



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

TESIS PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

**AUTORES: LUIS RAMIRO AMORES PINZÓN
ANDREY SEBASTIAN BURGOS CALERO**

TEMA: DISEÑO, CONTRUCCIÓN Y MONTAJE DE UN SISTEMA DE BOMBEO MÓVIL CON CAPACIDAD DE $1\text{m}^3/\text{min}$ PARA LA EMPRESA SAURUS ECUADOR A FIN DE REALIZAR PRUEBAS HIDROSTÁTICAS

DIRECTOR: ING. MARIÑO OSWALDO

CODIRECTOR: ING. PÁEZ NICOLÁS

SANGOLQUÍ, OCTUBRE 2014

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO

Certificamos que el proyecto de grado titulado **DISEÑO, CONTRUCCIÓN Y MONTAJE DE UN SISTEMA DE BOMBEO MÓVIL CON CAPACIDAD DE 1m³/min PARA LA EMPRESA SAURUS ECUADOR A FIN DE REALIZAR PRUEBAS HIDROSTÁTICAS** fue realizado en su totalidad por los señores Luis Ramiro Amores Pinzón y Andrey Sebastian Burgos Calero, como requerimiento parcial para la obtención de título de Ingeniero Mecánico.

õ õ õ õ õ õ õ õ õ õ ...

Ing. Oswaldo Mariño

DIRECTOR

õ õ õ õ õ õ õ õ õ õ ...

Ing. Nicolás Páez

CODIRECTOR

Sangolquí, Octubre de 2014

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Luis Ramiro Amores Pinzón y Andrey Sebastian Burgos Calero, declaramos bajo juramento que el contenido de la presente tesis, es de nuestra autoría; no ha sido presentado previamente para ningún grado o calificación profesional.

õ õ õ õ õ õ õ õ õ õ ...

Andrey Burgos Calero

CC. 1719239251

õ õ õ õ õ õ õ õ õ õ ...

Ramiro Amores Pinzón

CC. 17168938914

Sangolquí, Octubre de 2014

AUTORIZACIÓN

Nosotros, Luis Ramiro Amores Pinzón y Andrey Sebastian Burgos Calero, con CC. 17168938914 y CC. 1719239251, respectivamente, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE la publicación en la biblioteca virtual de la institución, el proyecto de grado titulado **DISEÑO, CONTRUCCIÓN Y MONTAJE DE UN SISTEMA DE BOMBEO MÓVIL CON CAPACIDAD DE 1m³/min PARA LA EMPRESA SAURUS ECUADOR A FIN DE REALIZAR PRUEBAS HIDROSTÁTICAS+**

õ õ õ õ õ õ õ õ õ õ ...

Andrey Burgos Calero

CC. 1719239251

õ õ õ õ õ õ õ õ õ õ ...

Ramiro Amores Pinzón

CC. 17168938914

Sangolquí, Octubre de 2014

DEDICATORIA

A mis padres por estar siempre a mi lado cuando más los necesito, por mostrarme en cada momento su apoyo incondicional. Porque son los pilares fundamentales en mi formación profesional y han sido un apoyo incondicional durante todos estos años.

Y a mis hermanos, que con su cariño constante me ayudan a ser mejor cada día.

Andrey

Dedico el presente proyecto a mis padres que han sido un apoyo incondicional durante todos estos años.

Y a mis hermanas, que siempre me han sabido brindar su amor, comprensión y ternura.

Ramiro

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a todos y cada uno de los que de cierta forma se vieron involucrados en el desarrollo del proyecto.

Agradecemos a Christian Tapia por su valiosa colaboración, experiencia y tiempo prestado.

Y agradecemos también a nuestro Director y Codirector de tesis, Ing. Oswaldo Mariño e Ing. Nicolás Páez respectivamente, por su apoyo y conocimiento brindados.

Ramiro y Andrey

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1.....	1
GENERALIDADES DEL PROYECTO	1
1.1 ANTECEDENTES.....	1
1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	2
1.3 OBJETIVO GENERAL.....	2
1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
1.5 ALCANCE DEL PROYECTO.....	3
1.6 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA	4
CAPÍTULO 2.....	6
MARCO TEÓRICO	6
2.1 DEFINICIÓN DE SISTEMA DE BOMBEO.....	6
2.2 ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE BOMBEO	6
2.3 MOTOR	8
2.3.1 Motores a gasolina.....	8
2.3.2 Motores a diésel.....	9
2.4 BOMBAS	10
2.4.1 BOMBAS RECIPROCANTES	10
2.4.2 BOMBAS CENTRÍFUGAS	12
2.5 CAJAS DE CAMBIOS.....	14
2.5.1 Aplicaciones	15
2.5.2 Ventajas y desventajas	15

		viii
2.6	TRANSMISIÓN DE POTENCIA CAJA-BOMBA	16
2.6.1	Transmisión por bandas.....	16
2.6.2	Transmisión por cadenas	18
2.7	TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLE	19
2.7.1	Aplicaciones	19
2.8	TUBERÍAS Y ACCESORIOS.....	19
2.8.1	Pérdidas	20
2.9	DEFINICIÓN DE PRUEBAS HIDROSTÁTICAS.....	23
2.9.1	Procedimientos para pruebas hidrostáticas	23
	CAPÍTULO 3.....	25
	DISEÑO Y SELECCIÓN DE DISPOSITIVOS DEL SISTEMA	25
3.1	REQUERIMIENTOS OPERACIONALES.....	25
3.2	CÁLCULO DE ALTURAS Y PÉRDIDAS.....	26
3.2.1	Línea de succión	26
3.2.2	Línea de descarga	32
3.3	SELECCIÓN DE LA BOMBA.....	36
3.4	SELECCIÓN DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN CAJA-BOMBA	41
3.4.1	Requerimientos	43
3.5	SELECCIÓN DEL MOTOR.....	50
3.6	SELECCIÓN DE LA CAJA DE CAMBIOS.....	55
3.7	DISEÑO DE SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE COMBUSTIBLE AL MOTOR	58

	ix
CAPÍTULO 4.....	60
DISEÑO Y CONTRUCCIÓN DEL SKID Y SISTEMAS ANEXOS	60
4.1 SKID	60
4.1.1 GEOMETRÍA.....	60
4.1.2 CARGAS APLICADAS.....	62
CAPÍTULO 5.....	74
MONTAJE, PRUEBAS Y PUESTA A PUNTO EN CAMPO	74
5.1 MONTAJE DEL SISTEMA DE BOMBEO	74
5.2 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR.....	78
5.3 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DE LA CAJA DE VELOCIDADES	
79	
5.4 PRUEBAS DEL CONJUNTO Y MEDICION DE RESULTADOS	82
5.5 PUESTA A PUNTO DEL SISTEMA DE BOMBEO EN EL	
CAMPAMENTO.....	85
5.6 PRUEBAS HIDROSTÁTICAS.....	88
5.6.1 Documentación	89
5.6.2 Resultados	89
5.7 ANÁLISIS DE COSTOS DE FABRICACIÓN	91
5.7.1 COSTOS DIRECTOS.....	91
5.7.2 COSTOS INDIRECTOS.....	93
5.7.3 COSTOS TOTALES.....	93
5.7.4 COSTO DE BOMBEO.....	94

CAPITULO 6.....	x
CONCLUSIONES	97
6.1 Conclusiones del proyecto.....	97
CAPÍTULO 7.....	98
RECOMENDACIONES.....	98
7.1 Recomendaciones del proyecto.....	98
BIBLIOGRAFÍA.....	99

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Datos de la tubería.....	20
Tabla 2 Posibles variantes en la succión.....	27
Tabla 3 Valores constante k para línea de succión	30
Tabla 4 Valores constante k para línea de descarga.....	33
Tabla 5 Variantes en la descarga	35
Tabla 6 Resultados obtenidos en succión y descarga.....	35
Tabla 7 Matriz de selección del tipo de bomba.....	37
Tabla 8 Selección del tipo de bomba a partir de la ponderación	38
Tabla 9 Matriz de selección de la bomba.....	39
Tabla 10 Selección de la bomba a partir de la ponderación	40
Tabla 11 Matriz de selección del tipo de transmisión.....	41
Tabla 12 Selección de tipo de transmisión a partir de la ponderación.....	42
Tabla 13 Matriz de selección del tipo de motor.....	50
Tabla 14 Selección del tipo de motor a partir de la ponderación	52
Tabla 15 Matriz de selección del motor	53
Tabla 16 Selección de motor a partir de la ponderación.....	54
Tabla 17 Matriz de selección de la caja de cambios.....	55
Tabla 18 Selección de la caja de velocidades a partir de la ponderación.....	56
Tabla 19 Posibles materiales y espesores del tanque.....	59
Tabla 20 Propiedades de perfiles estructurales.....	69
Tabla 21 Esfuerzo admisible resultante	69

	xii
Tabla 22 Esfuerzo a la fluencia resultante	70
Tabla 23 Resultados de factor de seguridad	71
Tabla 24 Deformación máximas por tipo de perfil.....	72
Tabla 25 Componentes.....	73
Tabla 26 Velocidades en el motor y a la salida de la caja de cambios	80
Tabla 27 Velocidades en el motor y a la salida de la caja de cambios	80
Tabla 28 Tiempos estimado de bombeo.....	94
Tabla 29 Costo de bombeo de un barril de agua.....	95

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1 Componentes de un sistema de bombeo.....	6
Cuadro 2 Ventajas y desventajas de los motores a gasolina.....	9
Cuadro 3 Ventajas y desventajas del motor a diesel	9
Cuadro 4 Aplicaciones de las bombas reciprocantes	11
Cuadro 5 Ventajas y desventajas de las bombas reciprocantes.....	11
Cuadro 6 Aplicaciones de las bombas centrífugas	13
Cuadro 7 Ventajas y desventajas de las bombas centrífugas	14
Cuadro 8 Ventajas y desventajas de las cajas de cambios	15
Cuadro 9 Ventajas y desventajas de la transmisión por bandas	16
Cuadro 10 Ventajas y desventajas de la transmisión por cadenas.....	18
Cuadro 11 Ecuaciones para régimen turbulento.....	21
Cuadro 12 Requerimientos operacionales	25
Cuadro 13 Condiciones en la succión.....	26
Cuadro 14 Condiciones de la descarga	32
Cuadro 15 Influencias y ponderaciones.....	36
Cuadro 16 Ponderación selección del tipo de bomba.....	38
Cuadro 17 Ponderación selección de la bomba	39
Cuadro 18 Influencias y ponderaciones.....	41
Cuadro 19 Ponderación selección del tipo de transmisión	42
Cuadro 20 Requerimientos para selección de bandas	43
Cuadro 21 Influencias y ponderaciones.....	50
Cuadro 22 Ponderación selección del tipo motor	51

	xiv
Cuadro 23 Ponderación selección de motor	53
Cuadro 24 Influencias y ponderaciones.....	55
Cuadro 25 Ponderación selección de la caja de cambios.....	56
Cuadro 26 Dimensiones del tanque de almacenamiento.....	58
Cuadro 27 Datos.....	63
Cuadro 28 Datos para el cálculo por rigidez	71
Cuadro 29 Pasos para montar el sistema de bombeo	74
Cuadro 30 Montaje teórico vs. montaje real	77
Cuadro 31 Pasos a seguir para pruebas en motor	78
Cuadro 32 Pasos a seguir para pruebas en caja de velocidades	79
Cuadro 33 Pasos a seguir para pruebas en el sistema	82
Cuadro 34 Pasos para el montaje del sistema de bombeo.....	85
Cuadro 35 Análisis de laboratorio del agua antes y después de pruebas	90
Cuadro 36 Resultado de deformaciones durante y después de pruebas	91
Cuadro 37 Costos de materia prima y equipos	91
Cuadro 38 Costos de mano de obra directa	92
Cuadro 39 Costos de insumos.....	92
Cuadro 40 Otros costos indirectos.....	93
Cuadro 41 Costos totales	93

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 Esquema de un sistema de bombeo.....	7
Fig. 2 Clasificación de las bombas reciprocantes	12
Fig. 3 Clasificación de las bombas centrífugas.....	14
Fig. 4 Tipos de bandas	17
Fig. 5 Factores de fricción para tubería	22
Fig. 6 Distribución básica de sistema de poleas y bandas.....	43
Fig. 7 Geometría de la bomba	61
Fig. 8 Cargas aplicadas	62
Fig. 9 Elementos críticos.....	63
Fig. 10 Diagrama de cuerpo libre.....	64
Fig. 11 Diagrama de cambio de marcha.....	81
Fig. 12 Grafico Caudal teórico vs Caudal práctico.....	83
Fig. 13 Grafico Consumo de combustible vs Caudal práctico.....	83
Fig. 14 Grafico Presión vs Caudal práctico.....	84
Fig. 15 Grafico Presión Bomba vs Presión Tanque	84
Fig. 16 Grafico Presión Requerida vs Longitud de Tubería	85
Fig. 17 Tanque T-B75111	89

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1 Planos

ANEXO 2 Carta de aceptación de Saurus Ecuador

ANEXO 3 Procedimiento para pruebas hidrostáticas

ANEXO 4 Tablas

ANEXO 5 Especificaciones técnicas para bombas

ANEXO 6 Especificaciones técnicas para motores

ANEXO 7 Especificaciones técnicas para cajas de cambios

ANEXO 8 Catálogo de aceros estructurales

ANEXO 9 Manual de operación y mantenimiento

ANEXO 10 Documentación

ANEXO 11 Resultados

RESUMEN

Los sistemas de bombeo constituyen el principal mecanismo de transporte de fluidos en el campo industrial. Los mismos han evolucionado desde sistemas manuales hasta sistemas complejos capaces de satisfacer los requerimientos más exigentes de la ingeniería actual; siendo uno de ellos la realización de pruebas hidrostáticas en tanques de almacenamiento necesarias para comprobar la validez del diseño y construcción de los mismos.

En este proyecto se llevó a cabo el diseño, construcción y montaje en campo de un sistema de bombeo móvil con una capacidad de $1\text{m}^3/\text{min}$ para realizar pruebas hidrostáticas de acuerdo a la norma API 650, art. 7.3.6.6 en los tanques de almacenamiento T-B75111 y T-B74207 con una capacidad de 11000 barriles cada uno, pertenecientes a la empresa estatal PetroAmazonas; transportando agua del río Payamino ubicado a 2000 metros de los tanques.

Posteriormente a las pruebas de funcionamiento del sistema se realizó el llenado de los tanques y las pruebas hidrostáticas.

El sistema desarrollado puede adaptarse a distintas longitudes de bombeo y diámetros de la tubería de descarga.

Palabras Clave: Sistema de Bombeo, Pruebas Hidrostáticas, Bombeo, API 650.

Abstract

Pump systems are the main mechanism of fluid transport in the industrial field. They have evolved from manual systems to complex systems capable of satisfying the most demanding requirements of today's engineering; one being conducting hydrostatic tests on storage tanks necessary to verify the validity of the design and construction thereof.

This project was carried out the design, construction and field installation of a pumping system moving with a pumping capacity of $1\text{ m}^3/\text{min}$ and the hydrostatic tests based on the API 650, art. 7.3.6.6 of the storage tanks T-B75111 and B74207-T with a capacity of 11000 barrels each, belonging to the state-owned enterprise PetroAmazonas; transporting water from the Payamino river located at 2000 meters of the tanks.

Following the performance tests of the pumping system the filling of the tanks and hydrostatic testing were performed.

The developed system can be adapted to different lengths and diameters of the pump discharge line.

Key Words: Pumping system, Hydrostatic tests, Pumping, API 650.

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES DEL PROYECTO

1.1 ANTECEDENTES

La empresa Saurus Ecuador es una institución dedicada al diseño y construcción de proyectos de Ingeniería y está especializada en recubrimientos anticorrosivos, con varios técnicos expertos y con certificaciones internacionales tanto para recubrimientos como para soldadura, siempre realizando trabajos de calidad y a conformidad de la empresa contratante, por lo que fue elegida para la construcción de un sistema de bombeo móvil para la realización de pruebas hidrostáticas en los tanques T-B75111 y T-B74207 con una capacidad de 11000 barriles cada uno, de acuerdo a la norma API 650 art.7.3.6.6, ambos tanques pertenecientes a la empresa PetroAmazonas, ubicados en la estación El Oso B 54H.

En la actualidad el pozo Oso B 54H, el más productivo del país, con un aporte diario de 7500 barriles.

Las instalaciones de la estación cuentan con gran cantidad de tanques de almacenamiento, tanto de crudo como de agua, los cuales deben ser construidos de acuerdo a las normas API 650 y API 653 avalando su buen desempeño y asegurar el bienestar e integridad del personal y de la estación en sí.

Una de las exigencias con mayor relevancia, en los tanques de almacenamiento, es el cumplimiento de las pruebas hidrostáticas donde se determina la existencia de fugas, errores de juntas mecánicas, verticalidad y deformación en las paredes del tanque.

Actualmente PetroAmazonas contrata este servicio, por lo cual se ve en la necesidad de adquirir un equipo de bombeo que permita a la empresa tener autonomía para realizar pruebas hidrostáticas en tanques de almacenamiento, y en un futuro en tubería de transporte de crudo, tanqueros y cualquier tipo de demanda relacionada con el transporte de fluidos.

1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El problema planteado por la empresa PetroAmazonas es la construcción de un sistema de bombeo móvil capaz de entregar $1\text{m}^3/\text{min}$ y la presión suficiente para llenar un tanque API de 11000 barriles de capacidad alimentado por una tubería de acero con 2 kilómetros de longitud y 4 pulgadas de diámetro; para realizar pruebas hidrostáticas según norma API 650 art. 7.3.6.6.

