación ya existente y de acuerdo a la **Tabla No 9**, donde se especifica que la conexión de succión deberá ser de 3” y la de descarga de 2”; pero por la hidráulica de un fluido, se recomienda que dichas conexiones sean de menor diámetro, por lo que tendremos: (KSB , 2022)

Tabla 12: Dimensiones de la bomba RPH de KSB

Size	Bearing bracket	Weight [kg]	Pump dimensions												
			DN_1	DN_2	a	c'	e	f'	g_1	h_2	m_1	n_1	n_3	n_6	r
25-180	B02S	116	40	25	120	772	105	652	40	230	130	420	320	0	185
25-230	B02S	131	40	25	120	772	125	652	40	255	130	460	360	0	205
40-180	B02S	122	50	40	130	782	105	652	40	250	130	420	320	0	188
40-181	B02L	136	50	40	130	786	110	656	40	250	130	420	320	0	198
40-230	B02S	138	50	40	130	782	130	652	40	265	136	460	360	0	215
40-231	B02L	158	50	40	140	796	135	656	40	265	146	460	360	0	220
40-280	B02L	197	50	40	140	796	160	656	40	290	146	540	440	0	238
40-281	B02L	195	50	40	140	796	160	656	40	290	150	540	440	0	248
40-361	B02L	249	50	40	150	806	195	656	40	305	150	640	540	0	275
50-180	B02L	153	80	50	150	806	120	656	50	265	150	470	360	0	220
50-230	B03	240	80	50	155	910	140	755	50	265	150	510	400	0	230
50-280	B03	289	80	50	170	915	170	755	50	290	150	550	440	0	255
50-360	B03	347	80	50	170	915	200	755	50	310	150	650	540	0	285
50-450	B03	441	80	50	180	935	245	755	50	365	150	750	640	0	325
80-180	B03	242	100	80	175	945	140	770	60	290	170	510	400	0	235
80-230	B03	264	100	80	170	925	160	755	60	290	170	550	440	20	265
80-280	B03	317	100	80	180	935	180	755	60	300	170	590	480	20	290
80-360	B03	361	100	80	190	945	210	755	60	310	170	650	540	15	325

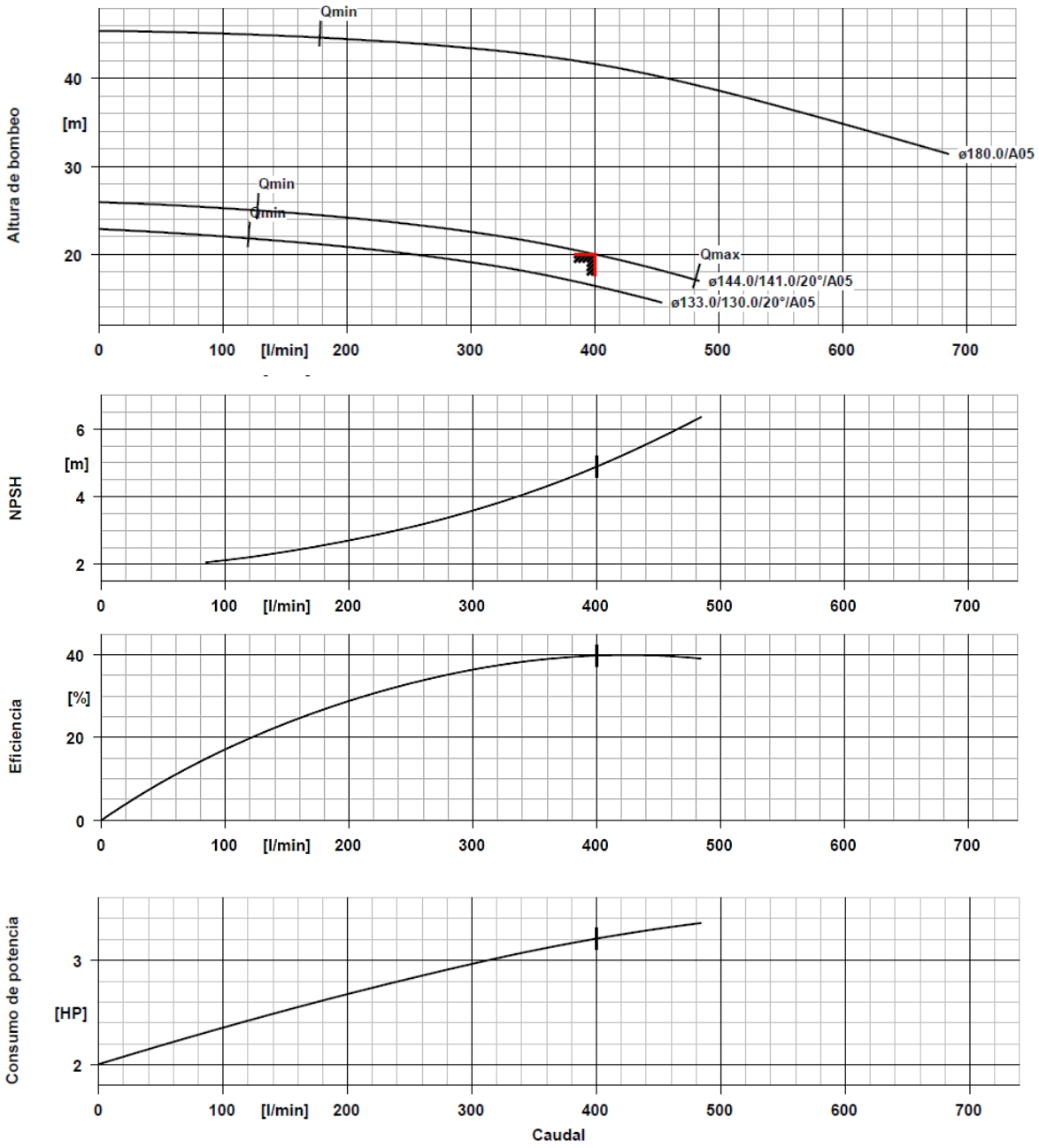
Fuente: *Easy Elect KSB pump, 2023*

d) Por lo descrito en el cuadro anterior, la bomba seleccionada será la: (KSB , 2022)

KSB RPH 40-181

e) Dando continuidad a la selección de la bomba mediante el software graficamos la curva característica de la bomba: (KSB , 2022)

Figura 33: Curva de comportamiento de la bomba RPH



Fuente: *Easy Elect KSB pump, 2023*

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

f) Realizamos la selección de la bomba, mediante la fórmula propuesta por la AGA para la selección de un motor eléctrico, donde:

$$\text{Potencia} = \frac{H \cdot Q \cdot \gamma}{270 \cdot n}$$

Donde:

