



Mejoramiento e instrumentación de banco de pruebas para bombas hidráulicas.

Edwin Santiago Galvis Zapata

Informe de práctica para optar al título de Ingeniero Mecánico

Tutores.

Pedro León Simanca, MSc, Ingeniero mecánico

Jaime Montoya Lopez, MSc, Ingeniero mecánico

Jaime Adrián Jaramillo, Ingeniero mecánico

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Mecánica

Medellín, Antioquia, Colombia

2021

Cita	(Galvis Zapata, 2021)
Referencia	Galvis Zapata, E. (2021). <i>repositorio de la Universidad de Antioquia: Mejoramiento e instrumentación de banco de pruebas para bombas hidráulicas.</i> , 2021 [Trabajo de grado profesional]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
Estilo APA 7 (2020)	



Ingeniería mecánica, semestre de industria.
 Departamento de ingeniería mecánica.
 Facultad de ingeniería.



Biblioteca Carlos Gaviria Díaz

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Céspedes

Decano: Jesús Francisco Vargas Bonilla.

Jefe departamento: Pedro León Simanca.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

1 Contenido

1	Contenido.....	3
2	Listas de contenido	5
2.1	Lista de ilustraciones	5
2.2	Lista de tablas	6
3	Resumen.....	7
4	Introducción	8
5	OBJETIVOS	10
5.1	General.....	10
5.2	Específicos.....	10
6	Marco teórico	11
6.1	Motor eléctrico	11
6.2	Bomba hidráulica.....	13
6.3	Bombas de piñones.....	15
6.3.1	Bombas de aluminio grupo I, II y III	16
6.3.2	Bombas Parker P315, P330, P350 y P365	18
6.4	Bombas de pistones.....	20
6.5	Campana y acoples.....	22
6.5.1	Campana.....	22
6.5.2	Acoples.....	23
6.6	Tanque hidráulico.....	25
6.6.1	Filtro de succión.....	25
6.6.2	Filtro de retorno.....	26
6.6.3	Placa divisora.....	26
6.6.4	Visor de nivel.....	27
6.6.5	Tapa filtro de llenado.....	27
6.7	Sensores.....	27
6.7.1	Presión.....	28
6.7.2	Caudal.....	29
6.7.3	Temperatura.....	29
6.8	Estado del arte	30
7	Metodología	33

7.1	Fase 1: Cálculos y verificación de componentes.....	33
7.2	Fase 2: Diseños hidráulicos y modelado de componentes.....	38
7.3	Fase 3: Implementación.....	39
8	Resultados y análisis.....	40
9	Avances en el equipo.....	49
10	Conclusiones.....	53
11	Bibliografía.....	55



2 Listas de contenido

2.1 Lista de ilustraciones

Ilustración 1. Banco de pruebas Tecnihidraulica SAS.	8
Ilustración 2. Sensorica a implementar en el nuevo modelo del banco de pruebas	9
Ilustración 3. Sistema hidráulico básico banco de pruebas.	11
Ilustración 4. Motor eléctrico (qué, 2021).....	12
Ilustración 5. Placa motor eléctrico.	13
Ilustración 6. tipos de bombas.	14
Ilustración 7. Ciclo de funcionamiento bomba de engranajes (Diener, 2021)	15
Ilustración 8. Bomba de piñones grupo 3, puertos bridados. (Interempresas, 2021) ..	16
Ilustración 9. Bomba de piñones de aluminio triple Grupo III, Grupo II, Grupo II.	17
Ilustración 10. Bomba Parker P350, puertos bridados. (Parker, 2021)	18
Ilustración 11. Bomba doble de piñones P330-P315.....	19
Ilustración 12. Funcionamiento y partes de una bomba de pistones (Pneumatics, 2021)	20
.....	20
Ilustración 13. Bomba triple de pistones A10VS071-A10VS045-A10VS018.	21
Ilustración 14. Campana de acoplamiento bomba-motor. (Cervimar, 2021).....	22
Ilustración 15. Plato de transición SAE C 4 huecos a SAE A 4 huecos.....	23
Ilustración 16. Acople flexible tipo araña. (Carreño, 2021).....	24
Ilustración 17. Tanque hidráulico. (Vevor, 2021)	25
Ilustración 18. Filtros de succión. (neumática, 2021)	26
Ilustración 19. Filtro de retorno sumergible. (hidráulica, 2021)	26
Ilustración 20. Visor de nivel. (neumática, 2021)	27
Ilustración 21. Tapa filtro de llenado. (neumática, 2021)	27
Ilustración 22. Tipos de sensores (Jhasmin, 2016).....	28
Ilustración 23. Manómetro análogo de 0 a 300 PSI conexión lateral. (Indestrialec, 2021)	28
.....	28
Ilustración 24. Caudalímetro análogo. (industry, 2021).....	29
Ilustración 25. Modelo de procesamiento de datos planteado para el análisis de variables.	30
Ilustración 26. Diagrama de bloques de modelo para diagnóstico de fallas.	32

Ilustración 27. Configuración banco de pruebas anteriormente.	33
Ilustración 28. Datos del motor eléctrico de la empresa.	34
Ilustración 29. Caudalímetro análogo.....	36
Ilustración 30. Caudalímetro análogo para sistemas de alta y baja.	36
Ilustración 31. Caudalímetro análogo bidireccional.....	37
Ilustración 32. Sensores digitales en propiedad de la empresa.....	37
Ilustración 33. Modelado estructural de banco de pruebas.	38
Ilustración 34. Modelado de tanque y placa divisora.	39
Ilustración 35. Medidas generales tanque hidráulico.	40
Ilustración 36. Puertos de retorno y de succión del tanque actualmente.....	41
Ilustración 37. Banco de pruebas reorganizado con tanque aéreo implementado.....	42
Ilustración 38. Gabinetes inferiores banco de pruebas.	43
Ilustración 39. Montaje de disco de transición SAE C a SAE B con acople para eje de 1 1/4" – 14 Th.....	45
Ilustración 40. Montaje de bomba A10VS071 con sensores análogos.....	46
Ilustración 41. Puertos cables, sensores y control.	47
Ilustración 42. Cable original de control y cable importado para turbina.	48
Ilustración 43. Esquema hidráulico montaje auxiliar PTO.....	49
Ilustración 44. Montaje de PTO con motor A6VM160.....	50

2.2 Lista de tablas

Tabla 1. Galonajes de bombas de piñones de aluminio.....	17
Tabla 2. Galonajes de bombas Parker, según tipo y altura del piñón.....	18
Tabla 3. Galonajes bombas de pistones Rexroth.....	21
Tabla 4. Tipos de sujeciones y registros en hidráulica.....	23
Tabla 5. Ejes comerciales en equipos hidráulicos.	24
Tabla 6. Capacidad de bombas más probadas en la empresa.	35
Tabla 7. Ejes y sujeciones de las bombas más probadas en la empresa.....	35
Tabla 8. Inventario de acoples y discos de transición.	45

3 Resumen

La empresa Tecnihidraulica S.A.S está dedicada al suministro y mantenimiento de equipos hidráulicos, esto incluye bombas, motores y cilindros hidráulicos. Para garantizar la calidad de los equipos que salen de la empresa es necesario contar con un banco de pruebas confiable que pueda asegurar el funcionamiento óptimo de los equipos a las condiciones deseadas. La empresa cuenta con un banco de pruebas básico, con un motor eléctrico de 40 hp a 220 V trifásico con un consumo de 100 A nominales, una campana de acople y un tanque pequeño de aproximadamente de 20 galones que no está fijado a la estructura y ocupa un espacio que se puede aprovechar para los accesorios de las pruebas, además, se tiene sensores análogos de presión y caudal, con los cuales se realizan las pruebas y calibraciones de las bombas y motores hidráulicos, todas las evidencias se guardan en video, debido a la falta de sensores digitales no se puede tomar un registro técnico como la curva de comportamiento de una bomba hidráulica con exactitud. En este banco se han llegado a probar bombas de 34 GPM (bombas de pistones A10V071) a una presión de hasta 3000 PSI, se puede decir que esta es la máxima exigencia que se le da a este banco de pruebas, al ser esta bomba la de mayor desplazamiento entre las bombas de pistones comerciales, estas pruebas generan un sobre esfuerzo en el motor ya que superan la capacidad del mismo, por lo que los técnicos utilizan accesorios y diversas maniobras para realizar la prueba correspondiente. Con todo esto dicho se trae una propuesta para mejorar todo el proceso, esta consiste en intervenir el tanque, esto mejorando su capacidad y su fijación a la estructura; revisar la capacidad del motor, para determinar si este si tiene la capacidad para las pruebas de las bombas de más alta capacidad; la sensorica, esto utilizando recursos de la empresa para digitalizar todas las señales de las pruebas y así poder realizar curvas en tiempo real del funcionamiento de las bombas; y directamente el modo de trabajo de este banco de pruebas, para así dar un mejor informe del equipo al cliente, generar una mayor confiabilidad en el mismo y hacerle el trabajo más fácil a los técnicos que realizan estas pruebas.

Este trabajo será el inicio de un suceso de mejorías que se pueden plantear en el banco de pruebas, esto con la finalidad de centrarse plenamente en las bombas hidráulicas, al tener claro todo lo referente a esto, se puede profundizar el tema de los actuadores hidráulicos y su forma de prueba.

4 Introducción

Al momento de realizar cualquier reparación, mantenimiento e incluso cualquier venta, el equipo debe salir con las pruebas necesarias para garantizarle su funcionalidad al cliente, para esto se requiere de un excelente banco de pruebas que le garantice a la empresa, poder montar cualquier bomba, motor o cilindro hidráulico sin importar su capacidad. En este se debe poder controlar completamente el proceso al tener una excelente sensorica en el equipo, la cual permita dar resultados técnicos al cliente sobre su equipo.

Un banco de pruebas hidráulico consiste básicamente en un motor, un acople el cual permite probar cualquier tipo de bomba, un tanque que me permita tener el aceite necesario para que la bomba pueda desplazar fluido y sensores de presión, caudal y temperatura, estos tres como variables básicas.

Actualmente el banco de pruebas de la empresa está en un proceso de renovación, el cual se encuentra parado por falta de tiempo e incluso de ideas. Las reformas planeadas eran netamente estructurales y no se han concretado. Además, cuenta con una sensorica completamente análoga.



Ilustración 1. Banco de pruebas Tecnihidraulica SAS.

Como se puede ver en la *figura 1*, al actual banco de pruebas se le instalo un tanque en la parte superior, el cual aún no se usa, tiene problemas estructurales en el amarre de del motor y del mando, además tiene distintas herramientas de medición como flujometro, manómetros y amperímetro, todos estos son análogos.

Lo que se quiere principalmente es adaptar sensores digitales, como turbinas medidoras de caudal, manómetros y termocuplas digitales, todo esto estará controlado por un control remoto, el cual se encarga de transformar estas señales a digitales y así poder llevar un control computarizado de cada equipo probado, este montaje sensorico se puede ver en la *figura 2*.



