

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE SENSADO DE
CARGA A PARTIR DEL BANCO DE PRUEBA DE BOMBAS DEL
LABORATORIO DE POTENCIA FLUIDA**

**Diego Alejandro Tarazona Villabona
Jaime Andres Gonzalez Caballero**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA
2022**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE SENSADO DE
CARGA A PARTIR DEL BANCO DE PRUEBA DE BOMBAS DEL
LABORATORIO DE POTENCIA FLUIDA**

**Diego Alejandro Tarazona Villabona
Jaime Andres Gonzalez Caballero**

Trabajo de Grado para optar por el título de:

Ingeniero Mecánico

Director:

**Abel Antonio Parada Corrales
Ingeniero Mecánico**

Codirector

**Ricardo Alfonso Jaimes Rolón
Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2022

DEDICATORIA

A mi familia, por su ayuda emocional y económica durante este camino de aprendizaje, gracias a ustedes he logrado culminar con este proceso de conocimiento, es un orgullo y privilegio ser su hijo.

Jaime A. Gonzalez

Este trabajo es dedicado a mi familia, que me han influenciado con los mejores consejos y me han dado un gran apoyo incondicional durante este proceso de formación. Gracias padre y madre.

Diego A. Tarazona

AGRADECIMIENTOS

Al Docente e Ing. Mecánico, Abel Parada Corrales por su gran ayuda como director del proyecto de grado, orientando con sus conocimientos, consejos y apoyo en cada una de las decisiones tomadas para llevar a cabo la realización del proyecto.

A los técnicos de la escuela de Ingeniería Mecánica, Fredy y Henry por su acompañamiento y ayuda en los procedimientos manuales y apoyo frente a las dificultades presentadas durante la ejecución del proyecto.

A mi compañero de trabajo de grado, Diego Tarazona por su compromiso en el transcurso del tiempo, brindando sus conocimientos para realizar una práctica correcta y por su gran carisma hacia mi persona.

A mis padres, por su interés incondicional durante toda la carrera estudiantil y por ayudarme a mantenerme firme ante cada esfuerzo presentado durante la misma.

A mi pareja, Nicol Peña por su apoyo sentimental confiando y creyendo en mis virtudes y transmitiéndome fortaleza en momentos de dificultad.

A mis compañeros de carrera Juan Diego, Edgar y Sebastián por su acompañamiento en el transcurso del pregrado, llenándome de grandeza y siempre resaltando mis capacidades como futuro profesional.

Jaime A. Gonzalez

Agradezco al ingeniero y maestro Abel Antonio Parada Corrales por ser un excelente director de trabajo de grado, por sus conocimientos y supervisión en esta importante etapa de la carrera.

A mi familia, por su sabiduría, paciencia y por su apoyo económico y moral en

todo momento.

A los técnicos de la escuela Freddy y Henry por la ayuda brindada en las fases de construcción, en las que siempre nos colaboraron con la mejor disposición.

A mi compañero de trabajo de grado, Jaime Gonzalez, por su responsabilidad, profesionalismo y compromiso que hizo posible desarrollar este proyecto de forma amena.

Gracias a mis compañeros de carrera que me apoyaron y que con las mejores de las intenciones ayudaron a que este trabajo se pudiera llevar a cabo.

Diego A. Tarazona

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	16
1. OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO	18
1.1 OBJETIVO GENERAL	18
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
2. SÍNTESIS DEL BANCO	19
2.1 COMPOSICIÓN DEL BANCO	20
2.2 SISTEMAS	20
2.2.1 Sistema de bastidor	20
2.2.2 Sistema de potencia hidráulica y actuadores.	21
2.2.3 Sistema de medición y control.....	25
2.2.4 Elementos complementarios esenciales	28
3. DIAGNOSTICO GENERAL	31
3.1 ESTADO DE LOS COMPONENTES HIDRÁULICOS	32
3.2 SISTEMA DE GENERACIÓN DE POTENCIA.....	33
3.3 LÓGICA HIDRÁULICA	34
3.4 TEMPERATURA DEL FLUIDO	34
3.5 ESTRUCTURA	36
4. DISEÑO	37
4.1 MODELAMIENTO DEL SISTEMA.....	37
4.2 DESARROLLO DEL CIRCUITO HIDRÁULICO	42
4.3 DESARROLLO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL.....	44
5. PRUEBAS Y ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO	46
5.1 CALIBRACIÓN	47
5.2 ANÁLISIS DE TEMPERATURA Y FUNCIONAMIENTO DEL ENFRIADOR	55

5.3 PRUEBAS DE CARGA.....	56
5.4 FUNCIONAMIENTO DEL BANCO	66
5.4.1 Encendido del banco.....	67
5.4.2 Control de presión simulada.....	69
5.4.3 Órdenes para el actuador	70
5.4.4 Apagado.....	70
6. CONCLUSIONES.....	70
7. BIBLIOGRAFIA	72
ANEXOS	73

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 - Esquema simplificado de funcionamiento de la bomba con sensado de carga y su retroalimentación por la presión impuesta por carga.	19
Ilustración 2 - Bastidor.....	21
Ilustración 3 - Bomba de pistones axiales con sensado de carga.....	22
Ilustración 4 - Reguladora de caudal compensada por presión.....	22
Ilustración 5 - Válvula de seguridad pilotada con venteo.....	23
Ilustración 6 - Válvula de seguridad.	24
Ilustración 7 - Válvula direccional.....	24
Ilustración 8 - Cilindro hidráulico.....	25
Ilustración 9 - Manómetros y vacuómetro del sistema.	26
Ilustración 10 - Manómetro sensado de carga	26
Ilustración 11 - Manómetro de presión de la bomba.	27
Ilustración 12 - Vacuómetro del sistema.	28
Ilustración 13 - Tanque del sistema.	29
Ilustración 14 - Filtro hidráulico.	30
Ilustración 15 - Enfriador de aceite hidráulico.....	30
Ilustración 16 - Antiguo banco de prueba de bombas.....	32
Ilustración 17 - Estado del acople producto de las vibraciones.	34
Ilustración 18 - Dibujo en corte de la bomba de estado en reposo.	38
Ilustración 19 - Dibujo en corte de la bomba en compensación sin presión en puerto LS.	39
Ilustración 20 - Dibujo en corte de la bomba en compensación a alta presión.....	40
Ilustración 21 - Dibujo en corte de la bomba en aumento de su desplazamiento por ajuste de LS	41
Ilustración 22 - Dibujo en corte de la bomba en funcionamiento de carga moderada..	42
Ilustración 23 - Esquema hidráulico del banco de sensado de carga.	43
Ilustración 24 - Estructura para enfriador de aceite.	44
Ilustración 25 - Estructura anterior del banco.....	45
Ilustración 26 - Estructura actual del banco.....	45
Ilustración 27 - Base - soporte bomba hidráulica.	46
Ilustración 28 - Acople entre eje del motor y la bomba.....	47
Ilustración 29 - Presión en estado de compensación.....	48
Ilustración 30 - Dibujo en corte de ajuste del compensador.....	48

Ilustración 31 - Presión sensado de carga.	49
Ilustración 32 - Dibujo en corte de ajuste de sensado de carga.	49
Ilustración 33 - AEC028 limitador de carrera máxima.	50
Ilustración 35 - Tablero eléctrico principal del laboratorio de potencia fluida.	67
Ilustración 36 - Interruptor totalizador.	68
Ilustración 37 - Contactor del banco de sensado de carga.	68
Ilustración 38 - Pulsadores encendido/apagado.	69
Ilustración 39 - Control de simulacion de carga.	69
Ilustración 40 - Comando de movimiento del actuador.	70

LISTA DE GRAFICAS

Gráfica 1 - Comportamiento de la temperatura del aceite en banco prueba de bombas.	35
Gráfica 2 - Diagrama viscosidad - temperatura aceite mineral ISO 22, 32, 46, 68 Banco prueba de bombas.	36
Gráfica 3 - Diagrama RPM vs Potencia	53
Gráfica 4 - Eficiencia total de la bomba.	54
Gráfica 5 - Comportamiento de la temperatura del aceite en banco de sensado de carga.	55
Gráfica 6 - Diagrama viscosidad - temperatura aceite mineral ISO 22, 32, 46, 68 en el banco de sensado de carga.	56
Gráfica 7 - Curva Q y P en bomba con compensador para 300, 600, 900, 1200 psi de carga.....	56
Gráfica 8 - Potencia de la bomba AEC028	58
Gráfica 9 - Potencia de la bomba AEC028 (Gráfica de superficie).	59
Gráfica 10 - Rangos potencia de la bomba AEC028.....	59
Gráfica 11 - Curva de operación en la bomba con sensado de carga.	61
Gráfica 12 - Curva de operación de la bomba sin sensado de carga.	61
Gráfica 13 - Curva de operación en la bomba con sensado de carga.	63
Gráfica 14 - Curva de operación de la bomba sin sensado de carga.	63
Gráfica 15 - Curva de operación en la bomba con sensado de carga.	65
Gráfica 16 - Curva de operación de la bomba sin sensado de carga.	65
Gráfica 17 - Comparación de energía perdida en una bomba con sensado de carga vs una bomba compensada.....	66

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 - Tiempo de llenado del actuador	51
Tabla 2 - Toma de datos de presiones en operación del banco a 6,85gpm.....	60
Tabla 3 - Toma de datos de presiones en operación del banco a 4 gpm.....	62
Tabla 4 - Toma de datos de presiones en operación del banco a 2 gpm.....	64

LISTA DE ANEXOS

Anexo A - Manómetros de presiones de carga y de bomba en funcionamiento.....	73
Anexo B - Medición de temperatura en el tanque.....	73
Anexo C - Construcción de estructura del banco principal.....	74
Anexo D - Construcción estructura del banco de control.	74
Anexo E - Elementos estructurales añadidos.....	75
Anexo F - Manual de uso del banco de prueba de bombas.....	75

RESUMEN

TÍTULO: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE SENSADO DE CARGA A PARTIR DEL BANCO DE PRUEBA DE BOMBAS DEL LABORATORIO DE POTENCIA FLUIDA

AUTORES: Diego Alejandro Tarazona Villabona; Jaime Andrés González Caballero

PALABRAS CLAVES: Sensado de carga, diseño, potencia fluida, bomba, hidráulica, banco de pruebas.

Descripción: El objetivo de este proyecto de grado es el diseño y construcción de un circuito hidráulico para la implementación del sistema de sensado de carga al banco de prueba de bombas presente en el laboratorio de potencia fluida de la universidad industrial de Santander, además del diseño estructural para la implementación de componentes que van a desarrollar una mejora en el uso del banco.

El motivo principal fue la necesidad de un sistema que regule la potencia de forma automática para la demostración y uso práctico de los estudiantes de la materia potencia fluida en ingeniería mecánica. La idea surge después del uso casi obsoleto del antiguo banco de prueba de bombas, el cual suspendió su actividad primaria que era hacer el montaje de diferentes tipos de bombas hidráulicas (engranajes, paletas y pistones), esto por el desperdicio de aceite que se presentaba en cada cambio y representaba un alto costo en cuanto a repuesto de aceite. Luego de esto el banco demostraba el funcionamiento de una única bomba de pistones compensada y servía para hacer cálculos sencillos en cuanto a potencia hidráulica. De igual modo se requería una disminución del ruido producido durante el funcionamiento del banco y un sistema de enfriamiento para controlar la temperatura del aceite depositado en el tanque.

Para la construcción e instalación de componentes se requirió la ayuda de los técnicos de la escuela de ingeniería mecánica, quienes estuvieron presentes supervisando los procedimientos realizados. Se usaron herramientas como FluidSim para realizar el esquema hidráulico y SolidWorks para crear los planos de algunas piezas fabricadas y el dimensionamiento de la estructura. Para la construcción del sistema se usaron válvulas de las marcas Parker, Vickers, Rexroth y la bomba Eaton Vickers.

ABSTRACT

TITLE: DESIGN AND CONSTRUCTION OF A LOAD SENSING SYSTEM BASED ON THE PUMP TEST BENCH OF THE FLUID POWER LABORATORY

AUTHORS: DIEGO ALEJANDRO TARAZONA VILLABONA, JAIME ANDRES GONZALEZ CABALLERO

KEY WORDS: Load sensing, Design, Pump, Fluid power, Test bench, Hydraulics.

DESCRIPTION: The objective of this project is the design and construction of a hydraulic circuit for the implementation of the load sensing system to the pump test bench present in the fluid power laboratory of the Universidad Industrial de Santander, in addition to the structural design for the implementation of components that will develop an improvement in the use of the test bench.

The main reason was the need for a system that regulates the power automatically for the demonstration and practical use of the students of fluid power in mechanical engineering. The idea arises after the almost obsolete use of the old pump test bench, which suspended its primary activity, which was to assemble different types of hydraulic pumps (gears, vane and pistons), due to the waste of oil that it had at each change and represented a high cost in terms of oil replacement. After this, the bench demonstrated the operation of a single compensated piston pump and was used to make simple calculations regarding hydraulic power. In the same way the test bench needed a reduction in the noise produced during the operation and a cooling system to control the temperature of the oil deposited in the tank.

For the construction and installation of components, the help of technicians from the mechanical engineering school was required, who were present supervising the procedures carried out. Tools such as FluidSim were used to make the hydraulic diagram and SolidWorks to create the blueprints of some manufactured parts and the dimensioning of the structure. For the construction of the system we used valves of the Parker, Vickers and Rexroth brands and the Eaton Vickers pump.

GLOSARIO

Sensado: Acción realizada por un sensor en la lectura o medición del cambio en el entorno.

Compensado de presión: Equilibra el nivel de presión del sistema permitiendo el paso directo a tanque, permitiendo alargar la vida de los componentes, también es utilizado como seguridad.

INTRODUCCIÓN

En el laboratorio de potencia fluida de la escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial de Santander se busca fomentar el desarrollo de habilidades para diseñar y conducir experimentos, analizar e interpretar datos. Actualmente se pueden encontrar sistemas y herramientas que debe usar un ingeniero en su día a día como sistemas de elevación, control de hidro-transmisión, servosistemas y demostraciones de funcionamiento de motores y válvulas, sin embargo, este no cuenta un circuito hidráulico con un sensado de carga, que regule la potencia del sistema de forma automática. de tal forma que este concepto aún no se puede mostrar a los estudiantes. Dicho tema es de suma importancia, debido a que su aplicación en unidades de potencia hidráulica proporciona gran seguridad a los equipos y a sus operarios y prolonga la vida útil de las partes que lo componen. Además, presenta problemas entre los que se puede destacar la ausencia de un sistema de refrigeración para el fluido, un circuito hidráulico inconcluso, excesivas vibraciones, ruido y ausencia de soportes en la estructura. Por estas razones surge la necesidad de diseñar un banco con el que se pueda realizar el correcto proceso.

Para suplir la ausencia de un sistema que regule la potencia de forma automática se requiere diseñar el circuito hidráulico con la implementación del sensado de carga de tal forma que se utilizará el circuito propuesto por el profesor de la escuela de ingeniería mecánica Abel Parada, en el que se hará uso del banco de prueba de bombas, implementando el nuevo circuito, añadiendo una bomba de pistones Eaton Vickers con sensado de carga, será instalada luego de hacer un estudio completo de cada elemento del banco para garantizar que todo funcione correctamente, en esta fase se analizan los elementos que hacen falta para el nuevo circuito cómo lo son los “adaptadores”, aceite y las mangueras. La estructura se diseña de manera que pueda soportar el peso del motor y la bomba junto con sus acoples y elementos de sujeción, además de dar seguridad frente a todas las cargas que se presenten para el momento de encender el sistema, se hará el estudio de la configuración conveniente.

La placa que se encuentra sujetando el motor se retira para reemplazarla por otra pieza que, acompañada de cauchos anti vibratorios se aísla del movimiento del motor, esto hará una disminución del ruido producido por el funcionamiento del

banco.

Para la variación de la presión y poder comprobar el principio de sensado de carga se simulará la carga por medio del aumento de la presión en una válvula de seguridad pilotada venteeable luego de una reguladora de caudal, esto con el fin de evitar la manipulación de objetos pesados por los estudiantes en el laboratorio.

En lo que respecta a la solución del sobrecalentamiento de aceite y por tanto del tanque de almacenamiento de este se implementará un enfriador tipo cooler que recibirá el aceite proveniente del banco administrando un enfriamiento con ayuda de la transferencia de calor ejercida por el aire del ventilador del enfriador, para luego hacer un filtrado previo al depósito del aceite en el tanque

1. OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO

1.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar un sistema de demostración experimental de sensado de carga, adecuando el banco de prueba de bombas del laboratorio de potencia fluida.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Hacer un diagnóstico general del banco de prueba de bombas del laboratorio de potencia fluida en búsqueda de requerimientos para la implementación del sistema de sensado de carga.
- Diseñar un sistema hidráulico de detección de carga que realice un control y ahorro de potencia que opere a caudal constante de 7 [gpm], una presión por debajo de 1800 [psi] y una potencia de máximo 10 [Hp].
- Evaluar el rendimiento del nuevo circuito hidráulico y funcionamiento del ahorro de potencia según los parámetros mencionados.