H: Altura de bombeo → **Total, Cabeza entregado:** 20 m

Q: Caudal requerido en → **Caudal:** 400 LPM (24 m^3/h)

n: Eficiencia → Leído de la **Figura No 32** (54,08%)

γ: Gravedad específica → **Gravedad específica:** 0,72

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

Tabla 13: Cálculo de la potencia del motor

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Altura	**H**	20	**mca**
Caudal	**Q**	24	**m^3/h**
Eficiencia	**n**	54,08	**%**
Peso especifico	**γ**	0,72	
Potencia Teórica	**Pot**	3,4	**HP**

Fuente: *Elaboración propia, 2023*

La potencia calculada será de 3,4 HP, pero debido a recomendaciones de la norma API, se pide dimensionar el mismo aplicando un factor de seguridad del 30%, es decir, multiplicándolo por 1,3, por ende, se tendrá lo siguiente:

Potencia motor eléctrico = 3,4 HP x 1,3 = 4,42 HP

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

Tabla 14: 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**
12,50	9,20	**160L**
15,00	11,00	**160L**
20,00	**15,00**	**180L**
25,00	18,50	**200L**
30,00	**22,00**	**200L**

Fuente: WEG, 2023

Entonces la potencia del motor requerido será de 5,5 HP o 4 KW.

El resumen de datos del equipo seleccionado es el siguiente:

Tabla 15: Potencias comerciales de motores eléctricos

Modelo de la bomba:	**KSB RPH 40-181**				
Datos Operacionales:					
Liquido bombeado:	Av. Gas		**Eficiencia:**	39,08	%
Densidad:	-	lb/pie^3	**Etapas:**	1,00	
Densidad:	0,728	kg/m^3	**NPSH r:**	4,89	m
Caudal nominal:	**24,00**	**m^3/h**	**Diámetro Rodete:**	144,00	mm
Altura de bombeo:	**20,00**	**mca**	**Tipo de Cierre:**	Sello Mecánico c/Plan API 11	
Velocidad de rotación:	2900,00	rpm	**Presión Max. Trabajo:**	16,00	bar
Potencia motor:	**5,5**	**HP**	**Ruido Máximo:**	64,00	dB
Altura de operación:	400,00	msnm	**Bridas:**	ANSI B 16.1	
Materiales:					
Carcasa de la bomba:	Acero al carbono A216 WCB				
Tapa de presión:	Acero al carbono A216 WCB				
Rodete:	Acero al carbono A216 WCB				
Eje:	Acero A434 4140				
Sello mecánico:	Q1Q1VGG (Plan API No 11)				
Anillo de desgaste:	Acero al carbono A216 WCB				
Casquillo protector del eje:	Acero al carbono A216 WCB				
Datos Constructivos:					
Tipo de conexión:	Bridada				
Diámetro boca de succión (DN 1):	DN 50 (2 pulg) /Posición VERTICAL				
Diámetro boca de descarga (DN 2):	DN 40 (1 ½ pulg) /Posición HORIZONTAL				
Tipo de superficie:	Cara plana (FF)				
Tipo rodete:	Cerrado				
Peso del equipo:	750 kg (Bomba completa)				
Motor Eléctrico:					
Norma constructiva / tipo:	NEMA EXD Zona 1 Grupo IIA/II B T4				
Potencia del motor:	5,5 HP				
Numero de polos:	2,00				
Eficiencia:	Alta eficiencia				
Tipo de protección:	IP55				
Velocidad de giro:	2900 rpm				
Tensión:	380/660 V, 50 Hz, Clase F				

Fuente: *Elaboración propia, 2023*

La ficha técnica del equipo seleccionado se encuentra a mayor detalle en el Anexo C del presente proyecto.

2.3.1.2 Selección de la bomba Multisteel

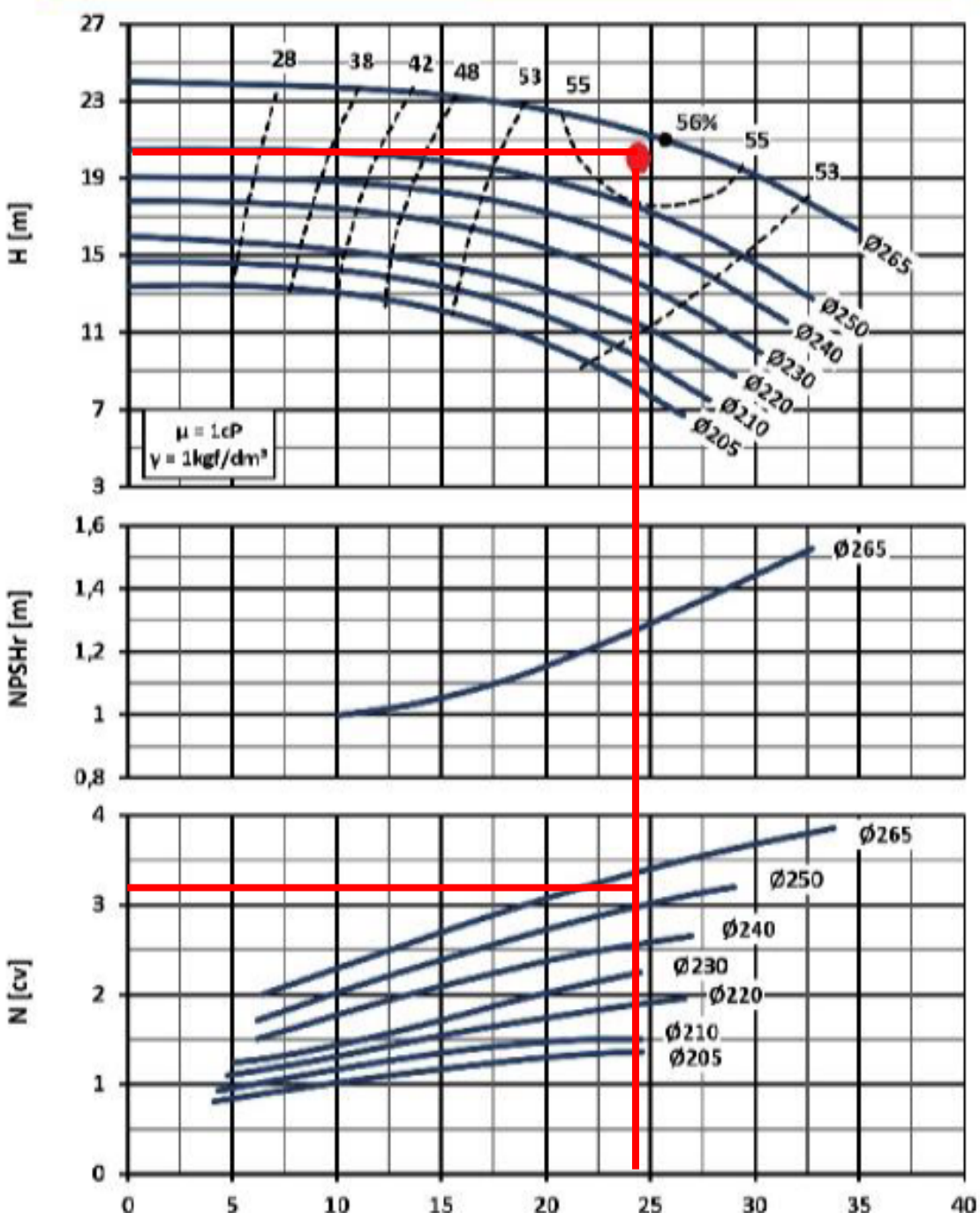
Mutisteel es un fabricante brasilero cuya especialidad es la provisión de bombas bajo la norma ANSI, por ende, para el presente proyecto se tomó como referente para la selección de una bomba bajo esa normativa. (MULTISTEEL, 2022)