Se debe considerar toda clase de pérdidas de presión que se puedan generar debido a la geografía de la zona, longitud de tubería y accesorios.

1.3 OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir un sistema de bombeo móvil de $1\text{m}^3/\text{min}$ de capacidad, para realizar el llenado con agua en dos tanques de

almacenamiento de petróleo a fin de realizar pruebas hidrostáticas según la norma API 650, art. 7.3.6.6.

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar el levantamiento de las necesidades de la empresa PetroAmazonas para un sistema de bombeo móvil a fin de realizar pruebas hidrostáticas en tanques de almacenamiento según la norma API 650 art 7.3.6.6.
- Dimensionar al sistema, reconociendo las prestaciones finales de presión y caudal de acuerdo a los requerimientos de PetroAmazonas.
- Calcular las pérdidas teóricas del sistema y seleccionar el diámetro de la línea de succión.
- Seleccionar los componentes que van a conformar el sistema de bombeo: bomba, motor, transmisión, skid, etc.
- Evaluar y comparar las pérdidas en la línea de descarga reales con las pérdidas teóricas calculadas.
- Realizar el protocolo de pruebas hidrostáticas a los tanques T-B75111 y T-B74207 de acuerdo a la norma API 650 art 7.3.6.6.

1.5 ALCANCE DEL PROYECTO

Transportar agua con un caudal de $1\text{m}^3/\text{min}$ desde el río Payamino hasta la estación Oso B 54H que se encuentra situada a 2 kilómetros de distancia, por medio de una tubería ya existente de 4 pulgadas de diámetro, cedula 40, para

llenar dos tanques de almacenamiento de crudo de 11000 barriles de capacidad para finalmente llevar a cabo las pruebas hidrostáticas.

1.6 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

El diseño de un sistema de bombeo consiste en el cálculo y selección de bomba, motor, sistema de transmisión de potencia, etc., que permitan cumplir las especificaciones de la forma más eficiente. Aunque el factor económico suele ser una parte muy importante al final de un diseño, para que esté correctamente realizado es necesario contemplar otros aspectos adicionales como la seguridad, fiabilidad, facilidad de mantenimiento, impacto ambiental y otros factores humanos.

El proyecto tiene el apoyo de la empresa Saurus Ecuador, y es un proyecto con el cual se busca satisfacer los requerimientos técnicos de construcción y operación de la empresa, además la realización de las pruebas hidrostáticas para la comprobación de las sollicitaciones mecánicas de los tanques de almacenamiento.

Este proyecto da una solución a un problema real de una importante empresa como es PetroAmazonas mediante el diseño, construcción y puesta en marcha de un sistema de bombeo móvil con capacidad para bombear $1\text{m}^3/\text{min}$ a través de una tubería de 2 kilómetros de longitud y 4 pulgadas de diámetro hacia los tanques T-B75111 y T-B74207 de 11000 barriles de capacidad de almacenamiento a fin de realizar las pruebas hidrostáticas de los mismos de acuerdo a la norma API 650 art. 7.3.6.6 durante un período de 2 días.

El sistema tiene la capacidad de realizar cualquier tipo de trabajo adicional al solicitado relacionado con transporte de fluidos con densidades similares a la del agua, además al ser un sistema móvil la empresa solicitante podrá disponer de su servicio conforme a sus necesidades.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 DEFINICIÓN DE SISTEMA DE BOMBEO

Un sistema de bombeo es un mecanismo mediante el cual es posible el transporte de fluidos sin alterar su densidad, la potencia requerida por un sistema de bombeo será determinada por las características del fluido que se requiere transportar, específicamente de su viscosidad, la diferencia de alturas entre un punto y otro del circuito de bombeo, longitud de tubería, diámetro de tubería, cantidad de accesorios en la línea y la ubicación geográfica sobre el nivel del mar.

2.2 ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE BOMBEO

Cuadro 1 Componentes de un sistema de bombeo

COMPONENTE	DEFINICIÓN
Motor	Para sistemas de bombeo móviles con requerimientos de caudal y presión elevados se emplea motores de combustión interna por su facilidad de transporte y operación.
Bomba	Máquina generadora que transforma energía mecánica en energía hidráulica.
Caja de cambios	Transforma el par motor y las revoluciones desarrolladas por el motor para adaptarse a los requerimientos del sistema
Transmisión caja-bomba	Transmite la potencia y velocidad de la salida de la caja de cambios a la entrada de la bomba.

Continúa →

Depósito de combustible	Es definido como el depósito de almacenamiento de combustible del motor de combustión interna.
Tubería y accesorios	Elementos que nos permiten llevar a cabo el transporte de fluidos.
Fuente	Lugar geográfico de la fuente del fluido a movilizar.

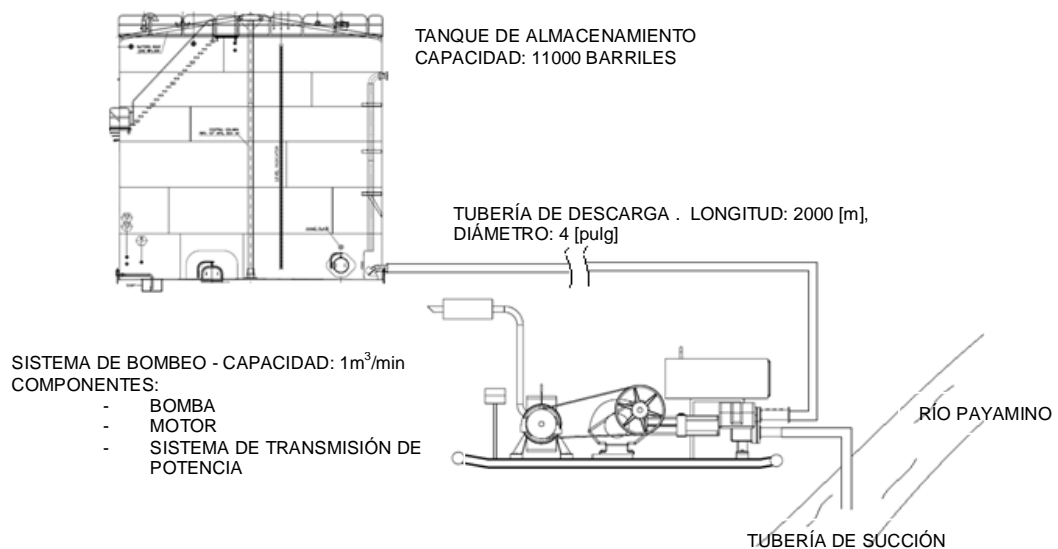


Fig. 1 Esquema de un sistema de bombeo

2.3 MOTOR

Un motor de combustión interna, motor a explosión o motor a pistón, es un tipo de máquina que obtiene energía mecánica directamente de la energía química de un combustible dentro de la cámara de combustión. Su nombre se debe a que dicha combustión se produce dentro de la propia máquina.

Para sistemas de bombeo con requerimientos de caudal y presión elevados, usualmente se emplean motores de combustión interna por su facilidad de movimiento y puesta en marcha.

A continuación se presenta un análisis entre las ventajas y desventajas entre motores a diésel y a gasolina que se requiere para el sistema móvil de bombeo.

2.3.1 Motores a gasolina

Los motores a gasolina son sistemas termodinámicos formados por diversos mecanismos, como pistón, cilindro, válvulas de admisión y válvulas de escape, entre otras piezas fijas y móviles, cuya función principal es la de utilizar de forma efectiva y precisa la energía química del combustible a través de una chispa de encendido de la bujía y convertirla en trabajo mecánico que termine por generar movimiento.

Cuadro 2 Ventajas y desventajas de los motores a gasolina

VENTAJAS	Regímenes de funcionamiento: 2000 . 10000 rpm
	Potencias: 80 . 900 HP.
	Operación silenciosa.
DESVENTAJAS	Eficiencia neta: 25 . 30%
	Torque máximo a altas revoluciones: 4000 . 6500 rpm
	Torque: 145 . 850 [N.m]
	Emisión de gases NO, HC y CO.
	Combustible: 1,50 USD/Gal

2.3.2 Motores a diésel

El motor diésel es una máquina térmica cuyo funcionamiento se basa en el autoencendido del combustible debido a altas temperaturas derivadas de la compresión del aire en el interior del cilindro, según el principio del ciclo del diésel.

Cuadro 3 Ventajas y desventajas del motor a diesel

VENTAJAS	Eficiencia neta: 35 . 45%
	Combustible: 1 USD/Gal
	Torque máximo a bajas revoluciones: 800 . 2500 rpm
	Torque: 312 - 3118 [N.m]
DESVENTAJAS	Funcionamiento ruidoso.
	Regímenes bajos de funcionamiento: 500 . 2500 rpm

2.4 BOMBAS

2.4.1 BOMBAS RECIPROCANTES

Las bombas reciprocantes o de desplazamiento positivo se utilizan en numerosas aplicaciones que exceden la capacidad de las bombas centrífugas o rotatorias. Algunos servicios se podrían efectuar con una centrífuga o rotatoria, pero a expensas de un aumento en los requisitos de potencia y de mantenimiento. Debido a los altos costos de la energía, la bomba de potencia, con su elevada eficiencia mecánica, se utiliza cada vez más en muchas aplicaciones.

Una bomba reciprocante es de desplazamiento positivo, es decir, recibe un volumen fijo de líquido en condiciones casi de succión, lo comprime a la presión de descarga y lo expulsa por la boquilla de descarga. En estas bombas se logra transformar energía por el movimiento alternativo de un pistón, émbolo o diafragma.

La bomba reciprocante no es cinética como la centrífuga y no requiere velocidad para producir presión, pues se puede obtener presiones altas a bajas velocidades. (McNaughton, 2010)

2.4.1.1 Aplicaciones

Los servicios típicos incluyen pruebas hidrostáticas, transporte de fluidos, limpieza con agua a alta presión, inyecciones de glicoles, carga con amoníaco, etc. Otra aplicación en donde es casi obligatoria la bomba reciprocante es para pastas aguadas abrasivas o materiales muy viscosos. (McNaughton, 2010)

Cuadro 4 Aplicaciones de las bombas reciprocantes

APLICACIÓN	DESCRIPCIÓN
Carga de glicoles	Presión: 7 [MPa]
Petróleo pobre	Presión: 7 [MPa]
Inyección de agua salada	Presión: 4 [MPa]
Evitadores de reventones	Presión: 7 . 21 [MPa]
Sistemas de oleoductos y gasoductos	Presión: 7 [MPa]
Sistemas hidráulicos	Presión: 7 . 35[MPa]
Limpieza	Presión: 49 . 70[MPa]
Transporte de fluidos	Presión: 4 . 7 [MPa]
Pastas aguadas	Presión:70 [MPa] Temperatura: 371 °C
Homogenización	Presión: 4 [MPa]

Fuente: (McNaughton, 2010)

2.4.1.2 Ventajas y desventajas

Cuadro 5 Ventajas y desventajas de las bombas reciprocantes

	Alta eficiencia: 85 a 94%.
	Pérdidas: 10% incluye todas las que ocurren en las bandas, engranes, cojinetes, empaquetaduras y válvulas.
	Velocidad de operación independiente de presión de descarga.

Continúa →

VENTAJAS	Presiones: 3 . 70 [MPa]
	Operación silenciosa, de fácil mantenimiento y bajas velocidades y construcción fuerte les dan larga duración.
	Baja eficiencia térmica, se pierde muy poco calor entre la entrada y la descarga
	Flujo pulsante
DESVENTAJAS	Alto costo inicial
	Mantenimiento frecuente: cada 250 horas de operación

Fuente: (McNaughton, 2010)

2.4.1.3 Clasificación de las bombas reciprocantes

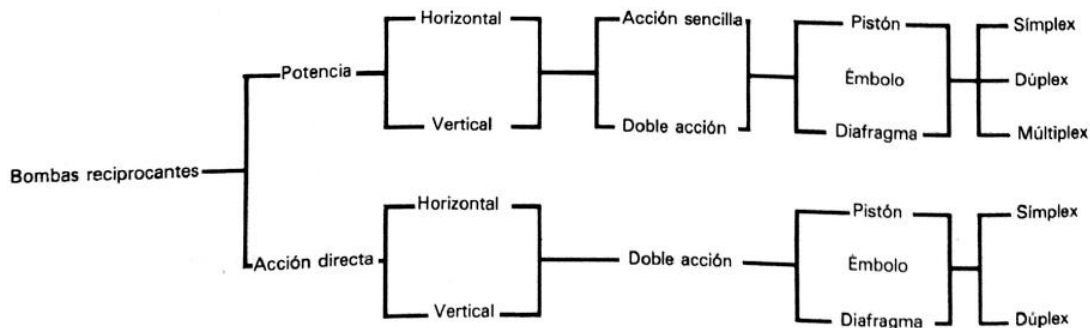


Fig. 2 Clasificación de las bombas reciprocantes

2.4.2 BOMBAS CENTRÍFUGAS

Las bombas centrífugas también llamadas rotodinámicas, son siempre rotativas y son un tipo de bomba hidráulica que transforma la energía mecánica en cinética. El fluido entra por el centro del rodete, que dispone de

unos álabes para conducir el fluido, y por efecto de la fuerza centrífuga es impulsado hacia el exterior, donde es recogido por la carcasa o cuerpo de la bomba, que por su geometría conduce el fluido hacia las tuberías de salida; su elemento transmisor de energía se denomina impulsor rotatorio o rodete, el mismo que se encarga de comunicar energía al fluido en forma de energía cinética.

2.4.2.1 Aplicaciones

Las bombas centrífugas son las más populares, su uso es extremadamente extendido y son aplicables en casi todos los sistemas donde se requiera aumento de presión de un fluido.

La limitación más grande de las bombas centrífugas es que no pueden funcionar con fluidos altamente abrasivos debido a que esto ocasionaría un desgaste excesivo en los componentes internos de la bomba.

Cuadro 6 Aplicaciones de las bombas centrífugas

APLICACIÓN	DESCRIPCIÓN
Abastecimiento de agua	Presión: 70. 200 [KPa]
Alimentación de calderas	Presión: 4 . 20[MPa]
Alimentación de prensas hidráulicas	Presión: 6 [MPa]
Refrigeración	Presión: 1 . 4 [MPa]

Fuente: (McNaughton, 2010)

2.4.2.2 Ventajas y desventajas

Cuadro 7 Ventajas y desventajas de las bombas centrífugas

VENTAJAS	Caudal constante
	Presión uniforme 1 . 70 [MPa].
	Mantenimiento: cada 700 horas de operación
DESVENTAJAS	No pueden bombear líquidos altamente abrasivos.

Fuente: (McNaughton, 2010)

2.4.2.3 Clasificación de las bombas centrífugas

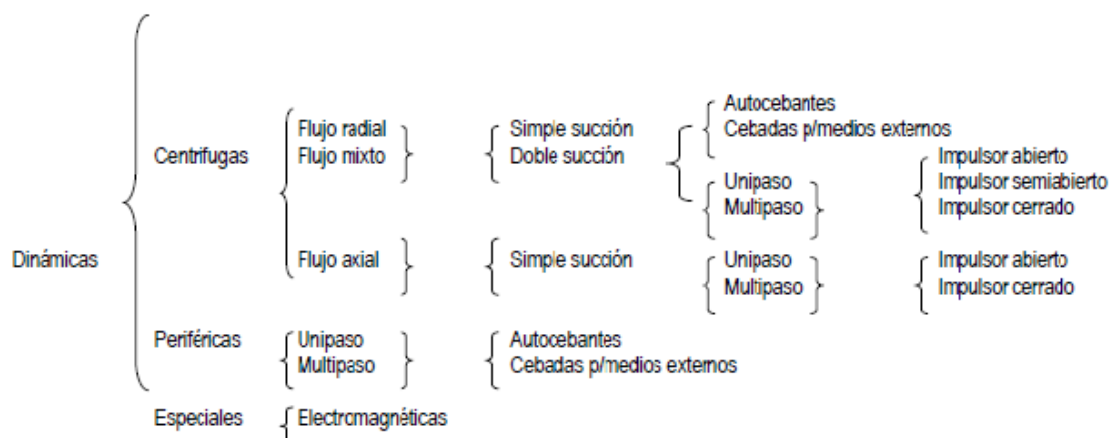


Fig. 3 Clasificación de las bombas centrífugas

2.5 CAJAS DE CAMBIOS

Las cajas de cambios son elementos mecánicos que transforman el par motor y las revoluciones desarrolladas por el motor para adaptar la fuerza a las diferentes condiciones de trabajo que se requieran.

Las cajas de cambios no actúan sobre la potencia del motor, esta permanece invariable, lo que si hacen es actuar sobre el par motor, aumentando o reduciendo el mismo.

Generalmente son imprescindibles para toda aplicación donde intervenga un motor de combustión interna.

2.5.1 Aplicaciones

Las aplicaciones de las cajas de cambios son extremadamente amplias, pero su función siempre va a ser la misma, el multiplicar y desmultiplicar la fuerza que se obtiene a la salida de un motor, sea este eléctrico o de combustión interna.