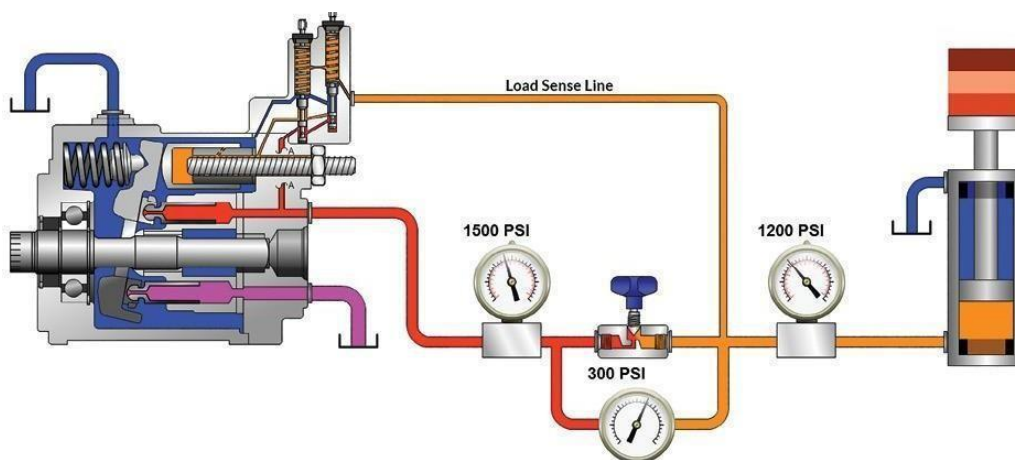
2. SÍNTESIS DEL BANCO

El banco de sensado de carga implementado para el laboratorio de potencia fluida es una herramienta de estudio para comprender el funcionamiento de una bomba con un sistema de load sensing. Este banco muestra el ajuste mecánico que hacen los compensadores para obtener distintos valores de presión y caudal para reducir o aumentar la potencia entregada. En él se pueden realizar prácticas complementarias para entender conceptos de la materia en cuestión.

Para entender por completo este banco el estudiante debe comprender inicialmente como es la operación de una bomba de pistones axiales y la función del compensador, de igual forma debe tener clara la función de las distintas válvulas que conforman el sistema.

El sistema de sensado de carga se basa en un pequeño compensador que se encarga de comparar la presión que está descargando la bomba contra la presión que siente el sistema debido a la carga que se imponga, esta última es menor debido a la caída de presión que se produce en una reguladora de caudal compensada. Dicha reguladora es la que permite apreciar el fenómeno de ajuste de la bomba ya que es la que produce un delta de presión y permite realizar la variación en la inclinación de la placa basculante cuando la carga tenga un cambio.

Ilustración 1 - Esquema simplificado de funcionamiento de la bomba con sensado de carga y su retroalimentación por la presión impuesta por carga.



Fuente: Mobile hydraulic tips

En la práctica lo más importante es la lectura de datos, por esto el banco cuenta con dos manómetros, el primero está ubicado en la descarga de la bomba para leer la presión que sale de esta. El segundo se ubica después de la reguladora de caudal como medidor de la carga en el sistema. Con estos instrumentos de medición se puede apreciar que la presión de la carga se ve afectada inmediatamente mientras que la presión de la bomba se va ajustando por la acción del compensador de sensado de carga que está en constante funcionamiento.

Por ahorro de espacio y para evitar la manipulación de objetos pesados el banco trabaja con una válvula de simulación de carga en lugar de masas en el actuador. Esta es una válvula de seguridad pilotada venteeable ubicada después de la reguladora de caudal la cual puede variar la presión a vencer por el aceite hasta un valor de 3000 [psi], por seguridad la bomba está ajustada en su compensador de presión para que no supere el valor de 1500 [psi], al momento de llegar a esta presión la bomba varía la inclinación de su placa interna para entrar en modo de desplazamiento mínimo lo que no le permite enviar más caudal para proteger el sistema.

La bomba de pistones axiales de desplazamiento variable con dos compensadores es el elemento principal del banco de pruebas, por esta razón, en el diseño del sistema hidráulico se debe estudiar detalladamente cada parte que lo conforma para su buen funcionamiento.

2.1 COMPOSICIÓN DEL BANCO

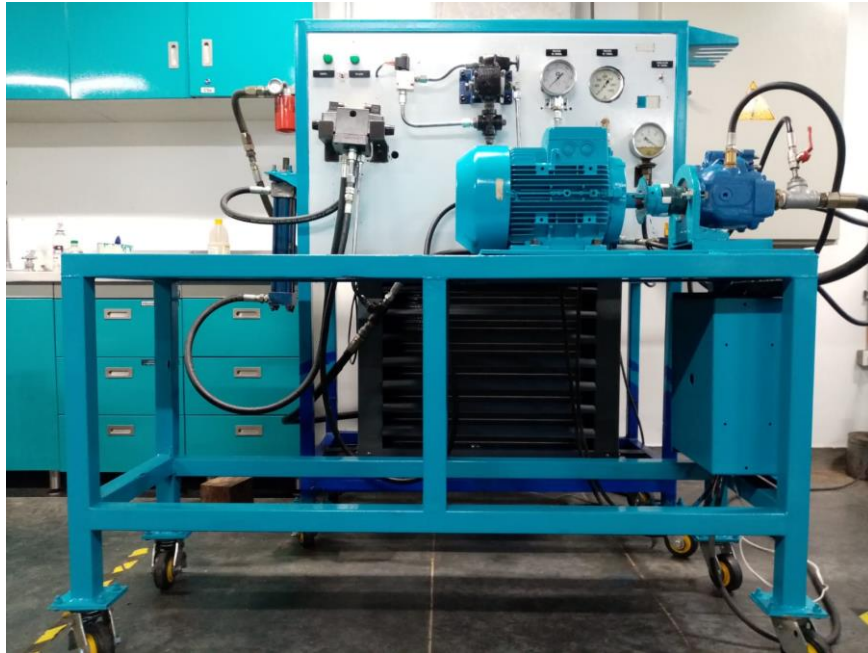
El banco de sensado de carga está compuesto por distintos sistemas, principalmente un sistema de bastidor, seguido de un sistema de transmisión de potencia, por último, un sistema de potencia hidráulica y de actuadores hidráulicos.

2.2 SISTEMAS

2.2.1 Sistema de bastidor

Tiene la función de sujeción de los componentes tales como el motor eléctrico, la bomba, así como también los componentes de control hidráulico.

Ilustración 2 - Bastidor



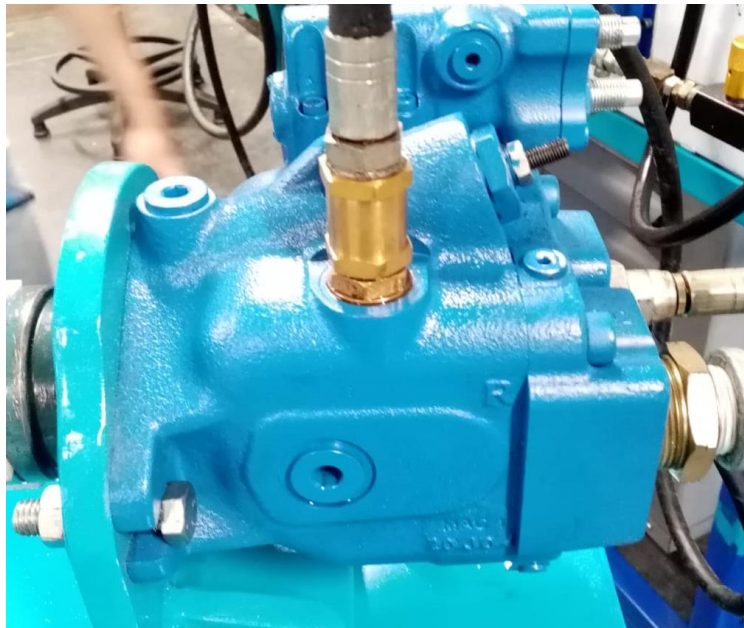
Fuente: Autores

2.2.2 Sistema de potencia hidráulica y actuadores.

2.2.2.1 Bomba hidráulica.

Este componente es capaz de transformar energía para suministrar el empuje necesario para que el fluido pueda cumplir su función. La bomba utilizada en este trabajo de grado es Eaton Vickers serie AEC028 (bomba de pistones axiales de desplazamiento variable con sensado de carga) de 0.28 cc/rev. Se puede instalar de modo que funcione únicamente su compensador de presión a 4500 psi (máximo) o con su sistema LS que puede trabajar en un rango de 300 a 609 psi.

Ilustración 3 - Bomba de pistones axiales con sensado de carga.



Fuente: Autores

2.2.2.2 Reguladora de caudal.

Se cuenta con una reguladora de caudal compensada por restricción con la que se controla el flujo de aceite al sistema junto con el diferencial de presión por medio del estrangulamiento. Este tipo de válvulas de control de caudal tienen la capacidad de mantener el valor de caudal constante durante funcionamientos de presión variable. Esta válvula es una Parker Flow controller Easy Read EF 30 S.

Ilustración 4 - Reguladora de caudal compensada por presión.



Fuente: Autores

2.2.2.3 Válvula de seguridad pilotada venteable.

Está encargada de producir una oposición al flujo, produciendo de tal forma una carga, dicha carga puede ser variable según el ajuste del tornillo de compresión. La válvula está instalada con su puerto de pilotaje normalmente venteado (permitiendo el flujo libre al sistema) gracias a una válvula direccional 2/2, esta se activa por medio de un solenoide para cerrar el paso al puerto piloto y hacer la simulación de una carga que exige presión para hacer su movimiento.

Ilustración 5 - Válvula de seguridad pilotada con venteo.



Fuente: Autores

2.2.2.4 Válvula de seguridad.

Se tiene una Rexroth DBDS 10 en el sistema. Esta válvula protege todos los elementos componentes en el circuito hidráulico, controlando un nivel de presión máximo. Para el banco de sensado de carga esta válvula es un segundo nivel de seguridad, principalmente para hacer la descarga a tanque si llega a fallar por algún motivo el compensador.

Ilustración 6 - Válvula de seguridad.



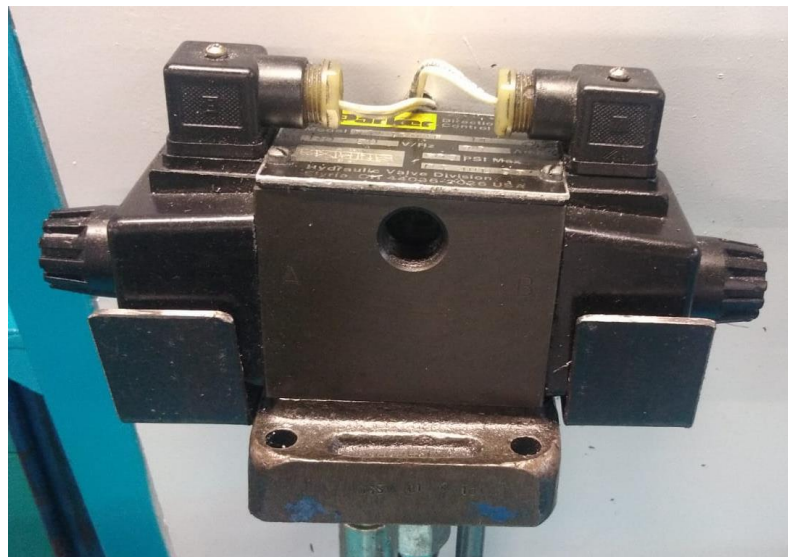
Fuente: Autores

2.2.2.5 Válvula direccional.

Es la encargada de controlar el actuador dirigiendo su funcionamiento en una dirección u otra, permitiendo o bloqueando el paso de aceite al tanque o al actuador.

La válvula direccional es de la marca Parker serie D3W4CNYP 14.

Ilustración 7 - Válvula direccional.



Fuente: Autores

2.2.2.6 Cilindro actuador.

El cilindro hidráulico o actuador lineal es utilizado para empujar o tirar de una carga

por medio de la presión de un fluido. En él se puede observar la conservación del caudal gracias a la reguladora y cuando la bomba se ajusta en modo de cero caudal el cilindro no se mueve con las órdenes de la válvula direccional. En este banco el actuador Vickers Serie W31 funciona principalmente para ver el comportamiento del caudal en el banco de pruebas, puesto que la carga va a ser controlada por la válvula de seguridad pilotada ya mencionada.

Ilustración 8 - Cilindro hidráulico.

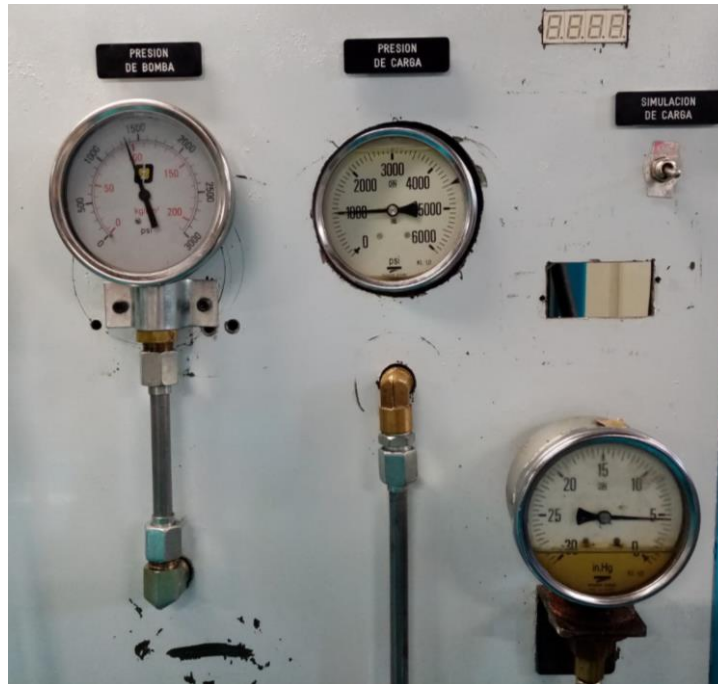


Fuente: Autores

2.2.3 Sistema de medición y control

Estas herramientas tienen como propósito hacer que el estudiante logre ver la medida real de presión del fluido y presión de vacío. Los medidores analógicos permiten ver todos los valores necesarios del circuito hidráulico.

Ilustración 9 - Manómetros y vacuómetro del sistema.



Fuente: Autores

2.2.3.1 Manómetro 1: sensado de carga

Un primer manómetro se ubica en la parte frontal del banco para hacer la lectura de la presión justo a la entrada de la válvula de seguridad que hace la tarea de simular carga.

Ilustración 10 - Manómetro sensado de carga

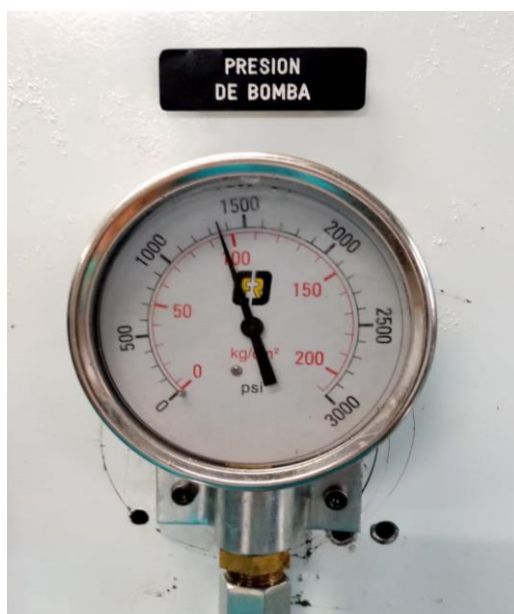


Fuente: Autores

2.2.3.2 Manómetro 2: presión de trabajo

El otro manómetro del banco se encuentra justo al lado del anterior para hacer más fácil la lectura de comparación de las presiones, este mide la presión de descarga de la bomba.

Ilustración 11 - Manómetro de presión de la bomba.



Fuente: Autores

2.2.3.3 Vacuómetro

Este elemento mide la presión de succión de la bomba, se llama presión de vacío porque se encuentra por debajo de la presión atmosférica.

Ilustración 12 - Vacuómetro del sistema.



Fuente: Autores

2.2.4 Elementos complementarios esenciales

2.2.4.1 Tanque.

El tanque de aceite es el lugar del cual se hace la succión de fluido para la bomba y también es el depósito al cual este va a llegar luego de completar su recorrido por el sistema. Para este banco el tanque fue construido a la medida como parte de un proyecto anterior del laboratorio, en dicha ocasión fue diseñado para una capacidad de 95 litros.

Ilustración 13 - Tanque del sistema.



Fuente: Autores

2.2.4.2 Filtro.

Este componente tiene la función de mantener limpio el aceite captando las partículas contaminantes, ya que, la mayoría de las fallas en elementos hidráulicos se debe a la presencia de suciedad. El banco cuenta con un filtro Baldwin BT260 de 10 micrómetros y está ubicado en el retorno a tanque, se hace la instalación en este punto debido a que se tiene una bomba de alto rendimiento y colocar el filtro en la succión podría provocar fallas por cavitación.

Ilustración 14 - Filtro hidráulico.



