

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE MECÁNICA



**“DISEÑO DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA BOMBAS
RECIPROCANTES EN EL TALLER DE BOMBAS DE LA
SUPERINTENDENCIA DE TALLERES DE PDVSA-SAN
TOMÉ”**

REALIZADO POR:

Br. Lexis Jesús Caraballo Peraza

Barcelona, Octubre de 2009

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE MECÁNICA



**“DISEÑO DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA BOMBAS
RECIPROCANTES EN EL TALLER DE BOMBAS DE LA
SUPERINTENDENCIA DE TALLERES DE PDVSA-SAN TOMÉ”**

*Trabajo de grado presentado ante la Universidad de Oriente como requisito
parcial para optar al título de*

INGENIERO MECÁNICO

Realizado por:

Br. Lexis Jesús Caraballo Peraza

Barcelona, Octubre de 2009

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE MECÁNICA



PROYECTO DE TRABAJO DE GRADO

**DISEÑO DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA BOMBAS RECIPROCANTES
EN EL TALLER DE BOMBAS DE LA SUPERINTENDENCIA DE
TALLERES DE PDVSA-SAN TOMÉ**

Jurado

El jurado hace constar que asignó a esta Tesis la calificación de:

APROBADO

Prof. José Rengel
Asesor Académico

Prof. Orlando M. Ayala
Jurado Principal

Prof. Simón Bittar
Jurado Principal

Barcelona, Octubre de 2009

RESOLUCIÓN

De acuerdo al ARTÍCULO 44 del reglamento de trabajos de grado, los trabajos de grado son de exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente y sólo podrán ser utilizados a otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien le participará al Consejo Universitario.

DEDICATORIA

A Dios mi padre celestial que me ha guiado y que me ha dado la fuerza para seguir luchando.

A mis padres Emma y Jesús, que con su constancia y su amor me ha ayudado a ser la persona que hoy en día soy.

A mis hermanos Luis Alexander, Lisdrelys y Luidys, los quiero mucho.

AGRADECIMIENTOS

A mi madre Emma, a mi padre Jesús Luis, a mis hermanos Luis Alexander, Lisdrelys y Luidys por siempre brindarme todo el apoyo y cariño de manera incondicional.

A mi novia Marlin que me ha ayudado y apoyado en los momentos difíciles que he tenido.

A mis amigos del Departamento de Mecánica, con los cuales compartí muchos momentos especiales (Fucho, Gaby, Kelvin, Pochako, Yenzon, Luis Moreno, Alexander, Aníbal, José Enrique, Leo Gudiño, Gonzalo, Marcela) y demás compañeros del Departamento de Mecánica.

A la Universidad de Oriente, por brindarme la oportunidad de desarrollarme como profesional y crecer como persona.

A PDVSA San Tomé, por darme la oportunidad de realizar mi trabajo de grado dentro de sus instalaciones.

A mi asesor académico Prof. José E. Rengel, por su orientación y por haberme brindando su valioso conocimiento y apoyo en el desarrollo de este trabajo.

Al señor Carlos Quiaro por haberme brindado su ayuda y confianza y enseñarme lo que es un líder.

A todos esos seres queridos que de alguna manera, y estén donde estén, me han ayudado a ser la persona que soy.

RESUMEN

El taller de bombas de PDVSA-San Tome requiere garantizar la calidad de sus reparaciones, es por ello que se diseñó un banco de pruebas para bombas reciprocantes para que a futuro sea instalado. Se consultó el historial de las bombas que entraron al taller a ser reparadas y se establecieron los límites operacionales, para luego diseñar cada uno de los componentes del banco de pruebas. Empezando por las tuberías para luego diseñar el tanque de almacenamiento. Posteriormente se diseñó la bancada donde se van a apoyar las bombas y se seleccionó la instrumentación que llevará este banco de pruebas. Por último se elaboró un formato que se utilizará para tomar los datos de las bombas que van a ser ensayadas, para llevar un registro de éstas, y así garantizar la calidad del servicio prestado.

CONTENIDO

PROYECTO DE TRABAJO DE GRADO.....	3
RESOLUCIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTOS	vi
RESUMEN.....	vii
CONTENIDO	viii
INTRODUCCIÓN	1
1.1 DESCRIPCION DE LA EMPRESA.....	1
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
1.3 ANTECEDENTES	5
1.4 ENFOQUE DEL PROBLEMA	5
1.5 OBJETIVOS DEL PROYECTO	6
1.5.1 Objetivo general	6
1.5.2 Objetivos específicos.....	6
1.6 RESUMEN DE RESULTADOS.....	7
1.7 ESTRUCTURA DEL TRABAJO	8
MARCO TEÓRICO.....	9
2.1 BANCO DE PRUEBAS PARA BOMBAS	9
2.1.1 Pruebas realizadas en un banco de prueba para bombas	9
2.1.2 Componentes de un banco de pruebas para bombas	11
2.1.3 Diseño de banco de pruebas para bombas.....	11
2.1.4 Instrumentación de un banco pruebas	25
2.2 BOMBAS	39
2.2.1 Clasificación de las bombas ^[9]	39
2.2.2 Bombas Reciprocantes	39
2.2.3 Mantenimiento y Pruebas a Bombas Reciprocantes	41
METODOLOGÍA	42
3.1 DESCRIPCIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS	42

3.1.1 Principio de funcionamiento.....	42
3.1.2 Descripción física del banco de pruebas	42
3.2 DISEÑO DEL BANCO DE PRUEBAS.....	44
3.2.1 Ubicación del banco de pruebas en el taller de bombas	44
3.2.2 Límites operacionales del banco de pruebas	45
3.2.3 Fluido a utilizar por el banco de pruebas.....	46
3.2.4 Diseño de las tuberías.....	47
3.2.5. Diseño del tanque de almacenamiento	49
3.2.6 Diseño de la bancada.....	50
3.2.7 Selección de la instrumentación	52
3.2.8 Manual para el buen funcionamiento del banco de pruebas.....	53
RESULTADOS Y ANALÍISIS.....	54
4.1 LÍMITES DE OPERACIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS	54
4.2 DISEÑO DE LAS TUBERIAS QUE CONFORMARÁN EL BANCO DE PRUEBAS	¡Error! Marcador no definido.
4.3 DISEÑO DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO.....	56
4.3.1 Volumen mínimo del tanque de almacenamiento	56
4.3.2 Dimensiones del tanque de almacenamiento.....	57
4.3.3 Espesor de las paredes del tanque de almacenamiento	57
4.4 DISEÑO DE LA BANCADA	58
4.4.1 Diámetros de las poleas.....	58
4.4.2 Longitud de las correas.....	58
4.4.3 Distancia entre ejes.....	59
4.4.4 Esfuerzos en la bancada.....	60
4.4.5 Esfuerzos en las vigas que soportarán los motores	61
4.4.6 Esfuerzo sobre la viga que soportará las bombas National j-165t.....	62
4.4.7 Esfuerzo sobre las vigas longitudinales.....	63
4.5 INSTRUMENTACIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS	64
4.5.1 Válvulas.....	64
4.5.2 Medidor de la presión de succión.....	64
4.5.3 Válvula de alivio.....	65
4.5.4 Medidor de caudal.....	66

4.5.5 Medidor de presión de descarga	66
4.5.6 Medidor de nivel.....	66
4.5.7 Contador de revoluciones	67
4.6 ACCESORIOS DEL BANCO DE PRUEBAS	67
4.6.1 Mangueras	67
4.6.2 Codos y reducciones.....	67
4.7 PROCEDIMIENTO PARA EL FUNCIONAMIENTO DEL BANCO DE PRUEBAS	67
4.8 REGISTROS DE LAS PRUEBAS REALIZADAS.....	68
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	70
5.1 CONCLUSIONES.....	70
5.2 RECOMENDACIONES.....	71
BIBLIOGRAFIA	72
APENDICE A	
APENDICE B	
APENDICE C	
APENDICE D	

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 DESCRIPCION DE LA EMPRESA

Petróleos de Venezuela, S.A (PDVSA), es una empresa perteneciente al estado venezolano. Desde su creación se ha convertido en una de las corporaciones energéticas más importante del mundo, destinada a explorar, producir, transportar, procesar, distribuir y comercializar el petróleo, gas natural y todos sus derivados, a su vez planifica, coordina, supervisa y controla las actividades operativas de sus divisiones tanto en Venezuela como en el exterior.

PDVSA, se encuentra ubicada en todos los estados productores de petróleo, teniendo su sede principal en la ciudad de Caracas y áreas operacionales en Occidente, Sur y Oriente del país. En el Occidente cuenta con los Distritos Maracaibo, Lagunitas y Tía Juana. Estos distritos desarrollan actividades de explotación y producción en el Estado Zulia y parte del Estado Falcón. En este último se realizan actividades de manufactura y refinación, allí se encuentra ubicada la refinería de Punta Cardón y la de Amuay una de las más grandes de Latinoamérica.

En el Sur cuenta con el Distrito de Barinas, que cubre los Estados Apure, Barinas y Portuguesa, siendo estos últimos donde se está desarrollando el plan de explotación Flanco Sur Andino; en búsqueda de nuevos reservorios petroleros. En Oriente cuenta con el Distrito Puerto la Cruz que se encarga de la refinación y el mercadeo de crudos y los Distritos operacionales Anaco, San Tomé, Morichal, Punta de Mata y Maturín, incluyendo en estos últimos, el área de mayor actividad de PDVSA, el norte de Monagas. Las actividades de los Distritos abarcan los Estados Anzoátegui, Monagas y Guárico.

El distrito Social San Tomé es un distrito operacional ubicado en el centro de la mesa de Guanipa (figura 1.1), al Sur de los estados Anzoátegui y Guárico y se extiende hasta las áreas de de Casma – Soledad en el estado Monagas, con un área de

24000km² aproximadamente.

San Tomé surge, al igual que los demás campamentos petroleros nacidos en Venezuela, bajo una muy bien planificada estrategia urbanística donde todo estuvo previsto; desde el aeropuerto, el hospital, el acueducto y las áreas destinadas para oficinas, instalaciones industriales, futuros centros para recreación y esparcimiento de las familias y sus trabajadores. Está dividido en dos áreas residenciales: Campo Norte y Campo Sur, en medio de los cuales se encuentra el área industrial. Este Distrito posee pozos medianamente profundos de hasta 14000ft y pozos someros hasta 2500ft en el área de la Faja del Orinoco.



Figura 1.1. Ubicación Geográfica PDVSA-San Tomé

El Distrito San Tomé posee un potencial de producción de petróleo y conforma la más grande variedad de instalaciones petroleras que van desde los patios de almacenamiento de crudo hasta las estaciones de flujos, planta de inyección de agua, gas, vapor y plantas de gas que integran al mayor complejo gasífero del país.

Dentro del Distrito Social San Tomé está la superintendencia de Talleres Oriente, adscrita a la gerencia de Mantenimiento que surge por la necesidad que tiene

la empresa de asegurar todas y cada una de las instalaciones, equipos, sistemas, dispositivos que estén en condiciones requeridas para cumplir con las metas operacionales que la empresa tiene planificadas, logrando de esta forma la optimización de la actividad operacional de los sistemas de plantas, con respecto a los costos asociados, tanto directos como indirectos. Para cumplir con todos sus objetivos y actividades la superintendencia de Talleres Oriente cuenta con cuatro talleres (figura 1.2), además de las secciones de control de calidad, talleres externos y la sala de programación. Estos cuatro talleres son:

- ◆ Taller de Bombas: Su función es realizar reparaciones de bombas de superficie (centrífugas y reciprocantes) y bombas de subsuelo.
- ◆ Taller de Válvulas y Cabezales: Su función es realizar reparación y mantenimiento de válvulas, cabezales y equipos de perforación.
- ◆ Taller Integral: Este lo comprenden tres áreas. Área de instrumentos, la cual tiene como función realizar mantenimiento, reparación, y calibración de instrumentos neumáticos. Área de motores, su función es realizar reparaciones de motores de combustión interna. Área de mecánica pesada, tiene como función realizar reparaciones de partes y equipos de motocompresores y plantas.
- ◆ Taller de Máquinas-Herramientas: Se encarga de la reparación y/o



fabricación de equipos, partes y/o piezas.

Figura 1.2. Talleres que conforman la Superintendencia de Talleres

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las bombas reciprocantes son de amplio uso en la industria petrolera, su aplicación se extiende desde el transporte de petróleo hasta la estimulación de pozos a través de la inyección de agua salada. A estos equipos, a través de órdenes de trabajos, se les realiza mantenimiento correctivo y preventivo tanto en el taller de bombas como en talleres externos. En la actualidad el taller de bombas no cuenta con un sistema donde se puedan observar las condiciones de operación de las bombas de superficie, para comprobar la calidad de los servicios prestados tanto por el taller de bombas como en los talleres externos. Esta situación es preocupante ya que en años anteriores se han venido presentando una serie de devoluciones de los equipos a los cuales se les realizaron mantenimiento causando pérdidas de tiempo y dinero.

El presente trabajo tiene por objeto diseñar un banco de pruebas donde se puedan ensayar bombas reciprocantes antes y/o después de realizarle mantenimiento, mediante la variación de los parámetros de mayor importancia tales como presión y caudal manejado, entre otros; para así poder determinar las posibles fallas que presentan éstas antes de hacerle mantenimiento y también garantizar la calidad de las reparaciones a los clientes, ensayando las bombas después de hacerle mantenimiento. Para la elaboración de este trabajo de investigación se realizará un estudio de las características de las bombas reciprocantes que con mayor frecuencia se reciben en el taller de bombas para conocer el límite operacional del banco de pruebas y poder realizar el cálculo de los componentes e instrumentación a través de ecuaciones de mecánica de fluidos y diseño mecánico estudiadas en ingeniería mecánica, así como la aplicación de manuales, procedimientos y normas.

Este banco de pruebas será de mucha utilidad para el taller de bombas ya que permitirá conocer parámetros como presión de succión y descarga, caudal bombeado por el equipo y otros, a diferentes condiciones operacionales que servirán de referencia para hacer un diagnóstico de las condiciones de las bombas a las cuales se le ejecuta el mantenimiento y así incrementar la confiabilidad y seguridad en los

procesos de producción de PDVSA. También se mejorará muchos parámetros de interés para la empresa, tales como: costo de reparación, tiempo de ejecución de reparación, aumento de la calidad de los servicios, entre otros.

1.3 ANTECEDENTES

En el año 2006, Logan, E., realizó el Diseño de un Banco de Pruebas para Bombas de Superficie (Reciprocantes) Marca Gardner Denver 6"x4"x6" en PDVSA, Distrito Sur-San Tomé. Este trabajo se realizó con la finalidad de diseñar un banco de pruebas donde se pudiese verificar las condiciones de operación de las bombas reciprocantes marca Gardner Denver 6"x 4"x 6", recomendando los materiales para la construcción del mismo. Este Banco de Pruebas se limita a este tipo de bomba que tiene como características resaltante que funciona con vapor. ^[1]

En el año 2005, Stanford, V., hizo un estudio de la factibilidad económica para la fabricación del banco de pruebas para un mecanismo de bombeo de tipo reciprocante. Además, se planteó la redistribución de la zona en el taller donde se reparan las bombas de superficie, para brindar mayor comodidad y seguridad a los operarios del taller, determinándose que la fabricación del banco de pruebas es económicamente rentable. ^[2]

En el año 2004, Villarroel, I., diseñó un banco de pruebas para poder verificar si las bombas de inyección química están operando a condiciones normales de mantenimiento y así evitar inconvenientes en el proceso de extracción de crudo donde operan. En este trabajo se hizo un análisis de los materiales y conexiones que se pueden utilizar, pero no se realizó cálculo de ningún tipo. ^[3]

1.4 ENFOQUE DEL PROBLEMA

En el taller de bombas del Departamento de Talleres Oriente, adscrita a la Gerencia de Mantenimiento de PDVSA, Distrito Social San Tomé, se evidencia la necesidad de que los equipos reparados cuenten con un certificado de calidad acorde a las condiciones de producción para lo cual están destinadas, de tal manera que brinde una mayor confiabilidad a los clientes de la empresa. En el Taller de bombas

se efectúan las debidas reparaciones de diversos tipos de bombas; sin embargo se presentan deficiencias en la dotación de equipos de prueba, lo cual trae como consecuencia no sólo que existan dudas al momento de la entrega de los equipos reparados, sino que además pueden existir detalles en la reparación que originan que los equipos no den el rendimiento esperado generando pérdidas de producción, pérdidas económicas y pérdidas de prestigio de la Empresa Petróleos de Venezuela, S.A (PDVSA).

El diseño de un Banco de Pruebas para bombas reciprocantes permitirá verificar el óptimo funcionamiento de las bombas reciprocantes luego de ser reparadas; para así garantizar la máxima operatividad de estos equipos; influyendo de esta manera en la reducción de costos, aumento de la rentabilidad y por ende el crecimiento continuo de la empresa. El banco de pruebas debe ser diseñado de manera que simule las condiciones reales de operación de las bombas reciprocantes cuando están operando en los campos de producción.

De tal manera se busca que el Taller de Bombas y la Empresa propiamente dicha, cuente con un buen equipo que permitirá brindar una garantía por el trabajo de reparación, al mismo tiempo dar un máximo de credibilidad y confianza a los socios y clientes de PDVSA logrando mantener su buen prestigio.

1.5 OBJETIVOS DEL PROYECTO

1.5.1 Objetivo general

Diseñar un banco de pruebas que simule condiciones reales de operación para la evaluación del comportamiento hidráulico y mecánico de bombas reciprocantes en el taller de bombas de la superintendencia de talleres de PDVSA-San Tomé.

1.5.2 Objetivos específicos

- Definir el espacio físico donde se instalará y funcionará el futuro banco de pruebas.

- Establecer alternativas para el diseño del banco de pruebas basándose en los criterios y normas de diseño, las características de las bombas que se ensayarán y en los parámetros a medir.
- Calcular los componentes que integrarán el banco de pruebas.
- Seleccionar los componentes e instrumentación del banco de pruebas, determinando su función específica y sus características principales.
- Sugerir procedimientos adecuados para el óptimo funcionamiento del banco de pruebas.