El modelo seleccionado de la bomba será el RSA, debido a que cumple con todo lo establecido con la norma ANSI B 73.1 (Anexo B), por otro lado, verificando la gran gama de tamaños que se muestran en el catálogo, seleccionamos el siguiente:

MULTISTEEL, RSA 40/260 - Impulsor Abierto

Tomando en cuenta la curva característica de la bomba, este es el procedimiento detallado:

Figura 34: Curva de rendimiento de la bomba RSA 40/260



Fuente: *Multisteel, 2023*

El resumen de datos del equipo seleccionado es el siguiente:

Tabla 16: Resumen de las especificaciones técnicas de la bomba multisteel

Modelo de la bomba:	**MULTISTEEL RSA 40/260 – Impulsor Abierto**				
Datos Operacionales:					
Liquido bombeado:	Av. Gas		**Eficiencia:**	55,00	%
Densidad:	-	lb/pie^3	**Etapas:**	1,00	
Densidad:	0,728	kg/m^3	**NPSH r:**	1,4	m
Caudal nominal:	24,00	m^3/h	**Diámetro Rodete:**	262,00	mm
Altura de bombeo:	20,00	mca	**Tipo de Cierre:**	Sello Mecánico c/Plan API 11	
Velocidad de rotación:	1.450,00	rpm	**Presión Max. Trabajo:**	16,00	bar
Potencia motor:	4,5	HP	**Ruido Máximo:**	64,00	dB
Altura de operación:	400,00	msnm	**Bridas:**	ANSI B 16.1	
Materiales:					
Carcasa de la bomba:	ASTM A216 WCB				
Tapa de presión:	ASTM A216 WCB				
Rodete:	ASTM A216 WCB				
Eje:	Acero Inoxidable AISI 304				
Sello mecánico:	Q1Q1VGG (Plan API No 11)				
Anillo de desgaste:	ASTM A216 WCB				
Casquillo protector del eje:	ASTM A216 WCB				
Datos Constructivos:					
Tipo de conexión:	Bridada				
Diámetro boca de succión (DN 1):	DN 65 (2 ½ pulg) /Posición VERTICAL				
Diámetro boca de descarga (DN 2):	DN 40 (1 ½ pulg) /Posición HORIZONTAL				
Tipo de superficie:	Cara plana (FF)				
Tipo rodete:	Cerrado				
Peso del equipo:	550 kg (Bomba completa)				
Motor Eléctrico:					
Norma constructiva / tipo:	NEMA EXD Zona 1 Grupo IIA/II B T4				
Potencia del motor:	4,0 HP				
Numero de polos:	4,00				
Eficiencia:	Alta eficiencia				
Tipo de protección:	IP55				
Velocidad de giro:	1450 rpm				
Tensión:	380/660 V, 50 Hz, Clase F				

Fuente: *Elaboración propia, 2023*

2.3.1.3 Análisis comparativo técnico - comercial,

De acuerdo a las dos bombas seleccionadas, se realizará una Tabla comparativa para seleccionar la mejor opción; respecto al precio de cada equipo, se solicitó una cotización vía fábrica o con los representantes en Bolivia.

Tabla 17: Tabla comparativa de bombas API/ANSI

Parámetros	Bomba KSB	Bomba Multisteel
Modelo	KSB RPH 40-181	RSA 40/260
País de origen	Alemania	Brasil
Caudal (m^3/h)	24	24
Tiempo de carguío de la cisterna (min)	20	20
Número de pistones	2	2
Velocidad (rpm)	2900	1450
Material constructivo	Acero al carbono	Acero inoxidable
Diámetro succión (pulg)	2	1 ½
Diámetro descarga (pulg)	2 ½	2
Eficiencia	39	55
Potencia del motor (HP)	5,5	4
Plan de sellado	API No 11	API No 11
NPSH requerido (m)	4,89	1,4
Pruebas de certificación	Si	Si
Costo (USD)	42.000,00	25.000,00
Tiempo de entrega (días)	150	70
Representación en Bolivia	Si	Si
Servicio técnico especializado	No	No

Fuente: *Elaboración propia, 2023*

Por los valores mencionados en la tabla anterior, la mejor elección seria la bomba Multisteel, debido al precio, tiempo de entrega, consumo de corriente eléctrica, y mantenimiento.

2.3.1.4 Dimensionamiento del tanque cebador

Según lo descrito en el **Punto 2.1.4**, el volumen de un tanque cebador debe cumplir con lo siguiente:

Vol. TK cebador = 3 x Vol. Piping Succión

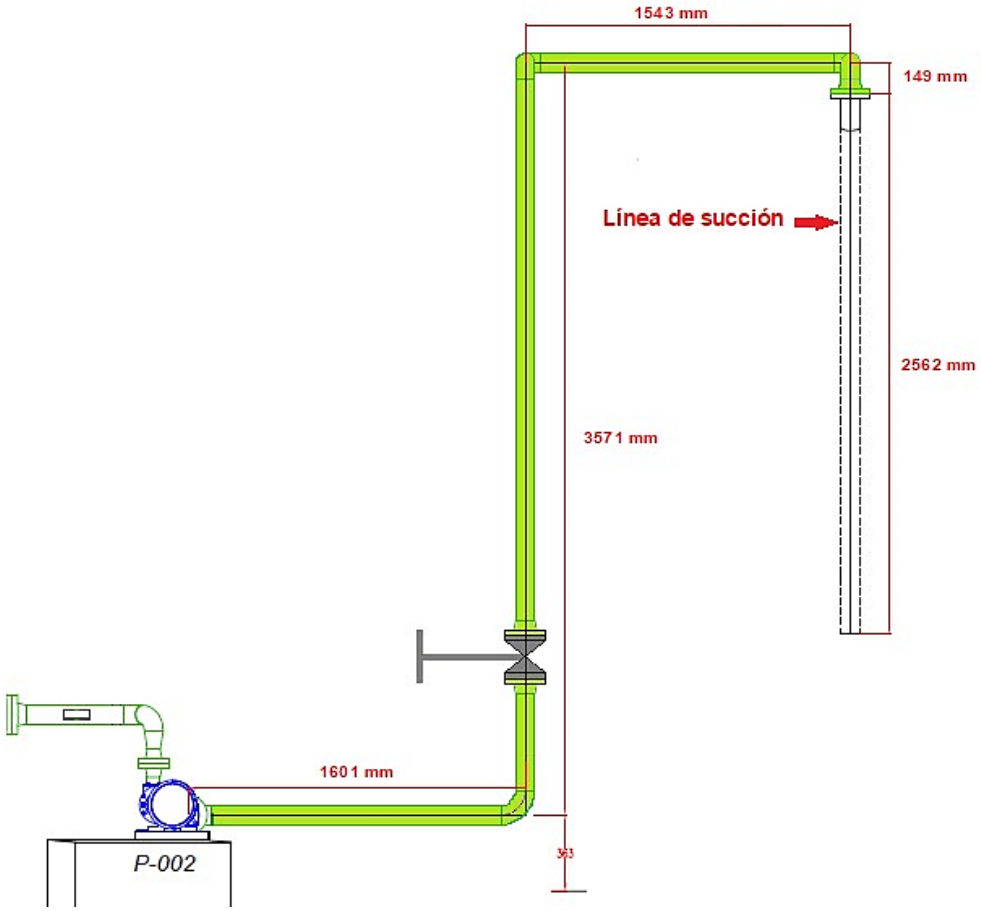
a) Cálculo del volumen de las tuberías de succión:

Determinamos la longitud total de la tubería en el tramo de succión:

Longitud Piping = (2.562,00 + 149 + 152 + 1.563,00 + 3.571,00 + 1.601,00) mm

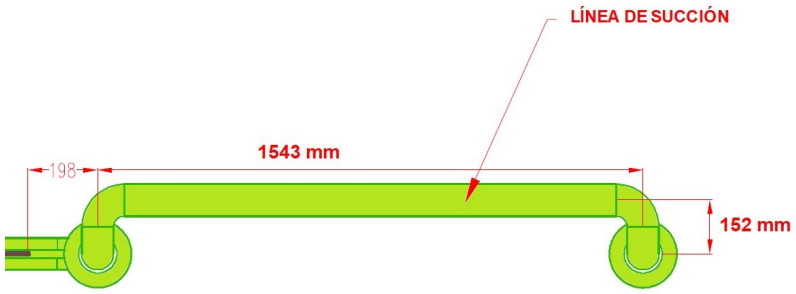
Longitud Piping = 9.598,00 mm (9,6 m)

Figura 35: Dimensiones de las tuberías de succión (vista frontal)



Fuente: *Elaboración propia, 2023*

Figura 36: Dimensiones de las tuberías de succión (vista alzada)



Fuente: *Elaboración propia, 2023*

b) Determinamos el volumen total interno en el tramo de succión suponiendo que el tramo es lineal, ya que la variación será mínima e insignificante.

$$V = \Pi\ h\ r^2$$

Según la API 5L/ ASTM A53 / A106 (Anexo 5) el diámetro interno para una cañería de 3 pulg es 80 mm y el radio = 40 mm (0,04 m)

Entonces el volumen será igual a:

$$\text{Vol. Piping} = 3{,}1416 \times 9{,}6\ \text{m} \times (0{,}04)^2$$

$$\text{Vol. Piping} = 0{,}05\ \text{m}^3\ (50\ \text{litros})$$

c) Cálculo del volumen del tanque cebador:

Longitud Piping = 9.598,00 mm (9,6 m)

d) Finalmente, el cálculo del tanque cebador será:

Vol. TK cebador = $3 \times 0{,}05 = 0{,}15\ \text{m}^3$ (150 L)

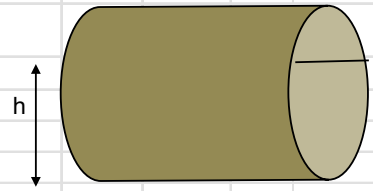
e) Las dimensiones recomendadas para el tanque serán determinadas con ayuda de una hoja en Excel, se deberá tomar en cuenta que la relación longitud/diámetro deberá ser mínimamente 2:1, es decir, la altura deberá duplicar el diámetro del tanque, para que la presión hidrostática sea mayor, entonces:

Tabla 18: Càlculo de las dimensiones del tanque cebador

VOLUMENES DE TANQUES CILINDRICOS HORIZONTALES

DATOS

LONGITUD (mts)	**0,95**
DIAMETRO (mts)	**0,45**
RADIO (mts)	**0,23**

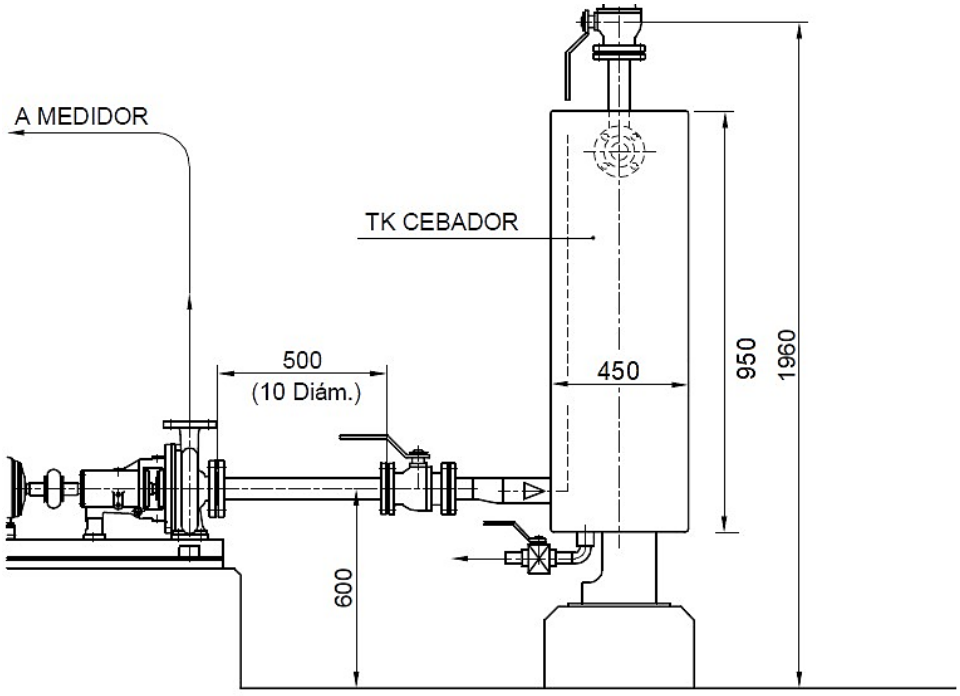


Volumen total (Bbl)	**0,95**	**151,1**	**Litros**

Fuente: *Elaboración propia, 2023*

El esquema final de la instalación será el siguiente:

Figura 37: Dimensiones de las tuberías de succión (vista alzada)



Fuente: *Elaboración propia, 2023*

2.3.1.5 Estimación de los costos de inversión

Solicitado una cotización al proveedor local, se tiene el siguiente presupuesto:

Tabla 19: Estimación de costos

DESCRIPCION	REV.	CANT.	P/ VENTA/ UNIT USD	P/ VENTA/ TOTAL USD	Tiempo de entrega (días)
Bomba RSA 40/260 + Motor EXD 4HP + Base metálica + Acople flexible (Plan de sellado API 11)	Rev00	1	**25.000,00**	**25.000,00**	**70**
Tanque autocebante automático **Material:** Acero al carbono ASTM 1035 soldado **Conexiones bridadas:** ANSI 150 RF C/ válvula de aire y eyector C/ válvula de purga y limpieza	Rev00	1	**5.360,00**	**5360,00**	
Instalación y servicio de mano de obra calificada.	Rev00	GBL	**2.000,00**	**2.000,00**	
TOTAL (USD)				**32.360,00**	

Fuente: *Elaboración propia, 2023*

2.4 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

2.4.1 Análisis de resultados

De acuerdo a los puntos de operación requeridos en la aeroplanta Riberalta, se seleccionaron dos bombas de marcas reconocidas en el mercado boliviano, la marca KSB que cumple la norma API 610 y la marca MULTISTEEL la cual da cumplimiento a la norma ANSI B73.1, de acuerdo a la tabulación de los datos de cada bomba, se realizó una comparativa, donde por muy lejos la mejor opción fue la bomba Multisteel, por los siguientes aspectos:

- El costo es aproximadamente la mitad que el de una bomba API, por lo que la diferencia de costos puede ser aprovechado en otras inversiones que sean necesarios en la planta.

- La eficiencia de la bomba Multisteel (55 %) es mucho mayor al de la bomba KSB (39 %), lo que significa que el motor seleccionado de la marca Multisteel (4 HP) es menor al de KSB (5,5 HP), esto implica menor consumo de corriente y menor costo en el mantenimiento.
- Las revoluciones de la bomba Multisteel (1455 rpm) son menores al de la marca KSB (2900 rpm), esto significa que tendrá menor mantenimiento, debido a que la rotación es menor, por lo tanto, el desgaste en rodamientos, bujes será menor.
- El tiempo de la bomba Multisteel es menor (70 días), lo que implica que se tendrá con mayor prontitud el equipo y los repuestos en caso de ser necesario.
- El NPSH de la bomba Multisteel es 1,4 m y de la bomba KSB 4,89 m, esto significa que la bomba de industria brasilera requiere menor presión al ingreso de la bomba, lo que para la aeroplanta sería de gran ayuda, ya que actualmente presenta problemas en la succión por presiones negativas.

El volumen calculado del tanque cebador deberá ser de 150 litros, para tal efecto, se tuvo bastante cuidado al realizar el dimensionamiento del tanque, esto debido a que, según recomendaciones de artículos técnicos de la mecánica de fluidos, la altura mínimamente deberá ser el doble que el valor del diámetro, de esta manera garantizaremos un mayor valor en la presión del fondo del tanque producto de una mayor columna de líquido.

Para finalizar, el esquema propuesto de la instalación implica modificaciones menores a la instalación actual con la que cuentan en la aeroplanta, por lo que la interrupción de trabajos será de pocos días y el costo será mucho menor.

2.4.2 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.

CONCLUSIONES

- Según el reglamento de la ANH, todos los aspectos técnicos relacionados a los sistemas de bombeo son direccionados a la norma API 2610, donde se establece que las bombas deberán ser diseñadas y construidas bajo la norma API/ASME.

- La aeroplanta cuenta con un tanque horizontal de Gasolina de Aviación (Av Gas), en la cual la tubería de succión que conecta la bomba al tanque es atípica, debido a la salida del tanque e ingreso a la bomba, lo que origina una presión negativa.
  Actualmente cuentan con una bomba del tipo paletas que no cumple el estándar de la API 2610.

- Se seleccionaron dos bombas de marcas diferentes que cumplan los estándares de la API 610 y de la ANSI B73.1.
  La bomba API seleccionada es la KSB RPH 40-181 de fabricación alemana.
  La bomba ANSI seleccionada fue la Multisteel RSA 40/260 de fabricación brasilera.
  Se realizo un análisis comparativo entre las especificaciones técnicas y comerciales de las dos bombas y se eligió la marca Multisteel como la que mejor se ajusta a las exigencias de la aeroplanta.

- Se determinó que el volumen mínimo requerido del tanque autocebante es de 150 litros y las dimensiones tomando en cuenta criterios hidráulicos es: Longitud: 0,95 m; diámetro: 0,45 m.

- Se cálculo el valor total de la inversión, el cual asciende a 32.360,00 USD, el cual implica provisión de la bomba completa, tanque autocebante y el servicio de instalación y mano de obra.
  El tiempo estimado para el desarrollo del trabajo es de 70 días hábiles.