Fuente: Autores

2.2.4.3 Enfriador de aceite.

Este enfriador es de tipo de enfriador por aire forzado, tiene un ventilador de hélice, que permite al aceite que entra al componente enfriarse en su retorno al estanque para mantener la temperatura óptima del sistema.

Ilustración 15 - Enfriador de aceite hidráulico.



Fuente: Autores

3. DIAGNOSTICO GENERAL

Se realizó un diagnóstico del funcionamiento del banco, en el cual se pudo evidenciar una serie de fugas hidráulicas principalmente en el cilindro actuador. dicho cilindro tenía un historial de fallas en el que se encontraba la rotura de los sellos, tanto el inferior como el superior, así como también la baja velocidad de actuación de este.

Haciendo un pequeño análisis de falla se pudo llegar a una conclusión y origen del problema. El circuito hidráulico contaba con un fallo en el diseño, debido a esto, existía una contrapresión en la entrada y salida del cilindro, por esta razón se generaba una rotura en los sellos al momento de alcanzar la posición máxima.

Por esta razón también se afectaba la velocidad de actuación, pero una vez solucionado el problema anterior, se pudo reflejar pérdidas de caudal significantes en la válvula direccional.

En referencia al recorrido del aceite, se hallaron bajas pérdidas de caudal en la válvula de seguridad principal, y un ascenso en la temperatura que ingresaba en el tanque de aceite, también, como parte del circuito hidráulico se hallaba conectado un caudalímetro inoperante ya que no realizaba lectura alguna y solo estaba funcionando como medio de comunicación de un punto a otro, dicho componente no contaba con la capacidad de soportar la alta presión de funcionamiento, pero debido a la mala conexión que presentaba el circuito hidráulico, nunca se generó un fallo en cuanto a fugas en dicho componente. Este elemento se desmontó para encontrar una forma de ponerlo nuevamente en operación, pero sus engranajes internos se encontraban bloqueados. Este bloqueo era la pérdida de caudal principal del sistema, por esta razón se decide retirar el elemento.

En cuanto a la estructura, esta presentaba desnivel en una de las cuatro ruedas debido a que esta no entraba en contacto con el suelo, dicho desnivel en ocasiones generaba roces con el suelo ocasionando ruidos; la base en la que se encontraba asegurada el motor tenía contacto con una parte del metal de la estructura y junto al roce originado por los cajones que integraban el banco provocaban un alza notable en el nivel de ruido.

Ilustración 16 - Antigo banco de prueba de bombas.



Fuente: Autores

3.1 ESTADO DE LOS COMPONENTES HIDRÁULICOS

El banco de prueba de bombas del laboratorio de potencia fluida cuenta con unos componentes que tienen alta longevidad, por esta razón se pudieron hallar varios componentes actuando de forma ineficiente.

3.1.1 Cilindro hidráulico

Debido al fallo repetitivo en los sellos se producía una fuga externa de aceite, así como también se presentaron pequeñas rayaduras en el vástago y fisuras en su carcasa externa.

3.1.2 Válvula direccional

La válvula direccional que disponía el circuito hidráulico estuvo en funcionamiento durante un largo periodo de años, luego de ser donada a la escuela, por dicha razón

la placa base de conexión fue cambiada por una fabricada no original.

3.1.3 Válvula de seguridad

Presentaba un atasco en el retorno del vástago, esto se ejercía cuando debía entrar en funcionamiento esta válvula.

3.1.4 Bomba hidráulica

Esta bomba hidráulica se encontraba en perfecto estado, no presentaba ningún tipo de fugas y actuaba correctamente la compensación de presión, pero no contaba con la capacidad de sensar carga,

3.1.5 Válvula de seguridad (simuladora de carga)

En perfecto estado, no presentaba fugas tanto internas como externas y la regulación en la presión tenía un correcto funcionamiento.

Las mangueras con las que contaba el banco de prueba de bombas resisten hasta 2660 psi así que a todas se les dio uso y se tuvo en cuenta este dato para el diseño por debajo de esta presión. La mayoría de los componentes del banco se encontraban en buen estado por lo que muchos fueron reutilizados para el nuevo proyecto, tanque, válvulas de paso, manómetros, filtros y toda la parte eléctrica son algunos elementos que se usaron en el banco de sensor de carga.

3.2 SISTEMA DE GENERACIÓN DE POTENCIA

El sistema cuenta con un motor Siemens de 12 HP a 1800 rpm, este motor se encuentra en perfecto estado.

Producto de las altas vibraciones en el sistema y la desalineación angular en los ejes del motor y la bomba, el acople flexible se separaba constantemente poniendo en riesgo distintos elementos y el rendimiento a la vez que generaba altos niveles de ruido.

Ilustración 17 - Estado del acople producto de las vibraciones.



Fuente: Autores

3.3 LÓGICA HIDRÁULICA

Al momento de hacer un esquema hidráulico del banco de prueba de bombas se encontró que la válvula direccional estaba conectada en dos de sus puertos a la línea de presión de la bomba, este era el motivo del fallo de los sellos en el actuador ya que cuando se daba la orden de cambio de posición se generaban contrapresiones que dañaron inicialmente los cauchos hasta que se logró el daño de la estructura de este cilindro.

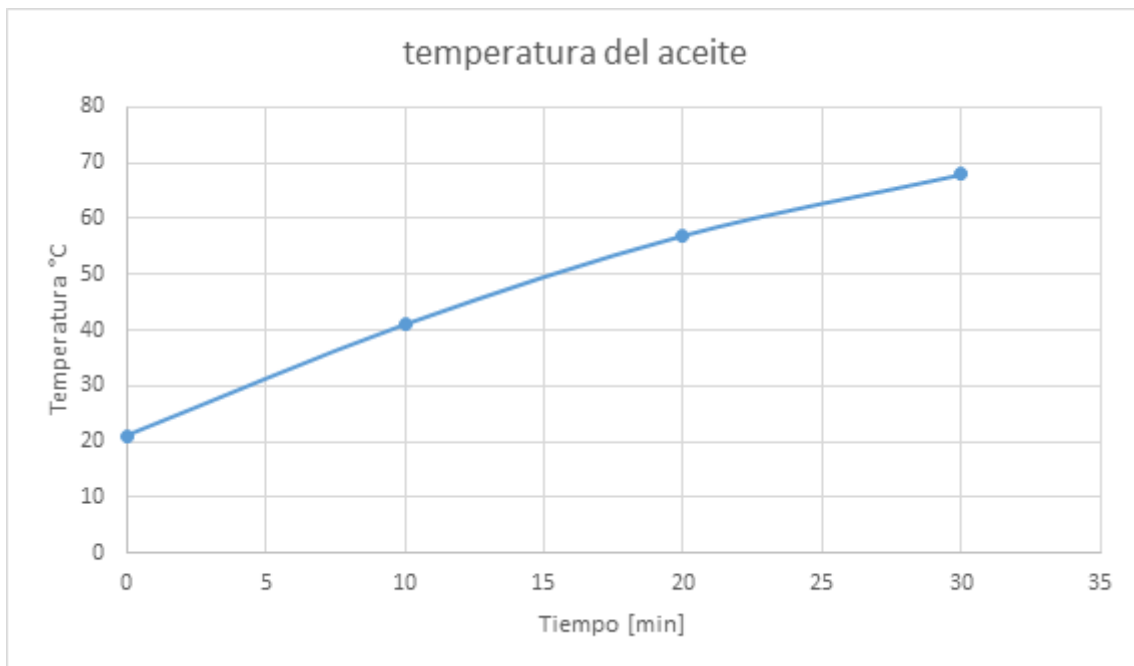
Luego de hacer el cambio del cilindro y conectar correctamente los puertos de la válvula direccional, se puso en funcionamiento del sistema, pero la velocidad con la que se movía el vástago del actuador no correspondía con el caudal enviado por la bomba, por lo que se analizó cada componente hasta llegar a la raíz de las altas pérdidas de caudal. El problema era generado por un caudalímetro que se encontraba mecánicamente bloqueado.

3.4 TEMPERATURA DEL FLUIDO

El banco de prueba de bombas no contaba con un sistema de enfriamiento por lo cual su uso se restringía a unos pocos minutos para cuidar el estado del aceite y los componentes hidráulicos.

A continuación, se muestra la gráfica del comportamiento de la temperatura con el paso del tiempo mientras que el banco se encontraba en operación:

Gráfica 1 - Comportamiento de la temperatura del aceite en banco prueba de bombas.

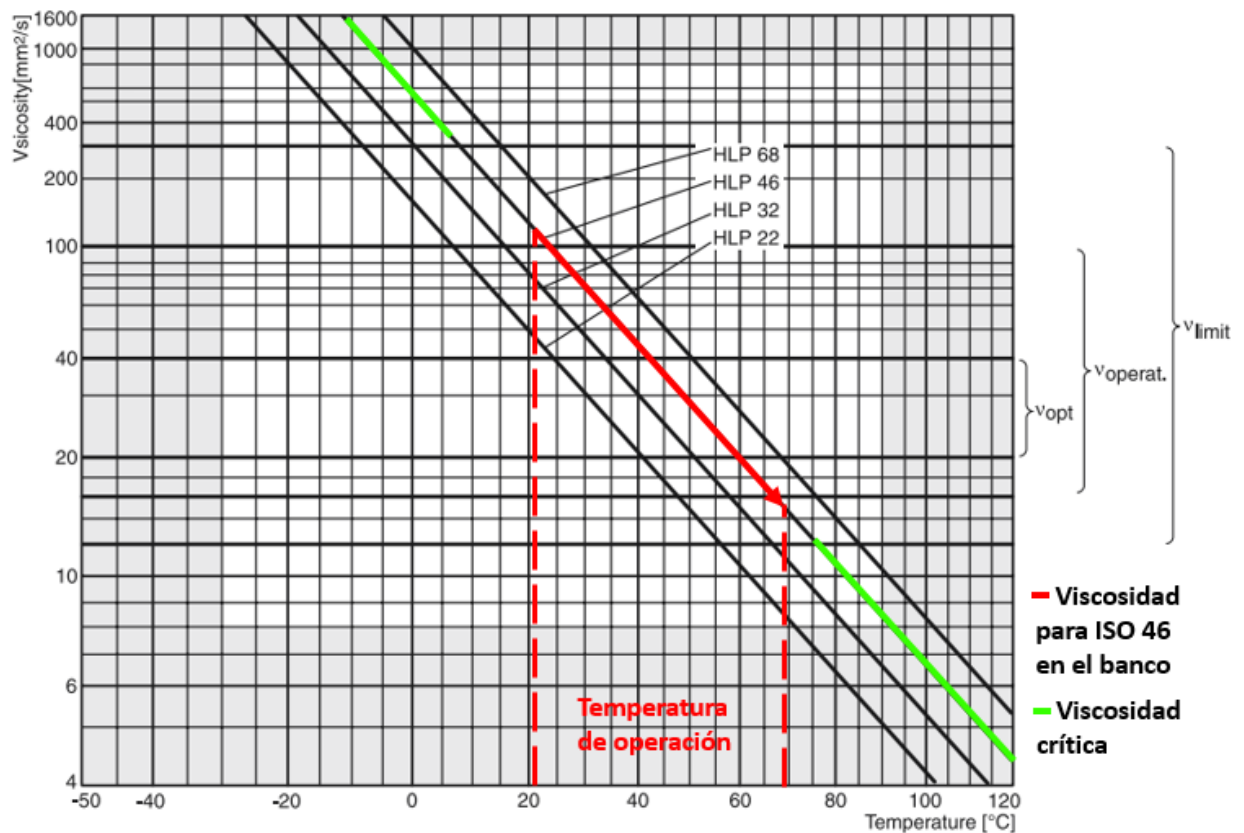


Fuente: Autores

La toma de datos se realizó hasta los treinta minutos y en este punto la temperatura alcanzó un valor de 68 °C en el tanque, en este punto se decide no continuar con el experimento para cuidar el estado de cada parte del banco pues fabricantes de algunos elementos incluyendo el mismo aceite ISO 46 recomiendan trabajar hasta un máximo de 70 °C. Superando esta temperatura del rango operable el aceite no cumple de manera correcta con su papel por los valores de viscosidad que obtiene.

Gráfica 2 - Diagrama viscosidad - temperatura aceite mineral ISO 22, 32, 46, 68

Banco prueba de bombas.



Fuente: Parker catalogue HY11-3500/UK

Este diagrama da claridad de la situación que se presenta con el aceite en este banco (ISO 46). Para una práctica que tome más de veinticinco minutos con el equipo en funcionamiento la viscosidad del aceite superaría el valor operativo y para el caso de un funcionamiento de más de treinta minutos el fluido excede los límites de viscosidad para un sistema hidráulico.

3.5 ESTRUCTURA

La estructura del anterior banco estaba dividida en dos partes, el primer chasis es un tablero donde se dejaba ver cada parte del sistema y en la parte de atrás de este se encontraba el tanque elevado. El segundo chasis es a manera de mesa donde en la parte superior se encontraba el motor eléctrico con la bomba de pistones y en la parte baja de este se encontraban unos cajones para almacenar herramientas de la práctica correspondiente al banco, por último, al lado derecho de esta mesa estaba la caja de distribución de alimentación eléctrica.

La mesa que se encontraba en la parte de adelante era el mayor problema en cuanto a estructura, los cajones no tenían ningún uso ya que se movían mucho producto de las vibraciones exageradas, en estos no se podía guardar nada porque aumentaba el ruido, además, estos no contaban con rieles, sino que se encontraban puestos sobre unos ángulos. Otro problema preocupante era la instalación del motor que se encontraba sobre unos rieles que posiblemente eran el origen de la desalineación de los ejes, estos rieles no aislaban la vibración del motor y no permitían hacer una adaptación para evitar este inconveniente.

4. DISEÑO

El diseño del banco se hizo en torno a la bomba de sensado de carga que es el elemento principal de este trabajo de grado. Inicialmente se planteó un circuito en el plan de trabajo, pero tuvo unas ligeras modificaciones que surgieron durante la fase de construcción. Los principales factores a tener en cuenta en el diseño son los valores del caudal entregado y la presión en el sistema, valores que se analizaron detenidamente en cada etapa de la construcción del banco. El diseño comprende parte estructural, de lógica hidráulica y una parte matemática por lo que a continuación se habla de cada una de estas por separado.

4.1 MODELAMIENTO DEL SISTEMA

Se busca cumplir con el objetivo de demostrar experimentalmente un sistema de sensado de carga, por lo tanto, se debe establecer primero cuales son los fenómenos que ocurren en una bomba de estas características para plantear un circuito hidráulico adecuado.

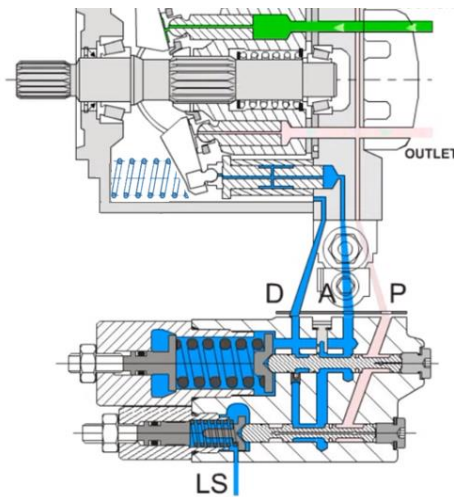
La bomba envía aceite al sistema por medio de pistones axiales que van rotando sobre una placa llamada placa de presión. Esta placa puede variar su inclinación para aumentar o disminuir la carrera de los pistones. La variación del desplazamiento de la bomba se hace con dos elementos principales, el resorte de ajuste de la placa y el pistón principal que hace una fuerza contraria al resorte a medida que se llena su cámara.

Este pistón que sirve para ajustar la posición de la placa de presión se controla por medio de puertos internos que van conectados a dos carretes. El primer carrete que se encuentra adjunto a la bomba es el comandado por el resorte más fuerte y la presión de la bomba, todo este sistema junto es el compensador de presión. El segundo carrete se mueve por la acción de un resorte de menor tamaño sumado a

una presión proveniente del sistema y en sentido opuesto la presión de la bomba, esto se llama sensado de carga (LS) y es un compensador que va a estar haciendo ajuste de manera constante.

Cuando la bomba se encuentre en reposo ambos resortes van a desplazar los carretes para que se conecte la cámara del pistón principal con el drenaje de la bomba. Esto sucede a una presión mínima por lo que el resorte de ajuste de la placa va a empujar el pistón vaciando la cámara por completo, de esta manera la bomba queda en una posición de desplazamiento máximo.

Ilustración 18 - Dibujo en corte de la bomba de estado en reposo.