2.5.2 Ventajas y desventajas

Cuadro 8 Ventajas y desventajas de las cajas de cambios

VENTAJA	Relaciones de transmisión variables: 0,8 . 17 [adimensional]
DESVENTAJA	Peso: 300 [kg]
	Mantenimiento regular: cada 250 horas de operación

2.6 TRANSMISIÓN DE POTENCIA CAJA-BOMBA

2.6.1 Transmisión por bandas

Una banda es un elemento flexible de transmisión de potencia que asienta firmemente en un conjunto de poleas o poleas acanaladas. Cuando se usa la banda para reducir velocidad, que es el caso típico, la polea menor se monta en el eje de alta velocidad y la polea mayor se monta en la máquina impulsada.

2.6.1.1 Aplicaciones

En general se aplican las transmisiones por banda cuando las velocidades de rotación son elevadas. Lo ideal es que la velocidad lineal de la banda sea de 1200 m/min (Mott, Diseño de Elementos de Máquinas, 2006)

2.6.1.2 Ventajas y desventajas

Cuadro 9 Ventajas y desventajas de la transmisión por bandas

VENTAJAS	Transmisión de potencia a altas velocidades > 12000 [m/min]
	Se acuan firmemente a las ranuras, incrementando la fricción y permitiendo la transmisión de grandes pares torsionales sin que existan deslizamientos.
	Fabricadas con lonas de altas resistencias.
	Buena flexibilidad
	Posibilidad de unir el eje conductor al conducido a distancias relativamente grandes, 18000 [mm]

Continúa →

	Funcionamiento suave, sin choques y silencioso.
	Costo inicial de adquisición bajo
DESVENTAJAS	Inconstancia de la relación de transmisión cinemática debido al desplazamiento elástico.
	Fuerza de transmisión: 1375 [kN]

2.6.1.3 Clasificación de bandas de transmisión

Existen muchos tipos de bandas disponibles: planas, acanaladas o dentadas, bandas V normales, bandas V en ángulo doble y otras más.



Fig. 4 Tipos de bandas

2.6.2 Transmisión por cadenas

Una cadena es un elemento de transmisión de potencia formado por una serie de eslabones unidos con pernos. Este diseño permite tener flexibilidad, y permite además que la cadena transmita grandes fuerzas de tensión.

Cuando se transmite potencia entre ejes giratorios, la cadena entra en ruedas dentadas correspondientes llamadas catarinas.

2.6.2.1 Aplicaciones

Se puede emplear este tipo de transmisión por cadenas para transmisiones a muy bajas velocidades, o en aplicaciones en las que la función de la cadena es aplicar una fuerza de tensión o sostener una carga. (Mott, Diseño de Elementos de Máquinas, 2006)

Sus aplicaciones más amplias son en los sistemas de transmisión en motocicletas y bicicletas, además de ser considerablemente usadas en los motores de combustión interna para el accionamiento del árbol de levas.

2.6.2.2 Ventajas y desventajas

Cuadro 10 Ventajas y desventajas de la transmisión por cadenas

VENTAJAS	Fuerza de tensión transmitida: 4125 [kN]
	No existe pérdidas de potencia por rozamiento
DESVENTAJAS	Funcionamiento ruidoso.
	Velocidad de transmisión <5000 [m/min]
	Posibilidad de unir el eje conductor al conducido a distancias de: 1350 [mm]

2.7 TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLE

Son estructuras de diversos materiales, por lo general de forma cilíndrica, que son usadas para almacenar líquidos o gases a presión ambiente, por lo que en ciertos medios técnicos se les da el calificativo de tanques de almacenamiento atmosféricos.

Debido a su tamaño, usualmente son diseñados para contener el líquido a un presión ligeramente mayor que la atmosférica. Las normas empleadas por la industria petrolera son originadas en el estándar de la API, utilizándose principalmente el código API 650 o API 653 para aquellos tanques nuevos y en el que se cubren aspectos tales como materiales, diseño, proceso, pasos de fabricación, y pruebas.

2.7.1 Aplicaciones

Los tanques de almacenamiento son ampliamente utilizados en las industrias de gases, del petróleo, química, alimentaria, automotriz, etc.

Independientemente sea su aplicación los tanques de almacenamiento pueden abarcar volúmenes de hasta 500000 barriles.

2.8 TUBERÍAS Y ACCESORIOS

Las tuberías y accesorios son elementos que sirven para el transporte de fluidos, durante su aplicación generan pérdidas de energía, ya sea debido a longitud, altura o accesorios.

Para este proyecto la tubería que se va a utilizar ya se encuentra instalada en campo y sus características principales se muestran a continuación.

Tabla 1 Datos de la tubería

DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD
Longitud de tubería	2000	[m]
Diámetro interior de tubería	0,1023	[m]
Años de servicio	<5	[años]
Rugosidad de tubería después de años de servicio	0,00074	[m]
Cédula	40	

2.8.1 Pérdidas

El flujo de un líquido en una tubería viene acompañado de una pérdida de energía, que suele expresarse en términos de energía por unidad de peso de fluido circulante (dimensiones de longitud), denominada habitualmente pérdida de carga.

En el caso de tuberías horizontales, la pérdida de carga se manifiesta como una disminución de presión en el sentido del flujo.

2.8.1.1 Pérdidas de carga por longitud de tubería

Las pérdidas de carga por longitud de tubería (h_{lp}) son debidas a las tensiones cortantes de origen viscoso que aparecen entre el fluido y las paredes de la tubería.

Cuadro 11 Ecuaciones para régimen turbulento

AUTORES	ECUACIÓN	DONDE	#
Darcy-Weisbach	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">Pérdidas por longitud de tubería</div> $h_{lp} = f \times \frac{L \times V^3}{2 \times g \times D^5} = \frac{8 \times f \times L \times Q^3}{\pi^2 \times D^5 \times V^3} \times \frac{1}{g}$	h_{lp} : Pérdidas por longitud de tubería [mH ₂ O] f : Coeficiente de fricción de tubería [adimensional] L : Longitud de tubería [m] V : Velocidad de Fluido [m/s] D : Diámetro interno de tubería [m] Q : Caudal del líquido [m ³ /s]	Ec. 1
Colebroo k-White	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">Factor de fricción</div> $\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \times \log_{10} \left(\frac{2.51}{Re \times \sqrt{f}} + \frac{r}{3.7 \times D} \right)$ $r = \frac{g}{g}$	Re : Número de Reynolds [adimensional] r : Rugosidad tubería [m] r : Rugosidad relativa [adimensional] g : Gravedad [m/s ²]	Ec. 2

Fuente: (Fox & McDonald, 2003)

2.8.1.2 Pérdidas por accesorios de tubería

Las pérdidas por accesorios, h_{lz} , son las producidas por cualquier obstáculo colocado en la tubería que suponga una mayor o menor obstrucción al paso del flujo.

Para su estimación se suele emplear la siguiente expresión

$$h_{lz} = K \times \frac{V^2}{2g} \quad \text{Ec. 3}$$

Donde:

h_{lz} : Pérdidas por accesorios de tubería. [mH₂O]

K: Factor de pérdida por accesorios [adimensional]

V: Velocidad de Fluido [m/s]

D: Diámetro normado de tubería [m]

Q: Caudal del líquido [m³/s]

g: Gravedad [m/s²]

(Fox & McDonald, 2003)

Para obtener un valor más exacto de las pérdidas por accesorios de tubería es necesario hacer un cálculo individual por cada tipo de accesorio, a continuación se muestra el factor f_r para diferentes diámetros de tubería:

Diámetro mm	15	20	25	32	40	50	65, 80	100	125	150	200,250	300,400	450-600
Nominal pulg	½	¾	1	1¼	1½	2	2½, 3	4	5	6	8-10	12-16	18-24
Factor de fricción (f_r)	.027	.025	.023	.022	.021	.019	.018	.017	.016	.015	.014	.013	.012

Fig. 5 Factores de fricción para tubería

Fuente: (CRANE, 2011)

2.9 DEFINICIÓN DE PRUEBAS HIDROSTÁTICAS

Las pruebas hidrostáticas se encuentran incluidas en los ensayos no destructivos y específicamente en los de hermeticidad.

La prueba hidrostática es una prueba no destructiva mediante el cual se verifica la integridad física de un tanque de almacenamiento de gases o fluidos, tubería de transporte o sistema en donde el agua es bombeada a una presión más alta que la presión de operación y se mantiene a esa presión por un tiempo establecido previamente.

Esta prueba básicamente evalúa la pared del tanque de almacenamiento, determinando el estado de deformación y distorsiones en todo el cuerpo de la estructura.

Para esto es necesario llenar el tanque con agua hasta el nivel máximo de diseño. Se examinan posibles fugas y se realizan mediciones con instrumentos para determinar elongaciones y asentamientos.

Durante la prueba de presión hidrostática con el nivel de agua en la cota máxima la estructura del tanque sufre esfuerzos normales máximos de tracción, los cuales originan deformaciones unitarias normales y por ende alargamientos elásticos en las paredes del tanque que al ser medidos y evaluados determinan el comportamiento mecánico estructural del cuerpo del tanque.

2.9.1 Procedimientos para pruebas hidrostáticas

La prueba hidrostática es aceptada si no existen fugas de agua después de llenar los tanques hasta el nivel de prueba y durante el tiempo de la misma.

Se otorga la aprobación final después de evaluar todos los datos de nivel obtenidos en la prueba de acuerdo a API 650, art. 7.3.6.6. en donde se indica que: cualquier asentamiento diferencial mayor a 13 mm por cada 10 metros de circunferencia o un asentamiento uniforme mayor a 50 mm debe ser evaluado por el Cliente para aceptación.

Las mediciones de los asentamientos serán tomadas en intervalos de espacios iguales sin exceder los 10m alrededor del desarrollo del tanque. El número mínimo de puntos de medición serán 8.

Para conocer en detalle el procedimiento de pruebas hidrostáticas aprobado por PetroAmazonas, dirigirse al Anexo 3.

CAPÍTULO 3

DISEÑO Y SELECCIÓN DE DISPOSITIVOS DEL SISTEMA

3.1 REQUERIMIENTOS OPERACIONALES

El diseño del sistema de bombeo se lo realiza en base a los requerimientos operacionales pre-establecidos por el cliente PetroAmazonas.

Cuadro 12 Requerimientos operacionales

REQUERIMIENTO	DESCRIPCIÓN
MOVILIDAD	El sistema va a ser transportado a diferentes locaciones.
CAUDAL	1m ³ /min.
PRESION	Necesaria para proveer dicho caudal a través de una tubería de 2000 metros y llenar un tanque de 10 metros de altura desde la base.
AUTONOMIA	Funcionamiento 8 horas diarias.
MANUALES	Debe contar con manuales de mantenimiento y operación.
PRUEBAS HIDROSTÁTICAS	De acuerdo a lo establecido en los registros PAM detallados en el Anexo 3

3.2 CÁLCULO DE ALTURAS Y PÉRDIDAS

3.2.1 Línea de succión

Para determinar las pérdidas generadas, se debe tomar en cuenta todos los factores que interviene en el proceso de succión.

Cuadro 13 Condiciones en la succión

CONDICIONES			
DESCRIPCION	VALOR	UNIDADES	OBSERVACIONES
Columna estática de succión	5	[mH ₂ O]	Altura de alimentación del río.
Columna de presión en la succión	0	[mH ₂ O]	Presión atmosférica en la superficie del río.
Viscosidad cinemática	0,00110127	[Pa.s]	Valor de viscosidad de los ríos del oriente ecuatoriano. (INAMHI, 2013)
Densidad	1005,2	[Kg/m ³]	Valor de densidad de los ríos del oriente ecuatoriano. (INAMHI, 2013)
Caudal	0,01666	[m ³ /s]	Caudal de 1m ³ /min
Longitud tubería	10	[m]	Por geografía es la menor longitud posible.
Gravedad	9,81	[m/s ²]	Valor de aceleración gravitacional.
Rugosidad	0,00015	[m]	Tubería nueva

Tabla 2 Posibles variantes en la succión

DIÁMETRO NOMINAL [pulg]	DIÁMETRO INTERNO [m]	CAUDAL [m ³ /min]	VELOCIDAD DEL FLUIDO [m/s]
4	0,102	1	2,027
6	0,154	1	0,8936
8	0,202	1	0,5165

Las velocidades en la succión deben mantenerse entre 0,60 y 2 m/s para garantizar una mayor duración de los accesorios y un mejor funcionamiento del sistema, evitando el ingreso de impurezas. (Luszczewski, 2008).

Por lo tanto el diámetro de tubería que cumple la velocidad de succión deseada es de 6 [pulg].

Definiendo el número de Reynolds:

$$Re = \frac{\rho \times V \times D}{\mu} \quad \text{Ec. 4}$$

Donde:

Re: Numero de Reynolds [adimensional]

ρ : Densidad [kg/m³]

V: Velocidad del fluido [m/s]

D: Diámetro de tubería [m]

μ : Viscosidad cinemática [Pa.s]

(Fox & McDonald, 2003)

Reemplazando:

$$h_s = \frac{1005,2 \times 0,8936 \times 0,1541}{0,00110127}$$

$$h_s = 125689,822$$

La elevación dinámica de succión viene dada por:

$$h_{sd} = h_{se} + h_{sf} + h_{sv} \pm h_{sp}$$

Ec. 5

Donde:

hs: Elevación dinámica de succión [mH₂O]

hes: Elevación estática de succión [mH₂O]

hl: Columna de pérdidas por fricción [mH₂O]

hv: Columna de pérdidas por velocidad [mH₂O]

hp: Columna de presión en la succión [mH₂O]

(Fox & McDonald, 2003)

La columna de pérdidas por fricción se calcula mediante:

$$h_{lf} = h_{l1} + h_{l2}$$

Ec. 6

Donde:

h_{l1}: Columna de pérdidas por longitud de tubería [mH₂O]

h_{l2}: Columna de pérdidas por accesorios [mH₂O]

(Fox & McDonald, 2003)

De la Ec. 1 determinamos el valor de h_{1p} .

A su vez obtenemos de la Ec. 2 resolviéndola por el método de Newton realizando el siguiente cambio de variable:

$$z = \frac{1}{2^{2,2}}$$

$$z = \frac{z}{3,70}$$

$$z = \frac{2,51}{2^2}$$

Ahora reemplazando en la Ec. 2:

$$2^{2z} = -2 \times 2^{2z} (z + 2z \times 2z)$$

Obteniendo la primera derivada y aplicando el método de Newton:

$$2^{2z} = \frac{-2}{\ln(10)} \times \frac{z}{(z + 2z \times 2z)}$$

$$\Delta = \frac{2^{2z} - z}{2^{2z} - 1}$$

Iteramos de acuerdo a los siguientes parámetros:

Si $\Delta > 1 \times 10^{-8}$, entonces $z = z - \Delta$ hasta lograr convergencia en z .

Una vez que z converge, reemplazamos el valor de z y hallamos h_{1p} :

$$z = 0,02140$$

Reemplazando en Ec. 1:

$$h_{1p} = 0,02140 \times \frac{10 \times 0,8936^2}{0,1541 \times 2(9,81)}$$

$$K_{\text{total}} = 0,05652 \left[\frac{Q}{V} \right]$$

Para las pérdidas h_{Lz} de accesorios de tubería se utiliza la Ec. 3

Para determinar el factor k se recurre al Anexo 4 y se obtiene:

Tabla 3 Valores constante k para línea de succión

TIPO	#	ft	K Individual	Σ k total
CODOS DE 45	0	0,015	--	0
CODOS DE 90	1	0,015	0,45	0,45
CONEXIONES EN T FLUJO DIRECTO	0	0,015	--	0
CONEXIONES EN T FLUJO DESVIADO 90	0	0,015	--	0
VALVULAS DE GLOBO	0	0,015	--	0
VALVULAS MARIPOSA	0	0,015	--	0
VALVULAS DE PIE	1	0,015	6,3	6,3
UNIONES	0	0,015	--	0

Reemplazando en la Ec. 3:

$$K_{\text{total}} = (0,45 + 0,6) \times \frac{0,8936}{2(9,81)}$$

$$K_{\text{total}} = 0,04273 \left[\frac{Q}{V} \right]$$

Reemplazando en Ec. 6:

$$K_{\text{total}} = 0,05717 + 0,0427$$

$$K_{\text{total}} = 0,09926 \approx 0,1 \left[\frac{Q}{V} \right]$$

Las pérdidas por velocidad de flujo se calculan mediante:

$$h_v = \frac{V^2}{2g} \quad \text{Ec. 7}$$

Donde:

h_v : Pérdidas por velocidad de flujo [mH₂O]

V : Velocidad del fluido [m/s]

g : Gravedad [m/s²]

(Fox & McDonald, 2003)

$$h_v = \frac{0,8936^2}{2(9,81)}$$

$$h_v = 0,0407 \text{ [mH}_2\text{O]}$$

Reemplazando todos los términos de la Ec. 5:

$$h_{\text{total}} = 5 + 0,01 + 0,0407 \pm 0$$

$$h_{\text{total}} = 5,15 \text{ [mH}_2\text{O]}$$

Calculando el NPSHd y refiriéndonos al Anexo 4 para determinar las presiones barométricas y de vapor:

$$NPSH_d = P_b - P_v - h_l - h_{es} \quad \text{Ec. 8}$$

Donde:

P_b : Presión barométrica = 9,94 [mH₂O] a 320 m.s.n.m. (Cengel, 2002)

P_v : Presión de vapor = 0,33 [mH₂O] a 27 °C (Cengel, 2002)

h_l : Columna de pérdidas por fricción [mH₂O]

h_{es} : Elevación estática de succión [mH₂O]