Ilustración 2. Sensorica a implementar en el nuevo modelo del banco de pruebas

Además de la parte instrumental, también se buscará mejorar la parte estructural, esto se realizará con el fin de tener un mayor orden en el área de trabajo y una mayor capacidad de prueba en el banco, al implementar distintos puntos de operación en la misma estructura actual, con esto se busca dejar de represar trabajos por falta de prueba o incluso de entregar equipos sin garantizar su funcionamiento por que no se le puede hacer pruebas.

Para esto se ubicará un motor de mayor capacidad, en la parte inferior del banco, este moverá una bomba que será la que alimentara cada uno de los puntos de prueba que se desean implementar, también se quiere usar el tanque de la parte superior, y así hacer más eficaz el proceso.

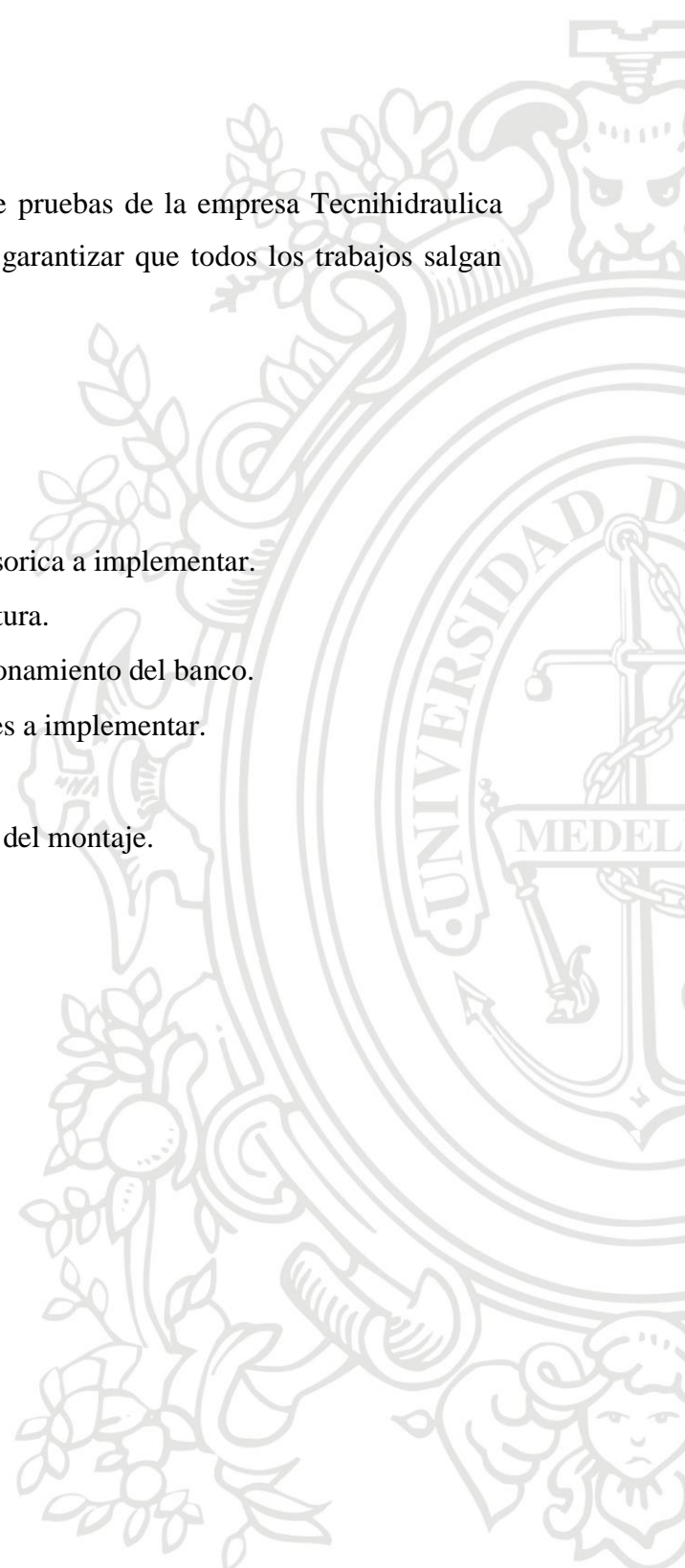
5 OBJETIVOS

5.1 General

Mejorar la configuración del actual banco de pruebas de la empresa Tecnihidraulica SAS, con el fin de aumentar su capacidad y poder garantizar que todos los trabajos salgan completamente funcionales.

5.2 Específicos

- Delimitar el rango de acción de la sensorica a implementar.
- Diseñar las reformas a la actual estructura.
- Diseñar plano hidráulico para el funcionamiento del banco.
- Realizar el montaje de los componentes a implementar.
- Calibrar la sensorica a implementar.
- Garantizar el correcto funcionamiento del montaje.



6 Marco teórico

Un banco de pruebas para bombas hidráulicas es un circuito hidráulico sencillo, donde sus principales componentes son la unidad motriz; motor eléctrico (1), acople y campana (2) y bomba hidráulica a probar (3), además, se tienen distintos filtros (4), sensores (5), adaptadores y mangueras, para realizar las conexiones al tanque hidráulico (6), a continuación, se mostrará el sistema hidráulico de un banco de pruebas y se explicará con más detalle cada uno de ellos.

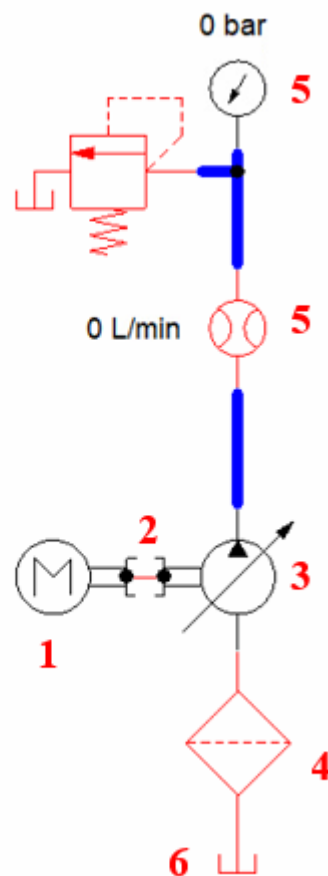


Ilustración 3. Sistema hidráulico básico banco de pruebas.

6.1 Motor eléctrico

Básicamente un motor eléctrico se encarga de convertir la energía eléctrica en energía mecánica, esta se refleja en el movimiento que se genera a través del eje del motor. El método para llegar a esto se basa en el magnetismo, donde sus dos partes más importantes, rotor y estator, interactúan mediante campos magnéticos, al energizar el motor, esto produce el giro del rotor, que finalmente genera el movimiento en el eje de salida del motor.

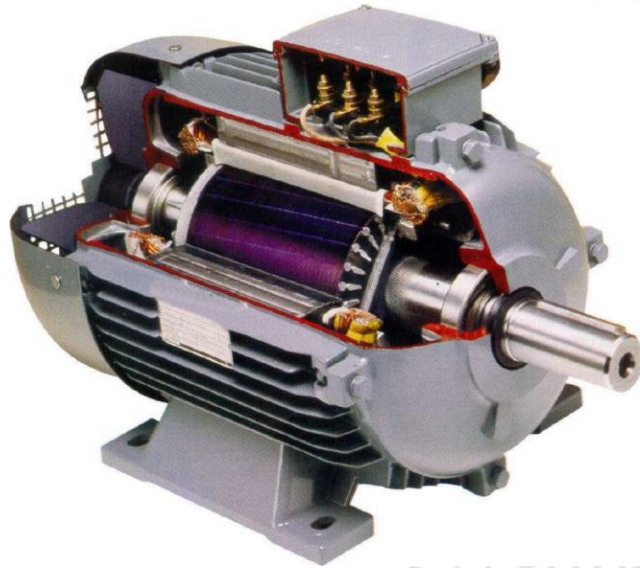


Ilustración 4. Motor eléctrico (qué, 2021)

Para el cálculo del motor en un sistema hidráulico se debe tener en cuenta la presión de trabajo y el caudal que puede desplazar la bomba, con estos datos se puede aplicar la siguiente fórmula:

$$P [\text{Hp}] = P_{\text{trabajo}} [\text{Psi}] \times Q_{\text{bomba}} [\text{GPM}] \times 0.0007$$

El motor en un sistema hidráulico, ya sea eléctrico, a combustión o incluso un motor hidráulico, es la base de todo el sistema, ya que este es el que le da el giro a la bomba para poder generar caudal, por esto es muy importante tener clara toda la información de este equipo, como se muestra en la siguiente imagen, la placa que trae el motor da mucha información valiosa sobre el mismo, que puede servir para desarrollar cálculos sobre la capacidad del sistema hidráulico y hasta donde se puede llegar.



Ilustración 5. Placa motor eléctrico.

Como se puede ver en la imagen, tenemos datos muy importantes, como la marca del motor (1), la referencia del mismo (3) que puede llegar a ser muy importante al momento de necesitar algún repuesto del equipo, las fases que tiene el motor (2), la protección que tiene el motor (4) esto se debe tener en cuenta al momento del escoger el entorno en el que va a trabajar el equipo, ya que la protección contra partículas y líquidos del equipo debe variar según los peligros que se puedan tener, lo tipos de configuraciones en voltaje (5), esto es de gran importancia, ya que depende del tipo de red eléctrica que se tenga en el sitio de instalación, esto afecta directamente el consumo de energía (7), también nos dice la potencia del equipo (6), en base de esta se realizan los cálculos hidráulicos, para saber hasta dónde se puede exigir la bomba en términos de presión, además, muestra datos generales como eficiencia del motor (8), RPM del mismo (9) y peso (10), el caso de las RPM es el más importante de estos datos finales, ya que la RPM de un motor afectan directamente el caudal generado por una bomba hidráulica.

6.2 Bomba hidráulica

Se puede considerar a la bomba como el componente más importante de un sistema hidráulico, esta se encarga de convertir la energía mecánica en energía hidráulica, desplazando el fluido para llenar el sistema del mismo, este desplazamiento es importante a la hora de determinar el funcionamiento del actuador, ya que, según el caudal de la bomba, el actuador variara su velocidad de funcionamiento directamente proporcional al caudal.