1.6 RESUMEN DE RESULTADOS

En este trabajo se realizó un diseño de un banco de pruebas para bombas reciprocantes con la finalidad de verificar las condiciones de operación de las bombas reciprocantes luego de ser reparadas. Para ello el banco de pruebas debe simular las condiciones de operación de estas bombas, por lo cual se diseñó un sistema de tuberías con tanque de suministro de agua y con la instrumentación necesaria para medir caudal y presiones. El banco de pruebas fue diseñado para una presión de trabajo de 21,5 Mpa y un caudal máximo de 0,0443 m³/s. El nivel de agua desde el fondo del tanque debe ser mayor a 0,762 metros para que de esta manera las bombas no succionen aire. Las tuberías de succión y descarga tienen un calibre 160.

Además del sistema de tuberías se diseñó un patín para instalar las bombas reciprocantes que entren al taller sin patín. El banco de pruebas tendrá en la succión una válvula de compuerta, para controlar la presión de succión, de designación ANSI 2500 y manómetro industrial Marca Ashcroft 1008S el cual tiene un rango de presión desde 4 Mpa en vacío hasta 68 Mpa. Para la descarga contará con una válvula de alivio con presión de apertura a 23,5 Mpa, una válvula de compuerta con una presión permisible de 41,37 Mpa, además de un manómetro Marca Ashcroft 1008S y un caudalímetro electromagnético modelo FXL4000 (COPA-XL), fabricado por ABB y el cual puede conectarse directamente a la tubería. También se dispondrá de un contador de revoluciones portátil.

El banco de pruebas también tendrá accesorios como codos, reducciones, expansiones y mangueras para poder acoplar los equipos al sistema de tuberías.

1.7 ESTRUCTURA DEL TRABAJO

Este trabajo estará dividido en cinco capítulos. En el capítulo I se hace una breve reseña de la empresa PDVSA, además se muestra la necesidad de realizar este trabajo y los objetivos del mismo y se mencionan trabajos previos que tienen que relación con este trabajo; en el capítulo II se señalan términos necesarios para poder comprender mejor el trabajo que se va a realizar para luego en el capítulo III se muestra la metodología que se va a utilizar para el desarrollo de los objetivos del trabajo. En el capítulo IV se mostrará los resultados que se obtuvieron luego de aplicar la metodología señalada en el capítulo III, entre ellos están: los límites operacionales del banco de pruebas, los espesores que tendrán las tuberías para soportar las presiones a que serán sometidas, las caídas de presión en cada tramo de tubería, el diseño del patín que soportará las bombas y la instrumentación y accesorios que tendrá el banco de pruebas. En el capítulo V se señalarán las conclusiones de este trabajo luego de la culminación de todos los cálculos y resultados además de mostrar las recomendaciones para la realización de futuros trabajos de investigación referente a este tema; las tablas, gráficos, dibujos, catálogos y cálculos que no se pudieron mostrar en los capítulos del trabajo se mostrarán en los apéndices.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

Los bancos de pruebas son equipos que permiten realizar evaluaciones previas de las condiciones de calidad de un equipo, pieza o elemento de máquina luego de ser fabricado o reparado. También existen bancos de pruebas experimentales que tienen como función estudiar variables que intervienen en las condiciones de operación de un determinado equipo a nivel de aprendizaje e investigación.

Existen bancos de pruebas para innumerables equipos estáticos y dinámicos. Entre ellos se tienen bancos de pruebas para bombas, motores, válvulas, generadores, turbinas, entre muchos más.

2.1 BANCO DE PRUEBAS PARA BOMBAS

Los bancos de pruebas para equipos de bombeo son utilizados para realizar pruebas a bombas luego de ser fabricadas o reparadas, de esta manera se puede conocer diferentes parámetros a distintas condiciones operacionales y comprobar si el equipo cumple con las condiciones de calidad necesarias para funcionar en un determinado proceso. En la figura 2.1 se muestra un banco de pruebas para bombas reciprocantes.

2.1.1 Pruebas realizadas en un banco de prueba para bombas

Entre las pruebas que se realizan a las bombas están las pruebas de funcionamiento, las pruebas de NPSH e inspección interna de las bombas.

2.1.1.1 Pruebas de funcionamiento

En estas pruebas se verifican los parámetros de las bombas variando las condiciones de operación de las mismas. Entre los parámetros que se miden están la presión de succión y de descarga, la temperatura del fluido, la potencia y las rpm de motor. ^[4]



Figura 2.1. Banco de pruebas para bombas reciprocantes de VENMACA-
Industria Metalúrgicas.^[5]

Además de medir los parámetros que tienen que ver directamente con las condiciones de operación de las bombas y el bombeo de líquido de ésta, adicionalmente se puede inspeccionar los valores de voltaje y amperaje del motor de la bomba, el nivel de vibraciones, ruido, temperaturas de los rodamientos, fugas, entre otras.

2.1.1.2 Prueba de NPSH

El NPSH es la diferencia entre la presión en un punto de circuito hidráulico y la presión de vapor en ese mismo punto. Hay que saber diferenciar entre la NPSH requerida y la NPSH disponible. La NPSH requerida depende de las características de las bombas y debe ser dado por el fabricante y la NPSH disponible depende de las características del circuito hidráulico. La NPSH disponible debe ser mayor que la requerida para evitar problemas de cavitación en la bomba.

Las pruebas de NPSH se realizan variando las condiciones de succión de la bomba, es decir reduciendo el NPSH disponible en el sistema por debajo del NPSH requerido hasta presentarse una disminución de la carga de la bomba. Las pruebas de NPSH son distintas dependiendo si la bomba es reciprocante o centrífuga.

2.1.1.2 Inspección internas de las bombas

La inspección de las partes y elementos de las bombas no dependen del banco de pruebas como tal ya que esta consiste en realizar inspecciones visuales a cada una de las partes de la bombas y comprobar si no existe anomalías antes, durante y después de las pruebas de funcionamiento.

2.1.2 Componentes de un banco de pruebas para bombas

Un banco de pruebas para bombas debe contar con los siguientes componentes:

- Un tanque de abastecimiento como mínimo para suministrar el fluido de prueba al equipo.
- Una red de tuberías por donde circulará el fluido de prueba.
- Una bancada que soportará tanto a las bombas como los motores de las bombas.
- Instrumentación adecuada para la medición de los parámetros como caudal, presión entre otros.

2.1.3 Diseño de banco de pruebas para bombas

Para diseñar un banco de pruebas para bombas se debe conocer las características de las bombas que se van a ensayar para así determinar los límites operacionales del banco de pruebas. También se debe conocer el fluido que se va a utilizar para las pruebas y variables que se van a medir.

Una vez conocidas las bombas que se van a ensayar, sus características, límite operacional, fluido a manejar y parámetros a medir se puede diseñar cada uno de los componentes del banco de pruebas.

2.1.3.1 Diseño del tanque de almacenamiento

Un tanque es un depósito diseñado para almacenar o procesar fluidos, generalmente a presión atmosférica o presión interna relativamente baja. Los tanques de almacenamiento usualmente se utilizan de configuración cilíndrica vertical u horizontal con rangos que van desde pequeños recipientes fabricados en taller hasta tanques muy grandes fabricados en campo.

Los tanques cilíndricos horizontales, generalmente son de volúmenes relativamente bajos, debido a que presentan problemas por fallas de corte y flexión; por lo general, se usan para almacenar volúmenes pequeños. Los tanques cilíndricos verticales de fondo plano permiten almacenar grandes cantidades volumétricas con un costo bajo. Con la limitante que sólo se pueden usar a presión atmosférica o presiones internas relativamente pequeñas.^[6]

Estos tipos de tanques se clasifican en:

- De techo fijo.
- De techo flotante.
- Sin techo.

2.1.3.1.1 Tipos de techos

De acuerdo al estándar A.P.I. 650, los tanques se clasifican de acuerdo al tipo de techo, lo que proporcionará el servicio recomendable para éstos.

1.- Techo Fijo.- Se emplean para contener productos no volátiles o de bajo contenido de ligeros (no inflamables) como son: agua, diesel, asfalto, petróleo crudo, etc.

Los techos fijos se clasifican en:

- Techos autosoportados.
- Techos soportados.

2.- Techo Flotante.- Se emplea para almacenar productos con alto contenido de volátiles como son: alcohol, gasolinas y combustibles en general.

3.- Los Tanques sin Techo.- Se usan para almacenar productos en los cuales no es importante que éste se contamine o que se evapore a la atmósfera.

2.1.3.1.2. Materiales a emplear en tanques de almacenamiento

Para el mejor diseño, cálculo y manufactura de tanques de almacenamiento es importante seleccionar el material adecuado dentro de la variedad de aceros que existen en el mercado, por lo que a continuación se mencionará los materiales más usados con su aplicación.

Estándar A.S.T.M. (American Society for Testing and Materials).

A-36.- Acero estructural.: Sólo para espesores iguales o menores de 38 mm. (1 1/2 pulg.). Este material es aceptable y usado en los perfiles, ya sean comerciales o ensamblados de los elementos estructurales del tanque.

A-131.- Acero estructural: GRADO A para espesor menor o igual a 12,7 mm (1/2 pulg.); GRADO B para espesor menor o igual a 25,4 mm. (1 pulg.); GRADO C para espesores iguales o menores a 38 mm. (1-1/2 pulg.); GRADO EH36 para espesores iguales o menores a 44,5 mm. (1-3/4 pulg.)

A-283.- Placas de acero al carbón con medio y bajo esfuerzo a la tensión: GRADO C para espesores iguales o menores a 25 mm. (1 pulg.). Este material es el más utilizado, porque se puede emplear tanto para perfiles estructurales como para la pared, techo, fondo y accesorios del tanque.

A-285.- Placa de acero al carbón con medio y bajo esfuerzo a la tensión: GRADO C para espesores iguales o menores de 25,4 mm. (1 pulg.). Es el material recomendable para la construcción del tanque (cuerpo, fondo, techo y accesorios principales), el mismo no es recomendable para elementos estructurales debido a que tiene un costo relativamente alto comparado con los anteriores.

A-516.- Placa de acero al carbón para temperaturas de servicio moderadas: GRADOS 55, 60, 65 y 70, para espesores iguales o menores a 38mm. (1-1/2 pulg.). Este material es de alta calidad y, consecuentemente, de un costo elevado, por lo que se recomienda su uso en casos en que se requiera de un esfuerzo a la tensión alta, que justifique el costo.

A- 53.- GRADOS A Y B para tubería en general.

A-106.-GRADOS A Y B tubos de acero al carbón sin costura para servicios de alta temperatura. En el mercado nacional, es fácil la adquisición de cualquiera de estos dos materiales, por lo que puede usarse indistintamente, ya que ambos cumplen satisfactoriamente con los requerimientos exigidos por el estándar y la diferencia no es significativa en sus propiedades y costos.

A-105.- Forja de acero al carbón para accesorios de acoplamiento de tuberías.

A-181.- Forja de acero al carbón para usos en general.

A-193.- GRADO B7. Material para tornillos sometidos a alta temperatura y de alta resistencia, menores a 64mm. (2-1/2 (pulg.), de diámetro.

A-194.- GRADO 2H. Material para tuercas a alta temperatura y de alta resistencia.

A-307.- GRADO B. Material de tornillos y tuercas para usos generales.

2.1.3.1.3 Diseño y cálculo del cuerpo del tanque

El tanque se debe diseñar de manera tal que el espesor de las paredes pueda soportar la carga hidrostática al que estará sometido. La norma API 650 dice que el espesor de la pared del cuerpo requerido para resistir la carga hidrostática será mayor que el calculado por condiciones de diseño o por condiciones de prueba hidrostática, pero que en ningún caso será menor al que muestra la tabla 2.1

El espesor de la pared por condición de diseño, se calcula con base al nivel del líquido, tomando la densidad relativa del fluido establecido por el usuario. El espesor por condiciones de prueba hidrostática se obtiene considerando el mismo nivel de diseño, pero ahora utilizando la densidad relativa del agua.

Tabla 2.1. Espesores mínimos de las paredes de los tanques según la norma API 650

Diámetro nominal en metros	Espesor mínimo en milímetros
< 15,24	4,76
15,24 < 36,576	6,35
36,576 < 60,96	7,93
> 60,96	9,52

El esfuerzo máximo permisible de diseño (S_d) y de prueba hidrostática (S_t), se muestra en la tabla A.3, recomendado por el estándar API 650 en el diseño de tanques de almacenamiento.

2.1.3.1.3.1 Cálculo de espesores del cuerpo por el método de un pie

Con este método se calcula el espesor requerido de la pared del tanque, por condiciones de diseño y de prueba hidrostática, considerando una sección transversal ubicada a 304,8 mm (1 pie) por debajo de la unión de cada anillo. Este método sólo es aplicable en tanques con un diámetro igual o menor a 60,96m (200pies).

2.1.3.1.3.2 Cálculo del espesor del cuerpo por el método de punto de diseño variable

Este método se usa cuando el tanque tenga un diámetro mayor de 60,960 m (200 pies) y que además se cumpla con la siguiente relación:

$$12 \leq L / H \leq 2 \quad (2.1)$$

Donde:

$$L = (0,05D.t)^{0,5} \text{ (cm).}$$

D = Diámetro nominal del tanque (cm).

t = Espesor del anillo inferior (mm).

H = Nivel de diseño de líquido (cm).

2.1.3.2 Diseño de tuberías de un banco de pruebas

La velocidad de flujo juega un papel importante para el diseño de un sistema de tuberías para bombas reciprocantes. Un diseño inadecuado producirá vibraciones y ruidos en el sistema. El Hydraulic Institute recomienda los siguientes lineamientos para las tuberías de succión y descarga donde funcionará una bomba reciprocante:

En la tubería de succión se necesita:

- Que sea lo más corto y directo que sea posible
- Tenga el mínimo de cambios de dirección del fluido; hay que utilizar codos largos o laterales.

- No debe tener puntos altos sin respiraderos. El reductor en la bomba debe ser del tipo excéntrico instalado con el lado plano hacia arriba.
- Tener una válvula de corte de apertura total para no restringir el flujo a la bomba.

Para el tubo de descarga se necesita:

- Que tenga el mínimo de cambio de dirección brusca del fluido; hay que utilizar codos largos o laterales.
- Que incluya una válvula de desahogo de un tamaño que deje pasar toda la capacidad de la bomba y que no exceda del 110% de su presión de apertura.^[7]

Aunque estas recomendaciones son para sistemas de tuberías que por lo general son muchos más largos y complejos que el sistema de tuberías para un banco de pruebas, se tomarán en cuenta para el diseño del mismo.

2.1.3.2.1 Diámetro de tuberías

El diámetro de la tubería de succión y descarga de un banco de pruebas se puede seleccionar de acuerdo al diámetro de las entradas de succión y de descarga de las bombas y siguiendo las recomendaciones del Hydraulic Institute, el cual recomienda un tamaño de uno o dos veces más grande que los diámetros de succión y descarga de la bombas. Como en un banco se probarán bombas de diferentes dimensiones, se puede seleccionar el diámetro de acuerdo a la bomba que tenga mayores dimensiones.

2.1.3.2.2 Espesor de las tuberías

Para calcular el espesor de pared de una tubería se debe conocer las cargas a que esta estará sometida. Las cargas que se deben considerar para el cálculo de las tuberías son:

Cargas por la presión de diseño

Es la carga debido a la presión en la condición más severa, interna o externa a la temperatura coincidente con esa condición durante la operación normal.

Cargas por peso

- a. Peso muerto incluyendo tubería, accesorios, aislamiento, etc.
- b. Cargas vivas impuestas por el flujo de prueba o de proceso.
- c. Efectos locales debido a las reacciones en los soportes.

Cargas dinámicas

- a. Cargas por efecto del viento, ejercidas sobre el sistema de tuberías expuesto al viento.
- b. Cargas sísmicas que deberán ser consideradas para aquellos sistemas ubicados en áreas con probabilidad de movimientos sísmicos.
- c. Cargas por impacto u ondas de presión, tales como los efectos del golpe de ariete, caídas bruscas de presión o descarga de fluidos.
- d. Vibraciones excesivas inducidas por pulsaciones de presión, por variaciones en las características del fluido, por resonancia causada por excitaciones de maquinarias o del viento.

Para un diseño de tubería simple sólo se deben considerar los esfuerzos que ejerce el fluido sobre las paredes de las tuberías. ^[8]

2.1.3.2.3 Caída de presión en tuberías

Las pérdidas de carga en las tuberías son de dos clases. Primarias y secundarias.

Las pérdidas primarias son las pérdidas de superficie en el contacto del fluido con la tubería (capa límite), rozamiento de unas capas de fluidos con otra (régimen laminar) o de las partículas de fluidos entre sí (régimen turbulento). Tienen lugar en flujo uniforme, por la tanto principalmente en los tramos de tubería de sección constante.

Las pérdidas secundarias son las pérdidas de forma, que tienen lugar en las transiciones (estrechamiento o expansiones de la corriente), codos, válvulas, y toda clase de accesorios de tuberías. ^[9]

2.1.3.2.4 Ecuación de Bernoulli

Es la ecuación básica para el cálculo de caídas de presión para líquidos en tuberías y accesorios, y de ella se derivan la mayoría de las ecuaciones de pérdida de carga que existen en normas y códigos. ^[9]

$$Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} - \sum H_{r1-2} + \sum H_b - \sum H_t = Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} \quad (2.2)$$

Donde:

z_1, z_2 = Altura geodésica (m)

$p_1/\gamma, p_2/\gamma$ = Alturas de presión (m).

$v_1^2/2g, v_2^2/2g$ = Alturas de velocidad (m).

$\sum H_{r1-2}$ = Suma de todas las pérdidas hidráulica entre 1 y 2 (m).

$\sum H_b$ = Suma de los incrementos de altura proporcionados por las bombas instaladas entre 1 y 2 (m).

$\sum H_t$ = Suma de los incrementos de altura absorbidos por los motores (turbinas) instalados entre 1 y 2 (m).

2.1.3.2.5 Flujo Laminar

Se llama flujo laminar o corriente laminar, al tipo de movimiento de un fluido cuando éste es perfectamente ordenado, estratificado, suave, de manera que el fluido se mueve en láminas paralelas sin entremezclarse.

2.1.3.2.6 Flujo Turbulento

Se llama flujo turbulento o corriente turbulenta al movimiento de un fluido que se da en forma caótica, en que las partículas se mueven desordenadamente y las trayectorias de las partículas se encuentran formando pequeños remolinos aperiódicos, como por ejemplo el agua en un canal de gran pendiente.

2.1.3.2.7 Número de Reynolds

El número de Reynolds es un parámetro adimensional que se utiliza para caracterizar el movimiento de un fluido. El número de Reynolds permite predecir el régimen de un flujo.