(Mott, Mecánica de Fluidos, 2006)

$$h_{\text{total}} = 9,94 - 0,33 - 0,1 - 5$$

$$h_{\text{total}} = 4,51 \text{ [m]}$$

3.2.2 Línea de descarga

Cuadro 14 Condiciones de la descarga

CONDICIONES			
DESCRIPCION	VALOR	UNIDADES	OBSERVACIONES
Elevación estática de descarga	6	[mH ₂ O]	Diferencia de alturas entre la bomba y los tanques.
Columna de presión en la descarga	12,05	[mH ₂ O]	Presión de la columna de líquido en el tanque.
Viscosidad cinemática	0,001101	[Pa.s]	Valor de viscosidad de los ríos del oriente ecuatoriano. (INAMHI, 2013)
Densidad	1005,2	[Kg/m ³]	Valor de densidad de los ríos del oriente ecuatoriano. (INAMHI, 2013)
Longitud de tubería	2000	[m]	Tubería existente
Diámetro de tubería	0,1023	[m]	Tubería existente
Caudal	0,01666	[m ³ /s]	Caudal de 1m ³ /min
Velocidad de Fluido	2,027	[m/s]	Velocidad calculada para un diámetro de tubería de 4 pulgadas
Gravedad	9,81	[m/s ²]	Valor de aceleración gravitacional.
Rugosidad	0,00074	[m]	Tubería de descarga con un uso menor a 5 años

Fuente: (Autores, 2014)

Resolviendo la Ec. 4:

$$h_d = \frac{1005,2 \times 2,027 \times 0,1023}{0,00110127}$$

$$h_d = 191667,600$$

La elevación dinámica de descarga viene dada por:

$$h_d = h_{ed} + h_f + h_v \pm h_p$$

Ec. 9

Donde:

hd: Elevación dinámica de descarga [mH₂O]

hed: Elevación estática de descarga [mH₂O]

hf: Columna de pérdidas por fricción [mH₂O]

hv: Columna de pérdidas por velocidad [mH₂O]

hp: Columna de presión en la descarga [mH₂O]

(Fox & McDonald, 2003)

Resolviendo la Ec. 2 y posteriormente reemplazando el resultado en la Ec. 1

$$h_{ed} = 0,02261 \times \frac{2000 \times 2,0276^2}{0,1023 \times 2(9,81)}$$

$$h_{ed} = 92,645 \text{ [m H}_2\text{O]}$$

Para determinar el factor K se recurre al Anexo 4 obteniendo:

Tabla 4 Valores constante k para línea de descarga

TIPO	#	ft	K Individual	K total
CODOS DE 45	5	0,017	0,272	1,36
CODOS DE 90	2	0,017	0,51	1,02

Continúa →

CONEXIONES EN T FLUJO DIRECTO	0	0,017	--	0
CONEXIONES EN T FLUJO DESVIADO 90	0	0,017	--	0
VALVULAS DE GLOBO	1	0,017	0,051	0,051
VALVULAS MARIPOSA	0	0,017	--	0
VALVULAS CHECK	0	0,017	--	0
UNIONES	326	0,017	0,034	11,084

Reemplazando la Ec. 3:

$$K_{\text{total}} = 220,51 + 45(0,272) + 0,051 + 326(0,034) \times \frac{2,0276}{2(9,81)}$$

$$K_{\text{total}} = 2,832 \text{ [m}^2 \text{ s}^2 \text{ / m}^5 \text{]}]$$

Reemplazando en Ec. 6:

$$K_{\text{total}} = 93,251 + 2,832$$

$$K_{\text{total}} = 96,083 \text{ [m}^2 \text{ s}^2 \text{ / m}^5 \text{]}]$$

Resolviendo la Ec. 7:

$$K_{\text{total}} = \frac{2,0276}{2(9,81)}$$

$$K_{\text{total}} = 0,209 \text{ [m}^2 \text{ s}^2 \text{ / m}^5 \text{]}]$$

Reemplazando todos los términos de la Ec. 9:

$$K_{\text{total}} = 6 + 96,08 + 0,209 + 12,05$$

$$K_{\text{total}} = 114,3435 \text{ [m}^2 \text{ s}^2 \text{ / m}^5 \text{]}]$$

Tabla 5 Variantes en la descarga

DIÁMETRO NOMINAL [pulg]	DIÁMETRO INTERNO CÉDULA 40[m]	LONGITUD [m]	hd [mH ₂ O]
2	0,0525	2000	390
3	0,0779	2000	281,24
4	0,1023	2000	114,34
5	0,1282	2000	55,54
6	0,1541	2000	37,26

Determinando la altura total dinámica:

$$h_{td} = h_{st} + h_{fd}$$

Ec. 10

(Mott, Mecánica de Fluidos, 2006)

$$h_{td} = 5,1406 + 114,3435$$

$$h_{td} = 120,50 \text{ [mH}_2\text{O]}$$

Como resumen se obtiene el siguiente cuadro:

Tabla 6 Resultados obtenidos en succión y descarga

TUBERÍA	DIÁMETRO NOMINAL [pulg]	DIÁMETRO INTERNO [m]	hs [mH ₂ O]	NPSH [mH ₂ O]	hd [mH ₂ O]
DESCARGA	4	0,1023	--	--	114,34
SUCCIÓN	6	0,1541	5,15	4,52	--

El valor de la altura de descarga es el valor de la presión mínima disponible a la salida de la bomba para lograr el llenado de los tanques bajo los parámetros establecidos.

3.3 SELECCIÓN DE LA BOMBA

Para la selección de los elementos que forman parte del sistema de bombeo se va a aplicar el método de ponderación de matrices.

Este método consiste en realizar una matriz, la cual se guía por criterios de selección como: presión máxima, caudal máximo, costo, etc. Los cuales determinan la influencia que tienen dentro de una ponderación, y un factor de $\Sigma + 1$ con el fin de que la ponderación no sea muy pequeña y se la pueda representar, la puntuación está dada por:

Cuadro 15 Influencias y ponderaciones

INFLUENCIA	PUNTUACIÓN
No influye	0
Influye poco	0,5
Influye mucho	1

Fuente: (Varo, 2009)

Tabla 7 Matriz de selección del tipo de bomba

	ALTURA DE SUCCIÓN	PRESIÓN	EFICIENCIA	COSTO	$\sum + 1$	PONDERACIÓN
ALTURA DE SUCCIÓN		1	1	1	4	0,27
PRESIÓN	1		1	0,5	3,5	0,25
EFICIENCIA	1	1		1	4	0,27
COSTO	0,5	0,5	1		3	0,21
TOTAL					14,5	1

Cuadro 16 Ponderación selección del tipo de bomba

CRITERIOS	PONDERACIÓN
ALTURA DE SUCCIÓN	0,27
PRESIÓN	0,25
EFICIENCIA	0,27
COSTO	0,21

Se debe tomar en cuenta que la relación del costo es inversa ya que a menor costo se tendrá mayor ponderación.

Tabla 8 Selección del tipo de bomba a partir de la ponderación

Tipo	Altura de succión	Presión (psig)	Eficiencia (%)	Costo	PONDERACIÓN				SELECCIÓN
					Altura	Presión	Eficiencia	Costo	
Centrífuga	<4,5	100-7000	60-90	10000	0,21	0,17	0,25	0,21	0,84
Reciprocante	>5	300-10000	85-94	14000	0,27	0,25	0,27	0,15	0,94

Una vez seleccionado el tipo de bomba se procede a seleccionar la marca y modelo que se va a emplear.

Tabla 9 Matriz de selección de la bomba

	NPSH	PRESIÓN	CAUDAL	COSTO	$\sum + 1$	PONDERACIÓN
NPSH		1	0,5	0,5	3	0,22
PRESIÓN	1		1	1	4	0,28
CAUDAL	0,5	1		1	3,5	0,25
COSTO	0,5	1	1		3,5	0,25
TOTAL					14	1

Cuadro 17 Ponderación selección de la bomba

CRITERIOS	PONDERACIÓN
NPSH	0,21
PRESIÓN	0,28
CAUDAL	0,25
COSTO	0,25

Se debe tomar en cuenta que la relación del costo es inversa ya que a menor costo se tendrá mayor ponderación.

Tabla 10 Selección de la bomba a partir de la ponderación

Marca	Especificación	NPSH	Presión [Psi]	Caudal [m ³ /min]	Costo [USD]	PONDERACIÓN				SELECCIÓN
						NPSH	PRESIÓN	CAUDAL	COSTO	
FMC	Q1828	2,2	1100	1,05	28000	0,21	0,17	0,22	0,12	0,72
Gasol	T165	1,1	1775	1,10	19000	0,10	0,28	0,23	0,18	0,79
Gasol	1550	1,82	1440	1,18	14000	0,17	0,22	0,25	0,25	0,89

Fuente: (Autores, 2014)

La tabla 10 de selección de bomba a partir de ponderaciones indica que la bomba a seleccionar es la bomba Gasol 1550:

- NPSH: 1,82
- Presión máxima: 1440 [psi] ó 9,93 [MPa]
- Caudal: 1,18 [m³/min]
- Para más información referirse al catálogo del producto Anexo 5

3.4 SELECCIÓN DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN CAJA-BOMBA

Cuadro 18 Influencias y ponderaciones

INFLUENCIA	PUNTUACIÓN
No influye	0
Influye poco	0,5
Influye mucho	1

Fuente: (Varo, 2009)

Tabla 11 Matriz de selección del tipo de transmisión

	LONGITUD	VELOCIDAD	FUERZA	COSTO	$\sum + 1$	PONDERACIÓN
LONGITUD		1	0,5	1	3,5	0,25
VELOCIDAD	1		0,5	1	3,5	0,25
FUERZA	0,5	0,5		1	3	0,21
COSTO	1	1	1		4	0,28
			TOTAL		14	1

Se debe tomar en cuenta que la relación del costo es inversa ya que a menor costo se tendrá mayor ponderación.

Cuadro 19 Ponderación selección del tipo de transmisión

CRITERIOS	PONDERACIÓN
LONGITUD	0,25
VELOCIDAD	0,25
FUERZA	0,21
COSTO	0,28

Tabla 12 Selección de tipo de transmisión a partir de la ponderación

Tipo	Longitud [mm]	Velocidad [m/min]	Fuerza [KN]	Costo [USD]	PONDERACIÓN				SELECCIÓN
					LONGITUD	VELOCIDAD	FUERZA	COSTO	
Cadena	1500	5000	4125	600	0,2	0,10	0,21	0,07	0,58
Banda	1800	12000	1375	150	0,25	0,25	0,07	0,28	0,85

Una vez seleccionado el tipo de transmisión de potencia, se procede a realizar el análisis respectivo.

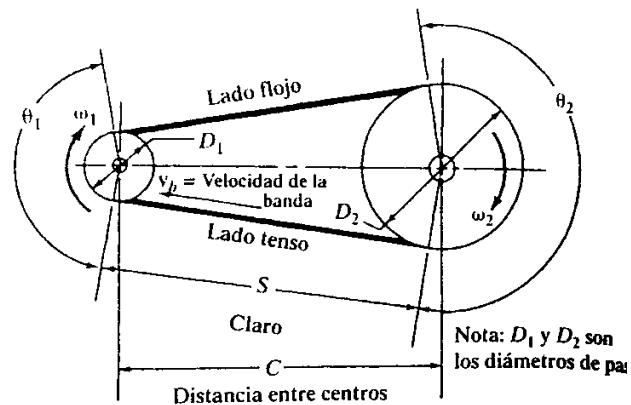


Fig. 6 Distribución básica de sistema de poleas y bandas

Fuente: (Mott, Diseño de Elementos de Máquinas, 2006)

3.4.1 Requerimientos

Cuadro 20 Requerimientos para selección de bandas

DATOS		
Magnitud	Cantidad	Unidad
Potencia teórica transmitida	120	[Hp]
Velocidad del motor (n_1)	750	[rpm]
Velocidad a la entrada de la bomba (n_2)	504	[rpm]
Velocidad de la banda	3000	[ft/min]
	914,4	[m/min]

El factor de servicio utilizado es de 1,3 según el Anexo 4, por lo tanto la potencia de diseño es:

$$2,2 \times 1,3 = 2,86 \text{ HP} = 2,1 \text{ kW} \quad \text{Ec. 11}$$

La banda a ser aplicada la determinamos mediante la figura: Diámetros de poleas acanaladas trapeciales que se encuentra en el Anexo 4.

Debido a que el motor funciona a 156 [HP] y la velocidad de la polea menor es de 750 rpm la banda a seleccionar es de clase C.

Determinando la relación de velocidades nominales:

$$\frac{2200}{2200} = \frac{2200}{2200} = 1,0 \quad \text{Ec. 12}$$

(Mott, Diseño de Elementos de Máquinas, 2006).

Determinando el tamaño de la polea motriz:

$$V_b = V \times D_m \times N_m \quad \text{Ec. 13}$$

Donde:

V_b : Velocidad de la banda [m/min]

D_m : Diámetro de la polea menor [pulg]

N_m : Revoluciones por minuto de la polea menor [rpm]

(Mott, Diseño de Elementos de Máquinas, 2006)

En general, la velocidad lineal de la banda se considera 2500 a 6500 [ft/min], pero al usar velocidades que se aproximen al límite superior del rango,

se deben considerar efectos dinámicos, como fuerzas centrífugas, chicoteo de bandas y deslizamientos de las mismas, por lo tanto lo ideal es tomar una velocidad de 3000 [ft/min] o 914,4 [m/min]. (Mott, Diseño de Elementos de Máquinas, 2006)

Reemplazando se obtienen los siguientes resultados:

$$V_2 = \frac{914,4}{2 \times 750} = 0,38 \quad V_1 = 15,2 \text{ [m/min]}$$

De acuerdo con la figura: Capacidades de bandas 5V, que se encuentra en el Anexo 4 se selecciona una polea de 375 [mm] de diámetro.

Determinando el tamaño de la polea mayor:

$$D_2 = D_1 \times \frac{V_1}{V_2} \quad \text{Ec. 14}$$

Donde:

D_2 : Diámetro de la polea mayor [pulg]

D_1 : Diámetro de la polea menor [pulg]

(Mott, Diseño de Elementos de Máquinas, 2006)

Despejando:

$$D_2 = 0,38 \times 1,48 = 0,58 \text{ [pulg]} = 22,7 \text{ [mm]}$$

De acuerdo con la figura: Diámetros de poleas acanaladas trapeciales, que se encuentra en el Anexo 4 se selecciona una polea de 630 [mm] de diámetro.

Para determinar la potencia nominal es necesario recurrir a la figura: Capacidades de bandas 5V, que se encuentra en el Anexo 4.

La potencia nominal básica es 26 Hp. Se necesitarán varias bandas, por lo que se debe emplear una potencia nominal agregada. Este valor se lo puede tomar de la figura: Potencia agregada en función de la relación de velocidades bandas 5V, que se encuentra en el Anexo 4

$$P = 26 + 0,77 = 26,77 \text{ [Hp]}$$

Determinando la distancia entre centros:

$$D_1 < C < 3(D_1 + D_2)$$

Ec. 15

Donde:

D_1 : Diámetro de la polea mayor [pulg]

D_2 : Diámetro de la polea menor [pulg]

C : Distancia entre centros [pulg]

(Mott, Diseño de Elementos de Máquinas, 2006)

Reemplazando:

$$630 < C < 3(375 + 630) \text{ [pulg]}$$

$$630 < C < 3015 \text{ [pulg]}$$

Con la intención de conservar espacio, se probará con $1200 \text{ mm} = 47 \frac{1}{2}$ pulg.

Determinando la longitud necesaria de la banda:

$$L = 2C + \frac{\pi(D_1 + D_2)}{2} + \frac{(D_2 - D_1)^2}{4C} \quad \text{Ec. 16}$$

Donde:

L : Longitud necesaria de banda [pulg]

D_1 : Diámetro de la polea menor [pulg]

D_2 : Diámetro de la polea mayor [pulg]

C : Distancia entre centros [pulg]

(Mott, Diseño de Elementos de Máquinas, 2006)

Reemplazando:

$$L = 2(47,25) + 1,57(15,28 + 22,7) + \frac{(22,7 - 15,28)^2}{4(47,25)} = 154,5 + 3,92 = 158,42$$

Se selecciona una longitud estándar en la tabla: Longitudes de bandas estándar 3V, 5V y 8V, que se encuentra en el Anexo 4. La longitud estándar obtenida es de 160 pulgadas o 4064 milímetros de longitud de banda.