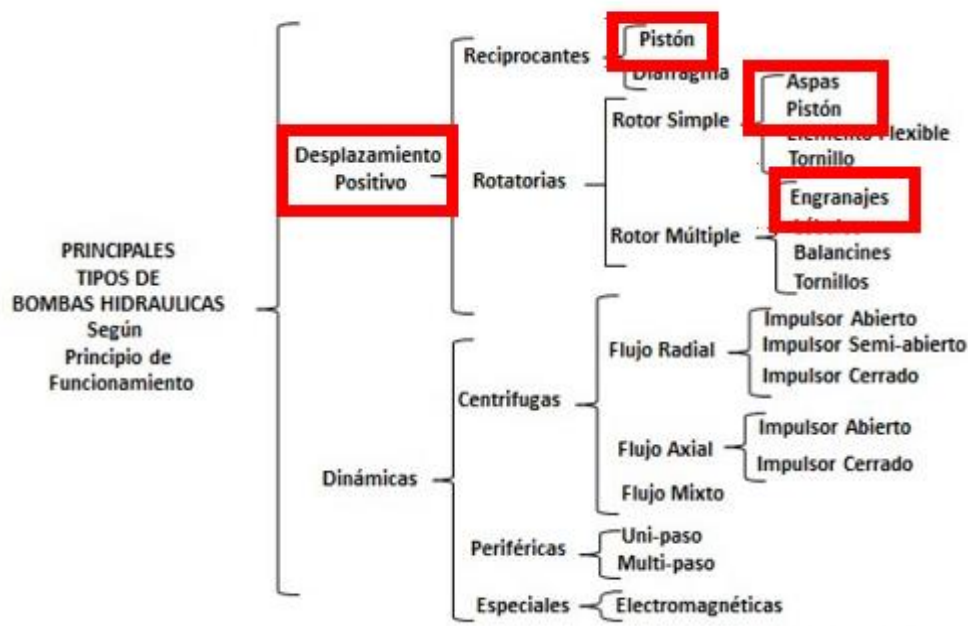


Ilustración 6. tipos de bombas.

Como se puede apreciar en la *figura 4*, hay muchos tipos de bombas, entre estas, las más utilizadas en el área de la oleo hidráulica son las bombas de piñones, paletas y de pistones. La primera por su fácil mantenimiento y practicidad; y la segunda por su capacidad de levantar mayores caudales y su precisión en los mismo.

Para calcular la capacidad requerida de una bomba para cualquier sistema hidráulico, se debe tener conocimiento de la capacidad que requiere el actuador, en el caso de un cilindro hidráulico se debe saber la velocidad de salida y el área del cilindro, además de conocer la fuerza necesaria a aplicar, para poder conocer la presión de trabajo, con esto se puede aplicar las siguientes formula.

$$Q_{bomba} = A_{piston} \times V_{salida,cil}$$

$$P_{trabajo} = \frac{F_{salida}}{A_{piston}}$$

En el caso de un motor hidráulico, lo que define el caudal de la bomba, son los RPM finales de salida del motor y desplazamiento del motor (D en in³), además del torque de salida que se requiera del motor, este arrojará la presión de trabajo requerida.

$$Q[\text{gpm}] = \frac{\text{rpm} * D[\text{in}^3]}{231}$$

$$P[\text{psi}] = \frac{T[\text{lb} * \text{in}] * 6,28}{D[\text{in}^3]}$$

6.3 Bombas de piñones.

Una bomba de engranajes genera caudal por medio de los dientes de los mismos, el eje que impulsa el motor sirve para mover a ambos engranajes, a su vez estos llevan el flujo de un lado a otro impulsándolo por el espacio que queda entre sus dientes y el cuerpo de la bomba, de esta manera se genera el caudal necesario.

Una de las ventajas de estas bombas es que son compactas, además, en costos son muy recomendables, ya que los componentes no son muy costosos, por lo que se abaratan costos de mantenimiento. Su principal defecto es que es una de las bombas que más pierde eficiencia volumétrica con el uso y picos de presión, estos desgastan los componentes, lo que genera fugas internas y hace que la bomba pueda generar cada vez menos caudal.

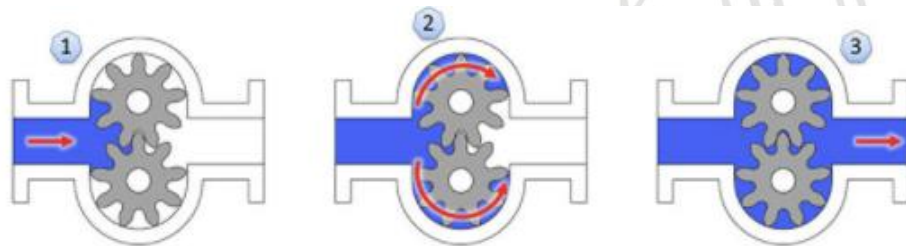


Ilustración 7. Ciclo de funcionamiento bomba de engranajes (Diener, 2021)

Básicamente las bombas de piñones se diferencian por el tamaño de sus engranajes, la fórmula que usualmente se usa para calcular una bomba de engranajes o piñones es la siguiente:

$$Q = \frac{a^2 * b * 1800 * 0.0017}{z} \quad Q = \frac{a^2 * b * 1800 * 0.0017}{z}$$

Donde, a: Distancia entre centros del juego de piñones [mm]

b: Altura del piñón [mm]

z: Numero de dientes del piñón

Hay distintos tipos de bombas de piñones, para seleccionar la bomba adecuada, se debe tener muy en cuenta factores como presión máxima del sistema hidráulico y el caudal necesario para realizar la acción que se requiera con el actuador, teniendo claro esto podemos pasar a los tipos de bombas.

6.3.1 Bombas de aluminio grupo I, II y III

Estas bombas son para sistemas hidráulicos pequeños, que no manejen alta presión, ya que al tener sus componentes en un material que se desgasta fácilmente como el aluminio, son muy propensas a dañarse con picos de presión muy altos. La diferencia en los grupos es básicamente el tamaño, a mayor grupo, mayor galonaje, por lo tanto, es una bomba más grande.



Ilustración 8. Bomba de piñones grupo 3, puertos bridados. (Interempresas, 2021)

Las bombas de piñones de aluminio vienen con caudal fijo, y según el grupo aumenta el galonaje, como se puede ver en la siguiente tabla.

Tabla 1. Galonajes de bombas de piñones de aluminio.

Tabla galonajes bombas de piñones de aluminio	
Tipo	Rango galonaje
Grupo I	Desde 0,3 GPM hasta 5 GPM
Grupo II	Desde 3 GPM hasta 12 GPM
Grupo III	Desde 12 GPM hasta 30 GPM

Estas bombas vienen con su capacidad fija y no se suelen reparar debido a su bajo costo, por esto mismo no se manejan repuestos para este tipo de bombas, cuando sufren algún daño, la solución inmediata es el cambio.

Al tener capacidad fija, se suelen hacer configuraciones de dobles o triple bombas según el sistema hidráulico donde se vaya a instalar la bomba, esto para aumentar capacidad y dividir salidas hacia el sistema hidráulico.



Ilustración 9. Bomba de piñones de aluminio triple Grupo III, Grupo II, Grupo II.

6.3.2 Bombas Parker P315, P330, P350 y P365

A diferencia de las bombas de aluminio, estas bombas manejan más capacidad y son mucho más robustas, según su designación, a mayor número mayor capacidad y también mayor tamaño. Estos tipos de bomba fueron diseñados para sistemas hidráulicos de gran magnitud, debido a su gran capacidad y que resisten hasta 3500 PSI.



Ilustración 10. Bomba Parker P350, puertos bridados. (Parker, 2021)

Las capacidades de las bombas Parker varían según el tamaño del piñón y cuerpo, a diferencia de las bombas de aluminio, estas bombas de piñones se pueden armar de diferentes configuraciones, lo que varía su capacidad de galonaje, como se ve en la siguiente tabla.

Tabla 2. Galonajes de bombas Parker, según tipo y altura del piñón.

P315

		GEAR WIDTH (Inches)						
		½"	¾"	1"	1¼"	1½"	1¾"	2"
cu in/rev		.62	.93	1.24	1.55	1.86	2.17	2.48
cc/rev		10.20	15.20	20.30	25.40	30.50	35.60	40.60
gpm		gpm	gpm	gpm	gpm	gpm	gpm	gpm
lpm		lpm	lpm	lpm	lpm	lpm	lpm	lpm
900		1.6	2.8	4.0	5.2	6.2	7.2	8.4
	6	11.5	15	19.5	23.5	27.7	32	
1200		2.4	3.9	5.4	6.9	8.6	10.1	11.7
	9	14.8	20.5	26.2	32.5	38.2	44	
1500		3.2	5.2	7.2	9.2	11.1	13	14.8
	12	19.2	27	34.8	42	48	56	
1800		4.0	6.4	8.7	11	13.4	16.7	18
	15	24	33	42	51	59.5	68	
2100		4.8	7.6	10.4	13.2	15.9	18.5	21.2
	18	29	39	50	60	70	80	
2400		5.6	8	12.0	15.2	18.2	21.2	24.2
	21	33.3	45.5	57.76	69	80.2	91.5	
3000		7.2	11.2	15.2	19.2	23.2	26.9	30.7
	27	42.3	57.5	72.7	88	102	116	

P330

		GEAR WIDTH (Inches)						
		½"	¾"	1"	1¼"	1½"	1¾"	2"
cu in/rev		.99	1.48	1.97	2.46	2.96	3.45	3.94
cc/rev		16.10	24.20	32.30	40.40	48.40	56.50	64.60
gpm		gpm	gpm	gpm	gpm	gpm	gpm	gpm
lpm		lpm	lpm	lpm	lpm	lpm	lpm	lpm
900		2	4	6	8	10	12	13.5
	9	16	23	30	38	45	51	
1200		3.5	6	8.5	11.5	14	16	18.5
	12	22	32	42	53	61	70	
1500		3.5	7.5	11	14.5	17.5	20.5	23.5
	20	31	42	55	66	78	89	
1800		6	10	14	18	21.5	25	29
	27	40	53	81	81	95	110	
2100		7.5	12	16.5	25	25	29.5	34
	28	45	62	79	95	112	129	
2400		9	14	19	24	29	34	39
	34	53	72	91	110	129	148	
3000		12.2	18.5	24.9	31.2	37.5	43.8	50.1
	46	70	94	118	142	166	190	

P350

		GEAR WIDTH (Inches)							
		¾"	1"	1¼"	1½"	1¾"	2"	2¼"	2½"
cu in/rev	1.91	2.55	3.19	3.83	4.46	5.10	5.74	5.74	
	31.30	41.80	52.20	62.70	73.10	83.60	94.00	94.00	
gpm	gpm	gpm	gpm	gpm	gpm	gpm	gpm	gpm	
	lpm	lpm	lpm	lpm	lpm	lpm	lpm	lpm	
Speed rpm	900	6	8	10.5	13	15	17.5	20	22
	1200	8.5	11.5	15	18	21	24	27	30
Speed rpm	1500	10	14.5	19	23	27	31	35	39
	1800	12	17.5	23	27.5	32.5	37.5	42	47
Speed rpm	2100	15	21	27	32.5	38.5	44	49.5	55
	2400	18	24.5	31	37	44	51	57	63.5
	69	93	117	140	167	193	216	240	

P365

		GEAR WIDTH (Inches)							
		¾"	1"	1¼"	1½"	1¾"	2"	2¼"	2½"
cu in/rev	2.70	3.60	4.50	5.40	6.30	7.20	8.10	9.00	
	44.30	59.00	73.80	88.50	103.30	118.00	132.80	147.50	
gpm	gpm	gpm	gpm	gpm	gpm	gpm	gpm	gpm	
	lpm	lpm	lpm	lpm	lpm	lpm	lpm	lpm	
Speed rpm	900	7.5	10.5	13.5	17	20.5	24	27.5	31
	1200	11	15.5	20	24.5	29	33.5	38	43
Speed rpm	1500	15	20	25.5	31	37.5	43	49	55
	1800	17.5	24.5	31.5	38	45.5	52	59	66
Speed rpm	2100	20.5	29	37.5	45.5	54	62	70	78
	2400	25	34	43	52.5	62	71	80.5	90
	95	129	163	199	235	269	305	341	

Además, entre ellas también se pueden armar bombas dobles y triples, ya sea del mismo tipo de bombas utilizando un cuerpo de transición llamado bearing carrier o entre distintas referencias usando un cuerpo llamado piggy back, esto según la necesidad que se tenga en el sistema hidráulico.