2.1.3.2.8 Ecuación de Darcy-Weisbach ^[9]

Esta ecuación permite calcular las pérdidas primarias de una tubería a través de la siguiente ecuación:

$$H_{rp} = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \quad (2.3)$$

Donde:

H_{rp} = Pérdida de carga primaria (m).

f = Factor de fricción (m).

L = Longitud de la tubería (m).

D = Diámetro de la tubería (m).

v = Velocidad media del fluido (m/s).

2.1.3.2.9 Diagrama de Moody

Es un diagrama en escala logarítmica que se usa para la solución de problemas de pérdidas primarias en tuberías; también puede utilizarse en tuberías de sección no circular. Con el diagrama de Moody se puede determinar diámetro de tuberías, factor de fricción, entre otros.

2.1.3.2.10 Ecuación fundamental de las pérdidas secundarias^[9]

Es de uso fundamental en el mundo entero en los libros y formularios de hidráulica y análoga a la fórmula de Darcy- Weisbach para las pérdidas primarias.

$$H_{rs} = k \frac{v^2}{2g} \quad (2.4)$$

Donde:

H_{rs} = Pérdidas de carga secundaria (m).

k = Coeficiente de pérdidas (adimensional)

v = Velocidad media de la tubería, si se trata de codos, válvulas, etc. Si se trata de un cambio de sección como contracción o ensanchamiento, suele tomarse la velocidad de la sección menor (m/s).

2.1.3.2.10.1 Coeficiente k de la ecuación fundamental de pérdidas secundarios

El coeficiente k depende del tipo de accesorio, del número de Reynolds, de la rugosidad relativa y hasta de la configuración de la corriente antes del accesorio. En general, antes y después del accesorio en que se producen las pérdidas debe haber un trozo de tubería de al menos 4 a $5D$ (D = Diámetro de la tubería), para que los valores que se muestran en la figura A.1 puedan aplicarse con precisión. En la práctica no suele necesitarse por lo demás demasiada precisión.

Para $Re > 1 \times 10^5$ a 2×10^5 , k no depende prácticamente del número de Reynolds. Ahora bien, los problemas prácticos con fluidos de poca viscosidad como el aire y el agua suelen caer en esta región. ^[9]

2.1.3.2.11 Método de la longitud equivalente ^[9]

Este segundo método consiste en considerar las pérdidas secundarias como longitudes equivalentes, es decir longitudes en metros de un trozo de tubería del mismo diámetro que producirán las mismas pérdidas de carga de los accesorios en cuestión.

2.1.3.3 Cálculo de la bancada para un banco de pruebas

Un banco de pruebas requerirá una bancada para que las bombas reciprocantes puedan acoplarse al circuito hidráulico, a los servicios auxiliares, instrumentación y los motores en condiciones de robustez y rigidez necesarias.

Se deben considerar como condiciones de análisis aquellas en las que la bancada está expuesta a las mayores posibles, es decir, a las máximas cargas sobre la bancada durante los ensayos: pesos máximos de los motores y las bombas.

Una vez conocida las cargas máximas que soportará la bancada se debe seleccionar la geometría de la bancada y el material que se utilizará, luego se debe definir la estructura de la bancada (perfiles, chapas, entre otras).

Las vigas son comúnmente elementos prismáticos largos y rectos, que generalmente soportan cargas transversales que causan flexión y corte de las vigas. Las cargas transversales de una viga pueden consistir en cargas concentradas, en cargas distribuidas o una combinación de ambas. Cuando la carga w por unidad de

longitud tiene un valor constante a lo largo de la parte de una viga (como entre A y B de la figura 2.2) se dice que la carga está uniformemente distribuida.

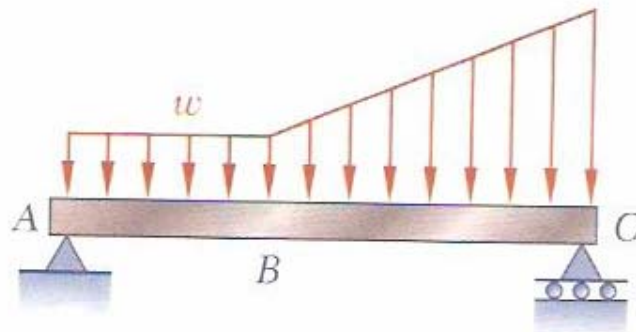


Figura 2.2. Carga distribuida.

Las vigas se clasifican de acuerdo con la manera en la que se encuentran apoyadas. Varios tipos de vigas utilizadas se presentan en la figura 2.3. La distancia L mostradas en las distintas partes de la figura se denomina claro. Las reacciones en los soportes de las partes a, b y c de la figura 2.3 involucran un total de tres incógnitas y, por lo tanto, pueden determinarse empleando métodos estáticos. Tales vigas se conocen como estáticamente determinadas. Las reacciones en los apoyos de las vigas en las partes d, e y f de la figura 2.3 involucran más de tres incógnitas y no pueden determinarse únicamente por métodos estáticos. Tales vigas se denominan estáticamente indeterminadas. ^[10]

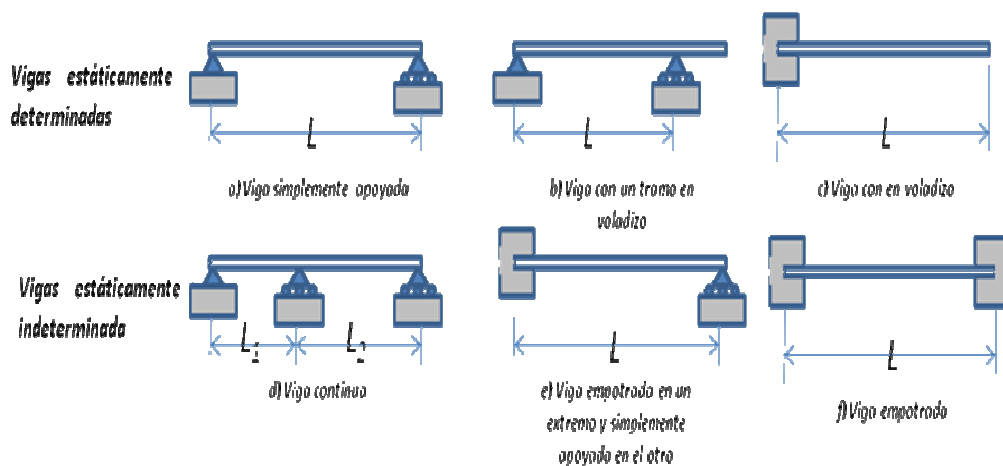


Figura 2.3. Clasificación de las vigas.

2.1.3.3.1 Diagrama de fuerza cortante y momento flector

La determinación de los valores absolutos máximos de la fuerza cortante (V) y del momento flector (M) de una viga se facilitan si V y M se grafican en relación de la distancia medida desde un extremo de la viga. Con la realización del diagrama de fuerza cortante y momento flector se puede calcular los esfuerzos normales máximos a que está sometida la viga a través de las ecuaciones 2.5 y 2.6, respectivamente.

$$\sigma_{\max} = \frac{|M_{\max}|}{S_y} \quad (2.5)$$

$$\tau_{\max} = \frac{|V_{\max}|}{A_{\text{alma}}} \quad (2.6)$$

Donde:

σ_{\max} = Esfuerzo normal máximo (N/m²).

M_{\max} = Momento flector máximo en la viga (N.m).

S_y = Momento de inercia con respecto al eje y (m³).

τ_{\max} = Esfuerzo cortante máximo (N/m²).

V_{\max} = Fuerza cortante máxima (N).

A_{alma} = Área del alma de la viga (m²).

Con los esfuerzos máximos cortantes y momento flector se puede seleccionar el perfil y material de una viga. ^[10]

2.1.3.3.2 Análisis de vigas estáticamente indeterminada ^[10]

Las vigas estáticamente indeterminadas no se pueden resolver por métodos estáticos ya que el número de incógnitas es mayor que el número de ecuaciones estáticas, es por eso que se debe acudir a otros métodos para la resolución de este tipo de vigas.

Existen muchos métodos para la resolución de vigas estáticamente indeterminadas, en este trabajo sólo se mencionará dos métodos utilizados.

2.1.3.2.1 Teorema de Castigliano ^[10]

Si una estructura elástica se somete a n cargas P_1, P_2, \dots, P_n , la deflexión x_n del punto de aplicación P_n , puede expresarse como la derivada parcial de la energía de deformación de la estructura con respecto a la carga P_n .

$$x_n = \frac{\partial U}{\partial P_n} \quad (2.7)$$

Donde:

x_n = Deflexión del punto de aplicación de la carga.

$\partial U / \partial P_n$ = Derivada parcial de la energía de la deformación con respecto a la carga P_n , medida a lo largo de la línea de acción de P_n .

El teorema de Castigliano puede usarse para determinar la pendiente de una viga en el punto de aplicación de un par M_n .

$$\theta_n = \frac{\partial U}{\partial M_n} \quad (2.8)$$

Donde:

θ_n = Ángulo de rotación del punto donde el momento M_n se aplica lentamente.

$\partial U / \partial M_n$ = Derivada parcial de la energía de deformación con respecto al par M_n .

Análogamente, el ángulo de torsión Φ_n en una sección de un eje donde el par de torsión T_n se aplica lentamente, se obtiene derivando la energía de deformación del eje con respecto a T_n :

$$\phi_n = \frac{\partial U}{\partial T_n} \quad (2.9)$$

Donde:

Φ_n = Ángulo de torsión donde el par de torsión T_n se aplica lentamente.

$\partial U / \partial T_n$ = Derivada parcial de la energía de deformación con respecto al par de torsión T_n .

El cálculo de la deflexión x_n por el teorema de Castigliano, se simplifica si la derivación respecto a la carga P_n se efectúa antes de integrar o sumar.

En el caso de una viga, por ejemplo:

$$U = \int_0^L \frac{M^2}{2EI} dx \quad (2.10)$$

Donde:

U = Energía de deformación.

E = Módulo de elasticidad.

I = Momento de inercia.

Y se determina la deflexión x_j del punto de aplicación de la carga P_j escribiendo

$$x_n = \frac{\partial U}{\partial P_n} = \int_0^L \frac{M}{EI} x \left(\frac{\partial M}{\partial P_n} \right) dx \quad (2.11)$$

2.1.3.2.2.2 Teorema de los tres momentos ^[11]

Cuando se trabaja con vigas con más de un tramo, las reacciones no pueden ser calculadas estáticamente. Una forma de resolverlas es aplicando el Teorema de los Tres Momentos, el cual puede ser utilizado también para resolver vigas de un sólo tramo. Esta ecuación puede ser expresada de la siguiente manera:

$$M_{n-1}l_n + 2M_n(l_n + l_{n+1}) + M_{n+1}l_{n+1} = -\frac{6A_n a_n}{l_n} - \frac{6A_{n+1} a_{n+1}}{l_{n+1}} \quad (2.12)$$

Donde:

M_{n-1}, M_n, M_{n+1} = Momentos flectores en los apoyos $n-1, n, n+1$.

L_n, L_{n+1} = Longitud de los tramos $n, n+1$.

A_n, A_{n+1} = Áreas del diagrama de momento flectores de las cargas sobre los tramos $n, n+1$.

a_n = Distancia del centro del diagrama de momentos flectores del tramo n al apoyo $n-1$.

a_{n+1} = Distancia del centro del diagrama de momentos flectores del tramo $n+1$ al apoyo $n+1$.

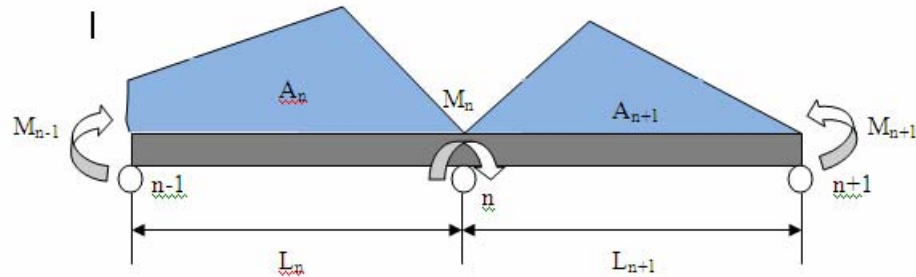


Figura 2.4 Viga estáticamente indeterminada.

Una vez hallados los momentos flectores en todos los apoyos de una viga continua se procederá a calcular las reacciones a través de la ecuación 2.13

$$R_n = R'_n + R''_n + \frac{M_{n-1} - M_n}{l_n} + \frac{-M_n + M_{n+1}}{l_{n+1}} \quad (2.13)$$

Donde R'_n y R''_n son las reacciones en n debidas a las cargas en los tramos l_n y l_{n+1} .

2.1.4 Instrumentación de un banco pruebas

Un banco de pruebas debe estar para propiciar diferentes condiciones de operación y así poder realizar distintas mediciones de las variables de acuerdo a las condiciones de operación de los equipos.

En un banco de pruebas se realizan pruebas de funcionamiento a las bombas reciprocantes, donde se miden las condiciones de operación de las bombas y se comparan con las condiciones óptimas de funcionamiento; en estas pruebas de funcionamiento se toman mediciones de:

- Presión
- Caudal
- Temperatura del fluido y del sistema de lubricación.
- Velocidad de rotación del motor.
- Torque y Potencia.

- Medición de Vibraciones.

2.1.4.1 Presión

La presión se define como fuerza ejercida sobre una superficie por unidad de área. En ingeniería, el término presión se restringe generalmente a la fuerza ejercida por un fluido por unidad de área de la superficie que lo encierra. De esta manera, la presión (P) de una fuerza (F) distribuida sobre un área (A), se define como:

$$P = \frac{F}{A} \quad (2.14)$$

2.1.4.1.1 Instrumentos para medición de la presión ^[12]

a. Instrumentos mecánicos

Estos instrumentos se conocen principalmente como “Manómetros”. En ellos la presión aplicada se balancea contra una columna de líquido (figura 2.5). El líquido sube en el tubo hasta que el peso de la columna balancea la presión aplicada.

Estos instrumentos encuentran su mayor aplicación en laboratorios y como patrones para calibración de otros instrumentos de presión.

El líquido utilizado depende del rango de presión a medir, pero generalmente se emplea agua, compuestos orgánicos o mercurio.

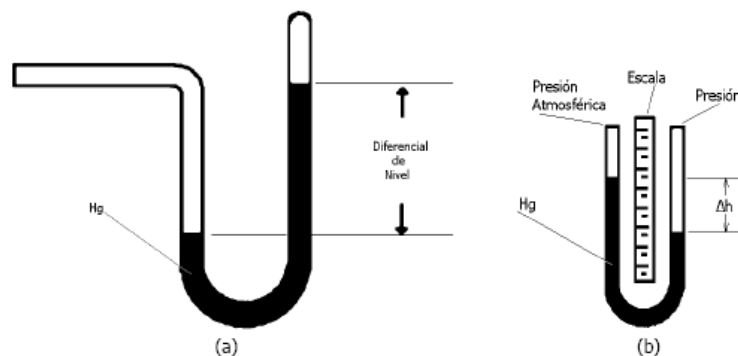


Figura 2.5. (a) Manómetro de presión absoluta, (b) Manómetro de tubo en “U”

Los instrumentos mecánicos utilizados para medir presión cuyas características se resumen en la tabla 2.2, pueden clasificarse en:

- Manómetro de Presión Absoluta (Pman + PBar)

- Manómetro de Tubo en U (diferencial).
- Manómetro de Pozo.
- Manómetro de Tubo Inclinado.
- Manómetro Tipo Campana.

b. Instrumentos Elásticos:

Básicamente están diseñados bajo el principio que establece que la deflexión sufrida por un elemento elástico es proporcional a la presión aplicada. Se utilizan para medir desde bajas presiones y vacío, presiones absolutas y diferenciales. Entre los instrumentos elásticos están el tubo bourdon, fuelle y diafragmas.

- Tubos Bourdon.
- Fuelles.
- Diafragmas.

Tabla 2.2 Principales características de los instrumentos para medir presión.

Tipo de instrumento	Campo de medida o Rango Óptimo	Exactitud (%)
Tubo en U	20-120cm H ₂ O	0,5-1,0
Manómetro de pozo	10-300cm H ₂ O	0,5-1,0
Tubo Inclinado	1-120cm H ₂ O	0,5-1,0
Manómetro Campana	0,5-100cm H ₂ O	0,5-1,0
Bourdon Simple	0,5-600kg/cm ²	2,0
Bourdon Espiral	0,5-2500kg/cm ²	1,5
Bourdon Helicoidal	0,5-5000kg/cm ²	1,5
Fuelle	10cm H ₂ O - 2 kg/cm ²	2,0
Diafragma	5cm H ₂ O - 2 kg/cm ²	1,5
Transductor Resistivo	0,5-350kg/cm ²	0,5
Transductor Capacitivo	0-420kg/cm ²	0,2
Transductor Magnético	0,5-700kg/cm ²	0,2
Transductor Piezoeléctrico	0,5-350kg/cm ²	0,2

c. Instrumentos electromecánicos y electrónicos

Estos instrumentos generan una señal eléctrica la cual puede ser aplicada y condicionada luego para que reúna los requerimientos del sistema de control.

La mayoría de los instrumentos electromagnéticos de presión, incorporan uno de los instrumentos primarios de medición de presión discutidos previamente (instrumentos elásticos). El hecho de que la energía del proceso sea transformada en una señal eléctrica, a partir de un movimiento mecánico, hace que a estos instrumentos se les dé el nombre de “Transductores”.

Los instrumentos electromecánicos y electrónicos utilizados para medir presión pueden clasificarse en:

- Transductores de Presión Resistivos
- Transductores de Presión Capacitivos
- Transductores de Presión Magnéticos
- Transductores de Presión Piezoeléctricos

2.1.4.2 Medición de flujo

La medición de flujo es uno de los aspectos más importantes en el control de procesos; de hecho, bien puede ser la variable más comúnmente medida. Existen muchos métodos confiables y precisos para medir flujo. Algunos son aplicables solamente a líquidos, otros solamente a gases y vapores; y otros a ambos.

Es necesario conocer el principio de operación y características de funcionamiento de los diferentes medidores de flujo disponibles. Sin tal conocimiento, es difícil seleccionar el medidor más apropiado para una determinada aplicación.