Determinando la distancia entre centros real:

$$C = \frac{L - \frac{\pi(D_1 + D_2)}{2}}{2} = \frac{160 - \frac{\pi(15,28 + 22,7)}{2}}{2} = 47,25 \quad \text{Ec. 17}$$

Donde:

K : Factor de relación [pulg]

D_1 : Diámetro de la polea menor [pulg]

D_2 : Diámetro de la polea mayor [pulg]

L : Longitud necesaria de banda [pulg]

(Mott, Diseño de Elementos de Máquinas, 2006)

$$L = \frac{2C + \sqrt{4C^2 - (D_2 - D_1)^2}}{2}$$

Ec. 18

Donde:

K : Factor de relación [pulg]

D_1 : Diámetro de la polea menor [pulg]

D_2 : Diámetro de la polea mayor [pulg]

C : Distancia entre centros [pulg]

(Mott, Diseño de Elementos de Máquinas, 2006)

Reemplazando:

$$L = \frac{401 + \sqrt{401^2 - 32(22,7 - 15,28)^2}}{2} = 50 \text{ pulg} = 1,27 \text{ m}$$

Determinando el ángulo de contacto de banda:

$$\alpha_1 = 180^\circ - 2 \sin^{-1} \left(\frac{D_2 - D_1}{2C} \right)$$

Ec. 19

Donde:

α_1 : Ángulo de contacto [grados sexagesimales]

D_1 : Diámetro de la polea menor [pulg]

D_2 : Diámetro de la polea mayor [pulg]

C : Distancia entre centros [pulg]

(Mott, Diseño de Elementos de Máquinas, 2006)

Reemplazando:

$$\alpha_2 = 180^\circ - 2 \sin^{-1} \left[\frac{22,7 - 15,28}{2 \times 46,59} \right] = 170,8^\circ$$

A continuación se determina los factores de corrección para $\alpha_2 = 170,8^\circ$. Diríjase a la figura: Factor de corrección por ángulo de contacto C y a la figura: Factor de corrección por longitud de banda C_L , que se encuentran en el Anexo 4.

$$C = 0,99$$

$$C_L = 1,06$$

Determinando la potencia nominal corregida por banda:

$$P_{\text{correctada}} = C \times C_L \times P$$

Ec. 20

Reemplazando:

$$P_{\text{correctada}} = 0,98 \times 1,06 \times 26,77 = 27,9 \text{ kW}$$

$$n \text{ ú } = \frac{120}{27,9} = 4,31$$

Para la aplicación se usarán 4 bandas.

3.5 SELECCIÓN DEL MOTOR

Tomando en cuenta que la potencia necesaria para poner a trabajar la bomba, es de 70 HP, Anexo 5. Las pérdidas en el sistema de bandas se puede considerar despreciable pues no existe deslizamiento entre bandas poleas, y conociendo que las pérdidas de potencia generadas en la caja de cambios son de entre el 10 y 12%, y además considerando, que el motor no va a estar operando a su máxima capacidad se ha realizado la siguiente valoración para la posterior selección del motor.

Cuadro 21 Influencias y ponderaciones

INFLUENCIA	PUNTUACIÓN
No influye	0
Influye poco	0,5
Influye mucho	1

Fuente: (Varo, 2009)

Tabla 13 Matriz de selección del tipo de motor

	EFICIENCIA	TORQUE	RPM	⊗ + 1	PONDERACIÓN
EFICIENCIA		1	1	3	0,33
TORQUE/RPM	1		1	3	0,33
COSTO DE COMBUSTIBLE	1	1		3	0,33
			TOTAL	9	1

Cuadro 22 Ponderación selección del tipo motor

CRITERIOS	PONDERACIÓN
EFICIENCIA	0,33
TORQUE/RPM	0,33
COSTO DE COMBUSTIBLE	0,33

Se debe tomar en cuenta que la relación del costo de combustible es inversa ya que a menor costo se tendrá mayor ponderación.

Tabla 14 Selección del tipo de motor a partir de la ponderación

TIPO	Eficiencia [Hp]	Torque Máximo [Rpm]	COSTO DE COMBUSTIBLE [USD]	PONDERACIÓN			SELECCIÓN
				EFICIENCIA	TORQUE	COSTO COMBUSTIBLE	
Diésel	35-45%	800-2500	1,03	0,33	0,33	0,33	0,99
Gasolina	25-30%	4000-6500	1,48	0,22	0,15	0,22	0,59

El tipo de motor a emplear es el motor Diésel debido a su alta eficiencia, torque máximo a bajas revoluciones por minuto y bajo costo de combustible.

A continuación se procede a seleccionar el motor a emplear por modelo o marca.

Tabla 15 Matriz de selección del motor

	POTENCIA	TORQUE	COSTO	∑ + 1	PONDERACIÓN
POTENCIA		0,5	1	2,5	0,31
TORQUE	0,5		1	2,5	0,31
COSTO	1	1		3	0,38
			TOTAL	8	1

Cuadro 23 Ponderación selección de motor

CRITERIOS	PONDERACIÓN
POTENCIA	0,31
TORQUE	0,31
COSTO	0,38

Se debe tomar en cuenta que la relación del costo es inversa ya que a menor costo se tendrá mayor ponderación.

Tabla 16 Selección de motor a partir de la ponderación

Marca	Especificación	Potencia [Hp]	Torque [N.m]	Costo [USD]	PONDERACIÓN			SELECCIÓN
					POTENCIA	TORQUE	COSTO	
MWM	MaxxForce 4.8H-SCR	170 a 2200 rpm	720 a 1300 rpm	19000	0,27	0,31	0,28	86
Lovol	1006-6TZ	145 a 1800 rpm	560 a 1100 rpm	15000	0,23	0,24	0,35	82
Lovol	1006-6TAZ	180 a 1800 rpm	640 a 1100 rpm	18500	0,29	0,27	0,28	84
Yuchai	YC6J190-20	190 a 2500 rpm	630 a 1500 rpm	14000	0,31	0,26	0,38	95

La tabla 16 indica que según las ponderaciones analizadas el mejor resultado es:

Motor Yuchai

- Potencia de 190 Hp a 2500 rpm
- Torque de 630 N.m a 1500 rpm
- Costo final de 14000 USD.

3.6 SELECCIÓN DE LA CAJA DE CAMBIOS

Cuadro 24 Influencias y ponderaciones

INFLUENCIA	PUNTUACIÓN
No influye	0
Influye poco	0,5
Influye mucho	1

Fuente: (Varo, 2009)

Tabla 17 Matriz de selección de la caja de cambios

	# DE MARCHAS	DISPONIBILIDAD	COSTO	Σ + 1	PONDERACIÓN
# DE MARCHAS		0	1	2	0,28
DISPONIBILIDAD	0		1	2	0,28
COSTO	1	1		3	0,42
			TOTAL	7	1

Cuadro 25 Ponderación selección de la caja de cambios

CRITERIOS	PONDERACIÓN
# DE MARCHAS	0,28
RANGO MAXIMO DE CAMBIO	0,28
COSTO	0,42

Se debe tomar en cuenta que la relación de costo es inversa.

Tabla 18 Selección de la caja de velocidades a partir de la ponderación

Marca	Modelo	No. De marchas	Rango de cambio	Costo [USD]	PONDERACIÓN			SELECCIÓN
					No. DE MARCHAS	RANGO DE CAMBIO	COSTO	
Fuller	RTX-11	9	17,21	4300	0,28	0,28	0,42	0,98
ZF	6S 1200 BO	6	12,3	7500	0,18	0,19	0,24	0,61
Fuller	RTX-12	9	13	5000	0,28	0,21	0,36	0,85

La tabla 18 indica que la caja de velocidades a seleccionar según el método de ponderaciones es:

Fuller RTX-11

- Número de marchas: 9
- Disponibilidad: inmediata
- Costo: 4300 USD

Para mayor detalle referirse al Anexo 7

3.7 DISEÑO DE SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE COMBUSTIBLE AL MOTOR

Para el diseño del sistema de alimentación de combustible, el fabricante del motor estima un consumo de combustible de entre 4 y 6 galones por hora dependiendo el trabajo que éste realice, por lo tanto un depósito de combustible de 50 galones de capacidad logrará solventar el consumo del motor y contar con una reserva de emergencia.

Cuadro 26 Dimensiones del tanque de almacenamiento

Medida	Valor [mm]	Volumen [gal]
Diámetro	500	50
Altura	1300	

Para determinar el espesor de pared del tanque se utiliza los criterios de diseño de tanques a presión interna.

$$t = \frac{P \times R}{(S - P)} + P \quad \text{Ec. 21}$$

Dónde:

t: Espesor de pared [pulg]

P: Presión de diseño [psi], presión atmosférica.

R: Radio interno del tanque [pulg]

S: Resistencia a la fluencia del material base [psi]

E: Eficiencia de la junta no inspeccionada: 0,7 [adimensional]

CA: Sobredimensionamiento por corrosión 0,125 [pulg]

(Megyesy, 2008)

A continuación se presenta un ejemplo de cálculo utilizando acero A36 como material base:

$$t = \frac{14,7 \times 9,72}{(36000 \times 0,7) + (0,6 \times 14,7)} + 0,125$$

$$t = 0,1306 \text{ [pulg]} \approx 3,31 \text{ [mm]}$$

$$t = 3,31 \text{ [mm]}$$

Tabla 19 Posibles materiales y espesores del tanque

Material	Sy [psi]	Espesor de pared [mm]	Costo [USD/kg]
A36	36000	3,31	1,06
A572 Gr. 42	42000	3,29	1,12
A572 Gr. 50	50000	3,27	1,17

Para los tres casos de material base el espesor de pared del tanque supera los 3 [mm]. El espesor de plancha comercializado que más se acerca a los requerimientos de las tres opciones de materiales es de 4 [mm], por lo que el peso del tanque en los tres casos es el mismo. El material seleccionado es acero A36 por ser el menos costoso, cubriendo las necesidades de diseño.

CAPÍTULO 4

DISEÑO Y CONTRUCCIÓN DEL SKID Y SISTEMAS ANEXOS

4.1 SKID

El skid, consiste en una estructura metálica que sostiene y aporta rigidez y forma a un objeto en su construcción y uso. Para el caso de un sistema de bombeo consta de un armazón que integra entre sí y sujeta tanto los componentes mecánicos, como el grupo motopropulsor y la estructura de protección.

Para el diseño del skid se debe tomar en cuenta los valores geométricos de mayor importancia. Estos valores los podemos obtener de los manuales técnicos de cada uno de los elementos que conforman el sistema. Para mayor detalle revisar Anexos 5, 6, 7.

4.1.1 GEOMETRÍA

Como todo diseño mecánico, se debe partir de la necesidad de espacio físico que este va a requerir, hay que analizar cada uno de los factores geométricos que intervienen, cada pieza, elemento y facilidad de construcción.

4.1.1.1 Análisis Geométrico

A continuación se aprecia las medidas más importantes para la construcción del skid.

Los factores a tomar en cuenta son:

- Bomba Gaso 1550-C
- Caja de Reducción RTF-12609A FULLER GEAR BOX
- Motor de combustión interna YC6J 190-20
- Sistema de alimentación de combustible
- Sistemas adicionales del motor

En la figura 7 se observa las medidas principales de la bomba. Se debe tomar en cuenta que el sistema impulsador de la bomba debe ubicarse perpendicular a la misma debido a los ejes de rotación.

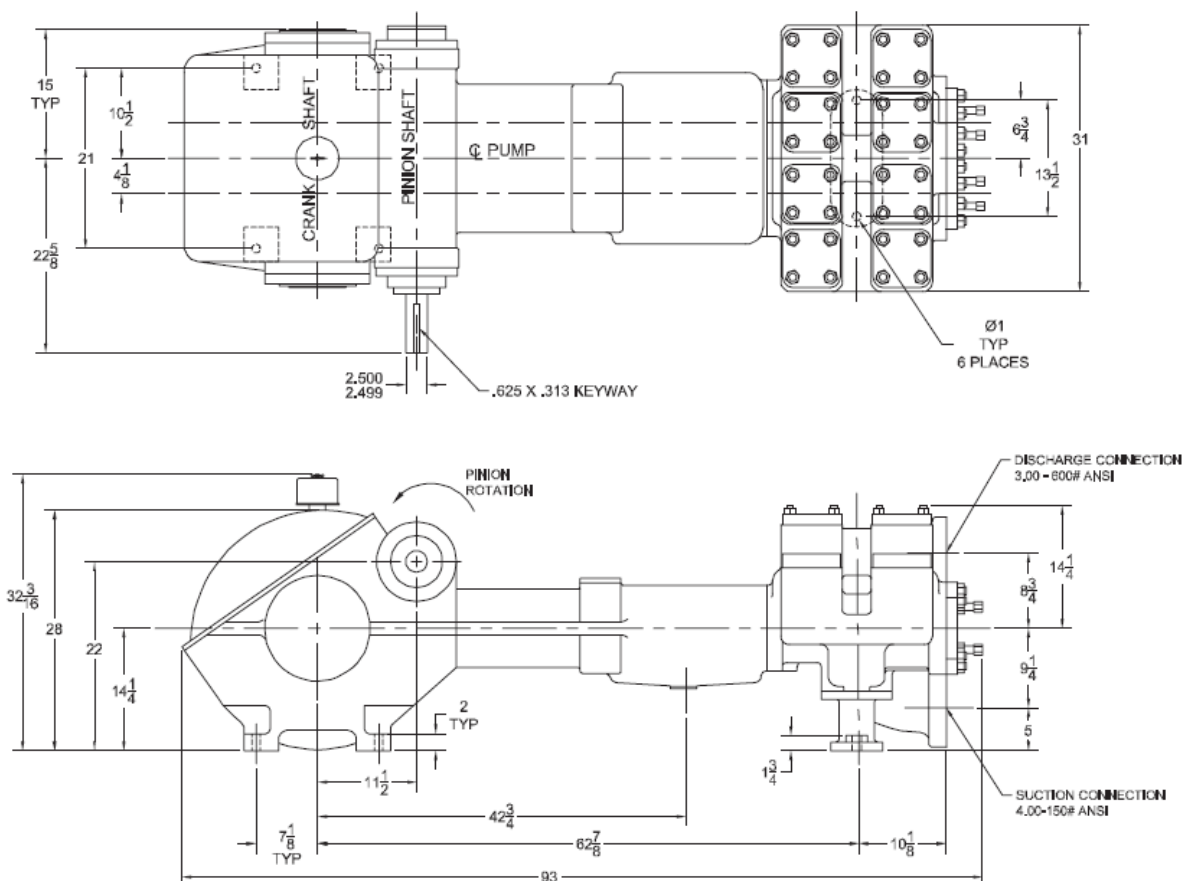


Fig. 7 Geometría de la bomba

Fuente: (Gaso Pumps, 2013)

Para mayor apreciación del diseño del sistema dirigirse a los planos del mismo que se encuentran en el Anexo 1

4.1.2 CARGAS APLICADAS

Para determinar el material y los tipos de perfiles estructurales a emplear en la fabricación del skid se debe realizar un análisis de rigidez en los elementos que lo conforman.

La rigidez es la capacidad de un elemento estructural para soportar esfuerzos sin adquirir grandes deformaciones y desplazamientos.

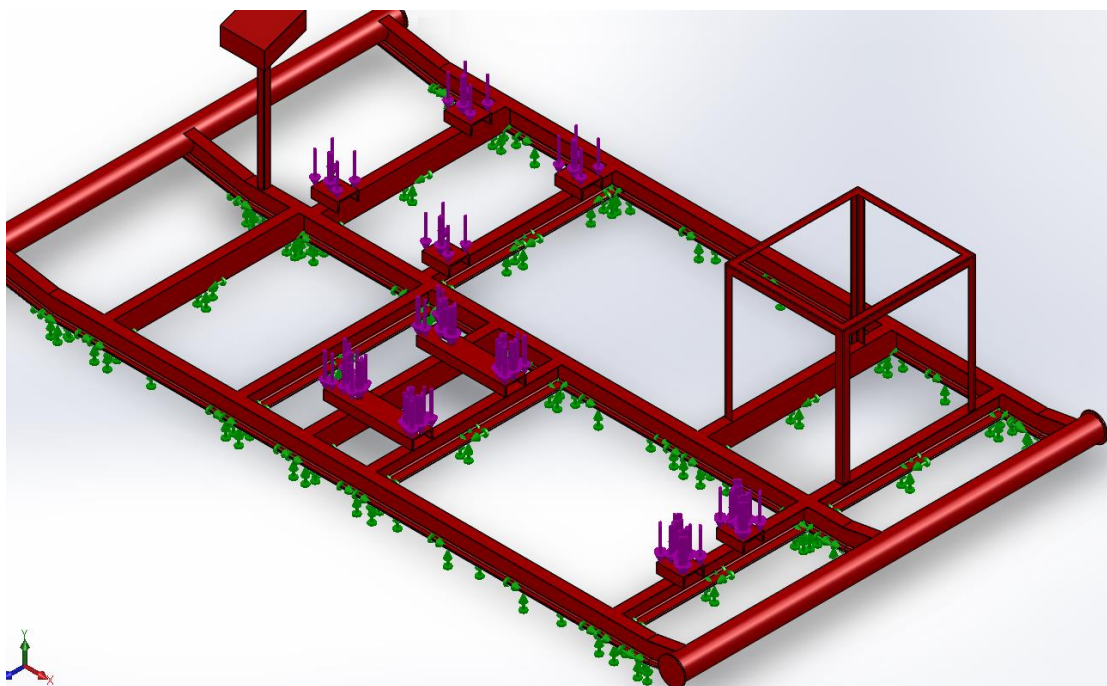


Fig. 8 Cargas aplicadas

En la figura 8 se presenta un esquema de las fuerzas que actúan sobre el skid. Las flechas color púrpura son las cargas generadas por el peso de los

elementos, mientras que las flechas color verde son las reacciones generadas por los apoyos del skid sobre el piso.

4.1.2.1 Cálculo de rigidez

Para la selección de los perfiles a utilizar se debe llevar a cabo un análisis de rigidez en el elemento que presenta mayores esfuerzos de deformación, estos son los apoyos de la carga más grande que tiene el sistema, que es la bomba con un peso de 1681 [kg].

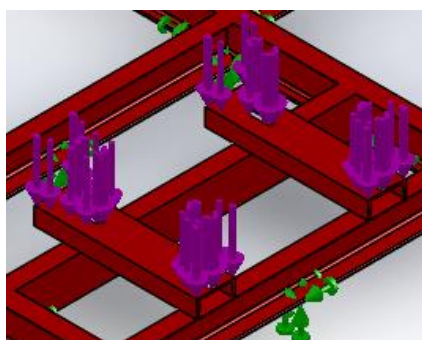


Fig. 9 Elementos críticos

A continuación se presenta el cálculo de rigidez y selección de perfiles.