Fuente: *Mobile hydraulic tips*

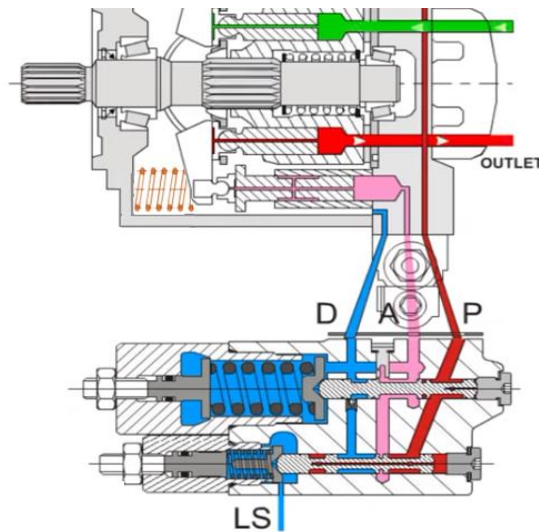
El sistema que se implementa en el laboratorio de potencia fluida tiene una reguladora de caudal para conseguir una caída de presión considerable. Con esta diferencia de presiones entre la descarga y la carga simulada se obtiene un buen funcionamiento del segundo compensador (LS). Este compensador llega a su punto central o de equilibrio cuando al sumar la presión del resorte con la presión de la línea de la carga se obtiene la misma presión que envía la bomba al sistema.

Es importante saber que la bomba tiene un puerto adicional en su compensador LS, por este puerto es por donde ingresa el aceite que llega con la presión impuesta por la carga. Hay distintas configuraciones de circuitos hidráulicos LS, una opción es ubicar la línea que llega al sensado de carga luego de un bloqueo como el de una válvula direccional. Con esta configuración se logra un estado de compensación durante el bloqueo y la presión mínima en la línea LS, con esto se hace un ahorro

de potencia ya que se consigue el desplazamiento cero de la bomba con una presión menor. La presión que descarga la bomba se encarga de comprimir el resorte LS para llenar la cámara del pistón de ajuste, en este momento la bomba tiene la presión ajustada previamente en el compensador menor.

Ilustración 19 - Dibujo en corte de la bomba en compensación sin presión en puerto

LS.



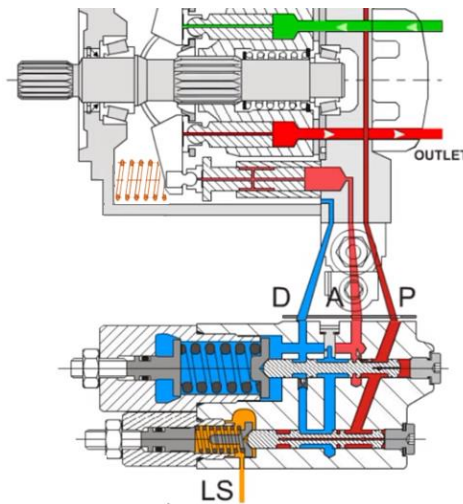
Fuente: *Mobile hydraulic tips*

El recorrido que debe cumplir el aceite es el siguiente; Bomba, manómetro 1, reguladora de caudal, manómetro 2 y válvula simuladora de carga. Según el esquema propuesto para este proyecto, la compensación se puede dar de dos formas. El circuito cuenta con una opción de bloqueo antes de la línea LS, esta es con la reguladora de caudal. Al cerrar por completo esta reguladora se obtiene la compensación a baja presión que se mencionó anteriormente. La segunda forma de entrar en compensación es a una presión más alta, esta se usa normalmente para limitar la presión de trabajo y así no exceder los límites del sistema.

Para obtener este estado la línea LS se debe acumular de presión hasta llegar al mismo valor de presión máxima de descarga de la bomba. Esta presión sumada a la presión que ejerce el resorte LS provocan que el carrete se mueva y bloquee los puertos. Con los puertos del compensador menor cerrados, el único camino por el que puede pasar el aceite es por el carrete del compensador principal, la presión del hidráulico comprime el resorte de mayor tamaño para que el carrete permita el flujo

de aceite al pistón de ajuste de la placa de presión. De esta forma la bomba queda en su desplazamiento cero, pero con una presión acumulada mucho más alta (ajustada en el compensador). Para poder acumular la presión en la línea LS hacemos uso de una válvula de seguridad, con esta se puede exigir una presión mayor a la presión ajustada del compensador.

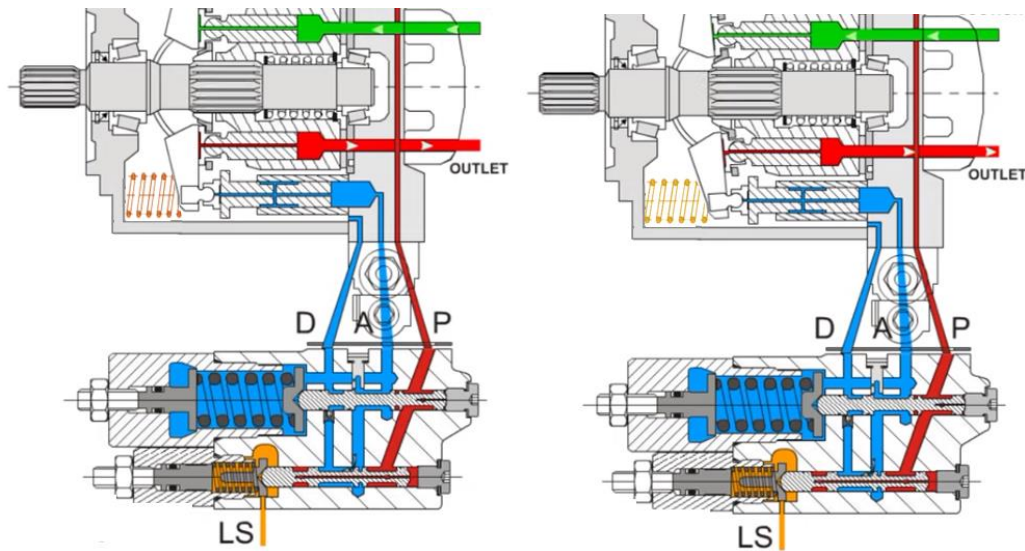
Ilustración 20 - Dibujo en corte de la bomba en compensación a alta presión.



Fuente: *Mobile hydraulic tips*

El compensador principal va a actuar únicamente en casos de limitación de presión en el sistema, pero el compensador LS siempre va a estar en constante movimiento, este carrete va a permitir el paso del aceite al pistón principal o la salida de líquido de este. Las variaciones en la inclinación de la placa o el paso de aceite se van a dar por los cambios en la presión de la carga, cualquier perturbación se va a sentir instantáneamente en la línea LS, lo que permite un ligero movimiento del carrete para ajustar el desplazamiento. En el caso de un aumento en la carga (En la válvula simuladora de carga para el caso del banco) la línea LS aumenta su fuerza para desplazar el carrete a la derecha en la imagen, de modo que conectan los puertos de drenaje con el pistón y el aceite que se encuentra en la cámara de este pistón de ajuste se ve obligado a salir por la acción del resorte de ajuste.

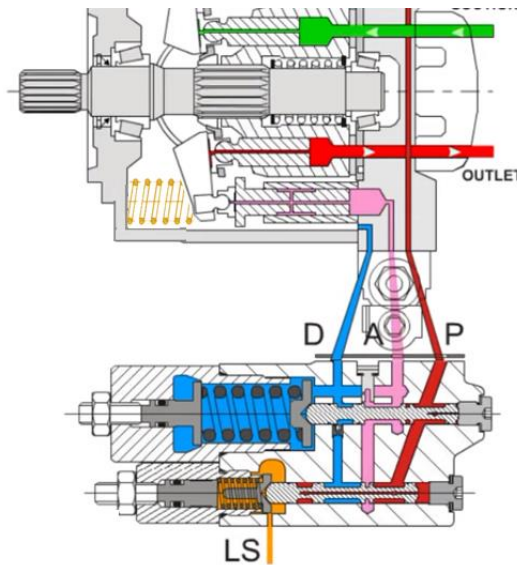
Ilustración 21 - Dibujo en corte de la bomba en aumento de su desplazamiento por ajuste de LS



Fuente: Mobile hydraulic tips

Para el caso de una disminución de la carga lo que sucede internamente es que se pierde fuerza en la línea LS y por un corto periodo de tiempo el aceite que viene de la línea de descarga de la bomba va a tener mayor fuerza, esto hace que el carrito se mueva a la izquierda y el aceite entre con presión a la cámara del pistón de ajuste. Esto sucede de forma casi instantánea y disminuye el desplazamiento de la bomba. Este carrito del compensador LS tiene la función de mantener un equilibrio en las presiones de la carga y el puerto de descarga.

Ilustración 22 - Dibujo en corte de la bomba en funcionamiento de carga moderada.



Fuente: Mobile hydraulic tips

4.2 DESARROLLO DEL CIRCUITO HIDRÁULICO

Se parte desde tanque elevado del que se hace la succión del aceite, para verificar que esta succión se haga de manera correcta se instala un vacuómetro justo antes de la entrada a la bomba, luego viene la bomba en donde está el fenómeno a estudiar principalmente en este banco.

En la línea de descarga de la bomba se encuentra el primer manómetro que va a medir directamente la presión a la que está trabajando la bomba. En seguida hay una válvula reguladora de caudal por restricción, esta cumple dos tareas importantes, crear el diferencial de presión para que se cumpla el balance de fuerzas en el sensado de carga y mantener el caudal fijo para así obtener un sistema compensado a caudal constante.

Luego del paso por la reguladora se encuentra un nodo del cual salen tres mangueras que conectan; El segundo manómetro, El puerto LS y La válvula de simulación de carga.

La válvula de simulación de carga es una válvula de seguridad pilotada que se conecta con su puerto de venteo para escoger el momento de entrar en funcionamiento o aliviar la carga del sistema para ajustar fácilmente la presión de la misma. Esta válvula se puede ajustar para una presión superior al compensador de la bomba, de esta manera se puede explicar la compensación en bombas.

Seguido de esta válvula es donde se hace una modificación al esquema planteado

4.3 DESARROLLO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL

El primer elemento que se decide instalar en el banco es el enfriador de aceite. Por su gran tamaño y por comodidad para los estudiantes y profesores que usen el banco, se toma la decisión de instalar el intercambiador de calor en la estructura posterior debajo del tanque, ahí se contaba con el espacio suficiente para adecuar el chasis y es un lugar cercano para hacer las conexiones del motor eléctrico que mueve las aspas y también de las mangueras hidráulicas.

Para esta reestructuración se cortaron unos ángulos para ubicarlos en la parte más baja, a su vez, se usaron perfiles de acero de 4cm x 4cm para unir todas las partes de la estructura y dar soporte al enfriador de aceite. Luego se soldaron las placas de sujeción de los tornillos para evitar posibles balanceos en un movimiento del banco. Por último, se colocaron cauchos anti vibratorios para aislar cualquier perturbación causada por el movimiento de este dispositivo.

Ilustración 24 - Estructura para enfriador de aceite.

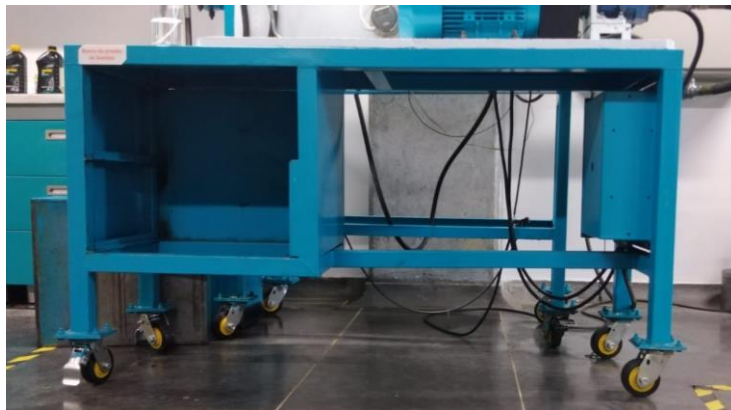


Fuente: Autores

En el banco principal, debido al cambio de la bomba hidráulica además de los fallos estructurales en cuanto ruido producido por la estructura de sujeción del motor y

bomba, se determina reconstruir parte de la estructura en el banco usando perfiles cuadrados de 5 x 5 cm, eliminando la sección utilizada para cajones y haciendo una sujeción directa del motor al usando aislantes vibratorios para eliminar cualquier tipo de contacto directo entre metales , de esta forma disminuyendo la cantidad de ruido. La configuración propuesta también brinda más seguridad estructural pues da un apoyo central al banco para soportar el peso superior.

Ilustración 25 - Estructura anterior del banco.



Fuente: Autores

Ilustración 26 - Estructura actual del banco.



Fuente: Autores

A causa del cambio de la bomba y del sistema de sujeción del motor, fue necesario realizar el diseño y construcción del pedestal o soporte de sujeción para la bomba, debido a la diferencia de tamaños en comparación con la anteriormente puesta. Se

hizo la construcción teniendo en consideración la alineación vertical y la altura necesaria para obtener una correcta alineación de acuerdo con el eje del motor eléctrico.

La forma del nuevo soporte de bomba construido fue hecha basándose en la anterior para una mejor estética.

Ilustración 27 - Base - soporte bomba hidráulica.



Fuente: Autores

5. PRUEBAS Y ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO

Inicialmente se realiza el encendido de la bomba instalada en la nueva estructura, para este procedimiento se debe tomar en cuenta la correcta alineación entre los ejes de la bomba y el motor eléctrico; Así como también considerar que es necesario presurizar la bomba, antes de ser encendida por primera vez, esto, para disminuir el impacto del arranque sin ningún tipo de lubricante que podría ocasionar rayaduras en su interior.

Una vez encendida la bomba se comprueba la rigidez de la estructura del banco, tomando en cuenta las vibraciones producidas por el motor y su acople con la bomba.

Ilustración 28 - Acople entre eje del motor y la bomba.



Fuente: Autores

La bomba se puede encender sin problema de alcanzar una presión superior a la que soporta el banco ya que se cuenta con la válvula de seguridad Rexroth, esta se había ajustado previamente a una presión de 1500 psi para permitir ver el funcionamiento de la bomba y posteriormente realizar el ajuste de los compensadores.

Seguidamente se prueba la nueva lógica hidráulica con un cambio de la válvula direccional Parker 4/3 de punto flotante y se adiciona una válvula de seguridad Rexroth al sistema para que funcione a modo de alivio al terminar la carrera del cilindro.

Posteriormente se prueba el correcto funcionamiento del enfriador de aceite para observar el cambio con respecto a la temperatura en un funcionamiento de igual duración al de referencia.

5.1 CALIBRACIÓN

A continuación, luego de comprobar el correcto funcionamiento de la bomba hidráulica, se da inicio al proceso de ajuste de presiones en el taraje de la válvula de alivio, y el taraje en el puerto de compensación de presión de la bomba, esto, para comprobar que el circuito hidráulico cuente con la función de prevenir sobrepresiones.

Para establecer la presión del compensador principal de la bomba se debe aumentar la presión de la válvula simuladora de carga con un valor relativamente alto. Una

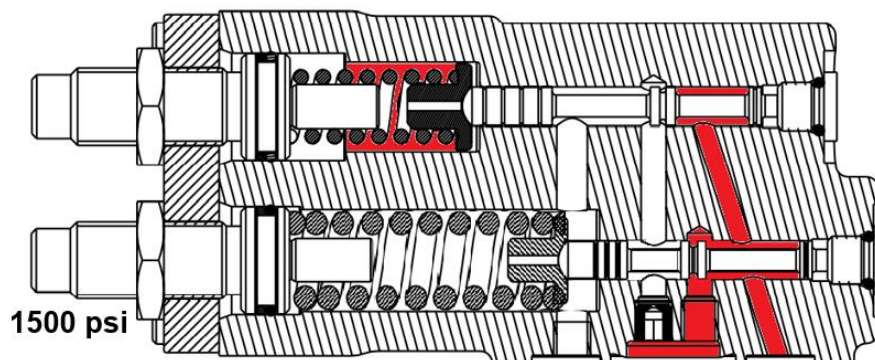
vez hecho esto se ajusta el compensador de presión con un taraje de 1500 PSI, y la válvula de seguridad con taraje de 400 PSI, de tal modo que la válvula de seguridad es la seleccionada para actuar como la seguridad principal en el circuito en caso de alcanzar una sobrepresión en su funcionamiento, y el compensador de presión como un alivio de presión cada vez que el circuito no tiene un paso directo a tanque cada vez que se termina la carrera del cilindro o se supera la presión a la que se ajustó.

Ilustración 29 - Presión en estado de compensación.



Fuente: Autores

Ilustración 30 - Dibujo en corte de ajuste del compensador.