REFERENCIAS BIBLIOGRÀFICAS

- **Alcoba, Y. C. (2023). Jefa de Proyectos Multisteel Bolivia. (R. A. Llanos, Entrevistador)**
- ANH. (2012). REGLAMENTO PARA CONSTRUCCION Y OPERACIÓN DE PLANTAS DE ALMACENAJE DE COMBUSTIBLES LIQUIDOS. ANH.
- API. (2014). *API 2610.* Washington D. C.: API.
- API 610. (2021). *Centrifugai Pumps for Petroleum Petrochemical, and Natural Gas Industries.* Washington D. C.: API.
- E. Luna, M. (3 de Julio de 2006). Guia para la Seleccion de Válvulas de Retención.
- KSB . (2022). *BOMBAS RPH.* FRANKENTHAL: KSB.
- López, J. E. (2001). *Manual de instalaciones de GLP.* Madrid - España: CEPSA ELF GAS, S.A.
- MULTISTEEL. (2022). *CATALOGO BOMBAS RSA.* SAU PAULO: MULTISTEEL.
- Pefow Equipamientos S.A. (2005). *Manuel de Equipos Pefow.* Buenos Aires.
- Viejo Zubicaray, M. (2001). *Bombas: Teoría, diseño y aplicaciones.* a: b.
- WEG. (2021). *MOTORES ELECTRICOS.* RIO DE JANEIRO: WEG.
- YPF. (2011). *Manual de Operaciones y Mantenimiento en Aeroplantas.* BUENOS AIRES: YPF.
- YPFB AVIACION. (2023). *INFORME TECNICO ANUAL.* SANTA CRUZ : YPFB AVIACION.
- 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
- https://es.scribd.com/document/560039224/804610-1

ANEXOS

ANEXO A.

ANEXO 1: REGLAMENTACION DE DISEÑO DE PLANTAS DE ALMACENAJE DE HIDROCARBUROS LIQUIDOS

II. Constará principalmente de los siguientes elementos, equipos e instalaciones:

1. Manifold de Recepción que permita la distribución de productos a los diferentes tanques en forma independiente, provisto de válvulas de bloqueo, válvulas de retención (check), válvulas de seguridad, válvulas de alivio y todos los dispositivos necesarios para una buena operación. Las líneas podrán ser diseñadas e instaladas tomando como referencia las normas ?ASME B31.4 Pipeline Transportation Systems for Liquid Hydrocarbons and Other Liquids? y ?API STD 1104 Welding of Pipelines and Related Facilities?;

2. El sistema de Recepción de hidrocarburos mediante cisternas, barcazas y tanques ferroviarios, deberá contar con contadores volumétricos; además este sistema contará con válvulas adecuadas de seguridad y alivio, instrumentos y dispositivos de control y registro que permitan determinar con precisión parámetros fundamentales como volumen, temperatura, presión. La gravedad específica será determinada mediante análisis previo;

3. El sistema de Recepción de hidrocarburos mediante poliducto, deberá contar en su diseño e instalación con los dispositivos para la recuperación de raspa tubos de limpieza, contadores volumétricos, control continuo de la gravedad específica de cada producto y válvulas de seguridad y alivio, entre otros. Siendo responsabilidad de la empresa de transporte su implementación;

4. Los equipos e instalaciones eléctricas y electrónicas en el área del sistema de Recepción de hidrocarburos, podrán referirse a la norma ?NFPA 70 National Electrical Code? bajo la nominación ?NEC Class I, División 1, Group D (Explosión Proof)?;

5. Todos los equipos y estructuras metálicas en el área del sistema de Recepción, deberán estar conectados a un sistema o red de puesta a tierra.

6. Se instalarán y ubicarán monitores, hidrantes, mangueras y accesorios que permitan combatir cualquier situación de incendio en el área de Recepción, el sistema podrá ser diseñado tomando como referencia la norma ?NFPA 24 Standard for the Installation of Private Fire Service Mains and Their Appurtenances?;

7. Cada isla o plataforma de Recepción deberá contar con un extintor industrial de polvo químico seco de 70Kg de capacidad y dos extintores manuales o portátiles de 12 Kg cada uno;

8. Las bombas centrífugas a ser instaladas en los puntos de Recepción podrán utilizar como referencia la norma ?API STD 610 Centrifugal Pumps for Petroleum, Petrochemical and Natural Gas Industries?;

9. Los dispositivos de alivio por expansión térmica en línea, podrán ser dimensionados tomando como referencia las normas ?API RP 520 Sizing, Selection, and Installation of Pressure-Relieving Devices in Refineries Part I - Sizing and Selection? y la ?API RP 521 Guide for Pressure - Relieving and Depressuring Systems?;

10. El sistema de Recepción deberá contar con un sistema de puesta a tierra, que garantice un adecuado aterramiento de los camiones cisternas de manera previa a las operaciones de descarga;

11. El sistema de Recepción deberá contar con un sistema de contención diseñado para contener y controlar derrames

Fuente: *Gaceta oficial del Estado Plurinacional de Bolivia*

ANEXO 2: FOLLETO CARACTERISTICO DE LA BOMBA KSB RPH

› Nuestra tecnología. Su éxito.
Bombas · Válvulas · Servicio

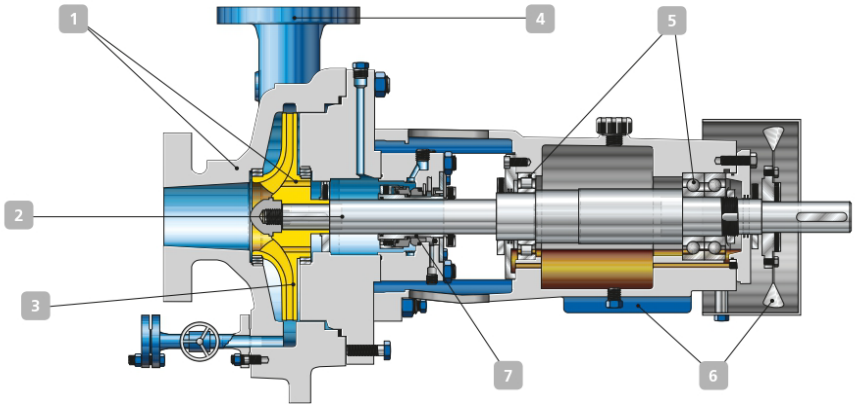
KSB

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

Fuente: *KSB pump, 2023*

ANEXO 3: 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

1316.025/06-ES / 08.19 / © KSB SE & Co. KGaA 2019 · Sujeto a modificaciones técnicas