Cuadro 27 Datos

MAGNITUD	VALOR	UNIDAD
Longitud	0,361	[m]
Carga longitudinal	1164,12	[kg/m]

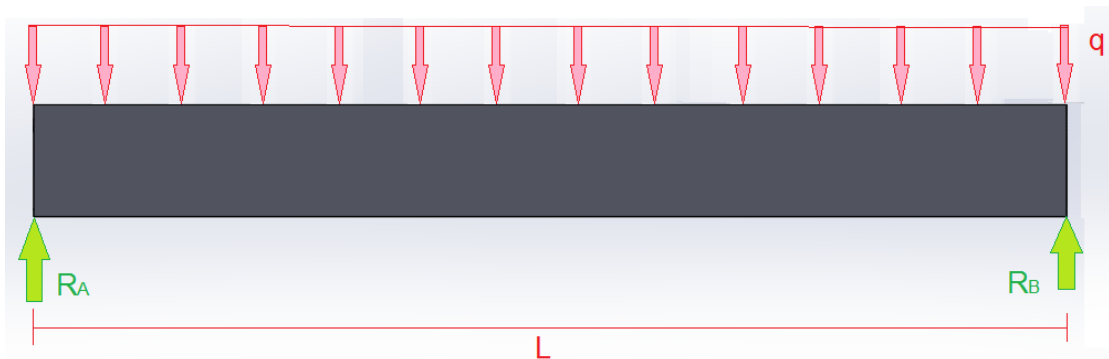


Fig. 10 Diagrama de cuerpo libre

$$F = \frac{q \cdot L}{2} \quad \text{Ec. 22}$$

Donde:

q : Carga longitudinal

F : Fuerza [kg]

L : Longitud [m]

(Budynas & Nisbet, 2008)

Despejando:

$$F = q \cdot L$$

$$F = 1164,12 \times 0,361 = 420,25 \text{ [kg]}$$

Sumatoria de fuerzas:

$$\sum F_y = 0$$

$$R_A + R_B = 1164,12, 420,25 \text{ [kg]}$$

Ec. 23

Sumatoria de momentos:

$$\sum M = 0$$

$$R_B \cdot l - q \cdot l \cdot \frac{l}{2} = 0$$

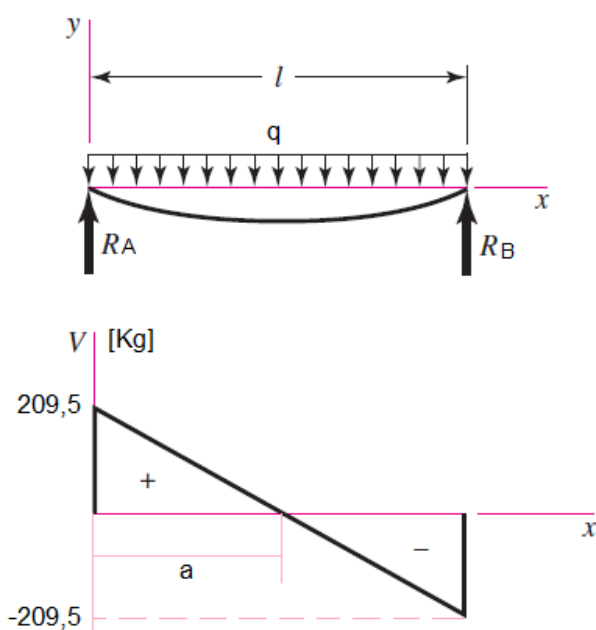
Ec. 24

Despejando:

$$R_B = 209,54 \text{ kg}$$

$$R_A = 209,54 \text{ kg}$$

Diagrama de fuerza cortante:



$$V_B = -209,54 \text{ kg}$$

Ec. 25

Donde:

V_B : Carga cortante en B [kg]

V_A : Carga cortante en A [kg]

Aq: Fuerza resultante de la carga longitudinal [kg]

(Budynas & Nisbet, 2008)

Reemplazando:

$$V_C = 209,54 \text{ [kg]} - 420,25 \text{ [kg]} = -209,54 \text{ [kg]}$$

$$V_C = V_A + Aq$$

Ec. 26

Donde:

V_C : Carga cortante en C [kg]

V_A : Carga cortante en A [kg]

Aq: Fuerza resultante de la carga longitudinal [kg]

(Budynas & Nisbet, 2008)

$$0 = 209,54 \text{ [kg]} - \left(1164,12 \frac{\text{[kg]}}{\text{[m]}} \times a \right)$$

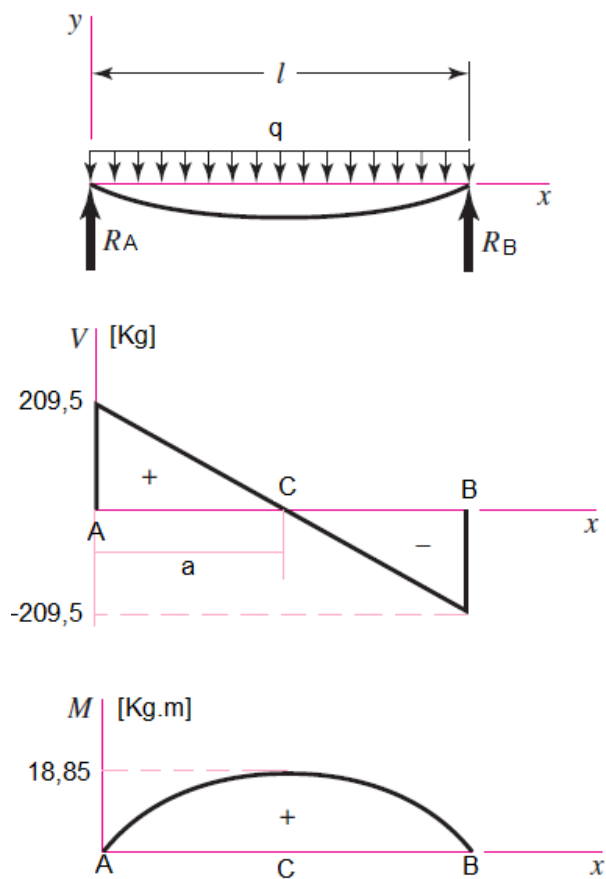
Donde:

a: Longitud del punto A al C

Despejando:

$$a = \frac{209,54 \text{ [kg]}}{1164,12 \frac{\text{[kg]}}{\text{[m]}}} = 0,18 \text{ [m]}$$

Diagrama de momento máximo:



$$\sum M_A = 0$$

$$\sum M_B = \sum M_A + \sum M_C$$

$$\sum M_C = 0$$

Ec. 27

Donde:

$\sum M_A$: Momento en A [kg.m]

$\sum M_B$: Momento en B [kg.m]

$\sum M_C$: Momento en C [kg.m]

$\sum M$: Momento resultante en el punto C

Reemplazando:

$$\sigma_{\text{m}} = 0 + \frac{(209,54 \text{ kg/m} \times 0,18 \text{ m})}{2} = 18,85 \text{ [kg/m]}$$

Para determinar el esfuerzo admisible se trabaja con el segundo momento de inercia del elemento a estudiar. Los segundos momentos de inercia de perfiles estructurales UPN e IPN A36 disponibles en el mercado nacional se encuentran en el Anexo 8

$$\sigma_{\text{adm}} = \frac{\sigma \cdot I}{I}$$

Ec. 28

Donde:

σ_{adm} : Esfuerzo admisible [kg/m²]

σ : Momento máximo [kg.m]

I : Distancia centroidal [m]

I Segundo momento de inercia [m⁴]

(Budynas & Nisbet, 2008)

En la siguiente tabla se muestran los valores de los segundos momentos de inercia de dos tipos de perfiles estructurales disponibles en el mercado nacional.

Tabla 20 Propiedades de perfiles estructurales

Perfil	I [cm ⁴]	I [plg ⁴]	c [m]
UPN50	9,12	0,219	0,0190
UPN65	14,1	0,339	0,0210
UPN80	19,4	0,466	0,0225
UPN100	29,3	0,704	0,0250
UPN120	43,2	1,038	0,0275
UPN140	62,7	1,506	0,0300
UPN160	85,3	2,049	0,0325
IPN80	6,29	0,151	0,04
IPN100	12,2	0,293	0,05
IPN120	21,5	0,516	0,06
IPN160	35,2	0,845	0,07
IPN180	54,7	1,314	0,08
IPN200	81,3	1,953	0,09
IPN220	117	2,810	0,10

Reemplazando:

Tabla 21 Esfuerzo admisible resultante

Perfil	σ_{adm} [kg/m ²]
UPN50	3927083,3
UPN65	2807446,8
UPN80	2186211,3
UPN100	1608361,8
UPN120	1199942,1
UPN140	901913,88
UPN160	718200,47
IPN80	11987281
IPN100	7725409,8
IPN120	5260465,1
IPN160	3748579,5
IPN180	2756855,6
IPN200	2086715,9

Asumiendo un factor de seguridad de 2

$$F = \frac{F_{adm}}{F_s}$$

Ec. 29

Donde:

F_{adm} : Esfuerzo admisible [kg/m^2]

F_s : Factor de seguridad

F_m : Esfuerzo flexionante máximo [kg/m^2]

(Budynas & Nisbet, 2008)

Reemplazando:

Tabla 22 Esfuerzo a la fluencia resultante

Perfil	F_m [kg/m^2]	F_m [MPa]
UPN50	3927083,333	77,049
UPN65	2807446,809	55,082
UPN80	2186211,34	42,893
UPN100	1608361,775	31,556
UPN120	1199942,13	23,543
UPN140	901913,8756	17,696
UPN160	718200,4689	14,091
IPN80	11987281,4	235,19
IPN100	7725409,836	151,57
IPN120	5260465,116	103,21
IPN160	3748579,545	73,55
IPN180	2756855,576	54,09
IPN200	2086715,867	40,94
IPN220	1611111,111	31,61

El esfuerzo máximo a la fluencia del A36 es de 250 [MPa] y del A53 es de 240 [MPa]. Se toma estos dos tipos de materiales debido a la disponibilidad de encontrarlos en el mercado local.

Comprobando:

Tabla 23 Resultados de factor de seguridad

Perfil	$\sigma_{\text{adm}} [\text{kg/m}^2]$	$\sigma_{\text{f}} [\text{Mpa}]$	n A36	n A53
UPN50	3927083,33	77,049	3,24	3,11
UPN65	2807446,81	55,082	4,54	4,36
UPN80	2186211,34	42,893	5,83	5,60
UPN100	1608361,77	31,556	7,92	7,61
UPN120	1199942,13	23,543	10,62	10,19
UPN140	901913,88	17,696	14,13	13,56
UPN160	718200,47	14,091	17,74	17,03
IPN80	11987281,40	235,19	1,063	1,020
IPN100	7725409,84	151,57	1,649	1,583
IPN120	5260465,12	103,21	2,422	2,325
IPN160	3748579,55	73,55	3,399	3,263
IPN180	2756855,58	54,09	4,622	4,437
IPN200	2086715,87	40,94	6,106	5,862
IPN220	1611111,11	31,61	7,909	7,593

El factor de seguridad indica que al acero estructural A36 puede resistir las cargas a aplicarse y es apto para el sistema.

Cálculo de rigidez:

Cuadro 28 Datos para el cálculo por rigidez

MAGNITUD	VALOR	UNIDAD
Longitud	0,361	[m]
Carga longitudinal	1164,12	[kg/m]
Módulo de elasticidad	210	[kg/m ²]

$$\delta_{\text{máx}} = \frac{P \times L^3}{48 \times E \times I}$$

Ec. 30

Donde:

$\delta_{\text{máx}}$: Deformación máxima [mm]

P : Carga longitudinal [kg/m]

L : Longitud [m]

(Budynas & Nisbet, 2008)

Reemplazando:

En la siguiente tabla se muestra un comparativo entre los perfiles estructurales UPN e IPN.

Tabla 24 Deformación máximas por tipo de perfil

Perfil	I [cm ⁴]	I [pulg ⁴]	Y _{máx} [pulg]	Y _{máx} [mm]
UPN50	9,12	0,219	0,0053	0,14
UPN65	14,1	0,339	0,0035	0,09
UPN80	19,4	0,466	0,0025	0,06
UPN100	29,3	0,704	0,0017	0,04
UPN120	43,2	1,038	0,0011	0,03
UPN140	62,7	1,506	0,0008	0,02
UPN160	85,3	2,049	0,0006	0,01
IPN80	6,29	0,15111785	0,0078	0,20
IPN100	12,2	0,29310617	0,0040	0,10
IPN120	21,5	0,51653957	0,0023	0,06
IPN160	35,2	0,84568338	0,0014	0,04
IPN180	54,7	1,31417276	0,0009	0,02
IPN200	81,3	1,95324031	0,0006	0,02
IPN220	117	2,81093624	0,0004	0,01

Si se reemplaza el valor del perfil estructural IPN80, que es el de menor tamaño disponible, en la ecuación 30, la deformación resultante es mayor que la que se presentaría usando un perfil estructural UPN50, por lo tanto se debería utilizar un perfil IPN de mayor tamaño, generando mayores costos.

Conforme aumenta la sección de los perfiles la deformación disminuye. El perfil seleccionado es el que presenta mayor eficiencia frente a los requerimientos estructurales del sistema.

A continuación una tabla con los componentes adicionales empleados en la fabricación de skid.

Tabla 25 Componentes

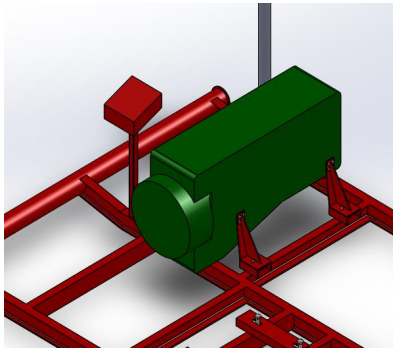

DENOMINACIÓN	I [cm⁴]	I [pulg⁴]	Y_{máx} [pulg]	Y_{máx}[mm]
IPN 80	6,29	0,15111785	0,0078	0,20
TUBO 6"	1169,73	28,103	0,0612	1,55

CAPÍTULO 5

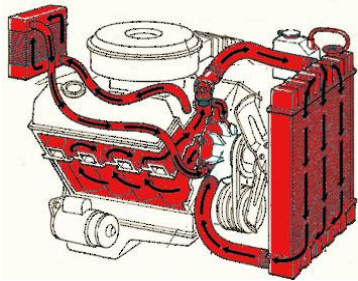
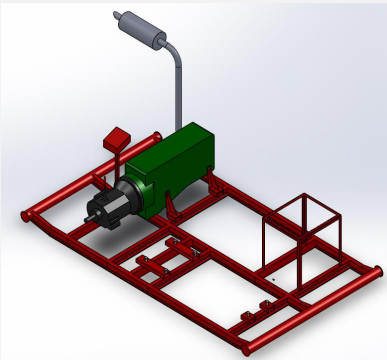
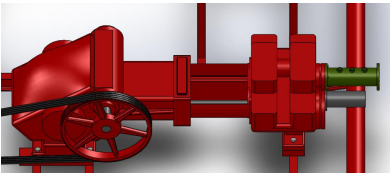
MONTAJE, PRUEBAS Y PUESTA A PUNTO EN CAMPO

5.1 MONTAJE DEL SISTEMA DE BOMBEO

Cuadro 29 Pasos para montar el sistema de bombeo

#	TIPO	ESQUEMA	DESCRIPCIÓN
1	Recepción		Entrega por parte del proveedor los equipos necesarios para el montaje del sistema de bombeo.
2	Montaje del motor		Al montar el motor de combustión interna sobre el skid, se debe tomar todas las precauciones del caso ya que este debe estar perfectamente alineado y balanceado.
3	Ajuste del motor al skid		No se debe unir directamente los soportes del motor al skid. Se debe poner un soporte de caucho de 10 mm de espesor que servirá para absorber las vibraciones generadas por el motor.