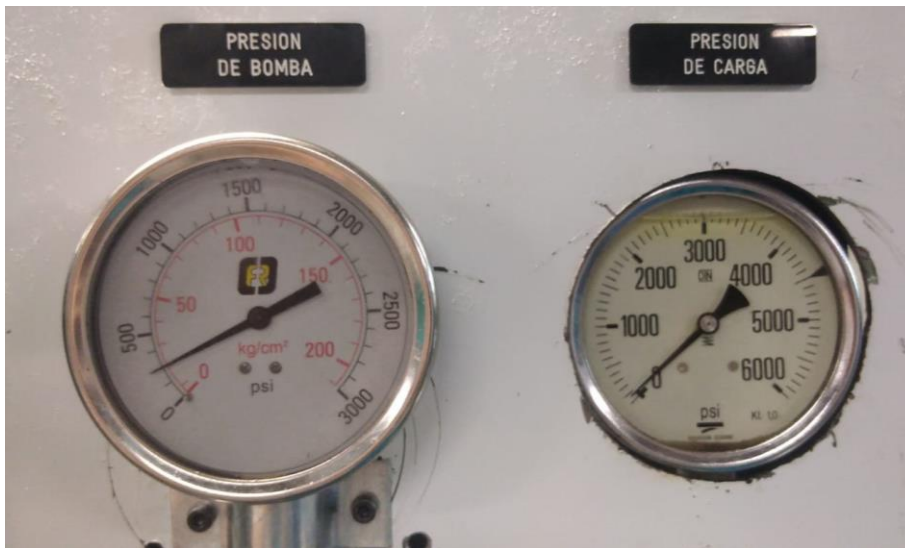


Fuente: Mobile hydraulic tips

Para hacer el ajuste del sensado de carga se cierra completamente la válvula reguladora de caudal, esto obliga a que la bomba entre en su estado de

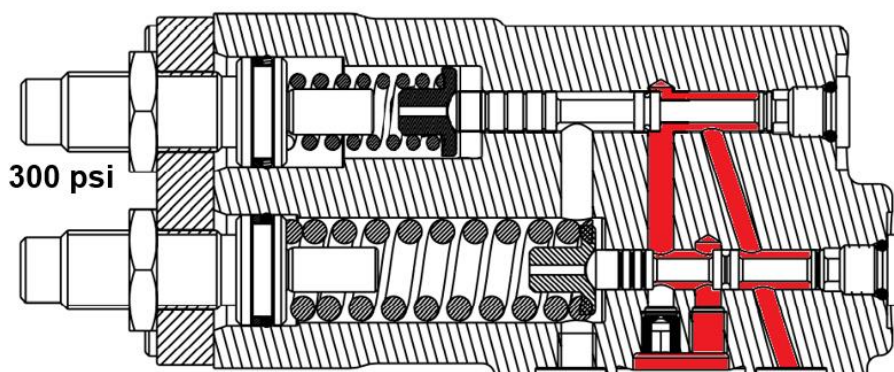
compensación por acción del resorte menor. Esto significa que el manómetro conectado a la descarga de la bomba está haciendo una lectura directa de la presión que impone este resorte LS, de forma que se ajusta a una presión de 300 psi. Se escoge este valor ya que es el mínimo que permite la bomba y proporciona un mejor ahorro de energía a la hora de hacer el seguimiento de carga.

Ilustración 31 - Presión sentido de carga.



Fuente: Autores.

Ilustración 32 - Dibujo en corte de ajuste de sentido de carga.

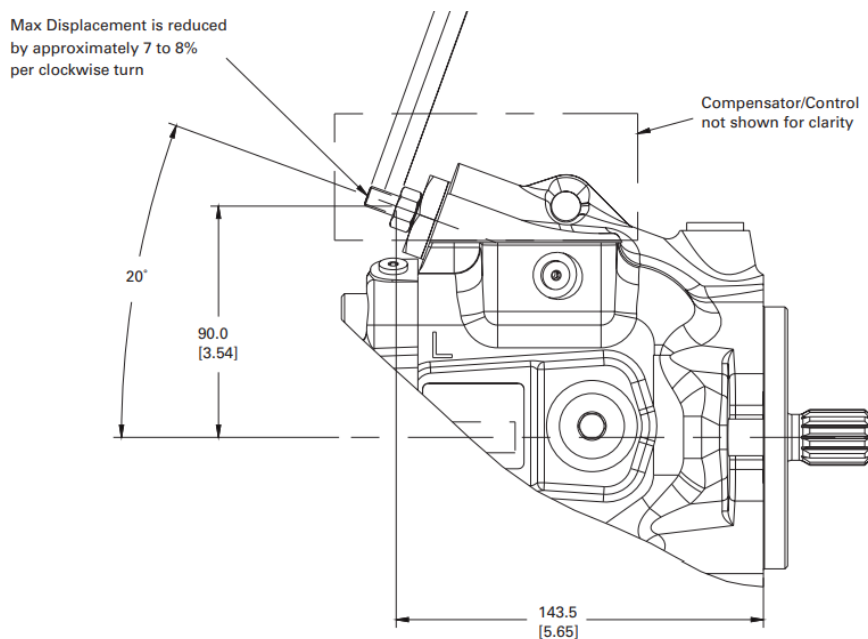


Fuente: Mobile hydraulic tips

La bomba instalada es considerada de alto rendimiento por la presión que puede alcanzar y el alto volumen de aceite que desplaza por cada revolución. Antes de encender el banco por primera vez, se hace el ajuste del desplazamiento máximo

de la bomba, si se enciende con la carrera máxima que pueden alcanzar los pistones, se corre el riesgo de exceder la capacidad de potencia del motor eléctrico. El fabricante en el catálogo explica cómo hacer el ajuste manual de esta carrera para obtener el caudal deseado con un margen de error bajo. Según Eaton Vickers el desplazamiento de la bomba se ve reducido entre un 7% y 8% con respecto al máximo por cada vuelta completa en el limitante de carrera externo. Se decide dar seis vueltas al ajuste de carrera, esto equivale aproximadamente a un 48% de reducción del caudal que envía la bomba.

Ilustración 33 - AEC028 limitador de carrera máxima.



Desplazamiento máximo de la bomba:

$$cm^3/rev = 0,28$$

Centímetros cúbicos de aceite enviados por minuto en un motor de 1800 rpm:

$$0,28 \cdot 1800 = 504 \text{ cm}^3/min$$

Conversión a galones por minuto:

$$504 \cdot 0,000264 = 13,31 \text{ gpm}$$

Caudal mínimo posible:

$$13,31 \text{ gpm} \cdot 52\% = 6,92 \text{ gpm}$$

Caudal máximo posible:

$$13,31 \text{ gpm} \cdot 58\% = 7,72 \text{ gpm}$$

Realizado este ajuste de caudal se enciende la bomba sin problema, sin embargo, el caudal es rectificado con el actuador cuando el sistema entra en funcionamiento. Se mide tres veces el tiempo que demora en llenarse por completo el actuador.

Tabla 1 - Tiempo de llenado del actuador

Toma	Duración (s)
Toma 1	1.32
Toma 2	1.28
Toma 3	1.31

Fuente: Autores

A continuación, se hace los cálculos del caudal real enviado por la bomba, se tiene en cuenta que el diámetro interno del actuador es de 2 pulgadas y el largo del vástago es de 11 pulgadas.

Área interna del actuador:

$$A = \pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2$$

$$A = \pi \cdot \left(\frac{2}{2}\right)^2$$

$$A = \pi$$

Volumen para llenar en el actuador para la extensión:

$$V = A \cdot L$$

$$V = \pi \cdot 11$$

$$V = 11\pi \text{ in}^3$$

Conversión a galones:

$$11\pi \cdot 0,004329 = 0,149 \text{ gal (volumen en cámara del actuador)}$$

Cálculos de caudal según los tiempos obtenidos:

$$\frac{0,149 \text{ gal}}{1,32 \text{ s}} \cdot \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} = 6,77 \text{ gpm}$$

$$\frac{0,149 \text{ gal}}{1,28 \text{ s}} \cdot \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} = 6,98 \text{ gpm}$$

$$\frac{0,149 \text{ gal}}{1,31 \text{ s}} \cdot \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} = 6,82 \text{ gpm}$$

En promedio el caudal que está circulando en el sistema es de 6,85 gpm.

Con la bomba totalmente calibrada se hacen los cálculos de potencia correspondiente para ver el consumo.

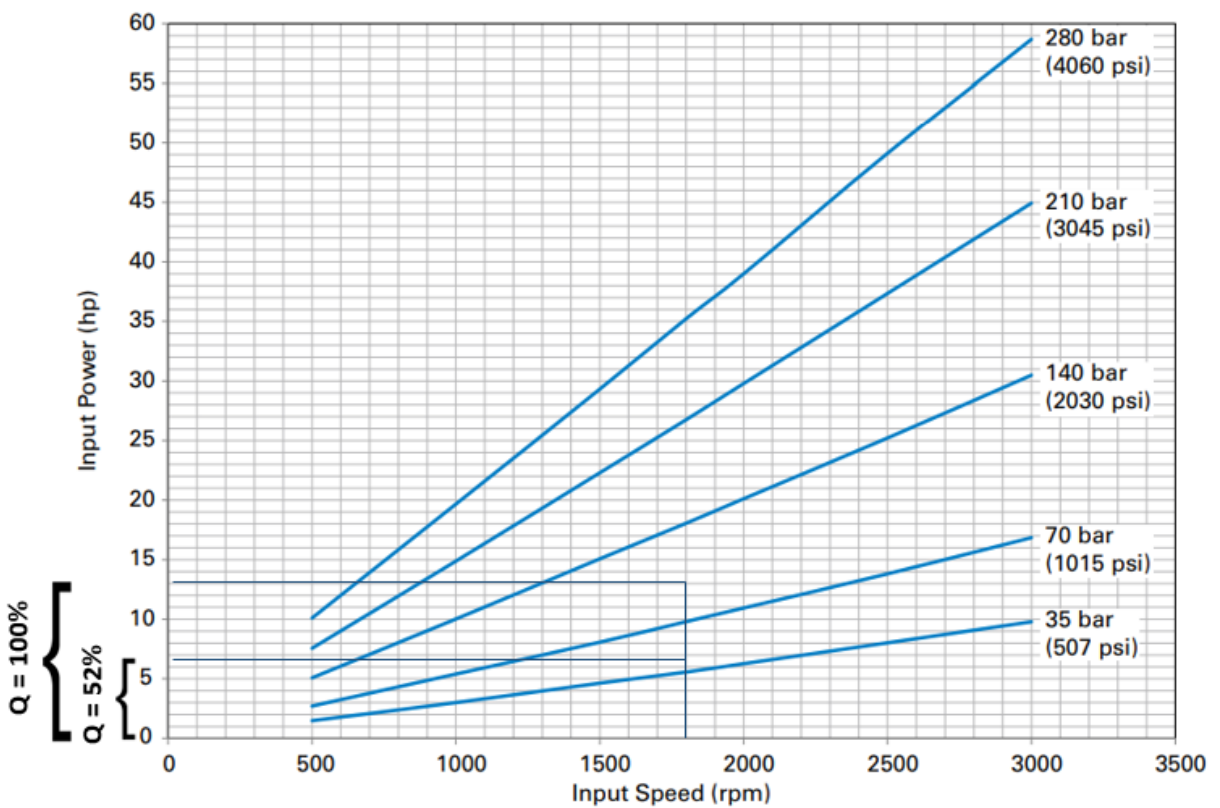
Presión limitada a 1500 psi

Caudal máximo de 6,85 gpm

Potencia máxima real del banco:

$$\frac{1500 \cdot 6,85}{1714} = 5,99 \text{ hp}$$

Gráfica 3 - Diagrama RPM vs Potencia



Fuente: Autores

El motor eléctrico que alimenta la bomba es de 1800 revoluciones por minuto, siguiendo el catálogo del fabricante se obtiene una potencia consumida por la bomba de 13.3 hp aproximadamente. Este diagrama corresponde a los valores de potencia de caudal máximo, por esto se traza otra línea donde se ubica la potencia del banco de un caudal al 52% de capacidad de la bomba. Este valor es 6.9 hp teóricamente.

Para finalizar, se comprueban los valores obtenidos con la eficiencia de la bomba:

potencia real 5,99 hp

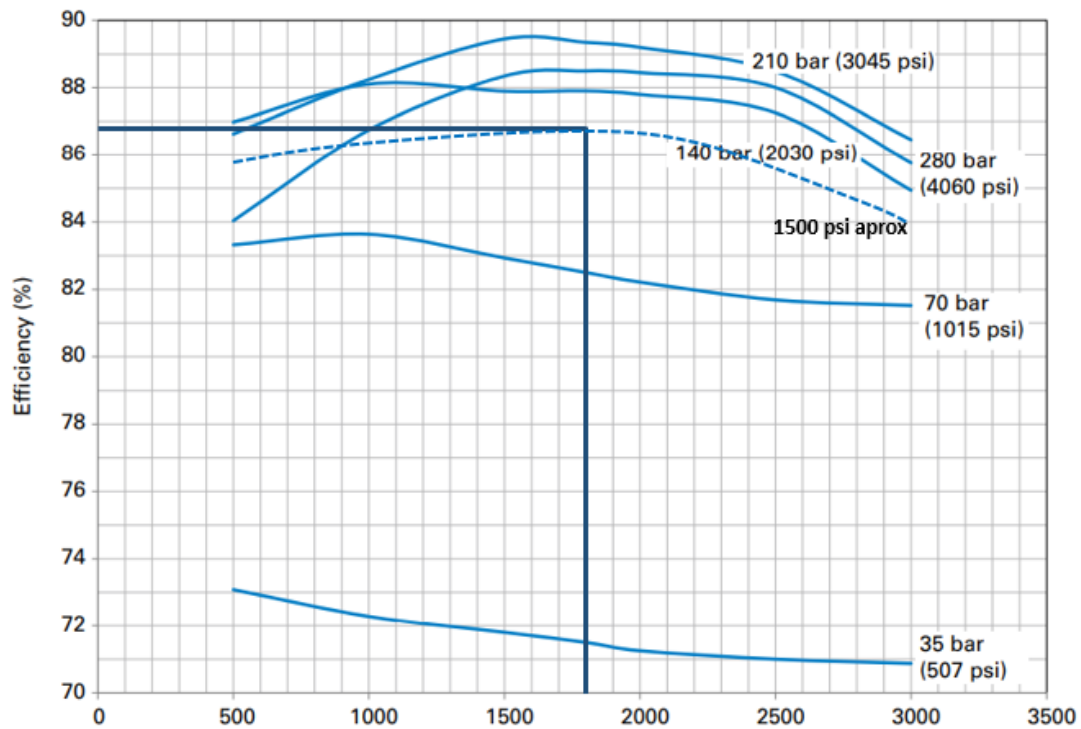
potencia teórica 6,9 hp

$$Eficiencia = \frac{Potencia\ real}{Potencia\ teórica}$$

$$Eficiencia = \frac{5,99}{6,9} = 86,8\%$$

Eficiencia de la bomba: 86,8%

Gráfica 4 - Eficiencia total de la bomba.



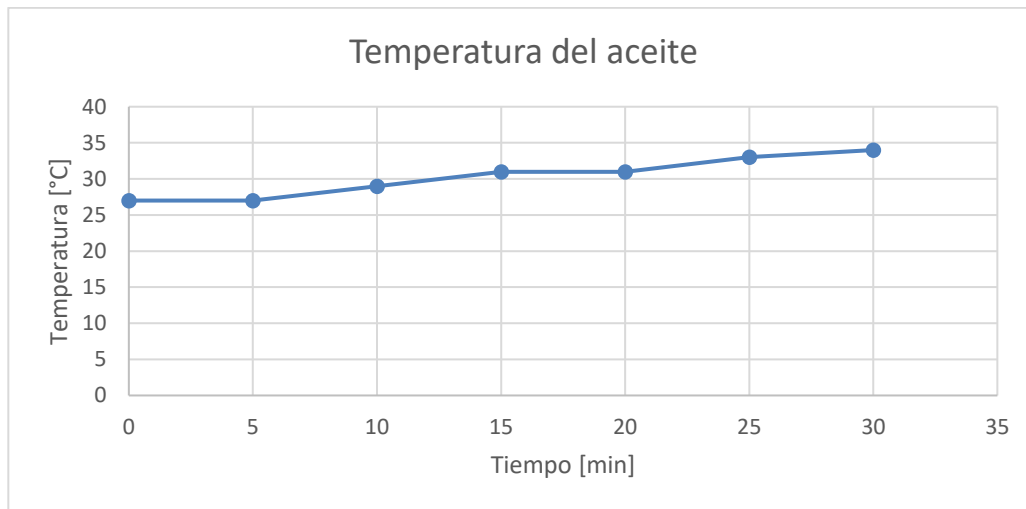
Fuente: Autores

El diagrama nos confirma que los cálculos anteriores están en lo correcto ya que el valor de potencia está dentro del rango de la eficiencia de la bomba. Este tipo de bombas presenta una gran reducción en su eficiencia para presiones bajas (menores de 1200 psi).