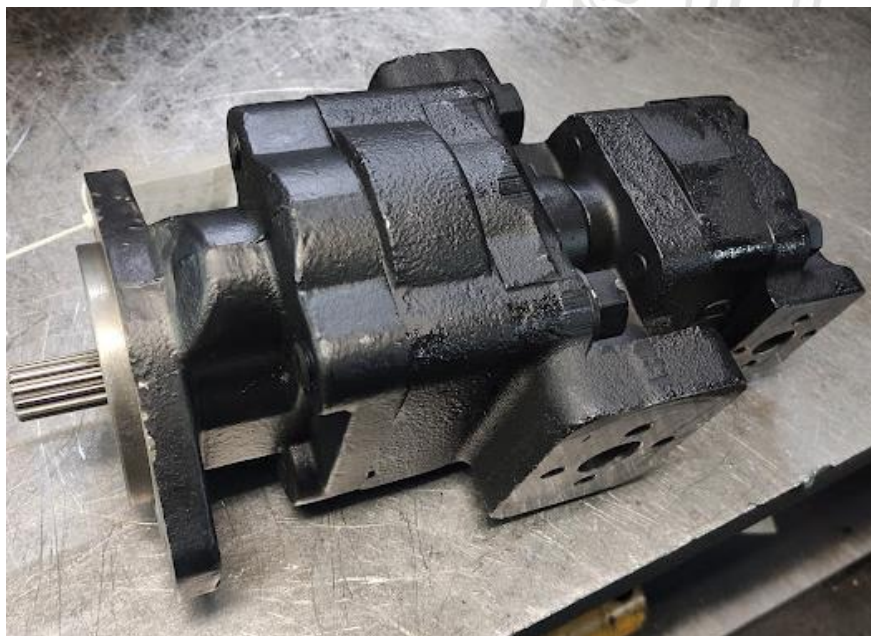


Ilustración 11. Bomba doble de piñones P330-P315

Este tipo de bombas de piñones tienen un costo mucho más elevado, por lo que tienen kit completo de repuestos para cuando pierdan eficiencia por desgaste, usualmente lo que más se le cambia a este tipo de equipo son el juego de piñones y el cuerpo, ya que son lo que se desgastan más fácilmente por excesos de presión.

6.4 Bombas de pistones.

Una bomba de pistones genera caudal a través del impulso que se genera en el fluido por medio de los mismos pistones, su funcionamiento consiste en lo siguiente; cuando el eje gira hace rotar el bloque que tiene los pistones, estos a su vez llevan una zapata en la parte inferior que va acoplada al plato basculante de la bomba, mientras esta esté a 0° o completamente perpendicular a los pistones, la bomba no generara caudal, pero cuando esta tenga un Angulo de inclinación, el juego de pistones al rotar, tendrá un punto mínimo y uno máximo, donde en estos succiona y envía fluido correspondientemente, lo que genera el caudal en el sistema.

La principal ventaja de estas bombas es que su eficiencia volumétrica es casi constante, sin importar los picos de presión, además, puede tener compensadores de presión y con ayuda del plato basculante puede trabajar descansada en momentos de alta presión, lo que además de proteger el sistema hidráulico, también abarata costos de consumo de energía.

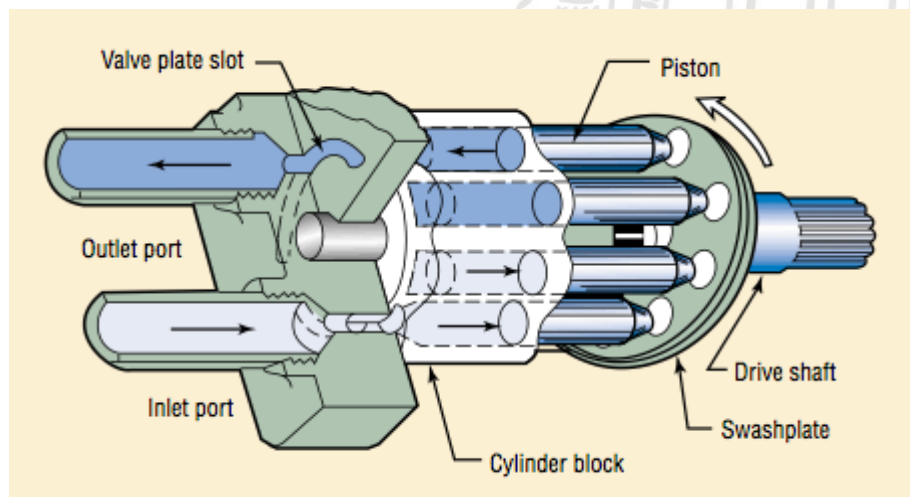


Ilustración 12. Funcionamiento y partes de una bomba de pistones (Pneumatics, 2021)

Las bombas de pistones se diferencian básicamente por sus tamaños, son bombas de caudal variable, pero también tienen fórmula para ser cubizadas en caso de necesitar ser homologadas y no tener información de estas.

Al igual que con las bombas de piñones hay distintos tipos de bombas de pistones, donde la principal diferencia son los tamaños de las bombas y su capacidad en galonaje, en la siguiente tabla se presentarán las distintas bombas de pistones marca Rexroth y sus respectivos galonajes.

Tabla 3. Galonajes bombas de pistones Rexroth

Tabla galonajes bombas de pistones Rexroth	
Bomba	Galonaje
A10VS018	9 GPM
A10VS028	13.5 GPM
A10VS045	22 GPM
A10VS071	34 GPM
A10VS100	48 GPM
A10VS140	69 GPM

Para seleccionar la bomba de pistones adecuada se deben tener en cuenta varias especificaciones del sistema hidráulico, inicialmente tener claro el galonaje que necesita el sistema, ya que esto indicara directamente que referencia utilizar, segundo se deben tener en cuenta las presiones de alta y baja del sistema, ya que este tipo de bombas tiene sensor de carga y compensador, estos deben ser calibrados según las necesidades del sistema, con la finalidad de proteger la bomba y no tener gastos innecesarios de energía.

Este tipo de bombas también se pueden unir en configuraciones dobles o triples, según la necesidad del sistema hidráulico, uniendo por medio del Trushaft de las mismas y acoples, se pueden montar las mismas referencias o combinar entre ellas.



Ilustración 13. Bomba triple de pistones A10VS071-A10VS045-A10VS018.

6.5 Campana y acoples.

Teniendo el motor y la bomba lo que falta es la forma de conectar sus ejes para que el motor pueda transmitir el movimiento a la bomba, ahí es donde entra una parte fundamental del sistema hidráulico que son los acoples y la campana bomba – motor.

6.5.1 Campana.

La campana es básicamente dos tapas con un cilindro en el centro, su principal función asegurar que la bomba y el motor siempre estén concéntricos, además tiene una función secundaria de seguridad al dejar cerrado el espacio de rotación de los ejes y el acople, para así prevenir cualquier tipo de accidente.



Ilustración 14. Campana de acoplamiento bomba-motor. (Cervimar, 2021)

Esta campana en una de sus tapas debe estar maquinada con el registro del motor y los agujeros de sujeción del mismo, en la otra tapa debe tener los registros y agujeros de sujeción de la posible bomba que se monte para prueba, por lo que este lado debe tener la característica de dejarse modificar, ya que las bombas según su tamaño varían el tipo de sujeción y el registro, en la siguiente tabla se podrá observar los diferentes tipos de sujeción y de registros que tienen las bombas, también se deja claro el tipo de ajuste que debe tener el registro de cada uno de los equipos, esto con la finalidad de tener un ajuste fino entre ambos componentes.

Tabla 4. Tipos de sujeciones y registros en hidráulica

Tipos de sujeciones y registros en bombas hidráulicas.				
Variable	Tipos			
SAE	AA	A	B	C
Diam. Registro	2" H8	3 ¼" H8	4" H8	5" H8
Tipo sujeción	2 huecos	2 huecos	2, 4 y 6 huecos	2, 4 y 6 huecos

Como la campana debe quedar fija, se usan platos de transición desde el SAE más grande hasta el más pequeño, esto con el fin de que el montaje de cada bomba sea más rápido y sencillo, estos platos en el maquinado de su registro hembra deben tener un ajuste de j9, con la finalidad de conservar el ajuste fino entre ambos componentes.



Ilustración 15. Plato de transición SAE C 4 huecos a SAE A 4 huecos.

6.5.2 Acoples.

El acople es el componente directamente encargado de conectar los ejes del motor y la bomba y así mismo transmitir el movimiento del uno al otro, el tipo de acople más usado para las pruebas de bombas es el acople tipo araña. Al ser tan importante en el sistema, se debe

utilizar acoples de buena calidad, entre estos se recomiendan las marcas HRC, UTECSA y OMEGA.



Ilustración 16. Acople flexible tipo araña. (Carreño, 2021)

Como se puede ver en la figura 15, este tipo de acoples se compone de tres piezas; dos de aluminio que van en los ejes de cada equipo y una “araña” de caucho que sirve para amortiguar los inicios de giro.

Las bombas hidráulicas tienen diferentes configuraciones de ejes, por lo que el acople no va a ser el mismo siempre, por lo que se deben tener diferentes acoples maquinados con distintos agujeros para estar preparado para el montaje de cualquier tipo de bomba, en la siguiente tabla se encontraran los tipos de ejes más comunes que se encuentran en el mercado.

Tabla 5. Ejes comerciales en equipos hidráulicos.

Tipos ejes comerciales en equipos hidráulicos	
Con chaveta (Lisos)	Estriados
1/2" con chaveta	5/8" – 9 dientes
5/8" con chaveta	17 mm – 10 dientes
3/4" con chaveta	3/4" – 11 dientes
1" con chaveta	7/8" – 13 dientes
1 1/4" con chaveta	1" – 15 dientes
	1" – 6 dientes
	1 1/4" – 14 dientes
	1 1/2" – 21 dientes

6.6 Tanque hidráulico.

Un tanque o depósito hidráulico, es donde se almacena todo el fluido el cual va a interactuar en el sistema, la bomba se encarga de hacerlos fluir por todos los componentes que interactúan en el circuito hidráulico. El tanque debe garantizar un fluido limpio y debidamente refrigerado, para el cálculo correcto de un tanque se usa la próxima fórmula.

$$V_{\text{tanque}} [\text{Lts}] = Q_{\text{bomba}} [\text{Lts/min}] \times 2 \text{ ó } 3$$



Ilustración 17. Tanque hidráulico. (Vevor, 2021)

Cuando se tiene clara la capacidad del tanque se procede a dar medidas y seleccionar accesorios, para el caso del tanque de un banco de pruebas hay varios componentes fundamentales, a continuación, se describirá cada uno de ellos.