De acuerdo al principio de operación, los medidores de flujo pueden ser agrupados de la siguiente manera:

- Medidores diferenciales (Head Meters).
- Medidores de desplazamiento positivo.
- Medidores de área variable.
- Medidores volumétricos.
- Medidores de flujo másico.

2.1.4.2.1 Medidores de flujo diferenciales

Los medidores de flujo de tipo diferenciales son los más comúnmente utilizados. Entre ellos pueden mencionarse: la placa de orificio, el tubo Venturi, el tubo Pitot, la tobera y el medidor de impacto (Target). Estos miden el flujo de un fluido indirectamente, creando y midiendo una presión diferencial por medio de una obstrucción al flujo. El principio de operación se basa en medir la caída de presión que se produce a través de una restricción que se coloca en la línea de un fluido en movimiento, esta caída de presión es proporcional al flujo. La proporcionalidad es una relación de raíz cuadrada, en la cual el flujo es proporcional a la raíz cuadrada del diferencial de presión (ecuación 2.15).

$$Q_t = a \sqrt{\frac{2gH_v}{(1-\beta^4)}} \quad (2.15)$$

Donde:

Q_t = Caudal teórico (m³/s).

β = Relación de diámetros d/D .

d = Diámetro del orificio (m).

D = Diámetro de la tubería (m).

H_v = Diferencia de presión efectiva (Pa).

a = Área transversal de la restricción (m²).

2.1.4.2.2 Medidores de flujo de desplazamiento positivo

Los medidores de desplazamiento positivo son dispositivos que separan la corriente de flujo en segmentos volumétricos individuales. Un volumen conocido de fluido se aísla mecánicamente en el elemento del medidor, y es pasado desde la entrada de este hasta su salida, llenando y vaciando alternadamente los compartimientos o cámara del medidor, (figura 2.6). Las partes mecánicas del medidor se mueven aprovechando la energía del fluido. El volumen total de fluido que pasa a través del medidor en un período de tiempo dado, es el producto del volumen de la muestra por el número de muestras. Los medidores de flujo de desplazamiento positivo frecuentemente totalizan directamente el flujo en un

contador integral, pero también pueden generar una salida de pulso que puede ser leída localmente o transmitida a una sala de control.

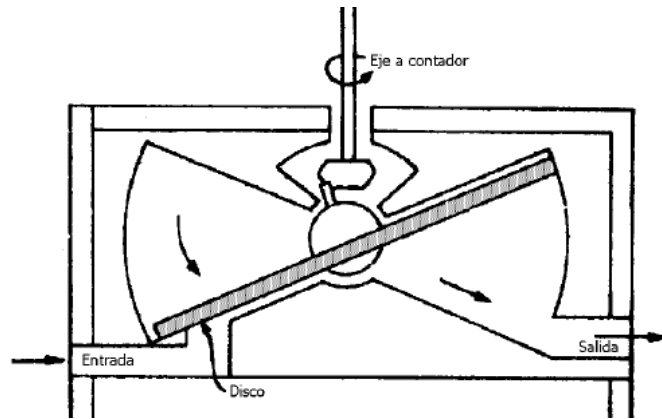


Figura 2.6. Medidor de disco oscilante.

Los medidores de desplazamiento positivo pueden clasificarse, de acuerdo al movimiento del elemento de medición, en:

Disco oscilante

Pistón oscilante

Tipo rotación

Pistón reciprocante

La mayoría de estos medidores se utilizan en aplicaciones para líquidos, sin embargo, existen algunas versiones disponibles para gases.

2.1.4.2.3 Medidores de flujo de área variable

Mientras que la placa de orificio mantiene una restricción constante al flujo, y la caída de presión resultante aumenta al aumentar el flujo, el rotámetro varía el área de la restricción para mantener una caída de presión constante. Un rotámetro está constituido por un tubo vertical de área interna variable, a través del cual se mueve el flujo en sentido ascendente, figura 2.7. Un flotador, bien sea esférico o cónico, que tiene una densidad mayor que la del fluido, crea un pasaje anular entre su máxima circunferencia y el interior del tubo. La exactitud de un rotámetro puede variar entre 0,5 y 5% de la tasa de flujo. El rango puede variar desde pequeñas cantidades de

flujos hasta 3.000 galones por minutos. Puede medir flujo de líquidos, gases y vapores, y es insensible a las configuraciones de tubería aguas arriba.

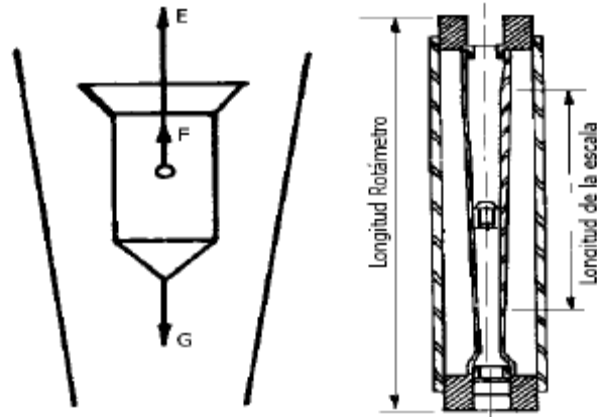


Figura 2.7 Principio de operación del rotámetro.

2.1.4.2.4 Medidores de flujo volumétricos

Un medidor de velocidad, utilizado para medir flujo volumétrico, puede definirse como un medidor en el cual la señal del elemento primario es proporcional a la velocidad del fluido. Utilizando la ecuación:

$$Q = v.A \quad (2.16)$$

Donde:

Q : Tasa de flujo (m^3/s).

v : Velocidad del fluido (m/s).

A : Área transversal de la tubería (m^2).

Puede observarse que la señal generada es lineal con respecto al flujo volumétrico. Los medidores de tipo volumétricos son menos sensibles a las variaciones en el perfil de velocidad del fluido, cuando se les compara con los medidores de flujo de tipo diferencial.

2.1.4.2.5 Medidores de flujo másico

La necesidad de tener medidores de flujo más precisos en procesos de transferencia de masa, ha incentivado el desarrollo de medidores de flujo de masa.

Existen dos tipos principales de medidores de flujo que determinan directamente el flujo másico. Estos medidores son el Medidor Térmico y el Medidor Coriolis.

2.1.4.3 Medición de nivel

Hay una gran variedad de técnicas por medio de las cuales se puede medir el nivel de líquidos o sólidos en equipos de procesos. La selección de la instrumentación adecuada depende de la naturaleza del proceso; del grado de exactitud y control requeridos y del aspecto económico. A continuación se describen los principales métodos e instrumentos utilizados en la medición de nivel.

2.1.4.3.1 Tipos de instrumentos para medir nivel

Al igual que otras variables de proceso, el nivel puede ser medido por métodos directos o métodos indirectos. Los métodos e instrumentos utilizados para medición de nivel pueden clasificarse de la siguiente manera:

- Métodos visuales.
- Instrumentos actuados por flotadores.
- Desplazadores.
- Instrumentos de nivel de tipo hidrostáticos.
- Métodos electrónicos.
- Métodos térmicos.
- Métodos sónicos.
- Instrumentos fotoeléctricos.
- Instrumentos radioactivos.

Los instrumentos de medición directa se dividen en:

- Sonda.
- Cinta y plomada.
- Nivel de cristal.
- Instrumentos de flotador.

Mientras que los instrumentos que miden el nivel aprovechando la presión hidrostática se dividen en:

- Medidor manométrico.
- Medidor de tipo burbujeo.
- Medidor de membrana.
- Medidor de presión diferencial de diafragma.

2.1.4.4 Medición de temperatura

Existen diferentes sensores que se utilizan en la industria de procesos para medir la temperatura, entre los que se pueden mencionar:

- Termómetro de bulbo (líquido, gas y vapor).
- Termómetros bimetalicos.
- Termopares.
- Termómetros de resistencia.
- Termistores.
- Pirómetros de radiación.

La selección y especificación apropiada de un instrumento de temperatura, depende mucho del conocimiento de los diferentes tipos de sensores disponibles, de sus limitaciones y de consideraciones prácticas.

2.1.4.5 Válvulas

Las válvulas son dispositivos que se utilizan para cerrar (bloquear), estrangular o impedir el flujo reverso del fluido en las distintas unidades o sistemas para los cuales se empleará. ^[13] Las funciones de las válvulas, más que cualquier otra cosa son las que limitan la elección. Las funciones de las válvulas se agrupan en cuatro categorías:

a. Servicio de corte y paso:

- Válvulas de compuerta.
- Válvulas de macho.
- Válvulas de bola.

b. Servicio de estrangulación:

- Válvulas de globo.

- Válvulas de mariposa.
- Válvulas de diafragma.
- Válvulas de compresión.

c. Prevención de flujo inverso

- Válvulas de retención (check).

d. Diversos

Las válvulas de control, las válvulas de solenoide, etc. (Se suelen considerar como parte de los instrumentos).

2.1.4.5.1 Válvula de compuerta

Este tipo de válvula se emplea o utiliza totalmente cerrada o abierta; esta válvula abre mediante el levantamiento de una compuerta o cuchilla (la cual puede ser redonda o rectangular) y así permitir el paso del flujo. La figura 2.8 muestra una válvula de compuerta de gran dimensión.



Figura 2.8. Válvulas de compuerta.

2.1.4.5.2 Válvula de macho

Las válvulas de macho (figura 2.9) poseen un dispositivo de cierre u obturador que está formado por una especie de tapón troncocónico el cual gira sobre su eje central. La apertura del obturador se realiza girando sobre su propio eje mediante una palanca. Se aplican en diámetros muy grandes, para dar paso o cortar el flujo.

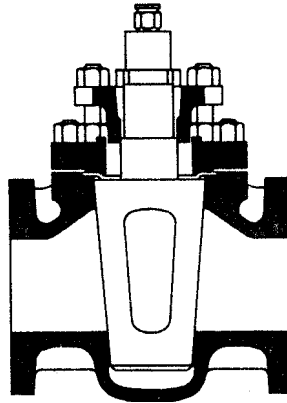


Figura 2.9. Válvulas de macho.

2.1.4.5.3 Válvula de bola

Una válvula de bola (figura 2.10), conocida también como de "esfera", es un mecanismo que sirve para regular el flujo de un fluido canalizado y se caracteriza porque el mecanismo regulador situado en el interior tiene forma de esfera perforada.

Se abre mediante el giro del eje unido a la esfera o bola perforada, de tal forma que permite el paso del fluido cuando está alineada la perforación con la entrada y la salida de la válvula. Cuando la válvula está cerrada, el agujero estará perpendicular a la entrada y a la salida. La posición de la maneta de actuación indica el estado de la válvula (abierta o cerrada).



Figura 2.10. Válvulas de bola.

2.1.4.5.4 Válvula de globo

La característica común de estas válvulas es su construcción interna que incluye un disco o macho, que tiene movimiento alternado dentro del cuerpo y que acopla con el asiento al cerrarla. La figura 2.11 muestra una válvula de globo.



Figura 2.11. Válvulas de globo.

2.1.4.5.1 Válvula de mariposa

Las válvulas de mariposa (Figura 2.12) son empleadas principalmente para el cierre y estrangulación de grandes volúmenes de gases y líquidos a baja presión, así como para pastas aguadas o líquidos con muchos sólidos en suspensión, ya que no permiten la acumulación de sedimentos.



Figura 2.12. Válvulas de mariposa.

2.1.4.5.6 Válvula de retención

Son válvulas integrales que están destinadas a impedir la inversión del flujo en las tuberías. Principalmente, su funcionamiento es automático y se mantienen abiertas

por la presión del flujo que circula. Sólo se cierra con el paso del mecanismo de retención o por la contrapresión cuando se invierte el flujo. La figura 2.13 muestra el corte de una válvula de retención.

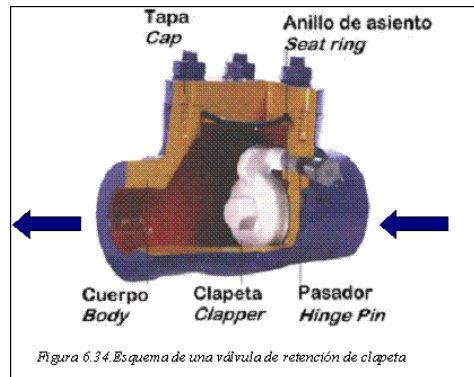


Figura 2.13. Válvulas de retención.

2.1.4.5.7 Válvula de alivio

Las válvulas de alivio de presión (figura 2.14), también llamadas válvulas de seguridad, están diseñadas para liberar fluido cuando la presión interna supera el umbral establecido. Su misión es evitar una explosión, el fallo de un equipo o tubería por un exceso de presión. Existen también las válvulas de alivio que liberan el fluido cuando la temperatura supera un límite establecido. Estas válvulas son llamadas válvulas de alivio de presión y temperatura.

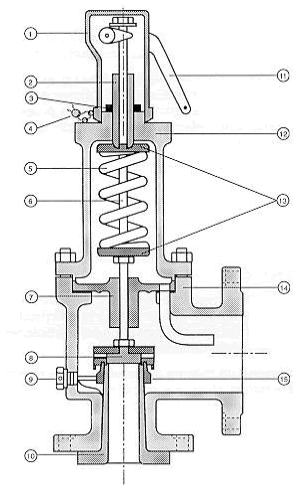


Figura 2.14. Válvulas de alivio.

En la tabla 2.3 se muestran una guía para la selección de válvulas.

Tabla 2.3. Guía para selección de válvulas ^[14]

Tipo	Gama de tamaño (pulgadas)	Capacidad presión, (PSI)	Capacidad temperatura, °F	Materiales de Construcción	Servicio
Globo	1/2 a 30	Hasta 2500	Hasta 1000	Bronce, hierro, acero, acero inoxidable, aleaciones especiales.	Estrangulación y cierre con líquidos limpios.
Angulo	1/8 a 10	Hasta 2500	Hasta 1000	Bronce, hierro, acero, acero inoxidable, aleaciones especiales	Estrangulación y cierre para líquidos limpios, material viscoso o pastas aguadas.
Compuerta	½ a 48(mayores en ángulos tipos)	Hasta 2500	Hasta 1800	Bronce, hierro, acero, Acero inoxidable, aleaciones especiales.	Cierre (estrangulación limitada), líquidos limpios y pastas aguadas.
Mariposa	½ hasta 2 o más	Hasta 2000 (caída limitada de presión)	Hasta 2000 (temperaturas mas bajas si tienen camisas o asientos blandos)	Materiales para fundir o maquinar. Las camisas pueden ser de plástico, caucho o cerámica.	Estrangulación (cierre con asientos o tipos especiales), Líquidos limpios y pasta. aguadas.
Macho	Hasta 80	Hasta 5000	Hasta 600	Hierro, acero, acero inoxidable y diversas aleaciones. Disponibles con camisa completa de caucho o plástico.	Cierre (estrangulación en algunos tipos)
Bola	5/8 a 42	Hasta 10000	Criogénica hasta 1000	Hierro, acero, latón, bronce, acero inoxidable; plástico y aleaciones especiales para aplicaciones nucleares. Camisa completa de plástico.	Estrangulación y cierre; líquidos limpios, materiales viscosos y pastas aguadas.
Desahogo	½ hasta 6 (entrada)	Hasta 10000	Criogénica hasta 1000	Hierro, bronce, acero, acero inoxidable, acero al níquel y aleaciones especiales.	Limitación de presión
Aguja	1/8 a 1	Hasta 10000	Criogénica hasta 500	Bronce, hierro, acero, acero inoxidable.	Estrangulación suave y cierre con líquidos limpio
Retención	1/8 a 24	Hasta 10000	Hasta 1200	Bronce, hierro, acero, acero inoxidable, aleaciones especiales.	Evitar circulación inversa (los tipos especiales evitan exceso de circulación).

2.2 BOMBAS

Las bombas son máquinas que absorben energía mecánica y restituyen energía hidráulica a un fluido. Las bombas se emplean para impulsar toda clase de líquidos (aguas, aceites de lubricación, combustibles, ácidos, líquidos alimenticios, cerveza, leche, etc.; estas últimas constituyen un grupo importante de bombas sanitarias). También se emplean para bombear líquidos espesos con sólidos en suspensión, como pastas de papel, melazas, fangos, desperdicios, etc.^[7]

2.2.1 Clasificación de las bombas^[9]

Las bombas se clasifican en:

1) Bombas rotodinámicas. Todas y sólo las bombas que son turbomáquinas pertenecen a este grupo.

- Estas son siempre rotativas. Su funcionamiento se basa en la ecuación de Euler; y su órgano transmisor de energía se llama rodete.

- Se llaman rotodinámicas por que su movimiento es rotativo y la dinámica de la corriente juega un papel esencial en la transmisión de la energía.

2) Bombas de desplazamiento positivo. A este grupo pertenecen no sólo las bombas alternativas, sino las llamadas rotoestáticas porque son rotativas, pero en ellas la dinámica de la corriente no juega un papel esencial en la transmisión de la energía. Su funcionamiento se basa en el principio de desplazamiento positivo.

2.2.2 Bombas Reciprocantes

Las bombas reciprocantes (figura 2.15) son bombas de desplazamiento positivo. Éstas descargan una cantidad definida de líquido durante el movimiento del pistón o émbolo a través de la distancia de carrera. Sin embargo, no todo el líquido llega necesariamente al tubo de descarga debido a escapes o arreglo de pasos de alivio que puedan evitarlo. La bomba reciprocantes no requiere velocidad para producir presión, pues se pueden obtener presiones altas a bajas velocidades. Esta es una de las ventajas de las bombas reciprocantes, en particular para manejar pastas aguadas abrasivas y líquidos muy viscosos.^[9]

Entre las aplicaciones típicas de las bombas reciprocantes están: Inyección de agua salada, eliminación de agua salada, sistemas de oleoductos, sistemas hidráulicos, pruebas hidráulicas, manejo de pastas aguadas, dosificación de líquidos, homogenización de productos alimenticios, entre otros.