5.2 ANÁLISIS DE TEMPERATURA Y FUNCIONAMIENTO DEL ENFRIADOR

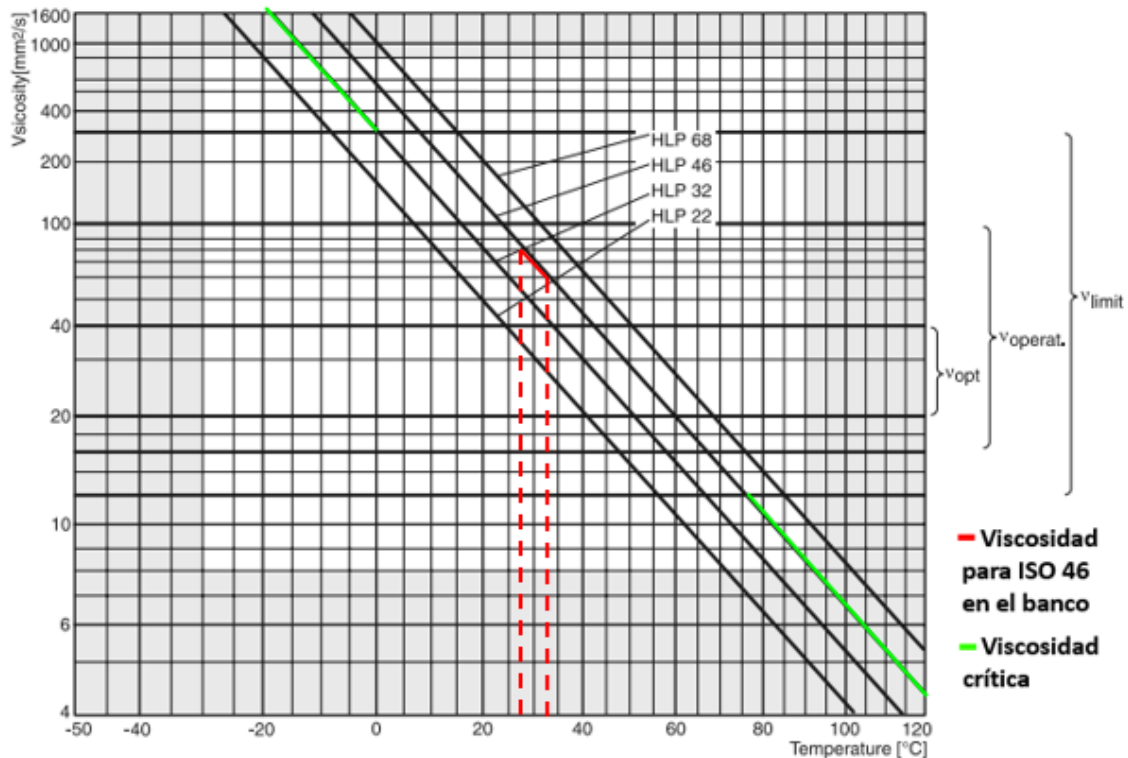
Se tomaron datos de temperatura con ayuda de un termómetro digital, dichos valores se recopilaban de la temperatura del tanque del circuito hidráulico cada 5 minutos durante media hora. A continuación, se muestra la gráfica hecha según los datos tomados del comportamiento de la temperatura del aceite.

Gráfica 5 - Comportamiento de la temperatura del aceite en banco de sensado de carga.



Fuente: Autores

Gráfica 6 - Diagrama viscosidad - temperatura aceite mineral ISO 22, 32, 46, 68 en el banco de sensado de carga.



Fuente: Parker catalogue HY11-3500/UK

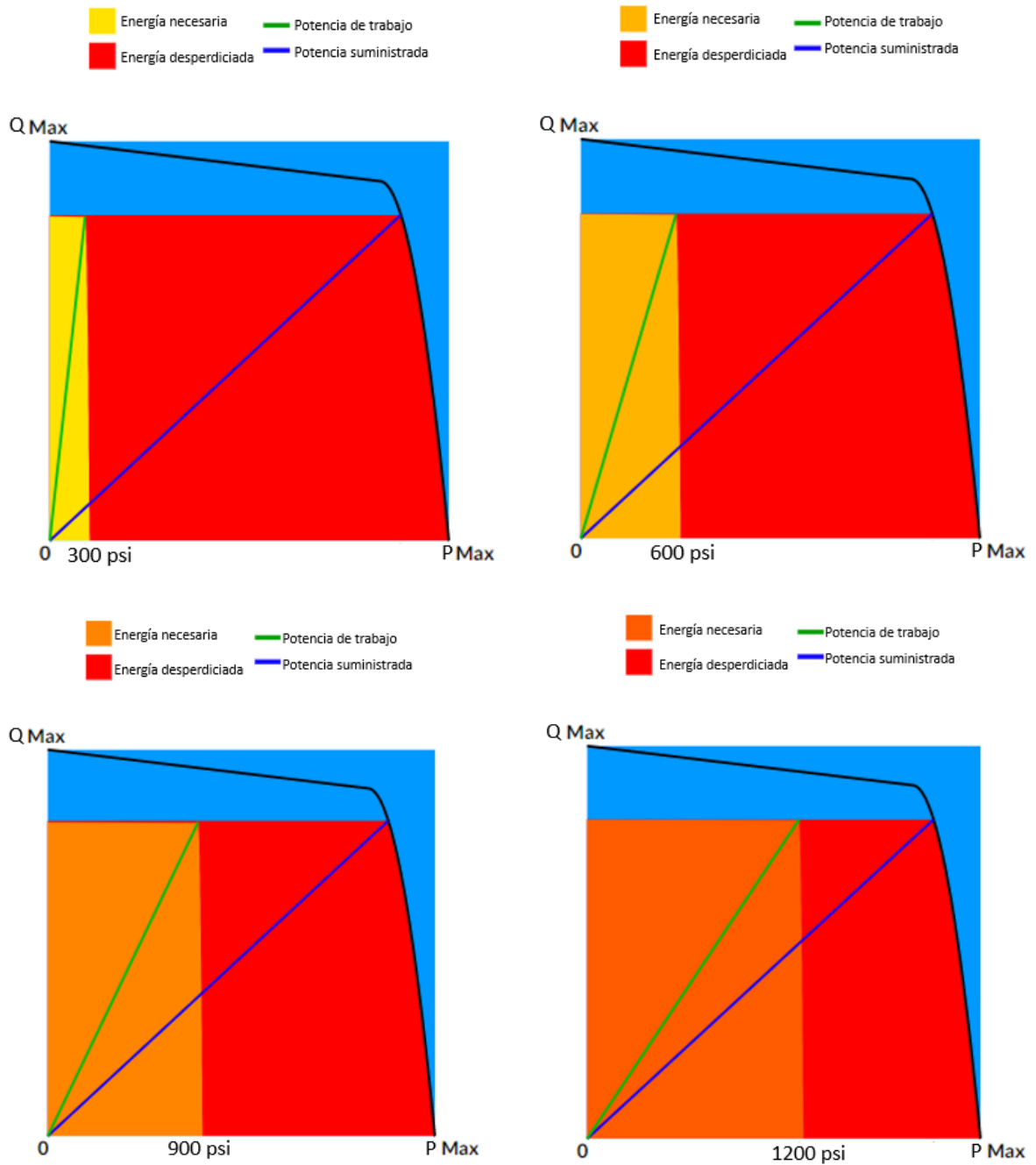
5.3 PRUEBAS DE CARGA

En esta fase de las pruebas del sistema de sensado de carga, se comprueba el ahorro de potencia y se elaboran las gráficas de operación para las diferentes configuraciones del banco.

Para tener una referencia del ahorro de potencia que se ha logrado, se muestran las gráficas del funcionamiento de una bomba de pistones axiales que cuenta únicamente con un compensador de presión.

Gráfica 7 - Curva Q y P en bomba con compensador para 300, 600, 900, 1200 psi de

carga.



Fuente: Autores.

Se puede observar que el consumo de potencia para el trabajo varía, pero la potencia suministrada se mantiene en el valor máximo. Este tipo de bomba sin control de potencia siempre estará funcionando a la máxima presión de descarga, independientemente de la presión que oponga la carga del sistema. Esta presión máxima constante se debe a que el ajuste interno de la bomba se realiza por medio

del caudal que no se requiere en el trabajo. Las áreas rojas mostradas en las anteriores gráficas hacen referencia a toda la energía que se está perdiendo en este trabajo.

Para nuestro sistema de sensado de carga, la bomba puede enviar hasta 13,31 gpm a una presión máxima de 5060 psi. La potencia hidráulica se define de la siguiente forma:

$$\text{Pot} = \frac{Q \cdot \Delta P}{1714 \cdot \eta_t}$$

Pot: Potencia hidráulica

Q: Caudal

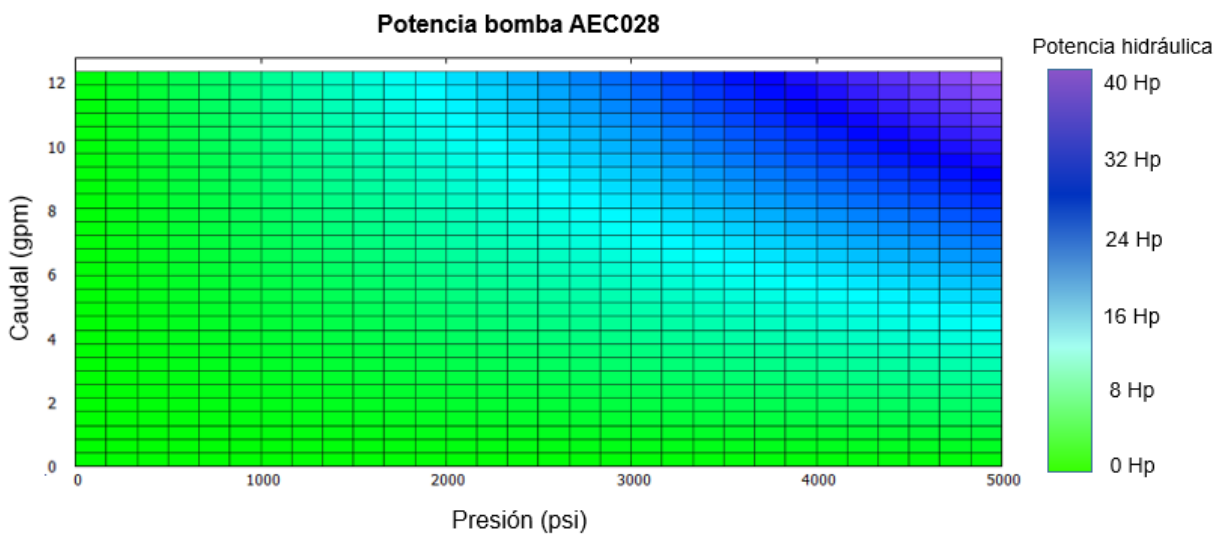
ΔP : Presión

η_t : Eficiencia total de bomba

Donde los 1714 son factor de conversión para obtener caballos de fuerza (Hp).

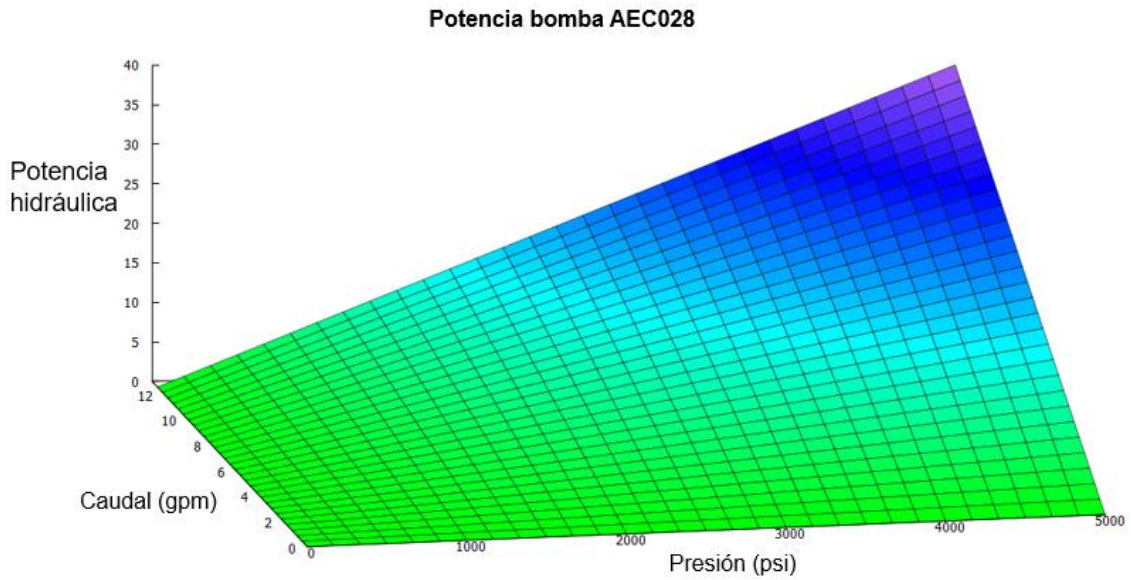
La potencia correspondiente al dispositivo se muestra a continuación:

Gráfica 8 - Potencia de la bomba AEC028



Fuente: Autores.

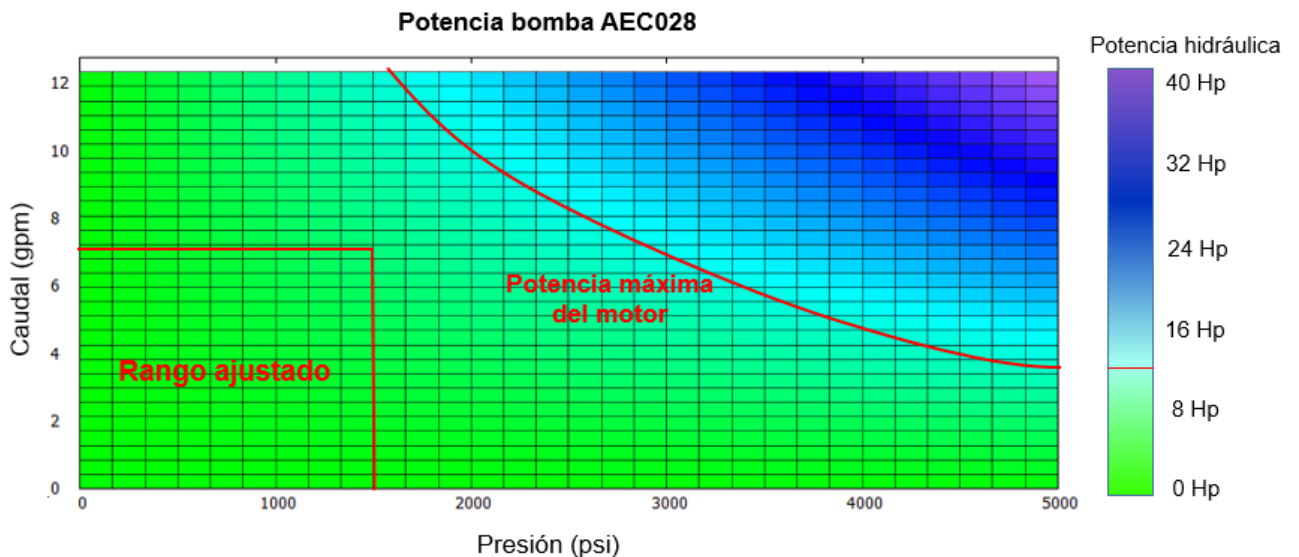
Gráfica 9 - Potencia de la bomba AEC028 (Gráfica de superficie).



Fuente: Autores.

El banco cuenta con un motor eléctrico de 12 Hp que alimenta la bomba, en la fase de calibración se hizo el ajuste para que la bomba no realice una demanda de potencia superior a esta y trabaje con un caudal máximo de 6,85 gpm.

Gráfica 10 - Rangos potencia de la bomba AEC028



Fuente: Autores.

En esta zona denominada “Rango ajustado” se hace la toma de datos del caudal que

llega al actuador y las presiones de descarga y de carga simulada.

La función de potencia de trabajo y potencia suministrada del banco se construye con la toma de valores de caudal correspondiente a las presiones simuladas, primero se establece un caudal nominal y luego se toman los datos de las presiones para ver el seguimiento del compensador LS y la caída del caudal al llegar a su punto de compensación. En las siguientes tablas se incluyen los valores de potencia en la bomba y potencia suministrada para el caso de una bomba sin sensado de carga (LS) para hacer la comparación.

Caudal nominal de 6,85gpm:

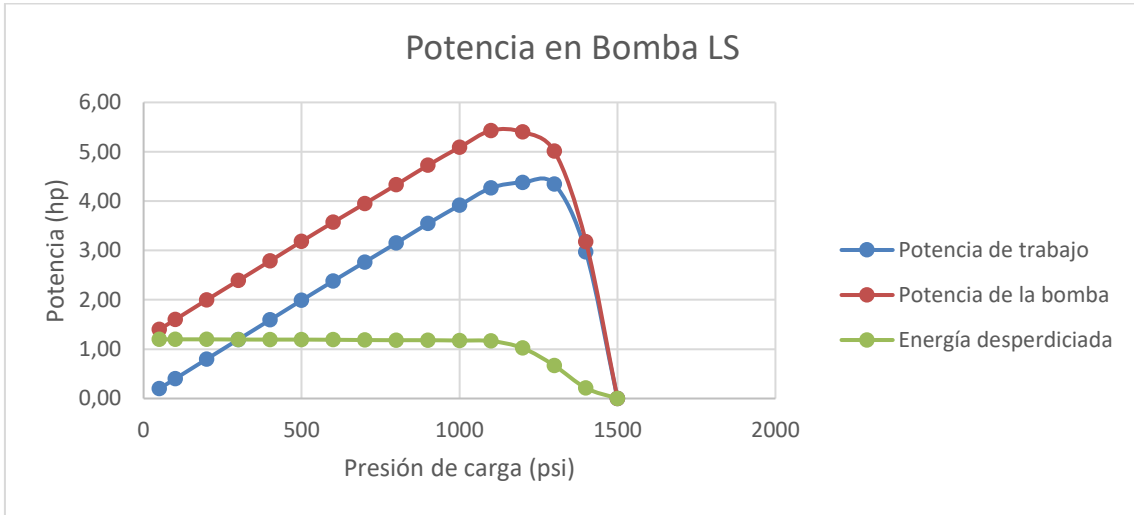
Tabla 2 - Toma de datos de presiones en operación del banco a 6,85gpm.