6.6.1 Filtro de succión.

Este componente es fundamental ya que se encarga de no dejar ingresar ningún tipo de partículas o contaminación que pueda tener el tanque a la bomba, así se evitan daños graves en cualquier parte del sistema hidráulico, se debe tener en cuenta que este filtro siempre debe ir sobredimensionado con respecto a la entrada de la bomba, esto para que la bomba siempre tenga una buena área de succión, y no tener problemas de cavitación ya que esto puede acortar la vida útil de las bombas hidráulicas.



Ilustración 18. Filtros de succión. (neumática, 2021)

6.6.2 Filtro de retorno.

Este filtro es el encargado de no dejar entrar partículas que vengan del sistema hidráulico al contenedor del tanque, así se conserva más limpio el fluido y se reducen las posibilidades de daños por contaminación en el aceite.



Ilustración 19. Filtro de retorno sumergible. (hidráulica, 2021)

6.6.3 Placa divisora.

La placa divisora o bafle es una lámina que divide el espacio interno del tanque en dos, uno para succión y otro para retorno, esto con la finalidad de que el aceite que succione la bomba no este turbulento, que es como llega en la línea de retorno, al dividir el tanque con esta placa, todo el aceite al pasar por la misma toma un estado laminar lo cual mejora la succión en la bomba.

6.6.4 Visor de nivel.

El visor de nivel como su nombre lo dice, indica el nivel actual del aceite en el tanque, es fundamental ya que, si el tanque baja del nivel óptimo de aceite, puede generar daños en la bomba, al succionar aire y generar cavitación en la misma.



Ilustración 20. Visor de nivel. (neumática, 2021)

6.6.5 Tapa filtro de llenado.

Con la finalidad de que el tanque permanezca sellado para que no se contamine de ninguna manera, se instala una tapa de llenado, la cual cuenta con un filtro para partículas grandes que puedan ingresar en el momento de llenado del tanque.



Ilustración 21. Tapa filtro de llenado. (neumática, 2021)

6.7 Sensores.

El nivel de instrumentalización de un sistema es el que define la facilidad de controlar el proceso que este realiza, a mayor cantidad de variables controladas por un sensor, mayor información se tendrá sobre el correcto funcionamiento del sistema.



Ilustración 22. Tipos de sensores (Jhasmin, 2016)

En los sistemas hidráulicos las siguientes variables; temperatura, presión y caudal se deben controlar completamente controladas, ya que en base de esta se puede dar un reporte del funcionamiento del equipo.

6.7.1 Presión.

Una de las variables fundamentales en un sistema hidráulico es la presión, esta es la que finalmente va a realizar la fuerza que sea necesaria según el tipo de sistema, en un cilindro según el área del pistón aumenta la fuerza según la presión y viceversa.

Por esto es de vital importancia tener el control de presión en cada punto del sistema hidráulico, más aún en un banco de pruebas de bombas, motores y cilindros, donde el principal objetivo es observar como es el comportamiento de cada equipo a presiones elevadas, o en otras palabras al ser exigido en la función para la cual se diseñó, para tener control de esto, se instalan manómetros en varios puntos del sistema, para revisar cómo afecta la presión a cada punto.



Ilustración 23. Manómetro análogo de 0 a 300 PSI conexión lateral. (Indestrialec, 2021)

La principal característica para seleccionar un manómetro es su rango de medida, segundo, su tamaño y tercero, se tipo de conexión, ya sea lateral o trasera con caratula de

soporte. También vale aclarar que en el mercado se encuentran manómetros digitales como análogos, según la necesidad del equipo o el nivel de instrumentación del mismo se selecciona uno sobre el otro.

Los manómetros son instrumentos relativamente de bajo costo, por lo que cualquier sistema hidráulico los tiene en diferentes puntos.

6.7.2 Caudal.

Otra variable importante en el sistema es el caudal, este influye directamente en la velocidad de accionamiento del actuador final, a diferencia de los sensores de presión, un sensor de caudal es mucho más costoso, por lo que no siempre se tiene en un sistema hidráulico, más que todo se usa para realizar pruebas de eficiencia volumétrica y para esto se realiza un montaje externo.



Ilustración 24. Caudalímetro análogo. (industry, 2021)

Usualmente los caudalímetros vienen con sensores de presión y de temperatura internos, esto debido a que se usa como sistema compacto de pruebas.

Para un banco de pruebas de bombas este instrumento es fundamental, ya que es donde vamos a ver reflejado como se ve afectado el caudal que genera una bomba por la presión a la que se le someta, esto al final arrojará la eficiencia volumétrica del equipo.

6.7.3 Temperatura.

Es importante tener controlada esta variable, ya que un aumento brusco de la temperatura del aceite puede indicar algún problema interno del sistema hidráulico, se debe tener en cuenta que el aceite en el tanque no debe superar los 40°C por lo menos en la división de succión, esto para no tener problemas con la viscosidad del fluido.

6.8 Estado del arte

Para el adecuado estudio de las posibles variables a implementar en un banco de pruebas, es fundamental el planteamiento de un estado del arte que apunte a la correcta optimización de recursos en las pruebas de equipos hidráulicos.

Sanket Amin, Carl Byington P.E y Mattheew Watson usan un Sistema de recolección de datos que se basa principalmente en tres variables esenciales en el funcionamiento de la bomba hidráulica, el primero de ellos es la presión a la que se someta el equipo, esta variable toma vital importancia, ya que servirá como puntos de referencia en la toma de datos de la prueba de una bomba hidráulico, más aun en el Sistema que proponen los autores, donde se fusionan datos en dos puntos importante de funcionamiento, un punto óptimo y un punto crítico de funcionamiento, esto con la finalidad de extraer datos de manera eficiente, reducir costos en energía y llegar a una conclusión contundente, en la *ilustración 24* se puede observar completamente el modelo que se plantea, en este se resalta la importancia del procesamiento de datos.

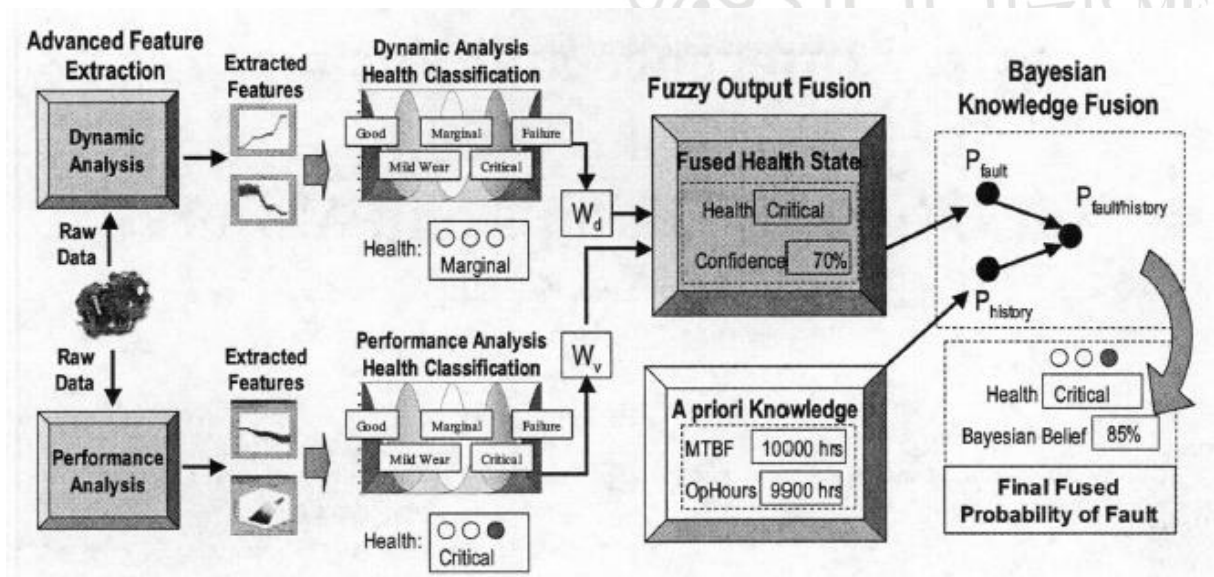


Ilustración 25. Modelo de procesamiento de datos planteado para el análisis de variables.

El segundo parámetro crítico que toman, es la cantidad de flujo que se expulse por el dreno de la bomba, esto en el momento de realizar una prueba a una bomba o motor hidráulico,

es de vital importancia, ya que, son directamente las pérdidas que está teniendo la bomba por distintos factores, en este caso la principal causa de esto es la presión a la que se someta la bomba, lo más normal es que cuando una bomba se somete a presiones altas, internamente los componentes de la misma no se comporten de manera normal, por lo que se generan pérdidas internas en la bomba, esto es expulsado por el drenaje de la misma, lo que explica la importancia de este parámetro en la prueba de una bomba hidráulica, lo ideal es que no se tengan pérdidas. El tercer parámetro crítico es la temperatura del flujo en el drenaje, es sabido que cuando la temperatura aumenta en un sistema hidráulico es una señal de alarma, y más aún cuando es en el drenaje de la bomba, esto puede significar un sobre esfuerzo que está teniendo la misma o algún fallo de uno de sus componentes, y al ser el corazón de un sistema hidráulico es lo que más se debe cuidar.

Finalmente, los autores proponen otras variables que se deben analizar muy minuciosamente, estas son las vibraciones del equipo y el ruido que estas puedan generar. Ambas son claramente una señal grande de alerta, en especial ruidos extraños ya que son más perceptibles a los sentidos humanos.

Teniendo todas las variables recolectadas los autores implementan un sistema de inferencia de lógica difusa, esto lo logran al fusionar las variables en diferentes puntos de operación, logrando así un pronóstico de posible funcionamiento del equipo, además, de la posible falla, que es lo más destacable de este trabajo.

Por otro lado tenemos el estudio de C. Kwan, R. Xu y X. Zhang, donde se estudia el comportamiento de bombas hidráulicas de aviones, es sabido que un avión es de las máquinas más seguras del planeta, esto se logra gracias al control que se tiene de cada uno de sus componentes, de todas las posibles partes de un avión se tienen varias con accionamiento hidráulico, lo que quiere decir que se debe tener una bomba en el avión disponible para activarse y efectuar cualquier movimiento de actuadores, claro está que no debe fallar ya que hay vidas en juego, por lo que en este estudio se plantea directamente estudiar las fallas de las bombas hidráulicas de un avión y su detección temprana, antes de que se pueda ocasionar un accidente.

Los autores, igual que en la mayoría de estudios, toman como principal variable de alerta el ruido o alteración en el drenaje de la bomba, además, de diferentes variables de sensores que se tienen en el equipo, básicamente usan un modelo de comparación, toman datos de funcionamiento en un estado óptimo de funcionamiento, estos se guardan en una base de datos

y constantemente son monitoreados y comparados con ayuda del modelo que se describe en la **ilustración 25**, estese divide en cuatro pasos fundamentales; primero el pre-procesamiento de datos de sensores, segundo, la generación de residual utilizando análisis de componentes menores, en este paso, utilizando métodos matemáticos, se comparan los resultados en condiciones óptimas y los resultados de la toma de datos en tiempo real, esto genera una diferencia entre ambos (residuo) es la que se envía al tercer paso, este es donde se detecta la falla, en este paso se compara el resultado del residuo con valores planteados, donde se identifica completamente la falla y finalmente se estima su tamaño o su complejidad, esta identificación sería el cuarto y último paso. Teniendo claro el tamaño de la falla, se puede estimar un límite de vida útil del equipo, se puede programar su mantenimiento o cambio, para así optimizar tiempos y costos en reparaciones, al no realizar mantenimientos innecesarios.