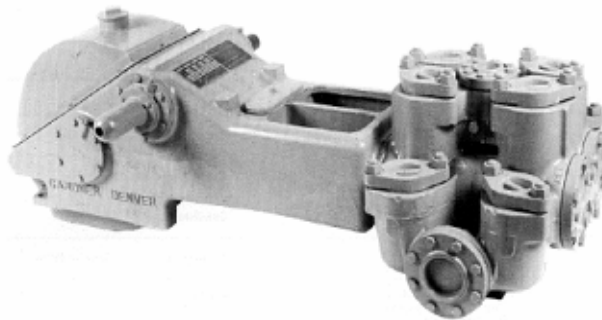


Figura 2.15. Bomba Reciprocante Marca Gardner Denver. ^[15]

2.2.2.1 Clasificación de las bombas reciprocantes

Las bombas reciprocantes, por lo general, se clasifican según:

- El extremo de impulsión, es decir, potencia o acción directa.
- La orientación de la línea de centros del elemento de bombeo, es decir, horizontal o vertical.
- El número de carreras de descarga por ciclo de cada biela, es decir, acción sencilla o doble acción.
- La configuración del elemento de bombeo: pistón, émbolo o diafragma.
- El número de varillas o bielas de mando, es decir, símplex, dúplex o múltiplex.

En la figura 2.16 se muestra la clasificación de las bombas en forma gráfica

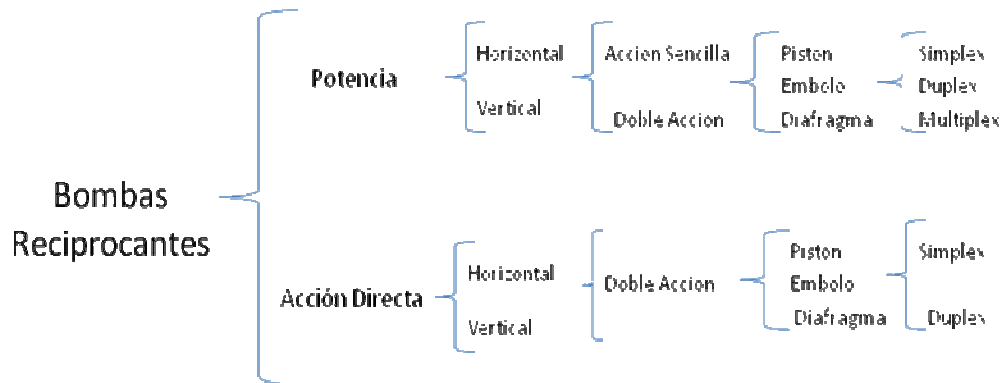


Figura 2.15. Clasificación de las bombas reciprocantes^[7]

2.2.3 Mantenimiento y Pruebas a Bombas Reciprocantes

Las bombas reciprocantes son de amplio uso en la industria petrolera, su aplicación se extiende desde el transporte de petróleo hasta la estimulación de pozos a través de la inyección de agua salada; a estos equipos es necesario realizarle mantenimiento en todos sus niveles (predictivo, preventivo y correctivo), para así poder optimizar la producción y los costos.

Cuando las bombas reciprocantes se encuentran en servicio, el operador debe hacerle seguimiento a éstas para observar posibles anomalías tales como: fugas, condiciones operacionales, vibraciones y otras. Entre los parámetros que se deben inspeccionar durante el funcionamiento de las bombas reciprocantes están: presión, temperatura, caudal de fluido manejado, temperatura y presión del agua de enfriamiento, niveles de ruidos, temperatura de los cojinetes, niveles y presiones de aceite de lubricación y fluido de sello, entre otras.

Entre las fallas más comunes de las bombas reciprocantes están: corta duración de las empaquetaduras, daño en el prensaestopas, desgastes en las camisas de los cilindros, desgastes en los cigüeñales, entre otros; todas estas fallas requieren un desarme de las bombas para su reparación. Cuando las bombas reciprocantes son reparadas se necesita una garantía del servicio por parte del ente que realizó el servicio, bien sea verificando las condiciones de operación durante la instalación de las mismas en el lugar de operación o a través de un banco de pruebas.

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA

Un banco de pruebas es un sistema que tiene por objeto la verificación y control del funcionamiento de un equipo y al mismo tiempo permite conocer si este equipo se ajusta a las condiciones de funcionamiento especificadas. Se diseña a modo de establecer una similitud con el trabajo que efectúa el equipo en el proceso de producción.

En este capítulo se describirá la metodología utilizada para la ubicación y diseño del banco de pruebas de acuerdo a criterios y normas específicas.

3.1 DESCRIPCIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS

3.1.1 Principio de funcionamiento

En el banco de pruebas se ensayarán las bombas que entran al taller de bombas luego de ser reparadas. En él se medirá el caudal de las bombas a ensayar a través de un caudalímetro, la presión de succión y descarga por medio de manómetros, las rpm del motor de las bombas, además de monitorear el nivel del tanque de suministro de líquido con el fin de que no succione aire. Además este debe contar con una tubería de alivio para proteger las tuberías de succión y descarga, y los equipos cuando exista un exceso de presión y también tendrá una tubería de recirculación para el retorno del fluido desde la tubería de descarga a la de succión cuando se requiera.

3.1.2 Descripción física del banco de pruebas

En la figura 3.1 se muestra un esquema del banco de pruebas con los elementos principales que lo conforman, los cuales son:

- 1) Un tanque de almacenamiento el cual contendrá agua como líquido de prueba para las bombas.
- 2) Una tubería de succión que estará compuesta por una entrada a la tubería, una válvula de compuerta, un manómetro para medir la presión de succión y man-

guera para unir la tubería de succión con las bombas.

3) Una tubería de descarga la cual tendrá una manguera de 4 pulgadas para conectar las bombas a las tuberías, un medidor de caudal, un manómetro, una válvula de retención además de 3 codos.

4) Una tubería de alivio para evitar las sobrepresiones que se pueden generar en las bombas. Esta tubería será de 4 pulgadas y contará con dos codos de 90° y una válvula de alivio.

5) Una línea de recirculación para ensayar la bomba sin necesidad que el fluido retorne al tanque de almacenamiento. El diámetro de esta tubería será de 4 pulgadas y contará con una válvula de compuerta.

6) Un patín o “sky”, el cual tiene como finalidad evitar el excesivo movimiento de las bombas durante su funcionamiento. Este patín es opcional ya que muchas de las bombas que llegan a ser reparadas ya están fijas sobre el patín que utilizan cuando están en el campo de producción.

Adicionalmente las bombas que tengan la succión y descarga de diámetro menor a las tuberías de succión y descarga del banco de pruebas dispondrán de reducciones para poder ser acopladas al banco de pruebas y las bombas que tengan la succión y descarga perpendicular a la succión y descarga del banco de pruebas se le colocarán codos para ser acopladas al banco de pruebas.

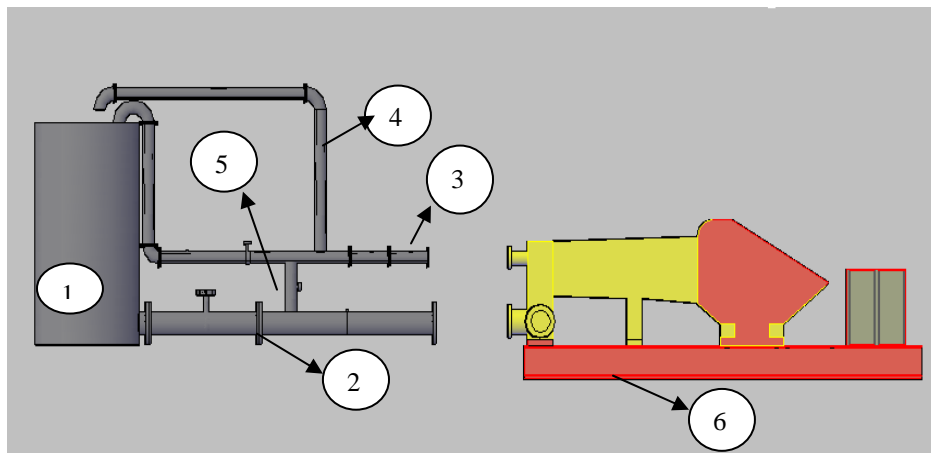


Figura 3.1 Esquema del banco de pruebas

3.2 DISEÑO DEL BANCO DE PRUEBAS

3.2.1 Ubicación del banco de pruebas en el taller de bombas

Actualmente el Taller de Bombas de la superintendencia de Talleres del Distrito Social San Tomé se encuentra en remodelación con el fin de ofrecer un mejor servicio y mayor seguridad tanto a los trabajadores como a los clientes de PDVSA.

El plano de remodelación (Figura 3.2), muestra que el taller se dividirá en dos galpones, uno destinado para el área de armado y reparación de bombas de subsuelo y otro destinado para el área de mantenimiento de las bombas de superficie. De acuerdo a las líneas de procesos indicadas en el plano, el lugar adecuado para la ubicación del banco de pruebas será el área marcada (Figura 3.3), ya que se aprovecharía el espacio que está afuera del galpón para colocar el recipiente de almacenamiento y habría mayor comodidad para trasladar los equipos desde cualquier ubicación dentro del taller hasta el banco de pruebas.

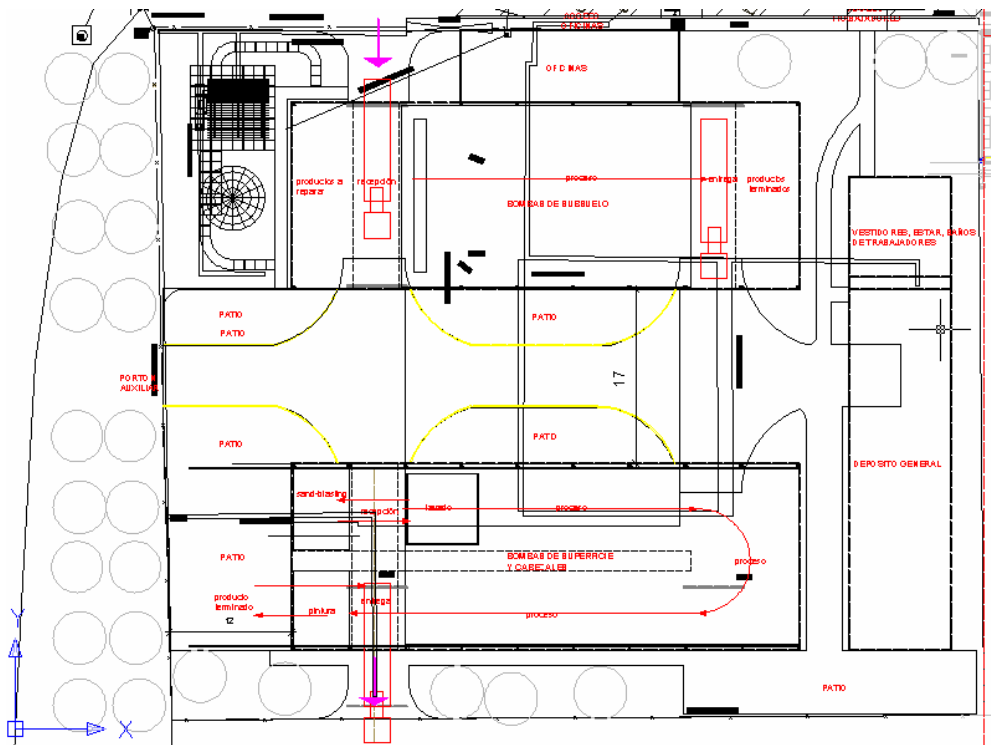


Figura 3.2. Plano del taller de Bombas

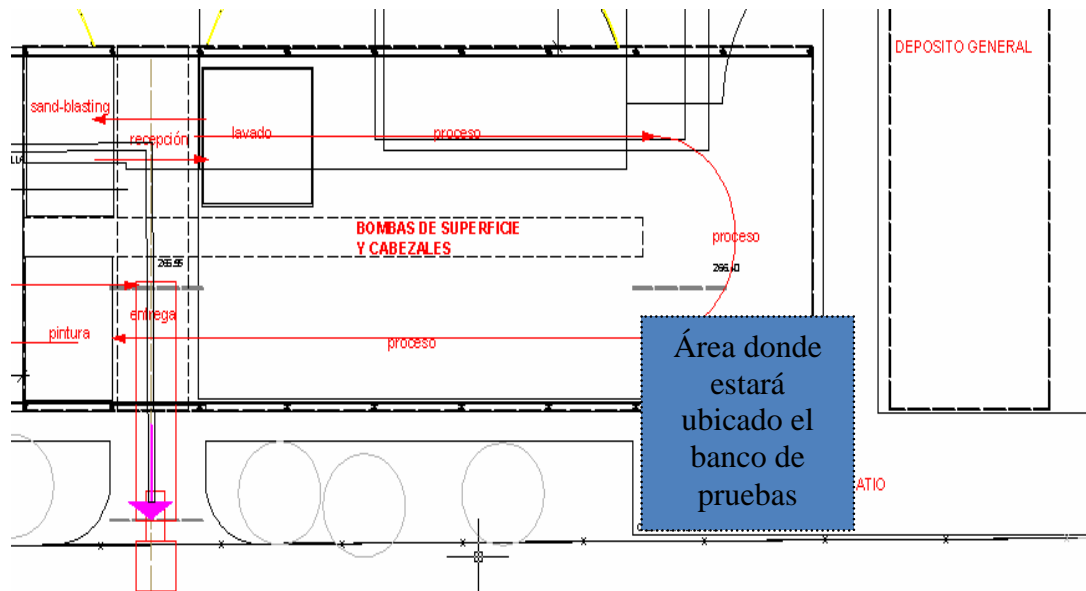


Figura 3.3 Plano del área de bombas de superficie.

3.2.2 Límites operacionales del banco de pruebas

Para el diseño del banco de pruebas se deben conocer los límites operacionales de las bombas, para ello se estudiarán las bombas que con más frecuencia entran al taller. Por esta razón primero se consultó el historial de los equipos que llegaron al taller para reparar durante los años 2006, 2007 y 2008, obteniendo los datos de las tablas 3.1, 3.2 y 3.3. Entre las bombas que frecuentemente entren al taller se seleccionarán las bombas que manejen mayor caudal y mayor presión para establecer los límites operacionales.

Tabla 3.1 Cantidad de bombas registradas en el taller de bombas durante los años 2006, 2007 y 2008.

	2006	2007	2008	Total
Centrífugas	72	79	63	214
Reciprocantes	73	70	75	218
Total	145	149	138	432

Tabla 3.2 Cantidad de bombas reciprocantes registradas en el taller de bombas reparadas en talleres internos y externos durante los años 2006, 2007 y 2008.

	2006	2007	2008	Total
Talleres Internos	35	37	36	108
Talleres Externos	38	33	39	110
	73	70	75	218

3.2.3 Fluido a utilizar por el banco de pruebas

El fluido a utilizar es agua a temperatura ambiente ya que ésta se utiliza en la mayoría de las pruebas hidrostática para ensayar bombas de todo tipo debido a que presenta mayor peso específico con respecto a los muchos fluidos que manejan estas bombas, en especial el petróleo. Las propiedades del agua se muestran en la tabla 3.4.

Tabla 3.3 Modelos de bombas reciprocantes registrada en el taller de bombas durante los años 2006, 2007 y 2008.

Marca y Modelos	2006	2007	2008	Total
Gasol 2652	12	13	11	36
Gasol 1753	4	3	5	12
Gardner Denver y Wilson Snyder 10x5x10	5	4	4	13
Gardner Denver ta4 y ta-5	7	5	7	19
Gasol 3775	2	3	3	8
Gardner Denver 6x4x6	27	28	30	85
Whethley quintuplex	5	3	2	10
National (165t y j-165)	2	4	4	10
Gasol y Gardner Denver (5x10)	2	2	2	6
Gardner Denver (7-1/4x10)	2	1	1	4
Gardner Denver (7x4-1/2x10)	1	2	3	6
Gardner Denver (fxofxo)	2	2	1	5
otras	2	0	2	4
total	73	70	75	218

Tabla 3.4 Propiedades del agua^[16]

Temperatura (°C)	30
Densidad (Kg/m ³)	995,6
Viscosidad (centipoise)	0,8

Volumen Especifico (m ³ /kg)	1,0004X10 ⁻³
Viscosidad dinámica (Pa.s)	0,85
Viscosidad cinemática (m ² /s)	0,854

3.2.4 Diseño de las tuberías

Para el diseño de las tuberías de succión y de descarga se seleccionaron diámetros tentativos y se determinaron las caídas de presión, para luego compararla con la caída de presión permisible y de cumplir con estas se procederá a calcular el espesor de las tuberías para determinados diámetros.

3.2.4.1 Factor de fricción^[17]

Este factor se utilizará para calcular las caídas de presión en tuberías rectas; está en función del número de Reynolds (Re) y la rugosidad relativa de la pared de la tubería (ε/d). El factor de fricción de Fanning no debe ser confundido con el factor de fricción de Moody el cual es cuatro veces mayor.

Si el flujo es laminar ($Re < 2.000$), el factor de fricción puede determinarse a partir de la ecuación:

$$f = \frac{16}{Re} \quad (3.6)$$

Si el número de Reynolds está comprendido entre 2000 y 4000 (flujo de transición) se puede utilizar la ecuación de de Coolebrook-White (3.7).

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log_{10} \left(\frac{\varepsilon/d}{3,7} + \frac{2,51}{R\sqrt{f}} \right) \quad (3.7)$$

Si el número de Reynolds es mayor de 4000 ($Re > 4000$) el flujo es turbulento por lo que se recomienda utilizar la ecuación de Halland (3.8) para determinar el factor de fricción.

$$f = \left[-3,6 \log \left[\left(\frac{6,9}{Re} \right) + \left(\frac{\varepsilon/d}{3,7} \right)^{1,11} \right] \right]^{-2} \quad (3.8)$$

El factor ε representa la rugosidad absoluta de las paredes internas de la tubería en milímetros (mm) o pulgadas (pulg). Una vez determinado el factor de fricción se puede determinar las caídas de presión a través de las siguientes ecuaciones:

3.2.4.2 Caída de presión por fricción en tubería recta^[17]

La caída de presión en cada tramo de tubería debido a la fricción se calculará a través de la ecuación 3.9.

$$\Delta P_f = F_8 \frac{fLQ^2\rho}{d^5} \quad (3.9)$$

Donde:

ΔP_f = Caída de presión por fricción (kPa o Psi)

L = Longitud de la tubería (m o pie)

F_8 = Factor que depende de las unidades usadas ($3,24 \times 10^6$ o $8,63 \times 10^4$).