Presión de carga (psi)	Presión de la bomba (psi)	Caudal (gpm)	Potencia de trabajo (hp)	Potencia suministrada (hp)	Potencia desperdiciada (hp)	Potencia en bomba sin LS (hp)	Potencia desperdiciada en bomba sin LS (hp)
50	350	6,85	0,20	1,40	1,20	5,99	5,79
100	400	6,85	0,40	1,60	1,20	5,99	5,60
200	500	6,85	0,80	2,00	1,20	5,99	5,20
300	600	6,83	1,20	2,39	1,20	5,98	4,78
400	700	6,82	1,59	2,79	1,19	5,97	4,38
500	800	6,82	1,99	3,18	1,19	5,97	3,98
600	900	6,80	2,38	3,57	1,19	5,95	3,57
700	1000	6,77	2,76	3,95	1,18	5,92	3,16
800	1100	6,75	3,15	4,33	1,18	5,91	2,76
900	1200	6,75	3,54	4,73	1,18	5,91	2,36
1000	1300	6,71	3,91	5,09	1,17	5,87	1,96
1100	1400	6,65	4,27	5,43	1,16	5,82	1,55
1200	1480	6,25	4,38	5,40	1,02	5,47	1,09
1300	1500	5,73	4,34	5,01	0,67	5,01	0,67
1400	1500	3,63	2,97	3,18	0,21	3,18	0,21
1500	1500	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Fuente: Autores

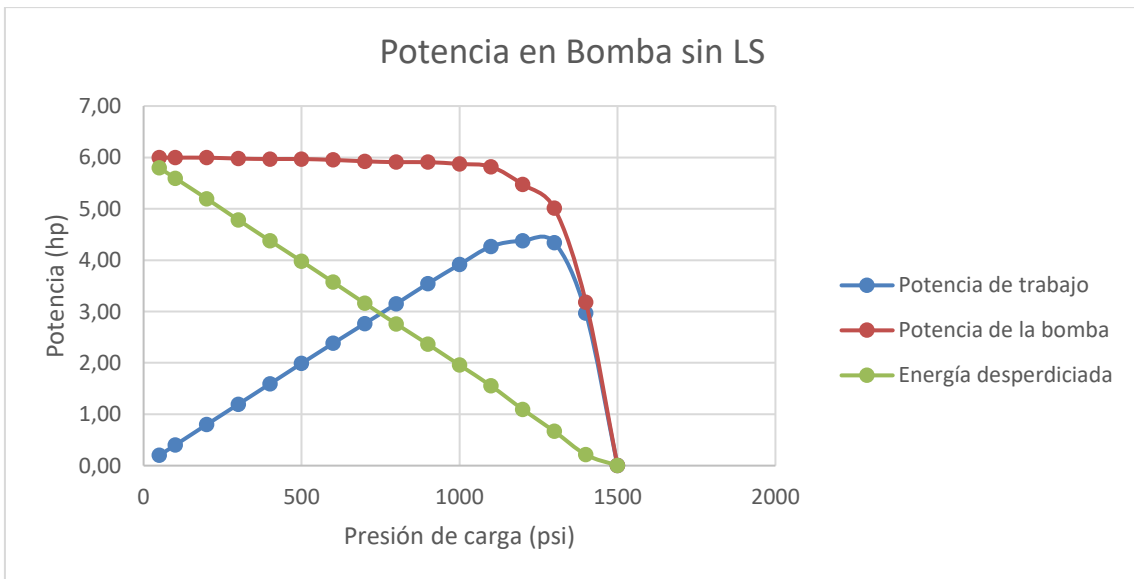
Curva de operación:

Gráfica 11 - Curva de operación en la bomba con sensado de carga.



Fuente: Autores.

Gráfica 12 - Curva de operación de la bomba sin sensado de carga.



Fuente: Autores.

Caudal nominal de 4 gpm:

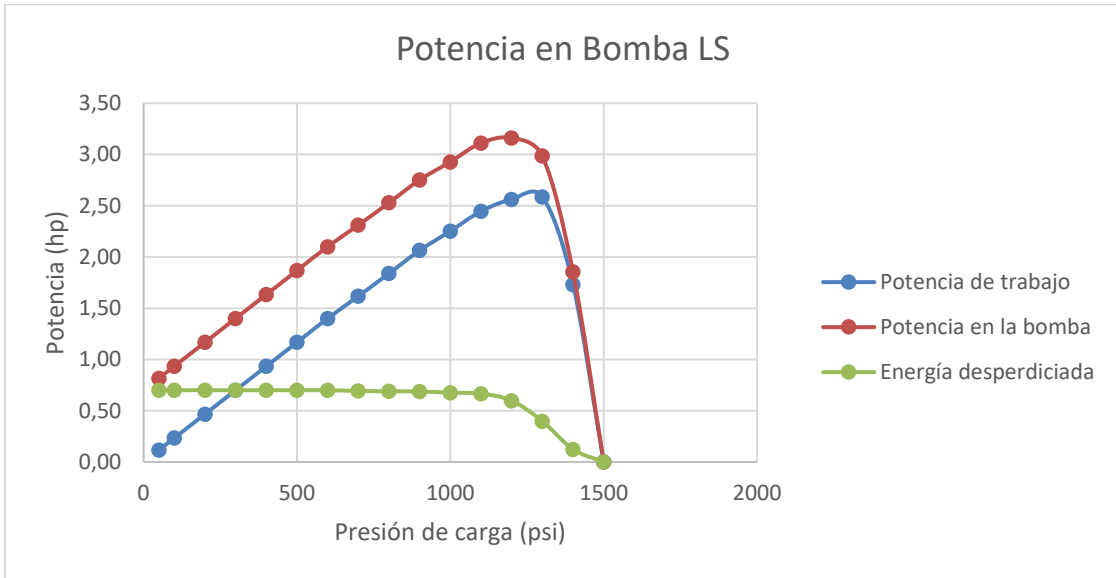
Tabla 3 - Toma de datos de presiones en operación del banco a 4 gpm.

Presión de carga (psi)	Presión de la bomba (psi)	Caudal (gpm)	Potencia de trabajo (hp)	Potencia suministrada (hp)	Potencia desperdiciada (hp)	Potencia en bomba sin LS (hp)	Potencia desperdiciada en bomba sin LS (hp)
50	350	4,00	0,12	0,82	0,70	3,50	3,38
100	400	4,00	0,23	0,93	0,70	3,50	3,27
200	500	4,00	0,47	1,17	0,70	3,50	3,03
300	600	4,00	0,70	1,40	0,70	3,50	2,80
400	700	4,00	0,93	1,63	0,70	3,50	2,57
500	800	4,00	1,17	1,87	0,70	3,50	2,33
600	900	4,00	1,40	2,10	0,70	3,50	2,10
700	1000	3,96	1,62	2,31	0,69	3,47	1,85
800	1100	3,94	1,84	2,53	0,69	3,45	1,61
900	1200	3,93	2,06	2,75	0,69	3,44	1,38
1000	1300	3,86	2,25	2,93	0,68	3,38	1,13
1100	1400	3,81	2,45	3,11	0,67	3,33	0,89
1200	1480	3,66	2,56	3,16	0,60	3,20	0,64
1300	1500	3,41	2,59	2,98	0,40	2,98	0,40
1400	1500	2,12	1,73	1,86	0,12	1,86	0,12
1500	1500	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Fuente: Autores.

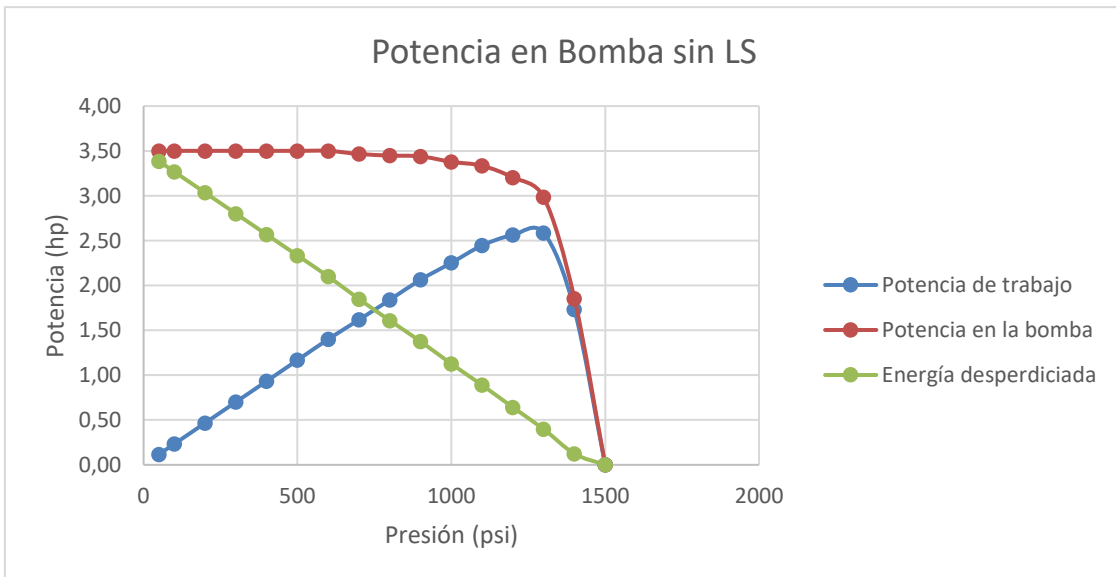
Curva de operación:

Gráfica 13 - Curva de operación en la bomba con sensado de carga.



Fuente: Autores.

Gráfica 14 - Curva de operación de la bomba sin sensado de carga.



Fuente: Autores.

Caudal nominal de 2 gpm:

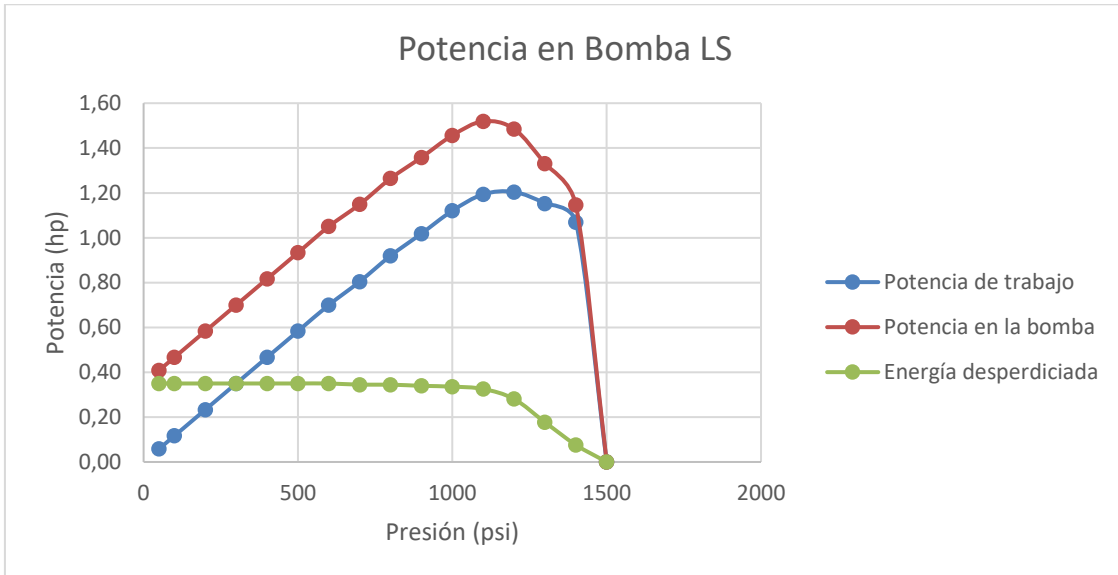
Tabla 4 - Toma de datos de presiones en operación del banco a 2 gpm.

Presión de carga (psi)	Presión de la bomba (psi)	Caudal (gpm)	Potencia de trabajo (hp)	Potencia suministrada (hp)	Potencia desperdiciada (hp)	Potencia en bomba sin LS (hp)	Potencia desperdiciada en bomba sin LS (hp)
50	350	2,00	0,06	0,41	0,35	1,75	1,69
100	400	2,00	0,12	0,47	0,35	1,75	1,63
200	500	2,00	0,23	0,58	0,35	1,75	1,52
300	600	2,00	0,35	0,70	0,35	1,75	1,40
400	700	2,00	0,47	0,82	0,35	1,75	1,28
500	800	2,00	0,58	0,93	0,35	1,75	1,17
600	900	2,00	0,70	1,05	0,35	1,75	1,05
700	1000	1,97	0,80	1,15	0,34	1,72	0,92
800	1100	1,97	0,92	1,26	0,34	1,72	0,80
900	1200	1,94	1,02	1,36	0,34	1,70	0,68
1000	1300	1,92	1,12	1,46	0,34	1,68	0,56
1100	1400	1,86	1,19	1,52	0,33	1,63	0,43
1200	1480	1,72	1,20	1,49	0,28	1,51	0,30
1300	1500	1,52	1,15	1,33	0,18	1,33	0,18
1400	1500	1,31	1,07	1,15	0,08	1,15	0,08
1500	1500	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Fuente: Autores.

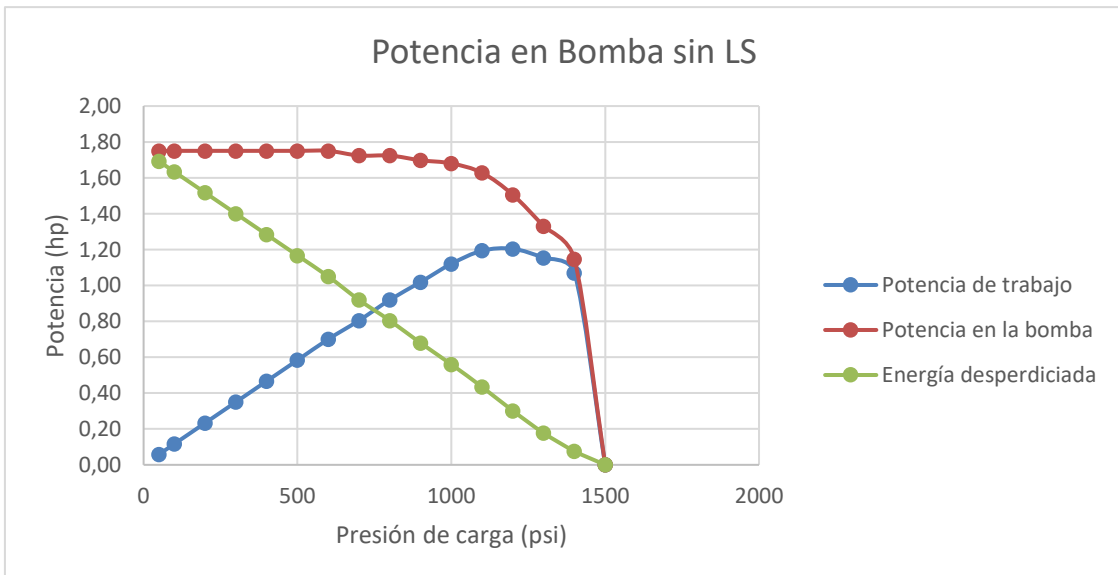
Curva de operación:

Gráfica 15 - Curva de operación en la bomba con sensado de carga.



Fuente: Autores.

Gráfica 16 - Curva de operación de la bomba sin sensado de carga.

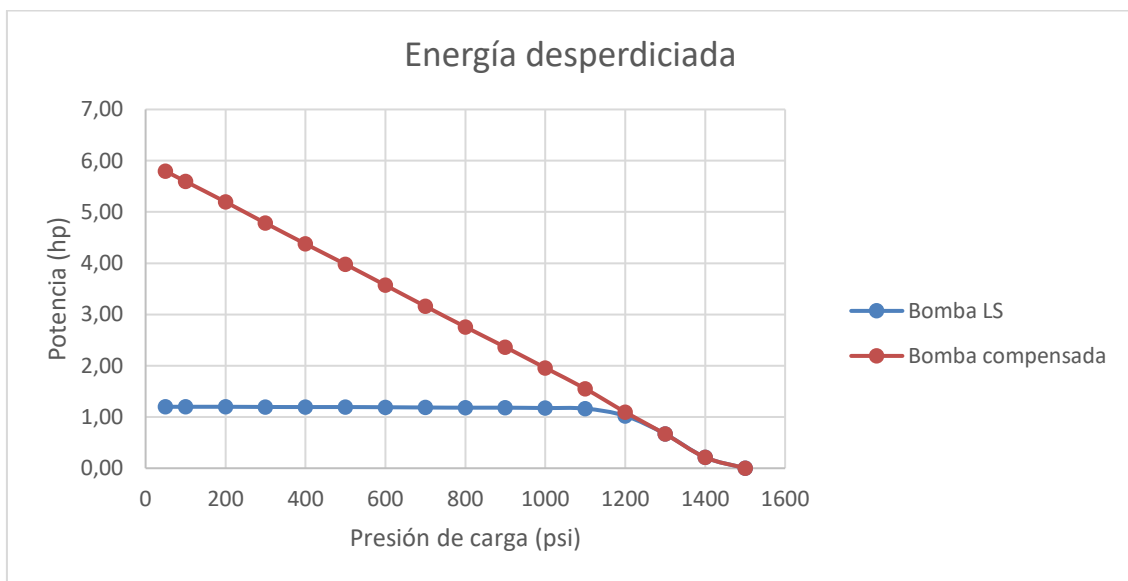


Fuente: Autores.