Continúa →

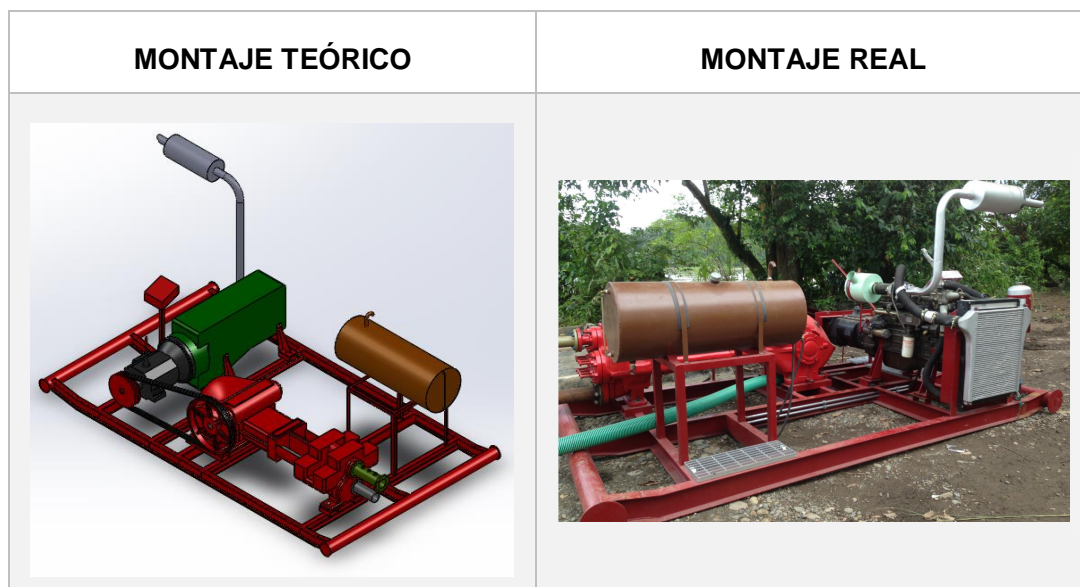
4	Sistemas auxiliares del MCI		<p> Junto con el motor se deben instalar todos los sistemas auxiliares para el funcionamiento del mismo. También se deben realizar las conexiones al panel de control, donde se encuentran los instrumentos medición.</p>
5	Montaje de caja de cambios		<p> La caja de cambios, debe ser alineada y balanceada de tal forma que pueda encajar a la perfección con el eje del motor. Una alineación perfecta significa que los dos ejes a acoplar quedan sobre una misma línea recta y mantienen una separación constante.</p>
6	Acople de poleas		<p> Las poleas deben ser acopladas a los ejes tanto de la salida de la caja de cambios como de la entrada de la bomba recíproca. Una de las ventajas de usar bandas en V es que no hace falta que la alineación de las poleas sea perfecta para efectuar la transmisión.</p>

Continúa →

7	Montaje de la bomba		<p>Al montar la bomba se debe tomar en cuenta las dimensiones del skid. A modo de guía se asienta la bomba sobre los canales para los pernos de anclaje de la misma.</p>
8	Ajuste de bandas		<p>Todas las transmisiones por banda en V deben funcionar con la tensión adecuada. La mejor tensión es la menor tensión a la que no se deslizará la transmisión en una situación de carga máxima.</p>
9	Montaje de tanque de combustible		<p>El sistema de alimentación de combustible está conformado por un tanque atmosférico de 70 galones de capacidad, y dos mangueras que se conectan al motor, una será para la alimentación y otra para el retorno de combustible.</p>

En el cuadro 30 se puede observar un esquema de cómo se planteó el montaje teórico, con relación al montaje real.

Cuadro 30 Montaje teórico vs. montaje real



NOTA: Para colocar las bandas:

- Colocar las bandas nuevas sobre las poleas u asegurarse de que la holgura de cada banda este de mismo lado. Para hacerlo se presiona con la mano para dejar la holgura de un lado de la transmisión.
- No se debe forzar las bandas sobre las poleas con palanca alguna, ni girando las poleas. Se debe separar las poleas hasta que las bandas estén asentadas en las ranuras.
- A continuación se asegura las bandas hasta que queden tensas por medio de un sistema de tornillos que aplicamos.

5.2 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR

Para poder realizar las pruebas de funcionamiento del motor es necesario seguir una serie de pasos establecidos que se detallan a continuación:

Cuadro 31 Pasos a seguir para pruebas en motor

ORDEN	DESCRIPCION	ESTADO
1	Comprobar el nivel de combustible.	OK
2	Revisar nivel de aceite del motor.	OK
3	Revisar el nivel de líquido refrigerante.	OK
4	Comprobar que el filtro de aire se encuentre en su lugar y no existan obstrucciones en la admisión de aire al motor.	OK
5	Colocar la palanca de la caja de cambios en la posición neutral.	OK
6	Arrancar el motor desde el tablero de operaciones, girar la llave y oprimir el botón de arranque.	OK
7	Dejar operar el motor en velocidad ralenti por 10 min, para permitir al mismo alcanzar una temperatura óptima de funcionamiento.	OK
8	Dejar funcionar el motor por períodos de 6 a 8 horas con aceleraciones entre 1500 y 2100	OK

Continúa →

	rpm.	
9	Apagar y esperar que el motor se enfríe durante 2 horas, repetir los pasos 1, 2 y 3.	OK

En las pruebas no se presentaron inconvenientes por lo que se comprueba que está en capacidad de cumplir con los requerimientos establecidos.

Para mayor información del funcionamiento del motor referirse al manual de operación y mantenimiento en el Anexo 9.

5.3 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DE LA CAJA DE VELOCIDADES

La prueba de funcionamiento de la caja se va a llevar a cabo de acuerdo al siguiente cuadro:

Cuadro 32 Pasos a seguir para pruebas en caja de velocidades

ORDEN	DESCRIPCION	ESTADO
1	Revisar nivel de aceite de la caja de cambios.	OK
2	Dejar funcionar cada marcha de las primeras 5 de la caja de cambios por intervalos de 1 hora.	OK
3	Comprobar nuevamente el nivel de aceite lubricante de la caja de cambios.	OK

Fuente: (Autores, 2014)

En las pruebas no se presentaron inconvenientes por lo que se comprueba que está en capacidad de cumplir con los requerimientos establecidos.

Tabla 26 Velocidades en el motor y a la salida de la caja de cambios

			REGIMEN DE REVOLUCIONES DEL MOTOR				
			Marcha	Rel. Trans	1500	1600	1700
VELOCIDADES SALIDA CAJA	1	7,47	200,80	214,19	227,58	240,96	254,35
	2	5,28	284,09	303,03	321,97	340,91	359,85
	3	3,83	391,64	417,75	443,86	469,97	496,08
	4	2,79	537,63	573,48	609,32	645,16	681,00

Tabla 27 Velocidades en el motor y a la salida de la caja de cambios

			REGIMEN DE REVOLUCIONES DEL MOTOR					
			Marcha	Rel. Trans	2000	2100	2200	2300
VELOCIDADES SALIDA CAJA	1	7,47	267,74	281,12	294,51	307,90	321,29	334,67
	2	5,28	378,79	397,73	416,67	435,61	454,55	473,48
	3	3,83	522,19	548,30	574,41	600,52	626,63	652,74
	4	2,79	716,85	752,69	788,53	824,37	860,22	896,06

Se encuentran resaltados los datos de la tabla en los cuales el funcionamiento del conjunto motor . caja de cambios es conservador, ya que no se sobre revoluciona al motor, tampoco existe un excesivo esfuerzo por parte de la caja de cambios.

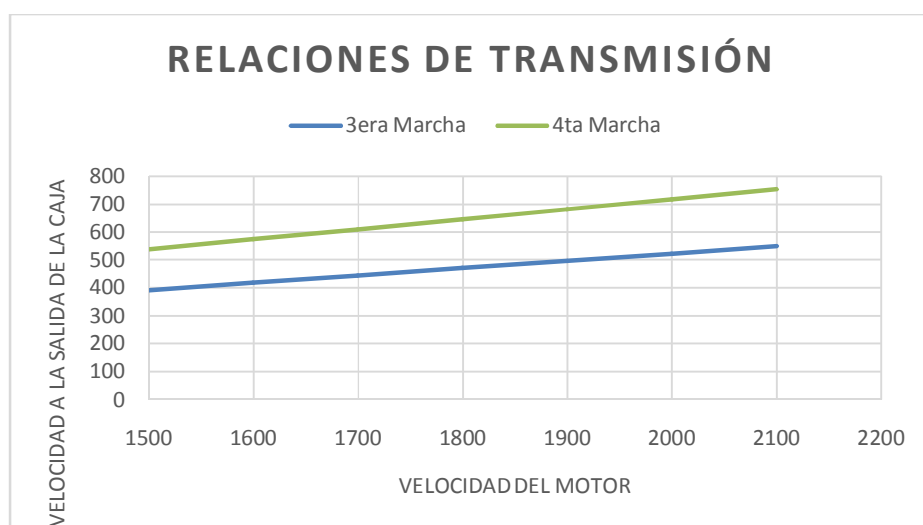


Fig. 11 Diagrama de cambio de marcha

En la figura 11 se puede observar la relación entre las velocidades adecuadas de operación del sistema. Se puede notar un pequeño traslape de velocidades a la salida de la caja entre el final de la tercera marcha y el inicio de la cuarta.

Para mayor información del funcionamiento de la caja referirse al manual de operación y mantenimiento en el Anexo 9.

5.4 PRUEBAS DEL CONJUNTO Y MEDICION DE RESULTADOS

La prueba de funcionamiento del conjunto está detallada en el siguiente cuadro.

Cuadro 33 Pasos a seguir para pruebas en el sistema

ORDEN	DESCRIPCION	ESTADO
1	Eliminar el aire existente en los cilindros de la bomba.	OK
2	Colocar dos toneles de agua uno lleno de agua para la succión y otro vacío para la descarga.	OK
3	Mediante tuberías flexibles conectar la entrada de la bomba al tonel lleno y la descarga de la bomba al tonel vacío.	OK
4	Comprobar que la tensión de las bandas sea la indicada.	OK
5	Poner a funcionar el sistema y medir el tiempo en que se llena el tonel vacío.	OK
6	Repetir el paso 5 para las distintas condiciones de operación, es decir, estableciendo las velocidades del motor y las marchas a las cuales va a operar.	OK

En las pruebas no se presentaron inconvenientes por lo que se comprueba que está en capacidad de cumplir con los requerimientos establecidos.

Para mayor información del funcionamiento del conjunto referirse al manual de operación y mantenimiento en el Anexo 9.

A continuación se presentan las gráficas de los resultados obtenidos en las distintas pruebas:

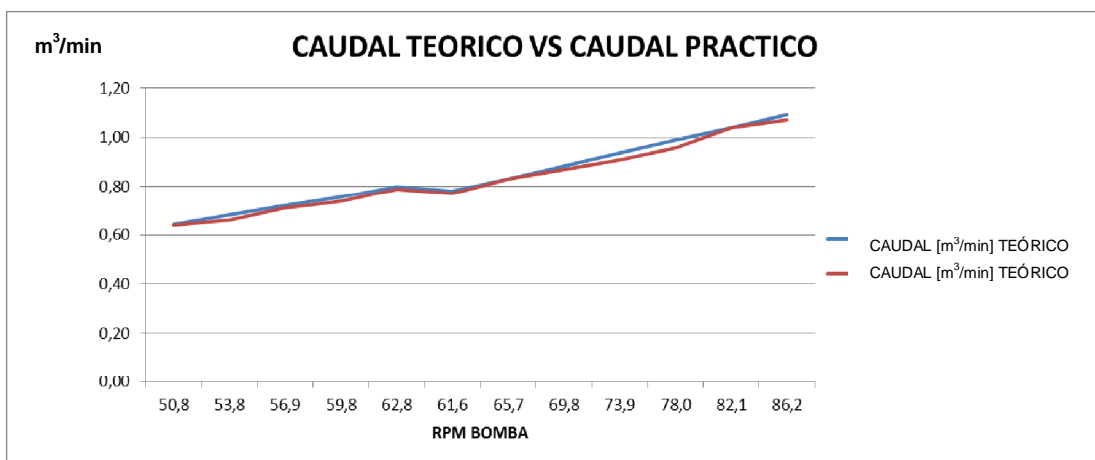


Fig. 12 Grafico Caudal teórico vs Caudal práctico

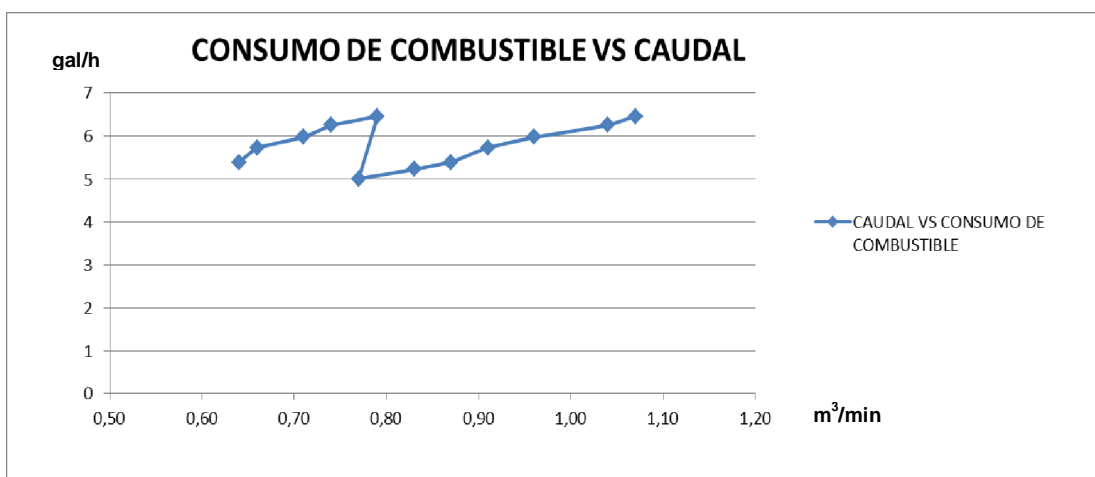


Fig. 13 Grafico Consumo de combustible vs Caudal práctico

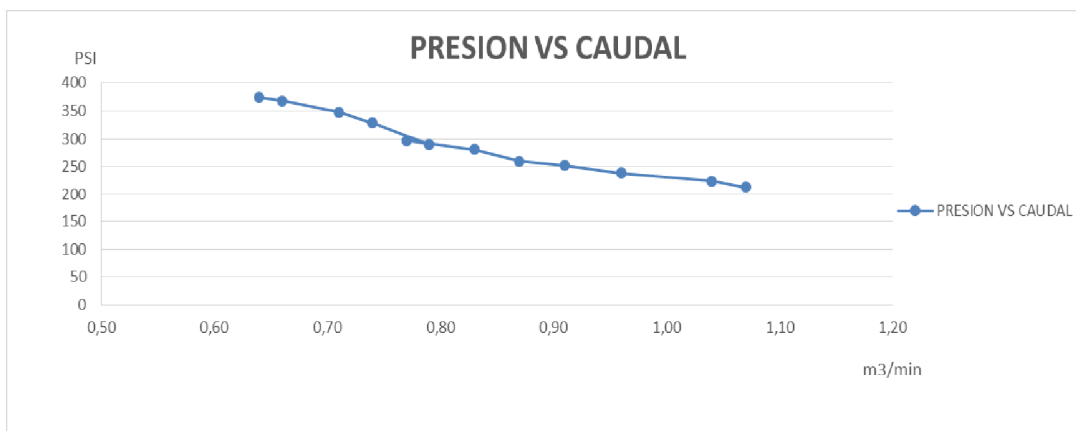


Fig. 14 Grafico Presión vs Caudal práctico

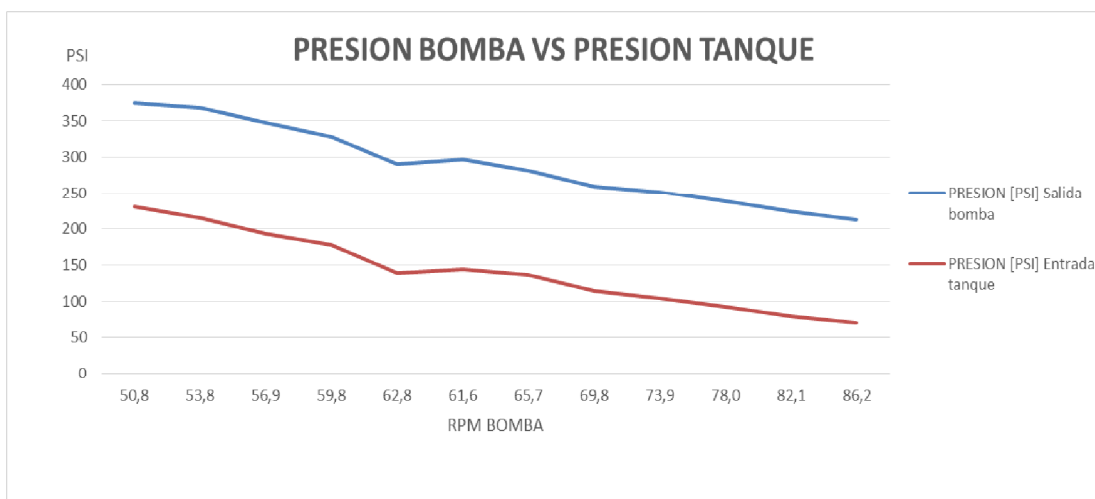


Fig. 15 Grafico Presión Bomba vs Presión Tanque

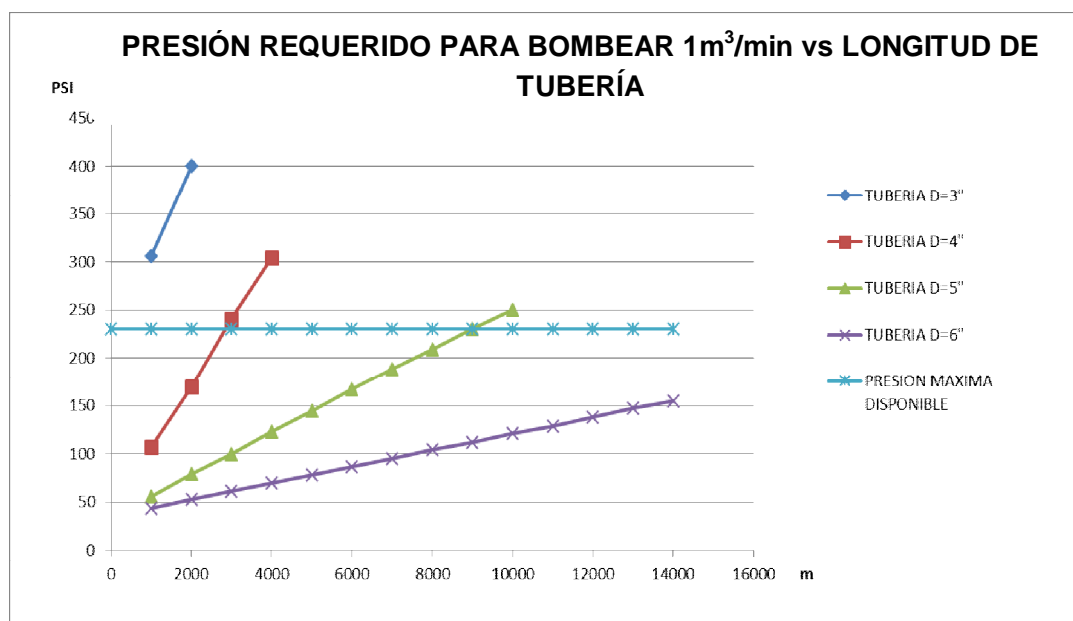


Fig. 16 Grafico Presión Requerida vs Longitud de Tubería




Para mayor información sobre el detalle de las gráficas referirse al manual de operación y mantenimiento en el Anexo 9.