3.2.4.3 Espesor de las tuberías

Se debe calcular el espesor de la tubería que pueda soportar la presión que el fluido ejerce sobre las paredes de las tuberías, para ello se utilizará las siguientes ecuaciones del Manual de Diseño de procesos de PDVSA.^[18]

Considerando que el sistema soportará la mayor presión se procedió a calcular el espesor de pared de la tubería mediante la ecuación 3.3:

$$t_n \geq \frac{t_m}{0,875} = \frac{t + c}{0,875} \quad (3.3)$$

Donde t es dado por la ecuación 3.4:

$$t = \frac{PD_0}{F_1SE} \quad (3.4)$$

Donde:

t_n = Espesor de pared, (mm o pulg)

t_m = Mínimo espesor de pared que satisface los requerimientos de presión más las permisibilidades de la profundidad de rosca la corrosión y la erosión. (mm) o (pulg).

(La mayoría de las especificaciones permiten al constructor un 12,5% de tolerancia dimensional. Por lo tanto, antes de escoger el espesor de la pared (Ver anexo A.5) debe dividirse t_m por 0,875.

t = Mínimo espesor a la presión de diseño. (mm o pulg).

c = Corrosión permisible, erosión y profundidad de rosca. (mm o pulg).

P = Presión interna de diseño. (kPa man. o psig).

D_0 = Diámetro externo de la tubería (mm o pulg).

S = Esfuerzo permitido (Mpa o psi).

E = Factor longitudinal de soldadura de ANSI B31.1, Tabla 302.4.3. Para tubería sin costura $E=1.0$.

F_1 = Factor que depende de las unidades usadas. (2000 o 2).

3.2.5. Diseño del tanque de almacenamiento

El tanque será superficial debido principalmente a los costos en su fabricación, además de su facilidad para el mantenimiento y mejor recorrido para la aspiración de las bombas a ensayar. El tanque será cilíndrico debido a los siguientes motivos:

- Forman poca turbulencia.
- Facilita el servicio, mantenimiento y eliminación de los desechos.
- Requieren menor cantidad de material para su construcción.
- Se hace más seguro y menos propenso a la ruptura debido a la poca cantidad de juntas.
- Es más económico.
- El tanque será colocado de forma vertical para ocupar menos espacio en el taller.

3.2.5.1 Volumen mínimo de líquido que debe tener el tanque

Para que las bombas no aspiren aire, lo que pudiera producir un funcionamiento incorrecto, se debe calcular el volumen de líquido que se puede almacenar en las tuberías y accesorios, y luego el volumen resultante será el volumen

mínimo de agua que debe contener el tanque, para ello se calculará el volumen interno que tienen las tuberías y accesorios.

3.2.5.2 Espesor de pared del tanque de abastecimiento

El espesor de pared se calculará por el método de un pie establecido en la norma API 650 el cual viene dado por las siguientes ecuaciones:

$$t_d = \frac{0,0005Dx(H - 30,48)G}{S_d} + CA \quad (3.6)$$

$$t_t = \frac{0,0005Dx(H - 30,48)G}{S_t} + CA \quad (3.6)$$

Donde:

t_d = Espesores por condiciones de diseño (mm.).

t_t = Espesor por prueba hidrostática (mm.).

D = Diámetro nominal del tanque (cm.)*.

*(El diámetro nominal del tanque se mide en la fibra media del cuerpo)

H = Altura de diseño del nivel del líquido (cm.).

G = Densidad relativa del líquido a almacenar o del agua para cálculo por prueba hidrostática.

CA = Corrosión permisible (mm.).

S_d = Esfuerzo permisible por condiciones de diseño (Kg /cm²).

S_t = Esfuerzo permisible por condiciones de prueba hidrostática (Kg /cm²).

3.2.6 Diseño de la bancada

Para el cálculo de la bancada es necesario conocer primero la distancia entre el eje de cada una de las bombas y el motor, con el fin de saber la ubicación de los pernos que sujetarán cada una de las bombas y el motor en la bancada. Para ello se acudirá a las ecuaciones para correas para así calcular la longitud de las correas y la distancia entre ejes.

Para conocer las dimensiones de las correas y la distancia entre ejes es necesario conocer la relación de diámetro de las poleas que está regida por la siguiente ecuación:

$$\frac{D_{polea}}{D_{motor}} = \frac{RPM_{motor}}{RPM_{bomba}} \quad (3.7)$$

Donde:

D_{polea} = Diámetro de la polea de la Bomba o polea Accionada.

D_{motor} = Diámetro de la polea del motor o polea Motriz.

RPM_{motor} = Velocidad de Rotación del eje del Motor.

RPM_{Bomba} = Velocidad de Rotación del eje de la Bomba o eje accionado.

En el caso de que se vayan a ensayar bombas de engranajes como la Gaso 2652, habrá que calcular las rpm de las bombas de la siguiente forma:

$$RPM_{Bomba} = RelaciondeRadios \times RPM \quad (3.8)$$

3.2.6.1 Cálculo de la longitud de la correa y la distancia entre centros de las poleas

La distancia entre centros de poleas debe ser elegida de forma tal que permita colocar las poleas sin chocar (criterio a_{min}) y que la distancia no sea excesivamente grande que no se pueda transmitir el movimiento entre las poleas (criterio a_{max}). Una de estas orientaciones puede ser la brindada en la norma alemana DIN 7753, que recomienda:

$$a_{min} \leq a_0 \leq a_{max}, \text{ siendo} \quad (3.9)$$

$$a_{min} = 0,7 \times (d_1 + d_2) \quad (3.10)$$

$$a_{max} = 2 \times (d_1 + d_2) \quad (3.11)$$

Una vez elegida la distancia tentativa entre centros a_0 , puede ser calculada la longitud de correa para una transmisión por correa abierta y dos poleas:

$$L_0 \approx 2a_0 + 1,57 \times (d_2 + d_1) + \frac{(d_2 - d_1)^2}{4a_0} \quad (3.12)$$

Una vez calculada la longitud L_0 de la correa se tomará el valor más cercano de las longitudes de correas disponible (Apéndice A.5) y recalculará la distancia definitiva entre centros de poleas:

$$a = a_0 + \left| \frac{L_0 - L_n}{2} \right| \quad (3.13)$$

Siendo:

a = Distancia entre centros de poleas para su montaje (mm).

a_0 =Distancia previa entre centros de poleas (mm).

L_0 =Longitud previa de la correa (mm).

L_n =Longitud normalizada de la correa (mm).

Las distancias entre centros de poleas son de gran utilidad para poder diseñar el patín donde se montarán las bombas con su respectivo motor, ya que se puede ubicar las bombas y los motores con sus elementos de anclajes (pernos).

De acuerdo al diámetro de las poleas y las distancias entre centros de las poleas de la bomba con la del motor, se diseñará una bancada con perfiles donde se puedan anclar las bombas que no posean patín.

3.2.7 Selección de la instrumentación

El banco de pruebas debe estar instrumentado con todos los aparatos necesarios para calcular el caudal manejado por las bombas, la presión de succión y descarga de las bombas y las revoluciones del cigüeñal de las bombas. También se debe monitorear el nivel del tanque de almacenamiento.

El banco de pruebas también utilizará una válvula de compuerta para regular la presión en la succión, una válvula mariposa para la recirculación, una válvula de alivio para las sobrepresiones y una válvula de retención para evitar el contraflujo del líquido. En la figura 3.4 se muestra los elementos de medición del banco de pruebas.

3.2.8 Manual para el buen funcionamiento del banco de pruebas

Una vez diseñado el banco de pruebas con todos sus componentes e instrumentación se procederá a realizar un manual de procedimientos para operar el banco de pruebas además de realizar un formato donde se recogerán los datos de las pruebas que se le realizan a cada bomba.

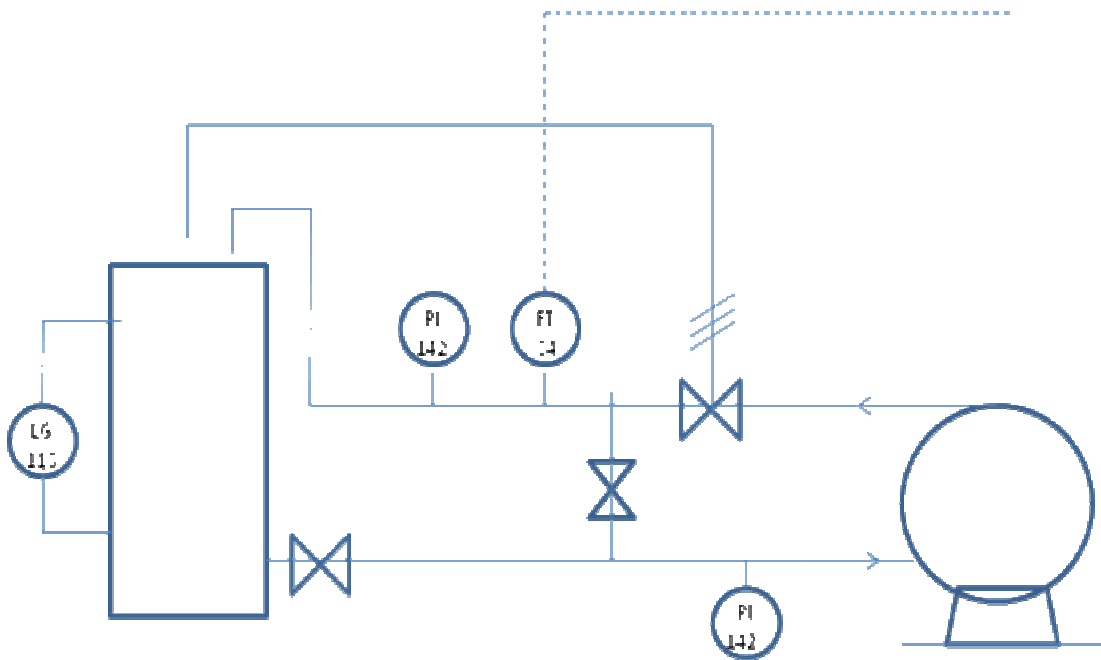


Figura 3.4. Elementos de medición del banco de pruebas

CAPÍTULO 4

RESULTADOS Y ANALÍISIS

En este capítulo se mostrarán los resultados que se obtuvieron en el diseño del banco de pruebas para bombas recíprocas, donde se establecerán los límites operacionales del banco de pruebas, dimensiones de las tuberías de banco de pruebas, dimensiones del tanque de almacenamiento, esfuerzos que soportará la bancada del banco de pruebas, instrumentación que se utilizará y procedimientos para la utilización del banco de pruebas.

4.1 LÍMITES DE OPERACIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS

Se tomará como modelo para el diseño del banco de pruebas las bombas Gaso 2652, y National j-165t, ya que éstas son las que presentan mayor caudal (Gaso 2652) y mayor presión (National j-165t), además que poseen una demanda significativa según la tabla 3.3.

En el apéndice C.1 y C.2 se muestran las características y propiedades de ambos tipos de bombas. De estas propiedades se conocen los límites operacionales del banco de pruebas (Tabla 4.1).

Tabla 4.1 Límites operacionales del banco de pruebas

Caudal Máximo (GPM)	702.3
Presión Máxima de Descarga (PSI)	3120
Presión de diseño (PSI)	4680
RPM Máxima	400
Peso (Lbs)	22100
Potencia (HP)	258

Se calculó la caída de presión para la succión y la descarga del sistema de tuberías del banco de pruebas y así poder establecer el diámetro de cada tubería. La tabla 4.2 muestra las caídas de presión permisibles promedio y máximas por cada 100 pies para tuberías de acero al carbono.

Tabla 4.2 Caídas de presión permisibles para tuberías de acero al carbono.

Tipo de Línea	Caída Promedio de Presión (Psi/100pies)	Caída Máxima de Presión (Psi/100pies)
Líneas de Succión de Bombas y de Descarga de Gravedad	0.25	0.4
Líneas de Descarga de Bomba de alta presión (700psig y Mayores)	3.0	4.0

La figura 4.1 muestra un esquema de los tramos de la tubería de succión y descarga del banco de pruebas.

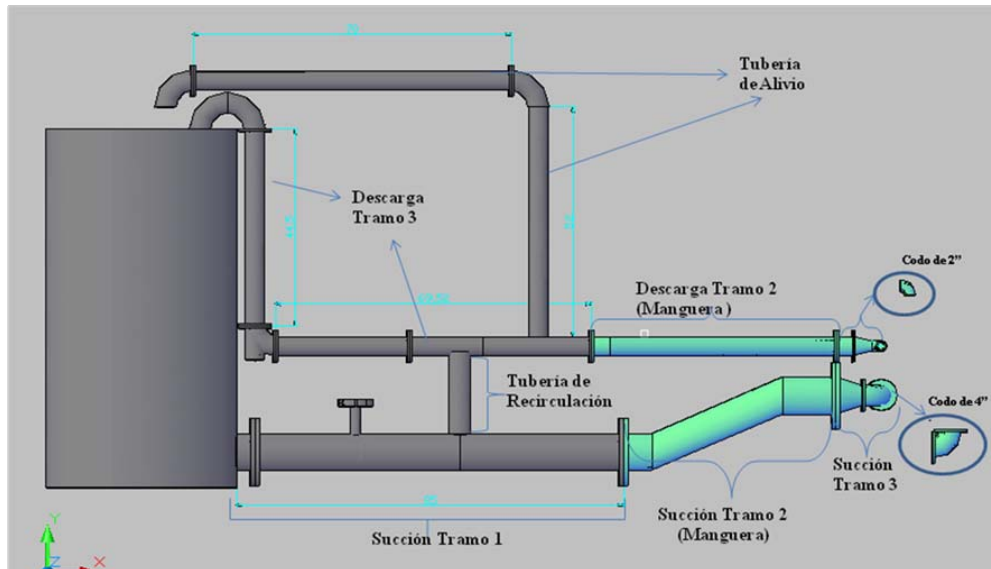


Figura 4.1. Esquema de las tuberías del banco de pruebas.

La tabla 4.3 muestra los calibres de cada tubería que conformaran el banco de pruebas con su respectiva caída de presión, se debe destacar que se utilizó el criterio de la caída de presión permisible, para tratar de simular las condiciones de operación de las bombas recíprocas cuando están en campo.

Tabla 4.3. Calibres de cada una de las tuberías del banco de pruebas con su respectiva caída de presión por cada 100 pies.

Tuberías	Diámetro Nominal (pulg)	Calibre	Espesor (pulg)	Caída de presión por cada 100 pies (pulg/100pies)
Succión	10	160	1,125	0,214
Descarga	6	160	0,718	2,296
Alivio	6	160	0,718	2,222
Recirculación	6	160	0,718	1,504

4.3 DISEÑO DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO

4.3.1 Volumen mínimo del tanque de almacenamiento

Se calculo el volumen que puede almacenar las tuberías (Apéndice D.2) para sí poder determinar el nivel que debe tener el tanque para que las bombas no succionen aire. La tabla 4.4 muestra el volumen que pueden almacenar las tuberías del banco de pruebas, donde se hizo el cálculo con respecto a la bomba National j-165t ya que esta bomba requiera más elementos para poder ser acoplada al banco de pruebas.

Tabla 4.4 Volumen que pueden almacenar las tuberías del banco de pruebas

Succión (m^3)	Descarga (m^3)	Alivio (m^3)	Recirculación (m^3)	Total (m^3)
0,1902	0,0857	0,0618	0,0060	0,3437

De acuerdo a este volumen total mostrado en la tabla 4.4 se calculó el nivel mínimo que debe tener el tanque para que las bombas no aspiren aire con la ecuación (4.1) considerando un diámetro del tanque de 40 pulgadas (1,016m).

$$L = \frac{4xV}{\pi xd^2} \quad (4.1)$$

$$L = 0,4307 m \quad (16,97")$$

La altura equivalente a la capacidad de las tuberías del banco de pruebas es 16,97 pulgadas además si se le suma el volumen muerto del tanque (10,75 pulgadas), que es el volumen depositado desde el fondo del tanque hasta el centro de

la tubería (Figura 4.2) da como resultado 27,72 pulgadas hasta el fondo del tanque, por razones de seguridad se utilizará una altura mínima de 30 pulgadas a partir del fondo del tanque. La altura de 30 pulgadas (0,762 metros) va a ser el nivel mínimo que debe tener el tanque desde el fondo para permitir la recirculación del fluido sin el inconveniente de aspirar aire y provocar daños en los equipos a ensayar.

4.3.2 Dimensiones del tanque de almacenamiento

El tanque de almacenamiento será cilíndrico y abierto a la atmosfera. Tendrá un diámetro interno de 101,6 centímetros y una altura de 203,2 centímetros la cual se determino por el tamaño de la chapa con la que se fabricara el tanque (80 pulgadas); además dispondrá de una conexión de 10 pulgadas (25,4 cm) para la tubería de succión, una conexión de 1 pulgada que estará muy cercano al nivel del suelo que servirá para el desagüe. En la pared lateral del tanque habrá dos conexiones de ½ pulgada con dos codos y un indicador de nivel. En la figura 4.2 se muestra un esquema gráfico del tanque de abastecimiento.