En las pruebas con distintos caudales se parecía un comportamiento muy similar. La bomba instalada con su sistema LS hace un seguimiento de la presión para disminuir considerablemente la presión en la descarga de la bomba, reduciendo la

potencia para conseguir un ahorro energético. Para el caso de una bomba compensada a unas presiones de trabajo muy bajas, la energía desperdiciada es casi del 100%, este desperdicio disminuye cuando la presión de trabajo se hace más alta. Aunque esta energía desperdiciada tiene un valor muy bajo cerca de su presión de compensación, la bomba compensada nunca logra una energía desperdiciada menor que una bomba con sensado de carga.

Gráfica 17 - comparación de energía perdida en una bomba con sensado de carga vs una bomba compensada.



Fuente: Autores.

En esta gráfica se puede apreciar con claridad como es el comportamiento del desperdicio energético en cada bomba, mientras que en la bomba compensada depende de la carga, en la bomba LS se puede ver como el desperdicio es constante y no supera 1.2 hp, lo que demuestra que esta bomba no tiene pérdidas de energía superiores al 20%.

5.4 FUNCIONAMIENTO DEL BANCO

Antes de usar el equipo se debe comprobar que esté conectado, el banco tiene dos entradas de corriente, la línea principal funciona a 220v y es la que llega a la caja

de control eléctrico que se encuentra en la parte baja de la mesa. Esta es la que da energía a los motores eléctricos. La segunda conexión que se debe verificar es la de 110v que controla los solenoides de las válvulas.

5.4.1 Encendido del banco

A fin de poner en marcha el funcionamiento del banco de sensado de carga es preciso comprobar los interruptores que le dan paso a la corriente eléctrica que alimentan los componentes eléctricos del banco.

Inicialmente se verifica que el interruptor totalizador esté en posición de encendido, este se encuentra ubicado en el tablero eléctrico principal del laboratorio de potencia fluida.

Ilustración 34 - Tablero eléctrico principal del laboratorio de potencia fluida.



Fuente: autores

Ilustración 35 - Interruptor totalizador.



Fuente: autores

Seguido, se comprueba que el contactor específico del banco este en posición de encendido.

Ilustración 36 - Contactor del banco de sensado de carga.



Fuente: autores

Una vez esta alimentado el banco eléctricamente se puede encender el motor eléctrico principal y el motor eléctrico del enfriador del aceite con el botón de encendido ubicado en el lateral del banco.

Ilustración 37 - Pulsadores encendido/apagado.



Fuente: autores

5.4.2 Control de presión simulada

El banco de sensado de carga cuenta con un sistema de simulación de carga, esto para facilitar la variación de la carga. Se puede poner en funcionamiento y operar el circuito eléctrico sin hacer la activación del solenoide en el taraje de la válvula simuladora de carga. El interruptor del solenoide de la válvula simuladora esta ubicado en la parte superior derecha del panel principal del circuito hidráulico.

Ilustración 38 - Control de simulacion de carga.



Fuente: autores

5.4.3 Órdenes para el actuador

Con el propósito de dar órdenes en el movimiento del actuador hidráulico es necesario comprobar que la válvula reguladora de caudal en la entrada del circuito hidráulico este abierta, así como también la apertura en la válvula reguladora de caudal a la entrada de la bomba.

El comando para activar el movimiento del cilindro está ubicado en la zona superior izquierda del panel del circuito hidráulico, Comprende tres posiciones: posición de salida del vástago posición de entrada del vástago, y posición neutral, estas posiciones son inducidas por la válvula direccional del circuito hidráulico.

Ilustración 39 - Comando de movimiento del actuador.



Fuente: autores

5.4.4 Apagado

Para llevar a cabo el apagado del banco, se debe comprobar que el vástago del cilindro hidráulico este totalmente adentro, seguido a esto se desactiva el solenoide de la válvula reguladora de caudal y por último para hacer una finalización del funcionamiento se presiona el botón de apagado ubicado en la parte lateral derecha del banco principal.

6. CONCLUSIONES

Es evidente el desgaste normal de los componentes, por esta razón fue necesario la

implementación y cambio de algunos elementos, de tal forma que se necesitó adecuar el banco para la sujeción de los mismos aprovechando el rediseño estructural para realizar cambios que llevaron a disminución en el nivel de ruido.

El banco construido para el laboratorio de potencia fluida cumple con los parámetros de caudal, presión y potencia acordados inicialmente. Con la configuración del compensador y la carrera de los pistones en la bomba no se corre riesgo de superar la potencia del motor eléctrico. Los componentes permiten hacer un estudio completo del funcionamiento de la bomba con su compensador y su función de sensado de carga para diferentes casos de caudal constante y presión simulada variable. Con esta nueva herramienta, los estudiantes pueden comprender de manera más sencilla el concepto y la aplicación del sensado de carga en situaciones de la vida real.

Después de realizar el análisis comparativo de los resultados experimentales, se puede apreciar una disminución significativa en el nivel de energía desperdiciada, tomando estabilidad en los valores para el funcionamiento del banco con el sistema de sensado de carga así como también se evidencia el cambio en las presiones de trabajo para cada uno de los caudales estudiados, esto debido a que el nuevo sistema implementado brinda la potencia necesaria y con un caudal variable para accionar el actuador y no solamente una potencia máxima en un solo caudal.

7. BIBLIOGRAFIA

CABRERA, Jesús. Identificación de estados resonantes en una estructura portante y soluciones para su eliminación. La Habana, Cuba: Instituto Superior Politécnico, 2010. P. 59 - 66.

CEDIEL PINZON, DANIEL FELIPE Abel Antonio Parada Corrales dir. Universidad Industrial de Santander. Escuela de Ingeniería Mecánica. Tesis (pregrado) 2016

EATON, Catálogo bombas de pistones móviles. Cleveland, Estados Unidos, 2020. P. 4 - 32.

PARKER Hannifin corporation. Parker training: Tecnología hidráulica industrial. Cleveland, Estados Unidos: Parker Hannifin Corporation, 1999.

TIPANLUISA, Luis. MOSCOSO, Carlos. Diseño y construcción de un banco de pruebas para motores de arranque. Quito: Universidad Internacional SEK, 2013. P. 39 - 50.

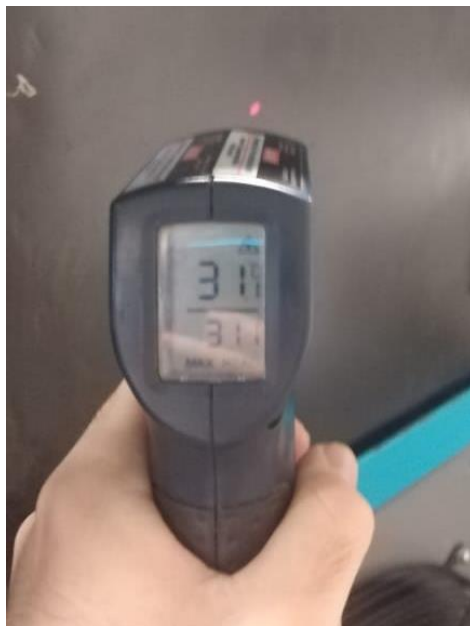
VICKERS. Manual de oleo hidráulica industrial Vickers. Barcelona, España: Editorial Blume, 1997.

ANEXOS

Anexo A - Manómetros de presiones de carga y de bomba en funcionamiento.



Anexo B - Medición de temperatura en el tanque.



Anexo C - Construcción de estructura del banco principal.



Anexo D - Construcción estructura del banco de control.



Anexo E - Elementos estructurales añadidos.



Anexo F - Manual de uso del banco de prueba de bombas.

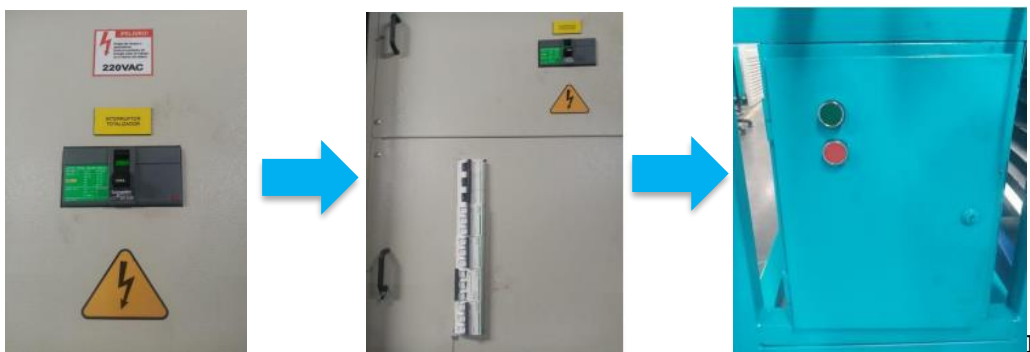
PROCEDIMIENTO PARA EL USO DEL BANCO DE PRUEBA DE BOMBAS

PREPARAR CONEXIONES ELECTRICAS

- Realizar conexión de la fuente principal de corriente a 220 [V].
- Hacer conexión de la fuente de energía de los solenoides de las válvulas a 110 [V].

ENCENDIDO DEL BANCO

- Accionar el interruptor totalizador ubicado en el tablero principal del laboratorio.
- Activar el contactor específico del banco de sensado de carga.
- Presionar el botón de encendido (Color verde) en el banco de sensado de carga para encender el motor eléctrico principal, y el motor del sistema de enfriamiento.



ACCIONAMIENTO DEL CIRCUITO SIN CARGA.

- Compruebe que la válvula reguladora de caudal a la entrada del circuito hidráulico este abierta.
- Accione el movimiento del cilindro con el comando de movimiento en las tres posiciones, subida, bajada y posición neutral.



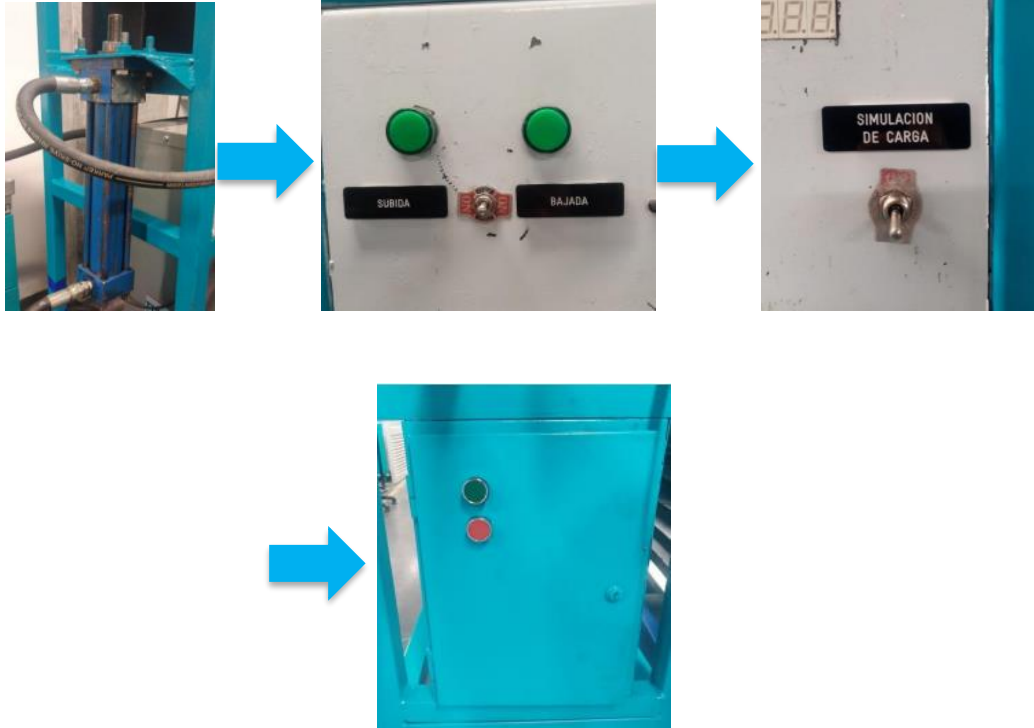
SIN CARGA

- Compruebe que la válvula reguladora de caudal a la entrada del circuito hidráulico este abierta.
- Activar la simulación de carga con el control de presión simulada.
- Accione el movimiento del cilindro con el comando de movimiento en las tres posiciones, subida, bajada y posición neutral.



APAGADO DEL BANCO

- Posicionar el actuador en su posición inicial.
- Ajustar el comando de movimiento en la posición neutral.
- Desactivar la carga simulada en el control de simulación.
- Presionar el botón de apagado (Color rojo) en el banco principal.
- Desconectar el banco principal de la fuente de 110 [V].



PRACTICA EXPERIMENTAL EN EL BANCO DE PRUEBA DE BOMBAS

ENCENDIDO Y PUESTA EN MARCHA DEL BANCO

- Realizar conexión y encendido del banco de prueba de bombas del laboratorio. (ver. Procedimiento para el uso del banco de prueba de bombas)
- Comprobar que la válvula reguladora de caudal a la entrada del circuito hidráulico este abierta.
- Activar la carga en el comando de simulación de presión.

TOMA DE DATOS

- Realizar un ajuste del caudal en la bomba, disponer de un caudal de 7 [gpm], en este caso el caudal será de 6,85 [gpm].
- Ajustar la presión en la simulación de carga a 50 [psi].
- Accionar el cilindro hidráulico con el comando de movimiento del actuador.
- Tomar lectura y escribir en la tabla el valor de presión en el manómetro de Presión de bomba.
- Contabilizar y escribir el tiempo que tarda el cilindro en llegar a su posición máxima.
- Ajustar la presión en la simulación de carga a 100 [psi].
- Accionar el cilindro hidráulico con el comando de movimiento del actuador.
- Tomar lectura y escribir en la tabla el valor de presión en el manómetro de Presión de bomba.
- Contabilizar y escribir el tiempo que tarda el cilindro en llegar a su posición máxima.
- Realizar este procedimiento aumentando la simulación encarga de 100 [psi] hasta 1500[psi].



Presión de carga [psi]	Presión de la bomba [psi]	Caudal [gpm]	Potencia de trabajo [HP]	Potencia suministrada [HP]
50				
100				
200				
300				
400				
500				
600				
700				
800				
900				
1000				
1100				
1200				
1300				
1400				
1500				

ESTUDIO DE DATOS TOMADOS

- Calcular y escribir en la tabla el caudal para cada presión simulada de forma experimental utilizando $Q=V/t$; En donde V = volumen del cilindro y t = tiempo en segundos contabilizado para cada presión.
- Calcular la potencia de trabajo del sistema para cada una de las presiones ajustadas en la carga simulada. (utilizar la ecuación de potencia según el caudal, presión y eficiencia de la bomba).

- Calcular la potencia de trabajo del sistema para cada una de las presiones tomadas en la lectura del manómetro de Presión de bomba. (utilizar la ecuación de potencia según el caudal, presión y eficiencia de la bomba).
- Realizar un gráfico de potencia [HP] vs Presión de carga [psi], para realizar una comparación grafica entre la potencia de trabajo y la potencia suministrada por la bomba.

$$Pot = \frac{Q * \Delta P}{1714}$$

Pot: potencia hidráulica.

Q: Caudal.

ΔP : Presión.

Factor de conversión para obtener caballos de fuerza (HP): 1714.

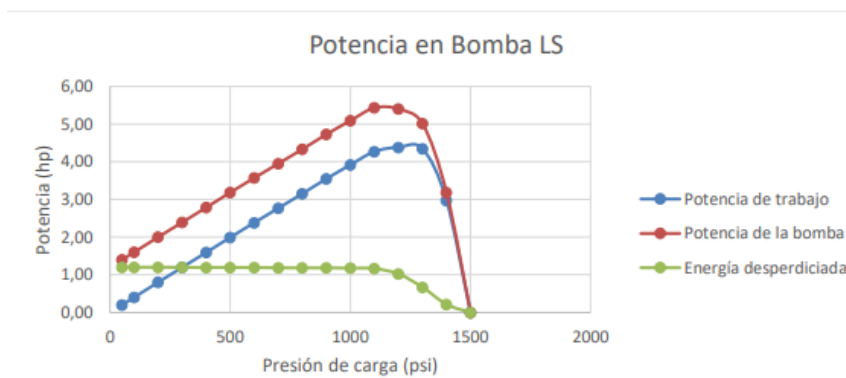


TABLA DE DATOS TOMADOS EN EL DESARROLLO EXPERIMENTAL

Presión de carga [psi]	Presión de la bomba [psi]	Caudal [gpm]	Potencia de trabajo [HP]	Potencia suministrada [HP]
50				
100				
200				
300				
400				
500				
600				
700				
800				
900				
1000				
1100				
1200				
1300				
1400				
1500				