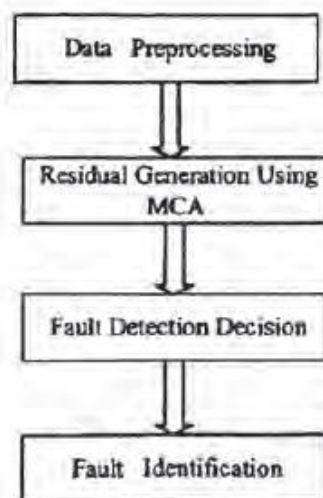


Ilustración 26. Diagrama de bloques de modelo para diagnóstico de fallas.

Para terminar, se destaca la importancia que se le da en los estudios al flujo que se pierde por el dreno de las bombas hidráulicas, teniendo este como principal variable de análisis junto con la presión a la que se somete la bomba. Esto tiene su explicación lógica, ya que la función principal de una bomba es generar caudal, toda pérdida que se presente en esta acción representa una anomalía en el equipo, que usualmente se traduce en una degradación del mismo, lo que es una señal de alerta en cualquier sistema hidráulico.

7 Metodología

El proyecto se dividió básicamente en 3 fases; donde la primera fase fue más investigativa y teórica, donde se calcularon los componentes necesarios, se verificaron funcionamientos teóricamente, se revisó con que contaba la empresa y lo que faltaba, se buscaron equipos que faltaban y se pidió aprobación; en la segunda fase ya entro la etapa de diseño, teniendo claros los equipos a usar se procede a diseñar el sistema hidráulico y el diseño de la estructura, que en este caso ya se tenía una base muy adelantada de la estructura, por lo que solo se necesitarían detalles; y finalmente la fase de pruebas e implementación, donde se tiene todo el sistema y se evalúa su comportamiento y que otras cosas se pudieran implementar.

7.1 Fase 1: Cálculos y verificación de componentes.

inicialmente se revisó con lo que contaba la empresa, ya que la idea era mejorar el banco de pruebas que ya tenía, se revisó cada componente que intervenía en el proceso de pruebas.

Inicialmente se tomó la estructura y se analizó cada parte de la misma, como se estaba usando y si se estaba aprovechando al máximo.



Ilustración 27. Configuración banco de pruebas anteriormente.

Como se puede ver en la figura 26, el banco de pruebas tenía muchos espacios desaprovechados, especialmente el espacio que se perdía en la mesa, al no usar el taque aéreo

que se tenía, por lo que los técnicos se apoyaban de un tanque auxiliar, este era el punto crítico de la estructura, por lo que inicialmente se plantea la remodelación o finalización del tanque aéreo, se propone instalar placa deflectora o baffle para mejorar la succión de las bombas al dividir la zona de retorno y succión, además, de montar tapa para evitar posible contaminación, visor de nivel para tener controlado el nivel de aceite en el depósito y no ocasionar posibles daños en bombas y finalmente utilizar cada uno de los conductos que salen del tanque, en total tres salidas para succión y tres salidas para retorno, así evitamos usar mangueras que no estén sujetas completamente al banco, implementando todo esto se lograría despejar espacio necesario en la mesa principal, ya que, el tanque auxiliar que usaban los técnicos perdería su utilidad. También se propone anclar el motor eléctrico a la mesa y remodelar la campana de acople. Finalmente se identifica que en los cajones inferiores se está manejando poco orden, por lo que se propone encerrar cada uno de estos cajones y ordenarlos por componentes.

Teniendo claro todo en la estructura, se procede a analizar el corazón del banco de pruebas, el sistema hidráulico, donde inicialmente se toma el motor eléctrico, ya que es el que genera el movimiento, y el primer paso de la conversión de energía eléctrica a mecánica y posteriormente a hidráulica. El motor con el que cuenta la empresa es de 40 HP y trabaja a 220 V trifásico, que es la red de energía que maneja la empresa, con un consumo nominal de 100 A, este está conectado de manera independiente a la red de la empresa y cuenta con un fusible térmico, el cual se encarga de la protección del mismo y de la red de la empresa.

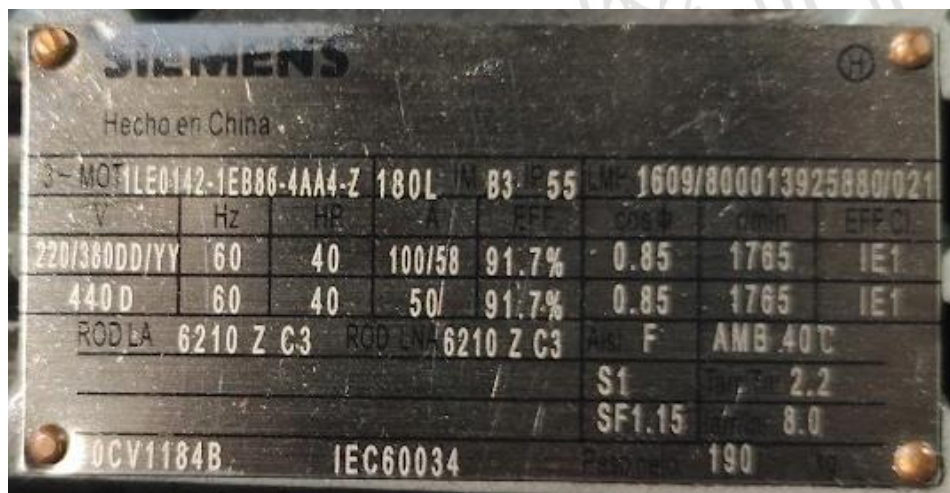


Ilustración 28. Datos del motor eléctrico de la empresa.

Teniendo clara la potencia del motor el voltaje y su amperaje de funcionamiento, podemos calcular el amperaje promedio que este genera en cada prueba, esto depende directamente de la bomba que se esté probando y las condiciones a las que se esté llevando, por lo que es de vital importancia, para tener claro hasta donde se puede exigir el motor sin problemas, tener claras las posibles bombas que se montarían al banco, en especial el galonaje de cada una, que es uno de los factores principales que influyen en la potencia o consumo de energía en cada prueba, en la tabla 6 se podrán observar las bombas que más se prueban en la empresa y su capacidad.

Tabla 6. Capacidad de bombas más probadas en la empresa.

Bombas hidráulicas más probadas en la empresa.		
Bomba	Galonaje	Máxima presión.
Bomba Rexroth A10VS071	34 GPM	4000 PSI
Bomba Rexroth A10VS045	22 GPM	3800 PSI
Bomba Rexroth A10VS018	9 GPM	3300 PSI
Bomba Parker P350	Desde 12 GPM hasta 45 GPM	3500 PSI
Bomba Parker P330	Desde 6 GPM hasta 29 GPM	3500 PSI
Bomba Parker P315	Desde 4 GPM hasta 18 GPM	3500 PSI

Teniendo claro hasta donde se puede llevar una prueba en el banco, se procede a analizar la campana y acoples, donde se debe garantizar poder acoplar cualquiera de las bombas que se necesiten probar, para esto se debe garantizar tener acoples con cada uno de los ejes más comunes en las bombas hidráulicas y discos de transición de SAE para garantizar el registro de cada una de las bombas, los ejes y tipos de sujeción (SAE) más comunes se pueden observar en la tabla 7.

Tabla 7. Ejes y sujeciones de las bombas más probadas en la empresa

Bombas hidráulicas más probadas en la empresa.		
Bomba	Eje	Sujeción
Bomba Rexroth A10VS071	1 ¼ - 14 dientes	SAE C – 2 agujeros
Bomba Rexroth A10VS045	1” – 15 dientes	SAE B – 2 agujeros
Bomba Rexroth A10VS018	5/8” – 9 dientes	SAE A – 2 agujeros
Bomba Parker P350	1 ¼” – 14 dientes	SAE B – 2 agujeros
Bomba Parker P330	1” – 15 dientes	SAE B - 2 agujeros
Bomba Parker P315	7/8” – 13 dientes	SAE B – 2 agujeros

Finalmente se analizaron los sensores que tenían en el banco y los que se tenían guardados para futura implementación, la mayoría de estos son análogos, por lo que no se puede tener un registro computarizado de los mismos, por lo que los técnicos registran cada prueba en video para conservar evidencia del correcto funcionamiento de cada bomba.



Ilustración 29. Caudalímetro análogo.

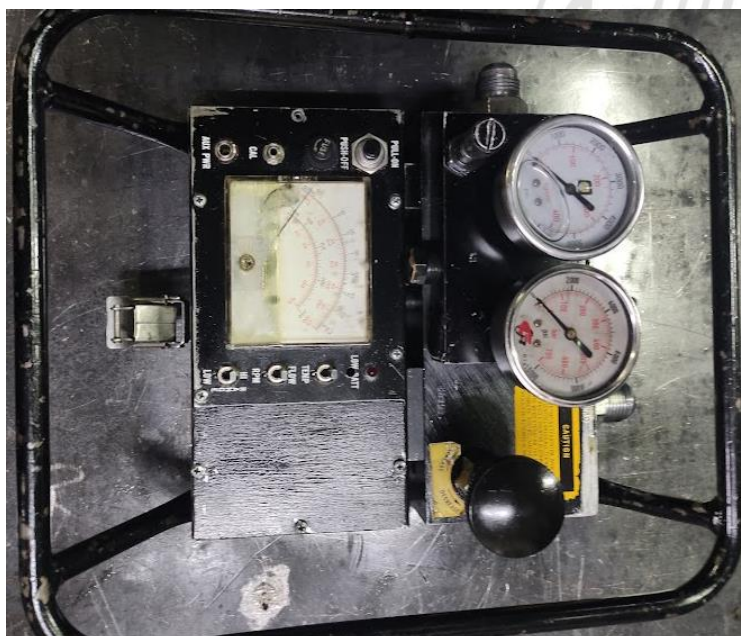


Ilustración 30. Caudalímetro análogo para sistemas de alta y baja.



Ilustración 31. Caudalímetro análogo bidireccional.

La empresa tiene unos sensores digitales PARKER, los cuales nunca fueron implementados por falta de conocimiento, en este trabajo se realizaron las pruebas necesarias de cada uno de estos para verificar su posible instalación y futura digitalización de datos, esto para entregar un informe más completo y estructurado de cada equipo, para estas pruebas se realizó un análisis teórico-práctico del sensor y su control. Se buscó acoplar la turbina medidora de caudal con un control service master plus de Parker, esto para leer las señales que el instrumento mandaba, además, se le adiciono un sensor adicional, esto para controlar temperatura y presión en la turbina, y así generar curvas de caudal vs flujo las cuales se usan para medir la eficiencia de una bomba hidráulica.