4.3.3 Espesor de las paredes del tanque de almacenamiento

Para el cálculo del tanque de almacenamiento se considerará que éste se fabricará con una sola plancha de acero A-283 que tendrá un ancho de 80 pulgadas y una corrosión permisible de 1,6mm. Para un tanque de 1,016 metros de diámetro el espesor mínimo especificado en la tabla 2.1 es 4,76 milímetros. Utilizando las ecuaciones 3.1 y 3.2 se tiene:

$$t_d = \frac{0,0005 \times (101,6 \text{ cm}) \times ((203,2 \text{ cm} - 30,48) \times 1)}{1410 \text{ kg/cm}^2} + 1,6 \text{ mm}$$

$$t_d = 1,61 \text{ mm}$$

$$t_t = \frac{0,0005 \times (101,6 \text{ cm}) \times ((203,2 \text{ cm}) - 30,48) \times 1}{1580 \text{ kg/cm}^2} + 1,6 \text{ mm}$$

$$t_t = 1,61 \text{ mm}$$

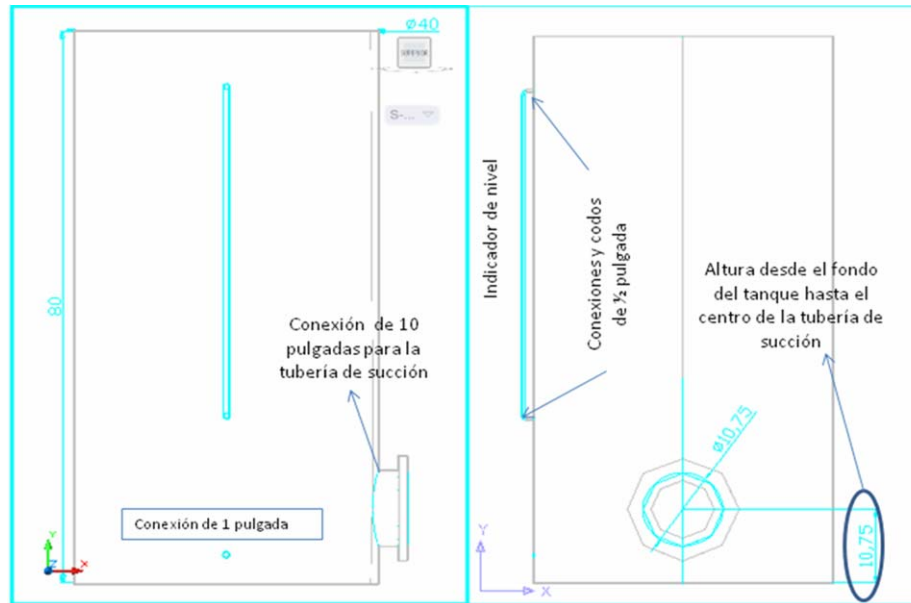


Figura 4.2. Vista frontal y lateral del tanque de almacenamiento (dimensiones en pulgadas)

El espesor de diseño por el método de un pie fue de 1,61 mm en el único anillo con que estará compuesto el tanque y como es mucho menor que el espesor mínimo de la tabla 2.1, el espesor de pared del tanque será de 4,76 milímetros (Tabla 2.1).

4.4 DISEÑO DE LA BANCADA

4.4.1 Diámetros de las poleas

El diámetro de las poleas se calculó utilizando la ecuación 3.14 obteniendo los resultados de la tabla 4.5.

Tabla 4.5. Diámetro de poleas para cada bomba

Bomba	Diámetro (pulg)
Gasol 2652	50
National j-165t	54

4.4.2 Longitud de las correas

Utilizando las ecuaciones 3.16-3.19 se pudo calcular las longitudes de las correas para cada una de las bombas (tabla 4.6).

Tabla 4.6. Longitud de las correas para cada bomba

Bomba	Diámetro (pulg)
Gasol 2652	237
National j-165t	198

4.4.3 Distancia entre ejes

Utilizando la ecuación 3.20 se calculó la distancia entre ejes para cada una de las bombas a ensayar, la cual servirá para ubicar las distintas vigas que compondrán la bancada del banco de pruebas.

Tabla 4.7 Distancia entre ejes para cada una de las bombas

Bomba	Diámetro (pulg)
Gasol 2652	68,67
National j-165t	65,1

De acuerdo a estas distancias se tomará los puntos en la bancada donde estarán los pernos para las bombas y los motores. Las figuras 4.3 y 4.4 muestran las dimensiones de la bancada con sus distintos elementos.

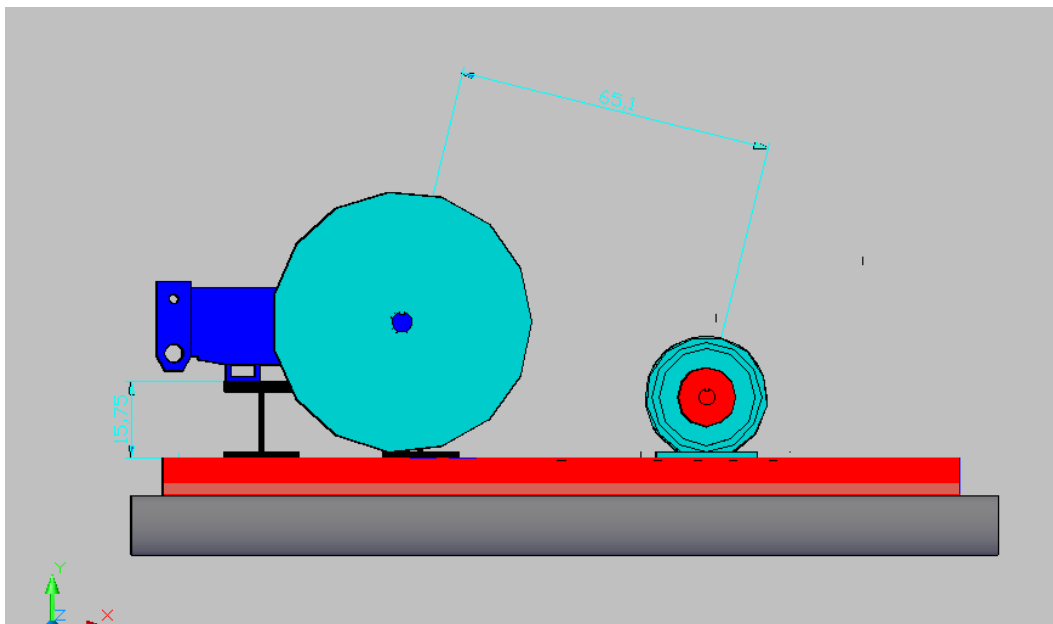


Figura 4.3 Distancia entre ejes y alturas para la bomba national j-165t

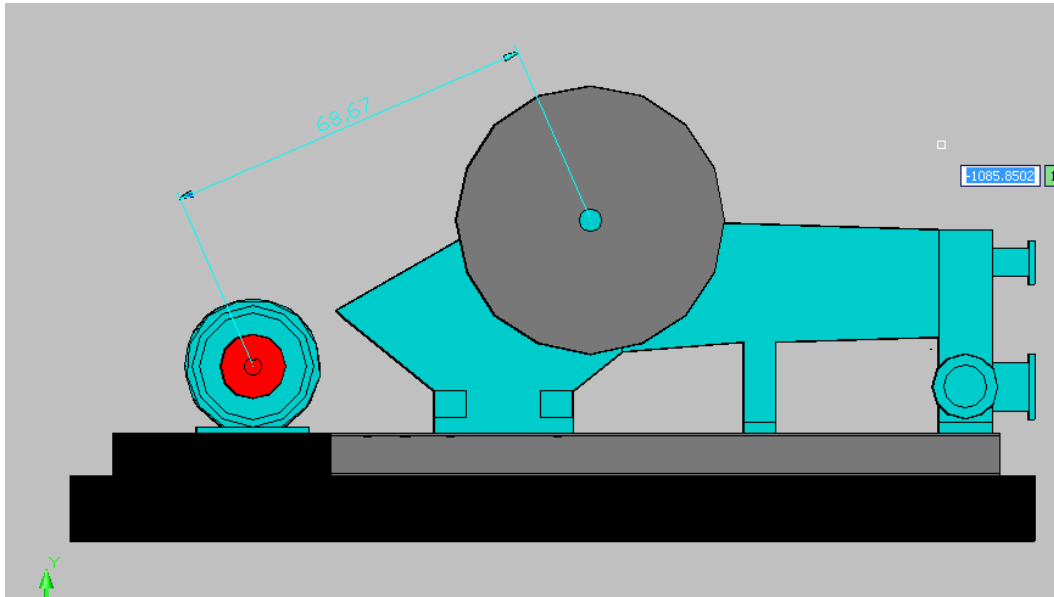


Figura 4.4 Distancia entre ejes y alturas para la bomba gaso 2652

4.4.4 Esfuerzos en la bancada

En las figuras 3.3, 4.5 y 4.6 se muestran los componentes de la bancada y sus respectivas dimensiones; estos datos son necesarios para calcular los esfuerzos de los distintos elementos que compondrán la bancada.

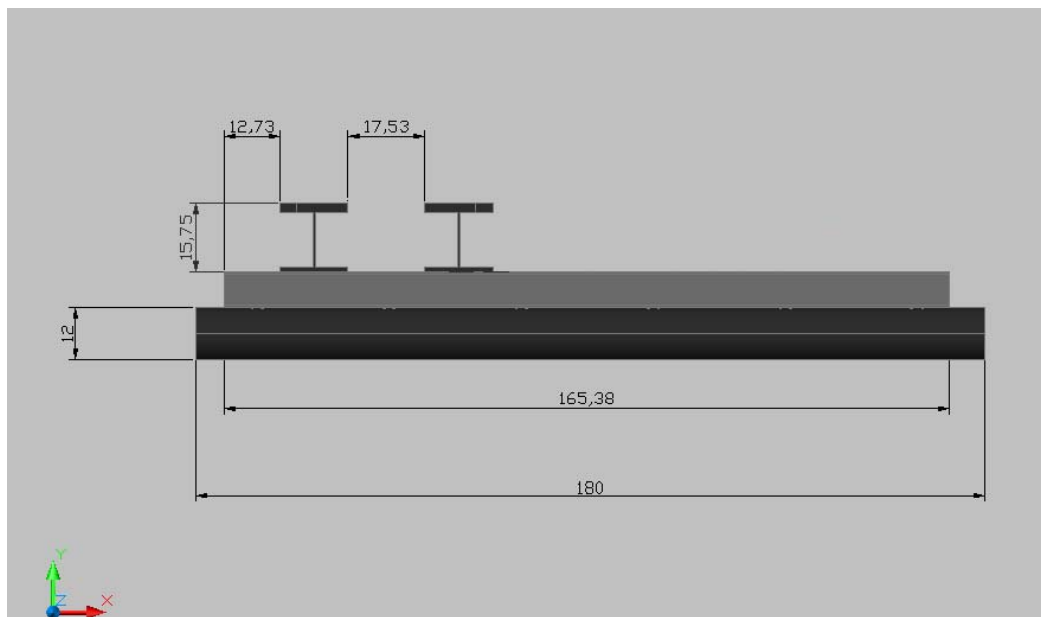


Figura 4.5 Dimensiones de la bancada (vista frontal)

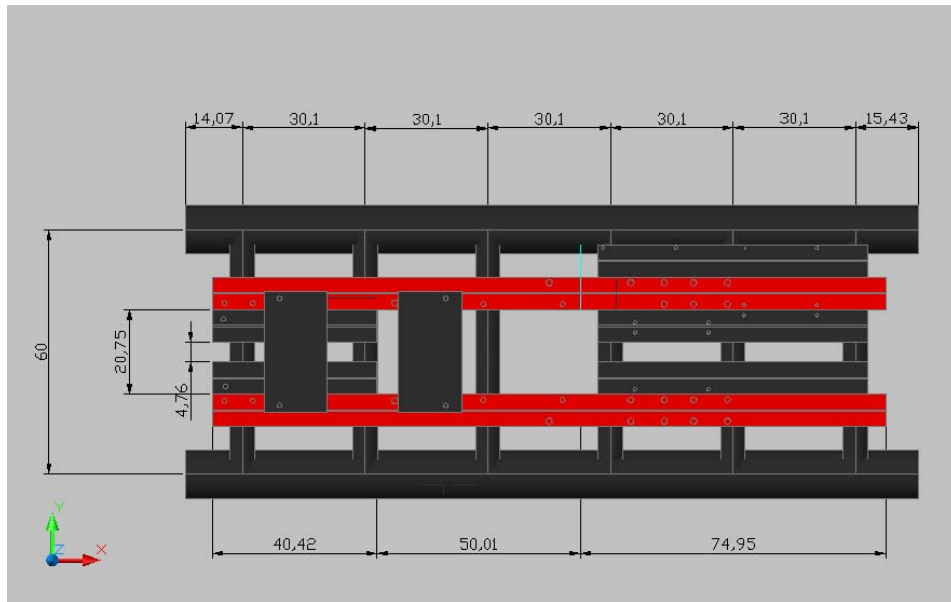


Figura 4.6. Dimensiones de la bancada (vista superior).

4.4.5 Esfuerzos en las vigas que soportarán los motores

Se debe calcular los esfuerzos a que estarán sometidas las vigas que soportarán los motores en el banco de pruebas (Figura 4.7). Las vigas serán de un perfil W203x46,1 (Apéndice A.6).

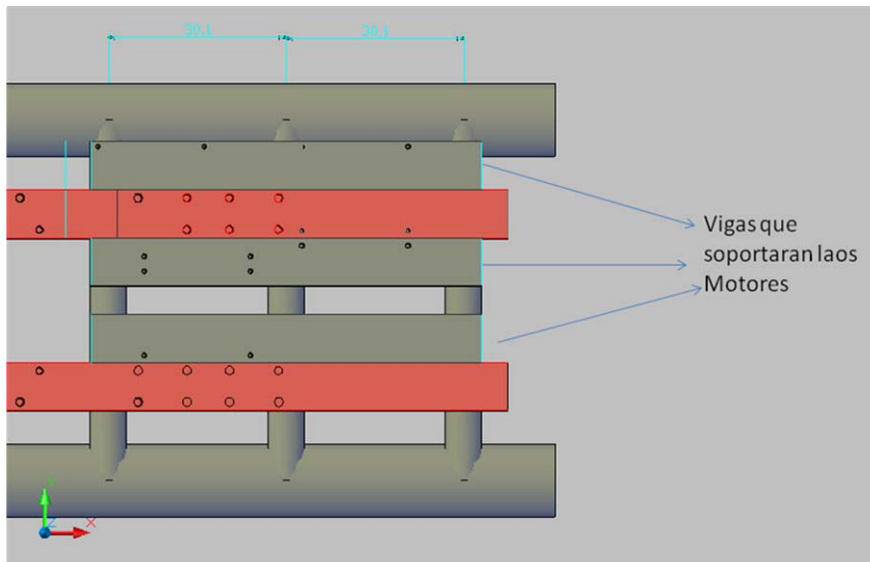


Figura 4.7. Vigas que soportarán los motores de las bombas.

En el apéndice D.4.2 se muestra el cálculo de los esfuerzos de esta viga dando como resultado:

$$\sigma_{\max} = 2283,28N / cm^2 = 22,8Mpa$$
$$\tau_{\max} = 1830,8N / cm^2 = 18,3Mpa$$

Estos esfuerzos son bajos en comparación con el esfuerzo admisible del acero estructural (250Mpa) por lo que esté soportarán los esfuerzos que ocasionarán el peso de las bombas.

4.4.6 Esfuerzo sobre la viga que soportará las bombas National j-165t

El peso de la bomba sobre las vigas estará distribuido de la siguiente forma:

- Una viga soportará 1/3 del peso de la bomba ya que la superficie de contacto es 1/3 del total

- La otra soportará 2/3 del peso de la bomba por que la superficie de contacto es 2/3 del total.

-El diagrama de fuerza cortante y momento flector se realizó con respecto al parámetro P (ver Apéndice D.4.3) que es el peso de la Bomba y los resultados fueron los siguientes:

Para la viga que soportará 1/3 del peso:

El esfuerzo normal máximo es:

$$\sigma_{\max} = 34,71N / cm^2 = 0,35Mpa$$

El esfuerzo cortante máximo es:

$$\tau_{\max} = 174,47N / cm^2 = 1,74Mpa$$

Para la viga que soportará 2/3 del peso se tiene que:

El esfuerzo normal máximo es:

$$\sigma_{\max} = 69,43N / cm^2 = 0,7Mpa$$

El esfuerzo cortante máximo es:

$$\tau_{\max} = 348,936N / cm^2 = 3,48Mpa$$

El esfuerzo permisible del acero estructural es mucho mayor que los esfuerzos de diseño, por lo que este material garantizará un buen diseño.

4.4.7 Esfuerzo sobre las vigas longitudinales

La bancada también contará con dos vigas que soportarán todas las bombas y los motores. La bomba de mayor peso es la Gaso 2652 de 22000 lbs (100000N). Para efectos de cálculo y previendo que en un futuro se ensayen bombas de mayor capacidad en la misma bancada, se seleccionó una carga distribuida de 1000N/cm para calcular los esfuerzos en las vigas (ver apéndice D.4.4).

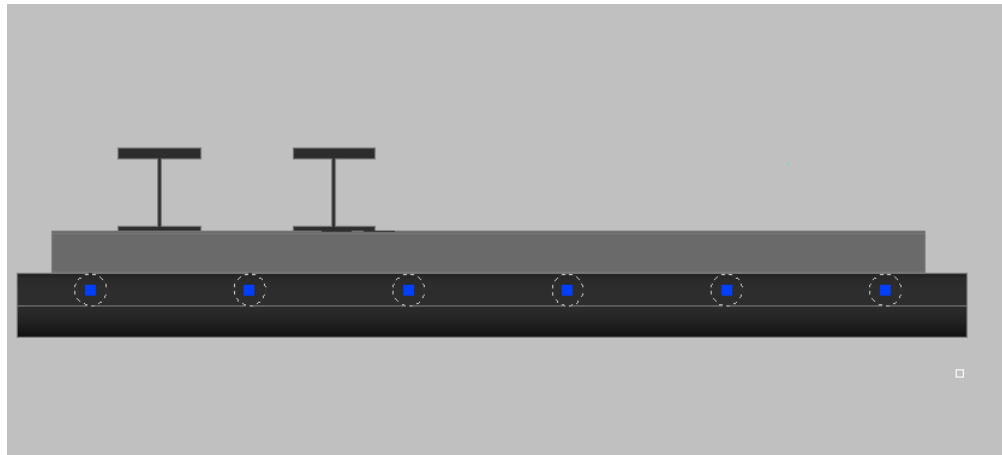


Figura 4.8 Viga Longitudinales.

El cálculo de las reacciones de las vigas principales se hará por el teorema de los tres momentos y para facilitar el cálculo no se tomará en cuenta los extremos libres de las vigas, ya que no representan un valor significativo con respecto a la viga.

El esfuerzo normal máximo es:

$$\sigma_{\max} = 8240,43N / cm^2 = 82,4Mpa$$

El esfuerzo cortante máximo es:

$$\tau_{\max} = 3166,04N / cm^2 = 31,67Mpa$$

Los esfuerzos son bajos en comparación con el esfuerzo admisible del materia, por lo que un perfil W200x46,1, fabricado en acero estructural, soportará las cargas a las cuales estarán sometidas todas las vigas de la bancada.

4.5 INSTRUMENTACIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS

El banco de pruebas tendrá los elementos que se muestran en la figura 3.4, los cuales serán seleccionados de acuerdo a las normas establecidas para estos instrumentos.

4.5.1 Válvulas

Las válvulas de compuerta y de retención se seleccionarán de acuerdo al diámetro de la tubería según las norma ASME B.16.10. Todas las válvulas son de acero clase 2500 el cual puede soportar una presión de 6170 Psi a temperatura ambiente. La tabla 4.6 muestras las dimensiones de cada una de las válvulas seleccionada.