5.5 PUESTA A PUNTO DEL SISTEMA DE BOMBEO EN EL CAMPAMENTO

Cuadro 34 Pasos para el montaje del sistema de bombeo

#	TIPO	ESQUEMA	DESCRIPCIÓN
1	Transporte y arribo		El proceso de movilización se demoró aproximadamente 12 horas debido a las condiciones del camino y a la carga a transportar.

Continúa →

2	Documentación	<p style="text-align: center;">Manual de Operación y Mantenimiento</p> <hr/> <p style="text-align: center;">Sistema de Bombeo</p> <hr/> <p style="text-align: center;"><small>Conservar el manual para el usuario</small></p>	<p>Para proceder a movilizar al sistema de bombeo al punto de succión se presentaron y aprobaron previamente los manuales de operación, mantenimiento y funcionamiento del equipo por parte de la empresa PetroAmazonas.</p>
3	Cubeto		<p>El cubeto es una caja de madera forrada en plástico resistente al diésel que sirve para la protección del medioambiente en caso de posibles derrames de combustible, aceites de lubricación, etc. Las normas ambientales de PAM son muy estrictas en este sentido.</p>
4	Descarga y asentamiento		<p>Para llevar a cabo este proceso se utilizó una grúa con capacidad de 25 toneladas.</p>
5	Liberación		<p>Una vez colocado en su lugar, el sistema es liberado por parte de PetroAmazonas para proceder con la operación.</p>

Para la puesta a punto del sistema de bombeo se necesitó los siguientes materiales adicionales.

- 10 Abrazaderas de 4 pulgadas
- Acople rápido de 4 pulgadas, macho y hembra.
- Unión de 4 pulgadas PVC
- Neplos de 1 pulgada
- Un tapón de $\frac{3}{4}$
- Una válvula check

El primer paso para realizar las pruebas de funcionamiento es colocar todas las mangueras en su respectivo lugar, conectar el sistema a la red de tubería y constatar que los sistemas adicionales se encuentren en buenas condiciones.

Las mangueras de conexión del sistema, para la succión y la descarga son de PVC flexible, para de este modo facilitar el trabajo a la bomba, la instalación de las mismas y ganar tiempo al instalarlas.

Uno de los elementos más importantes y que se debe tomar en cuenta es el uso de una válvula check o anti retorno a inicio de la manguera de succión.

Una vez que estamos seguros de que todas las conexiones del sistema se encuentran en buenas condiciones, ya sean conexiones de fluido, eléctricas de combustible, etc. Se procede a encender el sistema.

Para mayor información revisar el Anexo 9 del manual de operación y mantenimiento del equipo.

Después de aproximadamente 20 minutos de espera el agua llega hasta la estación de bombeo. Después de 10 minutos más, se regulariza el caudal de entrada y el agua empieza a llegar limpia, con lo que se da el visto bueno por parte de PetroAmazonas para proceder con las pruebas hidrostáticas.

5.6 PRUEBAS HIDROSTÁTICAS

Las pruebas hidrostáticas se van a llevar a cabo en dos tanques de almacenamiento de crudo, ambos de 11000 barriles de capacidad de almacenamiento.

El primer tanque es el T-B75111, para lo cual previamente tuvo que ser liberado mecánicamente. La empresa que se encargó de la construcción de ambos tanque es Industria Acero de los Andes.

Una vez que los tanques tienen la aprobación mecánica por parte de PetroAmazonas, se sella todas las posibles fugas: entradas de hombre, orificios de limpieza, etc.

Una vez que el tanque se encuentra herméticamente sellado se realiza el acople necesario para la entrada de agua. En la figura 12 podemos observar el tanque T-B75111.



Fig. 17 Tanque T-B75111

Fuente: (Autores, 2014)

El llenado de ambos tanques se lo realiza desde la base del tanque de almacenamiento.

Para mayor detalle revisar el Anexo 3 del procedimiento para pruebas hidrostáticas.

5.6.1 Documentación

La documentación emitida por el cliente donde se detalla completamente los procedimientos que se llevaron a cabo para la realización de las pruebas hidrostáticas se encuentran en el Anexo 10.

5.6.2 Resultados

De los resultados de las mediciones de acuerdo al procedimiento de pruebas hidrostáticas se concluye que, los tanques T-B75111 y T-B74207 están fabricados correctamente y no poseen deficiencias en su estructura, más detalles en el Anexo 10 y en las conclusiones del proyecto.

Cuadro 35 Análisis de laboratorio del agua antes y despues de pruebas

		RESULTADOS	LIMITES PERMITIDOS	CONCLUSION
ANTES DE PRUEBAS	BARIO	<0,12	<5	
	CROMO TOTAL	0,03	<0,5	
	PLOMO	<0,08	<0,5	
	SOLIDOS TOTALES	92	<1700	
	HIDROCARBUROS TOTALES	<0,3	<20	
	VANADIO	<0,08	<1	
	CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	69,3	<2500	
DESPUES DE PRUEBAS	BARIO	<0,30	<5	SE PUEDE DESALOJAR EL AGUA AL CAUCE DEL RIO
	CROMO TOTAL	<0,10	<0,5	SE PUEDE DESALOJAR EL AGUA AL CAUCE DEL RIO
	PLOMO	<0,15	<0,5	SE PUEDE DESALOJAR EL AGUA AL CAUCE DEL RIO
	SOLIDOS TOTALES	73,95	<1700	SE PUEDE DESALOJAR EL AGUA AL CAUCE DEL RIO
	HIDROCARBUROS TOTALES	<0,2	<20	SE PUEDE DESALOJAR EL AGUA AL CAUCE DEL RIO
	VANADIO	<0,40	<1	SE PUEDE DESALOJAR EL AGUA AL CAUCE DEL RIO
	CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	61	<2500	SE PUEDE DESALOJAR EL AGUA AL CAUCE DEL RIO

Cuadro 36 Resultado de deformaciones durante y después de pruebas

Punto de referencia	Lectura inicial (vacío)	Llenado 100%	Vaciado 100%			Diferencia total
		0 horas	24 horas	Diferencia [mm]	Lectura final (vacío) [mm]	
0	276,668	276,669	276,669	0	276,668	0
45	276,673	276,669	276,667	-0,002	276,672	0,001
90	276,672	276,669	276,667	-0,002	276,669	0,003
135	276,669	276,668	276,664	-0,004	276,668	0,001
180	276,674	276,673	276,673	0	276,672	0,002
225	276,67	276,668	276,667	-0,001	276,673	-0,003
270	276,67	276,667	276,669	0,002	276,667	0,003
315	276,67	276,669	276,669	0	276,671	-0,001

5.7 ANÁLISIS DE COSTOS DE FABRICACIÓN

5.7.1 COSTOS DIRECTOS

Cuadro 37 Costos de materia prima y equipos

ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	COSTO	COSTO
			UNITARIO	TOTAL
			(USD)	(USD)
1	Bomba	1	14000	14000
2	Motor	1	14000	14000
3	Perfiles estructurales	500 [kg]	1.10	550
4	Caja de cambios	1	4300	4300
6	Plancha de Acero corrugado (1,22 x 2,44)	14	139	1946
7	Poleas	2	300	600
8	Bandas	4	30	120
			TOTAL	35013

Cuadro 38 Costos de mano de obra directa

ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD [hr]	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
			[USD]	[USD]
1	Soldador	16	15	240
2	Granallador 1	3	5	15
3	Granallador 2	3	5	15
4	Pintor	12	10	120
5	Operador de montacargas	4	5	20
6	Obrero 1	120	5	600
7	Obrero 2	120	5	600
8	Obrero 3	120	5	600
9	Chofercamión	24	8,50	204
10	Tesista 1	320	6	1920
11	Tesista 2	320	6	1920
			TOTAL	6254

Cuadro 39 Costos de insumos

ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
			[USD]	[USD]
1	Pernos estructurales	16	0.40	6,40
2	Galvanizado pernos	8	1	8
3	Refrigerante	1.5 [gl]	3.50	5.25
4	Recubrimiento anticorrosivo	8[gl]	200	1600
5	Consumibles (electrodos)	5 [kg]	18	90
6	Lubricantes	15 [gl]	30	450
7	Mangueras	5 [m]	20	100
			TOTAL	2259,65

5.7.2 COSTOS INDIRECTOS

Cuadro 40 Otros costos indirectos

ITEM	DESCRIPCION	COSTO [USD]
1	Suministros de oficina	25
2	Transporte	30
3	Servicios básicos	50
4	Impresiones	40
5	Combustible	200
6	Varios	45
	TOTAL	390

5.7.3 COSTOS TOTALES

Cuadro 41 Costos totales

ITEM	DESCRIPCION	COSTO [USD]
1	Costos Materia Prima	35013
2	Costos Mano de obra directa	6254
3	Costo de Materiales e Insumos	2259,65
5	Costos Indirectos	390
	TOTAL	43916,65

5.7.4 COSTO DE BOMBEO

El costo de bombeo viene representado por varios conceptos que para el desarrollo de este proyecto fueron considerados, es decir, se analizó costo total del sistema, de insumos, costo de combustible y consumo de combustible de acuerdo a la potencia desarrollada para cumplir con las condiciones de operación que se le impongan al sistema, obteniendo la tabla que se muestra a continuación, en donde se puede notar los diferentes costos de bombeo de acuerdo a las variables más sensibles de este sistema que son el diámetro de tubería de descarga y la longitud de la misma, cabe aclarar que para la descarga de los tanques no se utilizará el sistema de bombeo.

Tabla 28 Tiempos estimado de bombeo

ITEM	TIEMPO [hr]	BARRILES	COSTO POR BARRIL [USD]
Llenado al 25%	4.5	2750	0.11
Estabilización	6		
Llenado al 50%	4.5	2750	0.11
Estabilización	6		
Llenado al 100%	9	5500	0.20
Estabilización	24		
Vaciado al 50%	4.5	5500	
Estabilización	12		
Vaciado al 100%	4.5	5500	

Los valores de tiempos y porcentajes de llenado de tanques, para realizar pruebas hidrostáticas son dictaminados según la norma API 650 [8].

De acuerdo con las pruebas realizadas en campo se llegó a determinar los datos que son necesarios para establecer los costos bajo las diferentes condiciones operativas del sistema:

- Consumo de combustible: 1.5 . 3 gl/hr
- Costo de combustible: 1.00 USD/gl
- Velocidad recomendada motor: 1500 . 3000 rpm

Adicionalmente conociendo que la depreciación lineal del sistema es: 7500 USD/año, podemos tabular la siguiente información:

Tabla 29 Costo de bombeo de un barril de agua

Diámetro de tubería [pulg]	Caudal [m³/min]	Distancia de bombeo [m]	Costo [USD]
4	1	500	0.08
		1000	0.09
		2000	0.11
		2500	0.13
5	1	2000	0.07
		4000	0.08
		6000	0.11
		9000	0.12
6	1	2000	0,07
		4000	0.07
		6000	0.09
		9000	0.10
		14000	0.11

A partir de este análisis podemos establecer un diseño de líneas de descarga eficiente que nos permita tener un bajo costo de bombeo, tomando en cuenta la situación geográfica y distancia entre la fuente de bombeo y el depósito de descarga.

CAPITULO 6

CONCLUSIONES

6.1 Conclusiones del proyecto

- El sistema de bombeo móvil con capacidad de $1\text{m}^3/\text{min}$, satisface exitosamente los requerimientos establecidos por PetroAmazonas para realizar pruebas hidrostáticas en tanques de almacenamiento según la norma API 650 art 7.3.6.6.
- El sistema tiene una capacidad de bombear $1\text{m}^3/\text{min}$ y una presión máxima de 9929 KPa a la salida de la bomba, por una tubería de transporte de 4 pulgadas de diámetro y cédula 40. Al seleccionar una caja de velocidades con una amplia gama de relaciones de transmisión aumentan las prestaciones del sistema de bombeo.
- Se determinó que las pérdidas teóricas del sistema en la succión son de 1120,9 KPa tomando en cuenta un diámetro seleccionado de 6 pulg.
- Se seleccionaron los componentes del sistema más adecuados de acuerdo al método de ponderación de matrices.
- Los tanques T-B75111 y T-B74207 pasaron satisfactoriamente las pruebas hidrostáticas de acuerdo a la norma API 650 art 7.3.6.6.

CAPÍTULO 7

RECOMENDACIONES

7.1 Recomendaciones del proyecto

- Antes de poner en funcionamiento el sistema de bombeo es recomendable referirse al manual de operación y mantenimiento para evitar accidentes que pueden provocar lesiones graves o la muerte.
- Si el sistema de medición de nivel de combustible llegara a ser obsoleto se recomienda cambiarlo por un sistema de flotador que permita observar el nivel de combustible disponible en el tanque.
- Se debe considerar las prestaciones del sistema de bombeo para realizar pruebas hidrostáticas de tuberías y aplicaciones similares.
- Automatizar el sistema de aceleración del motor para que el operador tenga un mayor control sobre el funcionamiento del sistema de bombeo.

BIBLIOGRAFÍA

- API 650. (2007). *Welded Steel Tanks For Oil Storage*.
- Autores. (2014, Enero). Quito, Pichincha, Ecuador.
- Budynas, R., & Nisbet, J. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. McGraw-Hill.
- Cengel, Y. (2002). *Termodinámica* (5 ed.). Estados Unidos: McGraw Hill.
- CRANE. (2011). *Flujo de Fluidos en válvulas, accesorios y tuberías*. McGraw-Hill.
- EATON FULLER. (2013). *ROADRANGER*. Retrieved from <http://roadranger.com>
- Fox, & McDonald. (2003). *Introducción a la Mecánica de Fluidos*. Nueva York: McGraw-Hill.
- Gasol Pumps. (2013). *Gasol*. Retrieved from <http://www.gasol.com>
- Gates. (2013). *Gates*. Retrieved from <http://www.gates.com.mx>
- GRUPO PALMERO. (2013). PALMERO MOTOBOMBAS. ARGENTINA.
- GRUPO PRETROPLAST. (n.d.). *PRETROPLAST*. Retrieved from <http://www.pretroplast.com.ar>
- HANOMAG PATAGONIA S.A. (2012). MOTORES HANOMAG. ARGENTINA.
- INAMHI. (2013). *INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA*. Retrieved from <http://www.serviciometeorologico.gob.ec/estudios-hidrologicos/>
- Luszczewski, A. (2008). *Redes industriales de tubería*. Barcelona: Reverté.
- McNaughton, K. (2010). *Bombas, selección, uso y mantenimiento*.
- Megyesy, E. F. (2008). *Manual de Recipientes a Presión*. LIMUSA S.A.
- Ministerio de relaciones laborales. (2013, 12 28). *Relaciones laborales*. Retrieved from <http://www.relacioneslaborales.gob.ec/salarios-minimos-sectoriales-2014/>
- Mott, R. L. (2006). *Diseño de Elementos de Máquinas*. Mexico: Prentice Hall.
- Mott, R. L. (2006). *Mecánica de Fluidos*. Prentice Hall.
- Naughton, K. (1988). *Bombas Selección, Uso y Mantenimiento*. MEXICO: McGraw-Hill.

PetroAmazonas. (2012). Procedimiento para pruebas hidrostáticas. Ecuador.

PH. (2013). *Tecsystem*. Retrieved from <http://www.tecsystem.fr>

SKF. (2013). *Rodamientos SKF*. Retrieved from <http://www.skf.com>

Speroni. (2012, Marzo). *Direct Industry*. Retrieved from <http://directindustry.com>

Universidad de Oviedo. (2013, Diciembre). *Unioviado*. Retrieved from <http://www.unioviado.es>

Varo, J. (2009). *Gestión Estratégica de la Calidad*.

Yuchai Machinery Co. (2013). *Yuchai Co*. Retrieved from <http://yuchai.com>

ZF. (1013). *ZF TRANSMISSIONS*. Retrieved from <http://zf.com>

ANEXO 1

Planos

ANEXO 2
Carta de
aceptación de
Saurus Ecuador

ANEXO 3
Procedimiento
para pruebas
hidrostáticas

ANEXO 4

Tablas y figuras

ANEXO 5
Especificaciones
técnicas para
bombas

ANEXO 6
Especificaciones
técnicas para
motores

ANEXO 7
Especificaciones
técnicas para
cajas de cambios

ANEXO 8
Catálogo de
aceros
estructurales

ANEXO 9
Manual de
operación y
mantenimiento

ANEXO 10

Documentación

ANEXO 11

Resultados