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

Fuente: *KSB pump, 2023*

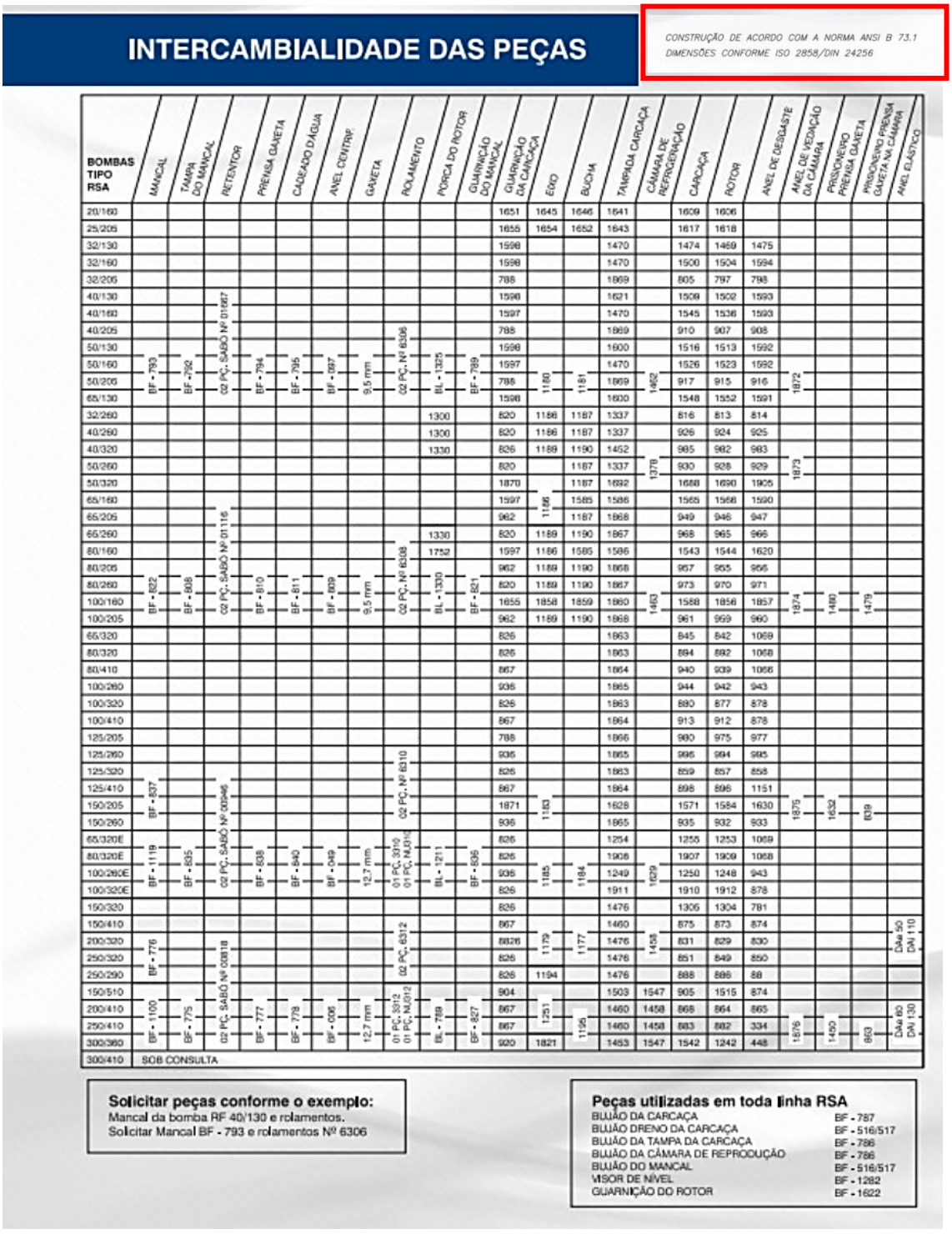
ANEXO B.

ANEXO 4: FOLLETO CARACTERISTICO DE LA BOMBA MULTISTEEL RF

Fuente: *KMultisteel, 2023*

ANEXO 5: FOLLETO CARACTERISTICO DE LA BOMBA MULTISTEEL RF

(continuación)



INTERCAMBIALIDADE DAS PEÇAS

CONSTRUÇÃO DE ACORDO COM A NORMA ANSI B 73.1
DIMENSÕES CONFORME ISO 2858/DIN 24256

BOMBAS TIPO RSA	MANCAL	TAMPA DO MANCAL	RETENTOR	PRENSA GAXETA	CADEADO D'ÁGUA	ANEL CENTRIF.	GAXETA	ROLAMENTO	PORCA DO ROTOR	GUARNIÇÃO DO MANCAL	GUARNIÇÃO DA CARCAÇA	EIXO	BUCHA	TAMPA DA CARCAÇA	CÂMARA DE REPRODUÇÃO	CARCAÇA	ROTOR	ANEL DE DESGASTE	ANEL DE VEDAÇÃO DA CÂMARA	PRISIONEIRO PRENSA GAXETA	PRISIONEIRO PRENSA GAXETA NA CÂMARA	ANEL ELÁSTICO
20/160											1651	1645	1646	1641		1609	1606					
25/205											1655	1654	1652	1643		1617	1618					
32/130											1598			1470		1474	1469	1475				
32/160											1598			1470		1500	1504	1594				
32/205											788			1869		805	797	798				
40/130											1598			1621		1509	1502	1593				
40/160											1597			1470		1545	1536	1593				
40/205											788			1869		910	907	908				
50/130											1598			1600		1516	1513	1592				
50/160											1597			1470		1526	1523	1592				
50/205											788			1869		917	915	916				
65/130											1598			1600		1548	1552	1591				
32/260											820			1337		816	813	814				
40/260											820			1337		926	924	925				
40/320											826			1452		985	982	983				
50/260											820			1337		930	928	929				
50/320											1870			1692		1688	1690	1905				
65/160											1597			1586		1565	1568	1590				
65/205											962			1868		949	946	947				
65/260											820			1867		968	965	966				
80/160											1597			1586		1543	1544	1620				
80/205											962			1868		957	955	956				
80/260											820			1867		973	970	971				
100/160											1655			1860		1588	1856	1857				
100/205											962			1868		961	959	960				
65/320											826			1863		845	842	1069				
80/320											826			1863		894	892	1068				
80/410											867			1864		940	939	1066				
100/260											936			1865		944	942	943				
100/320											826			1863		880	877	878				
100/410											867			1864		913	912	878				
125/205											788			1866		980	975	977				
125/260											936			1865		996	994	995				
125/320											826			1863		859	857	858				
125/410											867			1864		898	896	1151				
150/205											1871			1628		1571	1584	1630				
150/260											936			1865		935	932	933				
65/320E											826			1254		1255	1253	1069				
80/320E											826			1908		1907	1909	1068				
100/260E											936			1249		1250	1248	943				
100/320E											826			1911		1910	1912	878				
150/320											826			1476		1305	1304	781				
150/410											867			1460		875	873	874				
200/320											8826			1476		831	829	830				
250/320											826			1476		851	849	850				
250/290											826			1476		888	886	88				
150/510											904			1503		905	1515	874				
200/410											867			1460		868	864	865				
250/410											867			1460		883	882	334				
300/360											920			1453		1542	1242	448				
300/410	SOB CONSULTA																					