4.8. Dimensiones de las válvulas seleccionadas según la norma ASME B.16.10

Tipo de válvula	Ubicación	Diámetro (pulg)	Longitud (pulg)
Compuerta	Succión	10	36
Retención	Descarga	6	24
Compuerta	Recirculación	6	24

4.5.2 Medidor de la presión de succión

Para medir la presión de succión se utilizará un manómetro industrial modelo 1008S de Ashcroft el cual tiene un rango de presión desde 42kgf en vacío hasta 700kgf. En el anexo C.4 se puede ver las características principales de este manómetro.



Figura 4.9. Manómetro seleccionado para el banco de pruebas

4.5.3 Válvula de alivio

Para la válvula de alivio se calculó la presión del sistema desde el tanque de almacenamiento hasta donde estará ubicada la válvula de alivio a través de la ecuación de Bernoulli. Para el cálculo de esta presión se utilizarán los caudales mínimos a la máxima potencia de la bomba, ya que estos caudales son los que generan las mayores presiones en el sistema.

$$Z_A + \frac{P_A}{\rho g} + \frac{V_A^2}{2g} + H_B = Z_B + \frac{P_B}{\rho g} + \frac{V_B^2}{2g} + H_f + H_M \quad (4.3)$$

Tabla 4.9. Caudales mínimos las bombas a la potencia máxima

	Potencia (kW)	Caudal Mínimo (l/min)
National J-165t	123	9,7
Gasol 2652	192	12,3

Los cálculos de las presiones en la válvula de alivio se muestran en el apéndice D.5. En la tabla 4.10 se muestran los resultados de la caída de presión para cada bomba.

Tabla 4.10. Caída de presión en la válvula de alivio en cada una de las válvulas.

Bombas	Presión (Psi)
National J-165t	3405,7
Gasol 2652	2246,17

La presión máxima en la válvula de alivio la tiene la bomba national j-165m con 3405,7 Psi, por lo que esta presión va a ser la presión de apertura de la válvula de alivio.

4.5.4 Medidor de caudal

El caudal se medirá con un caudalímetro electromagnético modelo FXL4000 (COPA-XL), fabricado por ABB y el cual puede conectarse directamente a la tubería (apéndice C.3). Este caudalímetro tiene las siguientes características:

- Rango de flujo máximo de 0 a 240m³/h. a una velocidad del flujo de 0 a 10 m/s.
- Temperatura media máxima de 80° c.
- Precisión de 0,5% el valor de la medición.
- Corriente de suministro de 24V AD/DD.
- Salida de corriente de 0/4-20mA.

4.5.5 Medidor de presión de descarga

Para medir la presión de descarga se utilizará un manómetro industrial modelo 1008S de Ashcroft. Las características de este instrumento son las siguientes:

- Caja de acero inoxidable AISI-304.
- Aguja de aluminio balanceada.
- Sistema de sensor tipo bourdon y zócalo en acero inoxidable AISI-316.
- Conexión inferior con rosca de ¼" NPT.
- Rango de presión desde vacío hasta 700kgf/cm².
- Temperatura de operación entre -7°C y 65°C para ambiente y fluido de proceso.

4.5.6 Medidor de nivel

En la pared lateral del tanque habrá un tubo de plástico de ½ pulgada de diámetro y 47 pulgadas de largo (1194mm), conectado al tanque mediante dos codos de ½ pulgadas, que servirá como indicador de nivel, y así verificar que el nivel de agua dentro del tanque este por encima del límite establecido (24 pulgadas) para que las bombas no succionen aire.

4.5.7 Contador de revoluciones

El números de revoluciones de los motores que activarán las bombas se medirán con un medidor de revoluciones electrónico portátil (PCE-T236), que mide directamente y/e indirectamente las revoluciones de los ejes de las bombas y motores. Las especificaciones técnicas de este tacómetro son las siguientes:

- Rango de medición de 5rpm hasta 99999rpm (óptico) y 0,5rpm hasta 19999rpm (contacto).
 - Precisión de $\pm 0,05\%$ del valor de la medición.
 - Distancia de medición máxima: 300mm.
 - Temperatura de operación: 0 a 50°C.
 - Dimensiones de 65x215x38mm
- Peso de 300 g.

4.6 ACCESORIOS DEL BANCO DE PRUEBAS

4.6.1 Mangueras

Las mangueras deben soportar hasta 3500 psi y deben ser de 8 pulgadas para la succión y 4 pulgadas para la descarga.

4.6.2 Codos y reducciones

Las reducciones y codos serán seleccionadas de acuerdo a la norma ASME 16.5 y 16.9, donde se muestran las dimensiones para codos y reducciones de acero al carbono clase 1500.

4.7 PROCEDIMIENTO PARA EL FUNCIONAMIENTO DEL BANCO DE PRUEBAS

1. Recopilar datos de las bombas según la sección 4.9 utilizando la figura 4.10.
2. Colocar la bomba a ensayar en el espacio asignado para ella, cuidando de que esté a una distancia acorde a la succión del banco de pruebas. En caso de que la bomba no tenga patín, mover el patín del banco de pruebas, acoplar todas sus piezas y montar la bomba y anclarla a través de pernos.

3. Fijar la manguera de succión y descarga a la bomba, además de las conexiones (codos y reducciones) que necesita la bomba para ser fijado al banco de pruebas.
4. Verificar que el tanque del banco de pruebas esté al nivel suficiente para poner a funcionar el banco de pruebas.
5. Verificar que las conexiones estén bien apretadas y que el sistema bomba-motor esté bien fijado antes de encender el motor del banco de pruebas.
6. Abrir la válvula de compuerta para que circule el líquido por la tubería de succión y llegue hasta la succión de la bomba.
7. Verificar que las válvulas de la línea de descarga estén abiertas.
8. Encender el motor de la bomba para que empiece a circular líquido por la tubería.
9. Una vez que se estabilice el sistema tomar los datos de presión, caudal y revoluciones de la bomba cada 15 minutos.
10. Mientras esté funcionando el banco de pruebas verificar si hay presencia de ruidos extraños, fugas de líquidos, recalentamiento, y otras situaciones anormales en el banco de pruebas.
11. Una vez realizada todas las mediciones y tomado el registro, apagar el equipo, para que luego sea retirado del banco de pruebas.

4.8 REGISTROS DE LAS PRUEBAS REALIZADAS

La información arrojada por cada una de las pruebas mecánicas que se realizan deben ser registradas, con el propósito de llevar un control de cada bomba y establecer el estado general de éstas, ese registro debe ser sencillo, de fácil comprensión, eficaz, preciso y conciso. Se recomienda llevar un sistema de registros computarizado, que posea los siguientes aspectos:

- ◆ Identificación del equipo: fecha de recepción, tipo de prioridad, número de orden de trabajo. Si va a ser reparado en taller externo indicar el nombre del taller, entre otros.

- ◆ Especificaciones técnicas de los motores jaula de ardilla como son: marca, modelo, serial, potencia, frame, voltaje, corriente, frecuencia, velocidad, entre otras.
- ◆ Reporte de la inspección visual de partes del equipo: válvulas, poleas, crucetas, extensiones, etc.
- ◆ Información de las distintas pruebas realizadas una vez reparado el motor tanto en el taller de bombas como en talleres externos.

Figura 4.10. Tabla de evaluación de bombas reciprocantes.

PDVSA		EVALUACIÓN DE BOMBAS RECIPROCANTES				
IDENTIFICACIÓN DEL EQUIPO						
Fecha Recep:		Fecha Eval:		Usuario:	N° PDVSA:	
Taller:		ODT N°:		Telf:		
Prioridad: Normal <input type="checkbox"/> Urgencia <input type="checkbox"/> Emergencia <input type="checkbox"/>		NE N°:		Fecha NE:		
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS						
MARCA:		HP / KW:		PRESION:		
MODELO:		FRAME:		CAUDAL:		
SERIAL:		Troquel N°:		RPM:	N° DE EMBOLOS	
ACCESORIOS DEL EQUIPO		Eval		Recp		
		SI	NO	SI	NO	
		FALLA REPORTADA				
		Servicio <input type="checkbox"/> Falla <input type="checkbox"/> Vibración <input type="checkbox"/>				
		Mto. Prevent <input type="checkbox"/> Alta Temp <input type="checkbox"/> Ruido <input type="checkbox"/> Otros:				
		OBSERVACIONES				
1. VALVULAS DE SUCCION						
2. VALVULAD DE DESCARGA						
3. PRENSAESTOPAS						
4. EMPAQUETADURAS						
5. ENGRANAJES						
6. POLEA						
7. BIELAS						
8. EJE						
9. CARCAZA						
10. EXTENSIONES						
11. CRUCETAS						
12. PINTURA						
13. IDENTIFICACIÓN DEL EQUIPO						
14. COJINETES						
15. ASIENTOS DE VALVULAS						
16. EMBOLOS						
17. CAJERAS						
Evaluado por: _____				Firma: _____		
PRUEBAS DE LA BOMBA REPARADA:						
t (seg)	P succ (Psi)	Pdesc (Psi)	Caudal (GPM)	RPM	Pot (HP)	Nivel de vibracion
						In/seg <input type="checkbox"/> mm/seg <input type="checkbox"/>
						Temperatura (°C)
Aprobado por: _____				Fecha: _____		
Elaborado por:		Revisado por:		Aprobado por:		
Nombre:		Nombre:		Nombre:		
Cargo:		Cargo:		Cargo:		
Firma:		Firma:		Firma:		

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- El banco de pruebas para bombas reciprocantes estará ubicado dentro del taller de bombas y tendrá una capacidad de 702,3GPM y 3120PSI de presión y en él se podrán conocer las condiciones de operación de las bombas reciprocantes reparadas.
- El banco de pruebas estará conformado por un tanque de almacenamiento, tuberías de succión y de descarga, y una bancada para el anclaje de las bombas, y su fluido de pruebas será agua a temperatura ambiente.
- Las tuberías de succión y de descarga serán de 10 y 6 pulgadas respectivamente y todas serán de calibre 160; estas tuberías fueron diseñadas para que la caída de presión sea menor que la caída de presión permisibles por cada 100 pies.
- El espesor de pared del tanque de almacenamiento se calculó de acuerdo a la norma API 650, y tendrá un espesor de 4,76 mm y será realizado con planchas de acero de baja resistencia.
- El banco de pruebas dispondrá de una bancada de acero estructural fabricada con perfiles W200x46,1; la cual se diseñó para que pueda soportar en forma segura bombas de hasta más de 22000 lbs; lo que da posibilidad de ensayar una amplia gama de bombas reciprocantes.
- Los instrumentos de medición, fueron seleccionados de tal forma que se puedan apreciar mediciones confiables, a la hora de llevar a cabo las pruebas.



5.2 RECOMENDACIONES

- Cumplir con el procedimiento de funcionamiento del banco de pruebas, además de llevar un control y registro de las pruebas realizadas a las bombas reciprocantes, para que esta manera se pueda obtener una mayor seguridad y confiabilidad en los resultados; además de contribuir con el mantenimiento de estos equipos y prevenir fallas en el campo de operación.
- No exceder las presiones y caudales límites del banco de pruebas.
- Realizar una revisión cuidadosa de los acoples antes de poner en funcionamiento el banco de pruebas
- Entrenar el personal que va a utilizar el banco de pruebas.

BIBLIOGRAFÍA

1 - Logan A. Elena I. **“Diseño de un Banco de Pruebas para Bombas de Superficie (Reciprocantes) marca Gardner Denver 6”x4”x6” en la Empresa PDVSA, Distrito Sur-San Tomé”**, Informe de Pasantía. Instituto Universitario de Tecnología “José Antonio Anzoátegui”, El Tigre-Edo. Anzoátegui, (2006).

2 - Stanford Víctor **“Factibilidad para la Fabricación de un Banco de Pruebas para Bombas de Superficie de Tipo Reciprocantes en el Taller de Bombas de (PDVSA) San Tomé, Estado Anzoátegui”**, Informe de Pasantía. Instituto Universitario de Tecnología del Estado Bolívar, (2005).

3 - Villarroel R. Ivan E **“Diseño de un Banco de Pruebas para Bombas de Inyección Química para el Taller de Bomba Adscrito a la Superintendencia de Talleres Oriente de la Empresa Petróleos de Venezuela, S.A. “PDVSA” del Distrito Sur San Tomé – Estado Anzoátegui ”**, Informe de Pasantía. Instituto Universitario de Tecnología de Caripito. Caripito, Edo. Monagas.

4- Zorrilla Daniel **“Pruebas de funcionamiento bombas de manejo de crudo y orimulsión proyecto disposición de crudo morichal”**, Documento técnico. PDVSA. Puerto La Cruz (2001).

5 – www.venmaca.com.ve

6- **Welded Steel Tanks for Oil Storage (API 650)**, American Petroleum Institute. Octava Edición, Washington, D.C. (1998).

7- McNaughton, Kenneth. **“Bombas Selección, Uso y Mantenimiento”**, McGraw-Hill, México (1992).

8- <http://www.monografias.com/trabajos25/disenio-tuberias/disenio-tuberias.shtml>.

9- Mataix, Claudio. **“Mecánica de los Fluidos y Máquinas Hidráulicas”**, Oxford University Express, Segunda Edición, México (1982).

10- Beer, Ferdinand; Johnston, Russell y DeWolf, Jhon. **“Mecánica de Materiales”**, Mc Graw Hill, Cuarta Edición, México (2006).

11- S. Timoshenko u D.H. Young **“Elementos de resistencias de Materiales”**. Editorial Limusa. Primera Edición. México (1991).

12- Bustillo, Omar. **“Ingeniería de Medición”**, Universidad de Oriente, Puerto La Cruz (2001).

13. <http://www.fimaca.com/>

14 – Greene Richard W. **“Válvulas selección, uso y mantenimiento”**, Mc Graw Hill, Primera Edición, México (1992).

15 - **“Catalogo de Productos Gardner Denver”**, [En Línea]. Disponible en: www.gardnerdenverprodutcs.com.

16- Crane **“Flujo de fluidos en válvulas accesorios y tuberías”**. Editorial Mc Graw Hill. Primera Edición. México (1992).

17- PDVSA, Manual de diseño de proceso (MDP-02-FF-03) “**Flujo de Fluidos**”
PDVSA (1996).

18- PDVSA, Manual de diseño de proceso (MDP-02-FF-02) “**Flujo de Fluidos**”
PDVSA (1996).

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO-1/5

TÍTULO	DISEÑO DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA BOMBAS RECIPROCANTES EN EL TALLER DE BOMBAS DE LA SUPERINTENDENCIA DE TALLERES DE PDVSA-SAN TOMÉ
SUBTÍTULO	

AUTOR (ES):

APELLIDOS Y NOMBRES	CÓDIGO CULAC / E MAIL
CARABALLO PERAZA LEXIS JESÚS	CVLAC: 15.879.289 E MAIL: lexiscaraballo@hotmail.com
	CVLAC: E MAIL:

PALÁBRAS O FRASES CLAVES:

Banco de Pruebas

Bombas reciprocantes

Tanque de almacenamiento

Medidor de presión de succión

Caudalímetro electromagnetico

Caída de presión

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO-2/5

ÁREA	SUBÁREA
Ingeniería y Ciencias Aplicadas	Ing. Mecánica

RESUMEN (ABSTRACT):

El taller de bombas de PDVSA-San Tome requiere garantizar la calidad de sus reparaciones, es por ello que se diseñó un banco de pruebas para bombas reciprocantes para que a futuro sea instalado. Se consultó el historial de las bombas que entraron al taller a ser reparadas y se establecieron los límites operacionales, para luego diseñar cada uno de los componentes del banco de pruebas. Empezando por las tuberías para luego diseñar el tanque de almacenamiento. Posteriormente se diseñó la bancada donde se van a apoyar las bombas y se seleccionó la instrumentación que llevará este banco de pruebas. Por último se elaboró un formato que se utilizará para tomar los datos de las bombas que van a ser ensayadas, para llevar un registro de éstas, y así garantizar la calidad del servicio prestado.

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO-3/5

CONTRIBUIDORES:

APELLIDOS Y NOMBRES	ROL / CÓDIGO CVLAC / E_MAIL				
Rengel , José Eduardo	ROL	CA	AS X	TU	JU
	CVLAC:				
	E_MAIL	rengel66@gmail.com			
	E_MAIL				
Ayala, Orlando	ROL	CA	AS	TU	JU X
	CVLAC:	omayah@gmail.com			
	E_MAIL	11.420.758			
	E_MAIL				
Bittar, Simon	ROL	CA	AS	TU	JU X
	CVLAC:				
	E_MAIL				
	E_MAIL				
	ROL	CA	AS	TU	JU
	CVLAC:				
	E_MAIL				
	E_MAIL				

FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:

2009	10	21
AÑO	MES	DÍA

LENGUAJE. SPA
METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO-4/5

ARCHIVO (S):

NOMBRE DE ARCHIVO	TIPO MIME
TESIS. Diseño de un banco de pruebas para bombas reciprocantes.doc	Application / m s word

CARACTERES EN LOS NOMBRES DE LOS ARCHIVOS: A B C D E F G H I J K
L M N O P Q R S T U V W X Y Z. a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y z. 0 1
2 3 4 5 6 7 8 9.

ALCANCE

ESPACIAL: Superintendencia de Talleres.

TEMPORAL: 1 año

TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:

INGENIERO MECÁNICO

NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:

PREGRADO

ÁREA DE ESTUDIO:

DEPARTAMENTO DE MECÁNICA

INSTITUCIÓN:

UNIVERSIDAD DE ORIENTE, NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO-5/5

DERECHOS

DE ACUERDO CON EL ARTICULO 44 DEL REGLAMENTO DE TRABAJO DE GRADO DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE: “LOS TRABAJOS DE GRADO SON DE EXCLUSIVA PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD Y SÓLO PODRÁN SER UTILIZADOS POR OTROS FINES CON EL CONSENTIMIENTO DEL CONSEJO DE NÚCLEO RESPECTIVO, QUIEN LO PARTICIPARÁ AL CONSEJO UNIVERSITARIO”.

Lexis Jesus Caraballo Peraza

AUTOR

Jose E. Rengel

TUTOR

Orlando Ayala H.

JURADO

Simon Bittar

JURADO

POR LA SUBCOMISION DE TESIS:

Delia Villarroel