Ilustración 32. Sensores digitales en propiedad de la empresa.

Teniendo claro los componentes que se podían usar, las modificaciones que se requerían para optimizar el funcionamiento del banco de pruebas, se procede a realizar diseños hidráulicos y mecánicos de cada uno de los componentes descritos.

7.2 Fase 2: Diseños hidráulicos y modelado de componentes.

En esta etapa, teniendo claros los componentes a usar y la función que se requiere para cada uno se realizó el plano hidráulico, que explicaba el funcionamiento ideal de lo que se quería con el banco de pruebas, donde básicamente se quería tener distintos puestos de trabajo en el mismo banco de pruebas para aprovechar al máximo el potencial del mismo. Se tendrían salidas A y B en cada puesto, todas alimentadas por una bomba, esto serviría para realizar pruebas de motores y cilindros al tiempo, lo que optimizaría el tiempo de pruebas.

También se planteó un plano estructural donde se mostraba la estructura que se tenía con las respectivas modificaciones que se debían realizar para ejecutar el proyecto, entre estas terminar el tanque superior y ponerlo en funcionamiento como se especificó en la fase 1, de este plano se sacaron dimensiones de componentes que se requerían para el mejoramiento del tanque y estructura en general.

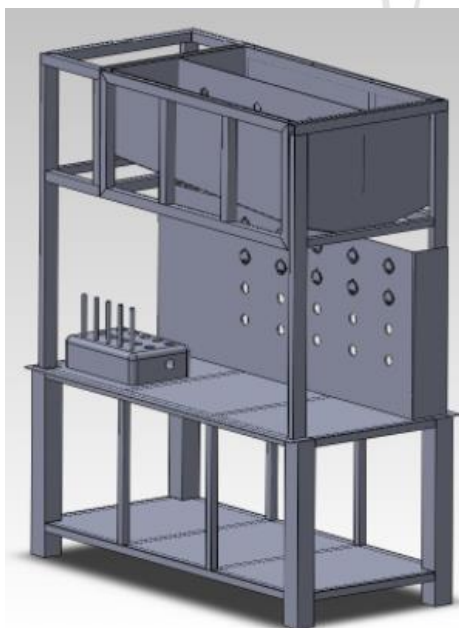


Ilustración 33. Modelado estructural de banco de pruebas.

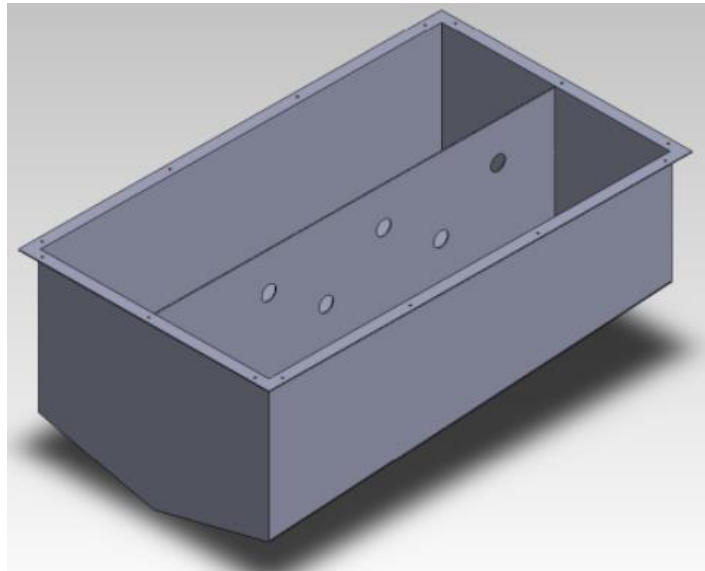


Ilustración 34. Modelado de tanque y placa divisora.

7.3 Fase 3: Implementación.

En esta etapa, se procedería a ensamblar todo lo que se tenía y lo que fue aprobado, se realizarían pruebas de su funcionamiento y finalmente se pondría a disposición de la empresa la configuración más adecuada, los resultados se muestran en el siguiente ítem.

8 Resultados y análisis.

Inicialmente se intervino el tanque, como se planteó se buscó dejar optimizado al máximo el tanque aéreo, inicialmente se bajó de su estructura, se cubico teniendo en cuenta su geometría, esto para tener en cuenta la capacidad de aceite que tenía.

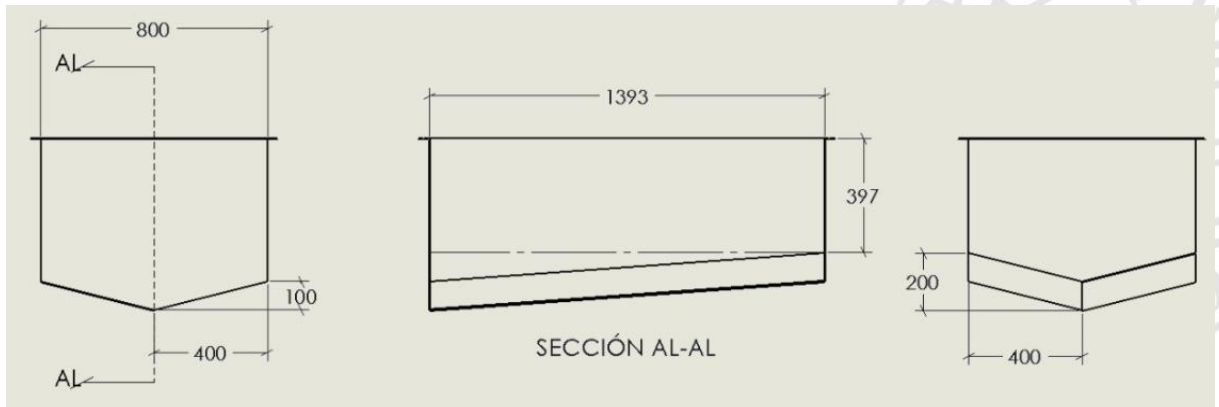


Ilustración 35. Medidas generales tanque hidráulico.

Teniendo las medidas del tanque, se asume un cubo completo y se saca el volumen del mismo, al cual se le resta el volumen del triángulo más alto desde su base, lo que arroja la capacidad aproximada del tanque.

$$V_{Cubo} = L * L * L$$

$$V_{Cubo} = 1,393m * 0,597m * 0,8m$$

$$V_{Cubo} = 0,655m^3$$

$$V_{triangulo} = \left(\frac{h * b}{2} \right) * l$$

$$V_{triangulo} = \left(\frac{0,2m * 0,4m}{2} \right) * 1,393m$$

$$V_{triangulo} = 0,056m^3$$

$$V_{deposito} = V_{Cubo} - 2V_{triangulo}$$

$$V_{deposito} = 0,655m^3 - (2 * 0,056m^3)$$

$$V_{deposito} = 0,544m^3 = 544L = 144Gal$$

Ahora se toma la máxima capacidad de una posible bomba hidráulica que son unos 68 GPM y se usa la formula teórica para calcular el volumen necesario de un deposito hidráulico para no tener inconvenientes en el sistema de calentamiento.

$$V_{\text{deposito,teorico max}} [\text{gal}] = Q_{\text{bomba,max}} [\text{gpm}] * 2$$

$$V_{\text{deposito,teorico max}} = 68 \text{gpm} * 2$$

$$V_{\text{deposito,teorico max}} = 136 \text{gal}$$

$$V_{\text{deposito}} \geq V_{\text{deposito,teorico max}}$$

$$144 \text{gal} \geq 136 \text{gal}$$

Se concluye que el tanque es el adecuado para cualquier tipo de bomba que se requiera montar en el banco de pruebas.

Ya con la capacidad definida, se procede a pedir una caneca de aceite exclusiva para las pruebas y tenerla disponible cuando se completará el trabajo a realizar en el tanque hidráulico. Se continuo con un trabajo de limpieza, ya que la estructura estaba expuesta a suciedad durante un largo periodo de tiempo, y se pidieron todos los adaptadores necesarios para las conexiones de las mangueras, estos incluyen reducciones, adaptadores macho – hembra, adaptadores a 90°, llaves de paso, etc. Esto con el fin de tener en ambos lados (retorno y succión) distintos puntos de conexión acordes a la necesidad.



Ilustración 36. Puertos de retorno y de succión del tanque actualmente.

También se tomaron medidas para la fabricación de la placa deflectora o baffle para el tanque, se realizó el plano de la misma, se cortó y se instaló en el tanque, finalmente se le instala el visor de nivel y una tapa superior para evitar la contaminación del aceite.



Ilustración 37. Banco de pruebas reorganizado con tanque aéreo implementado.

En el tema del tanque aéreo aún queda faltando sujetar la tapa superior con pernos y adicionarle 2 tapa filtro de llenado a cada lado para agilizar el proceso de llenado de aceite del depósito. Actualmente el tanque aéreo se encuentra completamente funcional, por lo que el tanque auxiliar ya no está ocupando espacio innecesario en la mesa y se omitió su uso.

Además del tanque, estructuralmente se propuso la sujeción del motor a la mesa, cosa que no se ha implementado y el ordenamiento de los gabinetes inferiores que posee la mesa, esto se ha ido implementando poco a poco, va más que todo en la cultura de los técnicos al

ordenar su puesto de trabajo, pero si se puede notar una mejoría en el uso de los espacios disponibles, se tiene un espacio para acoples y discos de transición, el del medio donde se almacenan las mangueras disponibles para las pruebas y el ultimo donde se guardan los posibles accesorios a usar en cada una de las pruebas, la deficiencia mayor es el ordenamiento de las mangueras que pertenecen al banco de pruebas.



Ilustración 38. Gabinetes inferiores banco de pruebas.