BF - 793 | BF - 792 | 02 PÇ. SABÃO Nº 01667 | BF - 794 | BF - 795 | BF - 697 | 9,5 mm | 02 PÇ. Nº 6306 | BL - 1325 | BF - 789 | 1160 | 1161 | 1462 | 1872

BF - 822 | BF - 808 | 02 PÇ. SABÃO Nº 01116 | BF - 810 | BF - 811 | BF - 809 | 9,5 mm | 02 PÇ. Nº 6308 | BL - 1330 | BF - 821 | 1186 | 1463 | 1874 | 1480 | 1479

BF - 837 | 02 PÇ. SABÃO Nº 00946 | 02 PÇ. Nº 6310 | 1163 | 1875 | 1632 | 839

BF - 1119 | BF - 835 | 02 PÇ. SABÃO Nº 00946 | BF - 838 | BF - 840 | BF - 049 | 12,7 mm | 01 PÇ. 3210 01 PÇ. NJ310 | BL - 1211 | BF - 836 | 1185 | 1184 | 1029

BF - 776 | 02 PÇ. SABÃO Nº 00818 | 02 PÇ. 6312 | 1179 | 1177 | 1458 | DIAM 50 DIAM 110

BF - 1100 | BF - 775 | 02 PÇ. SABÃO Nº 00818 | BF - 777 | BF - 778 | BF - 006 | 12,7 mm | 01 PÇ. 3212 01 PÇ. NJ312 | BL - 789 | BF - 827 | 1251 | 1195 | 1878 | 1490 | 863 | DIAM 60 DIAM 130

Solicitar peças conforme o exemplo:
Mancal da bomba RF 40/130 e rolamentos.
Solicitar Mancal BF - 793 e rolamentos Nº 6306

Peças utilizadas em toda linha RSA

BUJÃO DA CARCAÇA	BF - 787
BUJÃO DRENO DA CARCAÇA	BF - 516/517
BUJÃO DA TAMPA DA CARCAÇA	BF - 786
BUJÃO DA CÂMARA DE REPRODUÇÃO	BF - 786
BUJÃO DO MANCAL	BF - 516/517
VISOR DE NÍVEL	BF - 1282
GUARNIÇÃO DO ROTOR	BF - 1622

Fuente: *KMultisteel, 2023*

ANEXO 6: TABLA DE LA NORMA API 5L/ ASTM A53 / A1O6

Máxima Presión PSI											
Medida Nominal inch (mm)	Cédula		Espesor de pared (mm)	Temperature (°C)							
				-29 +38	205	260	350	370	400	430	450
				Maximum Allowable Stress (MPa)							
				137.8	137.8	130.2	117.1	115.7	89.6	74.4	59.9
1/4" (6)	STD	40	2.24	7985	7985	-	-	-	-	-	-
	XS	80	3.02	10798	10798	-	-	-	-	-	-
3/8" (9.6)	STD	40	2.31	6606	6606	-	-	-	-	-	-
	XS	80	3.20	9147	9147	-	-	-	-	-	-
1/2" (15)	STD	40	2.77	4992	4992	4718	4243	4193	3245	2696	2172
	XS	80	3.73	6975	6975	6594	5929	5859	4534	3766	3034
		160	4.78	9113	9113	8612	7746	7655	5923	4921	3964
	XXS		7.47	14249	14249	13465	12112	11969	9262	7695	6199
3/4" (20)	STD	40	2.87	4071	4071	3847	3461	3420	2646	2198	1771
	XS	80	3.91	5717	5717	5402	4860	4802	3715	3087	2486
		160	5.56	8434	8434	7971	7169	7084	5482	4554	3668
	XXS		7.82	12054	12054	11391	10246	10125	7836	6509	5243
1" (25)	STD	40	3.38	3807	3807	3598	3236	3198	2474	2056	1656
	XS	80	4.55	5262	5262	4973	4476	4420	3421	2842	2289
		160	6.35	7612	7612	7193	6470	6394	4948	4110	3311
	XXS		9.09	11172	11172	10558	9496	9385	7262	6033	4860
1 1/4" (32)	STD	40	3.56	3135	3135	2962	2664	2633	2038	1693	1364
	XS	80	4.85	4377	4377	4136	3720	3676	2845	2363	1904
		160	6.35	5888	5888	5564	5005	4946	3827	3180	2561
	XXS		9.7	9370	9370	8854	7963	7871	6090	5059	4075
1 1/2" (40)	STD	40	3.68	2820	2820	2665	2397	2368	1833	1530	1226
	XS	80	5.08	3974	3974	3756	3379	3339	2583	2147	1729
		160	7.14	5764	5764	5453	4905	4847	3750	3116	2510
	XXS		10.16	8525	8528	8056	7247	7161	5541	4604	3708
2" (50)	STD	40	3.91	2375	2375	2243	2020	1996	1544	1283	1033
	XS	80	5.54	3431	3431	3242	2916	2882	2230	1853	1492
		160	8.74	5637	5637	5327	4792	4736	3665	3044	2452
	XXS		11.07	7367	7367	6962	6262	6189	4789	3978	3205
2 1/2" (65)	STD	40	5.16	2598	2598	2455	2208	2183	1689	1403	1130
	XS	80	7.01	3600	3600	3401	3060	3024	2339	1944	1566
		160	9.53	5020	5020	4745	4267	4217	3264	2711	2184
	XXS		14.02	7699	7699	7275	6544	6467	5004	4157	3349
3" (80)	STD	40	5.49	2256	2256	2171	1918	1895	1466	1218	981
	XS	80	7.62	3189	3186	3014	2711	2679	2073	1722	1387
		160	11.13	4798	4798	4533	4077	4029	3118	2590	2087
	XXS		15.24	6813	6813	6439	5791	5723	4429	3679	2964
4" (100)	STD	40	6.02	1913	1913	1808	1626	1607	1243	1033	832
	XS	80	8.56	2764	2764	2612	2349	2322	1797	1754	1202
		120	11.13	3654	3654	3453	3105	3069	2374	1973	1595
		160	13.49	4499	4499	4251	3824	3779	2924	2429	1916
	XXS		17.12	5852	5852	5530	4975	4916	3804	3160	2545
5" (125)	STD	40	6.55	1677	1677	1584	1425	1408	1089	905	731
	XS	80	9.53	2474	2474	2338	2103	2079	1609	1336	1076
		120	12.7	3355	3355	3170	2851	2818	2180	1812	1459
		160	15.88	4265	4265	4030	3626	3583	2772	2303	1856
	XXS		19.05	5206	5206	4921	4426	4374	3385	2812	2265

Fuente: *Tubos ASTM A53/ A106 / API 5L*