Con la parte estructural clara, se procede a realizar los cálculos del motor, estos se realizan con la bomba de mayor capacidad más comúnmente probada en el banco de pruebas, esta es la bomba de pistones Rexroth A10VS071, con sus casi 34 GPM, de caudal máximo generado, se procede a calcular la máxima presión que se puede levantar con el motor que se tiene de 40 HP.

$$P[hp] = Q[gpm] * p[Psi] * 0.0007$$

$$40hp = 34gpm * p * 0.0007$$

$$p = \frac{40}{34 * 0.0007}$$

$$p = 1680Psi$$

Teóricamente la bomba solo podría subir a 1680, pero es muy común con estas bombas que tengan que ser sometidas a una presión mayor, esto por que usualmente se calibra el compensador de las mismas a 3000 PSI y esta caída de caudal (compensación) debe quedar en registro de prueba, por lo que los técnicos se las ingenian para llegar a esta presión, para esto se apoyan de un montaje con un mando hidráulico, con el cual controlan el paso del caudal de la bomba hacia la restricción, con un pulso súbito del mando se eleva la presión instantáneamente a la necesaria para la compensación y el caudal cae a cero, por lo que el motor aguanta esta carga, claramente sobre esfuerzan al motor y la gran mayoría de veces se dispara el fusible térmico en el pico de presión justo antes de compensar, pero es algo necesario ya que la capacidad del motor no es la suficiente para llegar a estas presiones en condiciones normales, cuando se debe realizar esta maniobra teóricamente se sube la potencia del motor, lo que aumenta drásticamente el amperaje del motor por lo que el consumo energético aumenta directamente.

$$P[Hp] = 34 \text{ gpm} * 3000 \text{ Psi} * 0.0007$$

$$P = 71,4 \text{ Hp}$$

Con la potencia a la que subiría el motor, en caso de que con la maniobra que ejecutan los técnicos el fusible térmico interno del motor no se dispara y apaga el motor, se procede a calcular cuanta corriente se estaría consumiendo hasta este punto.

$$I[A] = \frac{P[hp] * 764}{\sqrt{3} * V * f_p * Eff}$$

$$I = \frac{74,4 * 764}{\sqrt{3} * 220 * 0,85 * 0,915}$$

$$I = 191,8 \text{ A}$$

Como se puede notar el consumo de energía aumenta aproximadamente 2 veces a diferencia del consumo nominal, además, de que puede disparar el térmico del motor y generar el paro del motor o incluso problemas eléctricos en la empresa, esto ocurre cada vez que se

requiere realizar la prueba de estas bombas de gran capacidad, que son las más comunes de montar en el banco de pruebas. Cuando se montan bombas de más capacidad que la A10VS071, se realizan pruebas a menor capacidad de rendimiento del equipo, esto debido a que no se puede sobre exigir demasiado al motor, se debe tener en cuenta que la recomendación a los motores eléctricos cuando se lleva su amperaje al doble del nominal, es dejar que el motor se enfríe, esto con la finalidad de evitar problemas mayores en el motor.

Otro ítem que se buscó analizar es que se tuvieran los acoples necesarios y los discos de transición de SAE para garantizar la sujeción de todo tipo de bombas hidráulicas. Para esto se realizó un inventario completo de cada acople que se tenía para las bombas, de los platos de transición que se tenían y arrojaron los siguientes resultados.

Tabla 8. Inventario de acoples y discos de transición.

Inventario de acoples y discos de transición de SAE		
Acoples		Discos transición SAE
Con chaveta (Lisos)	Estriados	
5/8" con chaveta	5/8" – 9 dientes	SAE C a SAE A
3/4" con chaveta	3/4" - 11 dientes	SAE C a SAE B
7/8" con chaveta	7/8" – 13 dientes	SAE C
1" con chaveta	1" – 15 dientes	
1 ¼ con chaveta	1 ¼" - 14 dientes	



Ilustración 39. Montaje de disco de transición SAE C a SAE B con acople para eje de 1 ¼" – 14

Comparando los datos de la *tabla 8* con los de la *tabla 5*, se destaca que se tienen los suficientes acoples para cubrir todo tipo de bombas comerciales, e incluso se tienen acoples para ejes especiales que han llegado al taller para prueba, lo mismo con el tema de la sujeción, se cubren todos los tipos de SAE comunes que traen las bombas.

Teniendo toda la parte hidráulica y estructural definida se analizan los resultados del estudio de los sensores. Inicialmente se puede confirmar que el uso de los sensores análogos cumple de muy buena manera su finalidad, se logra realizar una prueba completa de los equipos, se logra calibrar de buena manera y se logra documentar en video cada una de las variables que se manipulan, claro está, solo es preciso en el punto inicial y final, debido a lo comentado en el apartado del motor y la maniobra que realizan los técnicos en las pruebas de bombas de gran galonaje, además de que los resultados se leen al ojo humano y tienen el error del mismo, teniendo en cuenta todo esto se da el visto bueno al uso de los sensores análogos de la empresa.



Ilustración 40. Montaje de bomba A10VS071 con sensores análogos

Lo más importante en este trabajo era analizar la compatibilidad de los sensores digitales que tenía la empresa de Parker, una turbina medidora de caudal y un par de sensores de temperatura y presión, con el control Service master plus que se encarga de la lectura de datos de estos sensores y de entregar un informe detallado de cada momento de la prueba.

Para el análisis de los sensores inicialmente se revisaron los manuales y compatibilidades de cada equipo, donde se descubrió que la empresa no había tenido en cuenta la compatibilidad de todos los equipos para la compra, debido a que la turbina tenía una tecnología diferente a la del control, esto se informa a la gerencia y se da la opción de importar el cable de conexión de la turbina (que no lo tenía) y explorar el método de conexión de la misma, lo cual fue aprobado.



Ilustración 41. Puertos cables, sensores y control.

Con el cable en la empresa, se realizaron análisis de salidas de señal, comparando la salida del tipo de conexión de la turbina con la del sensor de presión y temperatura, verificando cual eran los cables de señal y cuales los de alimentación, se logró llegar a una adaptación a tal nivel que se conectó la turbina con el control, y este detecto la señal de caudal, cosa que no se

había podido lograr, para esto se usaron los conectores del cable de uno de los sensores de presión y se le adaptaron al cable importado para la turbina de caudal.

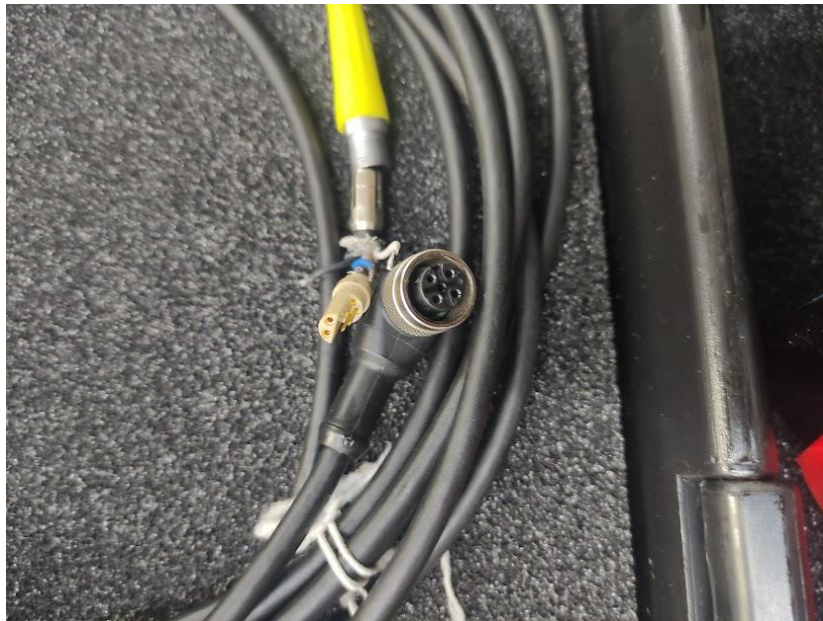


Ilustración 42. Cable original de control y cable importado para turbina.

Cuando se logra el reconocimiento de la variable por el control, se procede a realizar montaje en el banco de pruebas para revisar su funcionamiento, teniendo resultados negativos, ya que el control no recopilaba los datos del sensor de caudal como lo hacía con la temperatura y presión del fluido.

Finalmente se desiste de buscar la compatibilidad directa entre los equipos, se le informa a la gerencia que la turbina medidora de caudal no era la que necesitaban para el control, se busca referencia de la turbina necesaria y se cotiza.

De los modelos propuestos, no se ha logrado implementar ninguno, en la parte estructural se logró todo el avance del tanque y liberación de espacio, pero no se implementan los puestos de trabajos individuales planteados, debido a que ya se tiene un banco de pruebas externo más pequeño para los actuadores hidráulicos, este banco de pruebas se dejara exclusivamente para bombas. Misma situación ocurre con el modelo hidráulico planteado.

Y como ya se mencionó, de la fase de implementación, se mejoró todo el tema del tanque hidráulico y de los espacios para la ubicación de los montajes hidráulicos para cada prueba.

9 Avances en el equipo.

Además de los resultados obtenidos con el problema planteado, últimamente se realizó una adaptación nueva al banco de pruebas, esto se hizo con la finalidad de tener más capacidad en las pruebas de bombas de gran galonaje. Esta adaptación se describe en el siguiente plano hidráulico, donde se especifica cada componente.

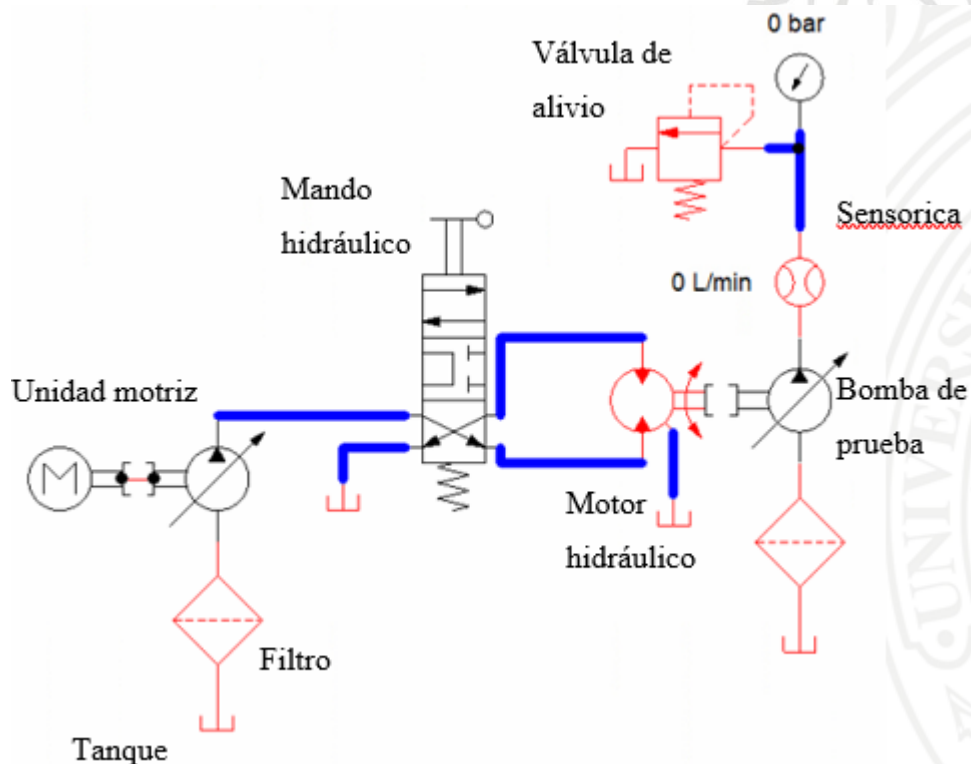


Ilustración 43. Esquema hidráulico montaje auxiliar PTO.

Esta adaptación se basó en la implementación de un PTO hidráulico, el cual es movido por un motor hidráulico A6VM160, este a su vez es accionado por una bomba de 22 GPM que conectada al motor del banco de pruebas genera caudal para el movimiento del mismo, con esto logramos disminuir las RPM de prueba, esto es importante ya que las bombas de gran galonaje tienen su máxima eficiencia en un promedio de 1200 RPM, al bajar las RPM de prueba, se puede generar menos galonaje y al subir la presión para probar los sensores de la misma no se genera tanta potencia, lo cual aumenta la posibilidad de éxito de la prueba con el motor eléctrico que se tiene.

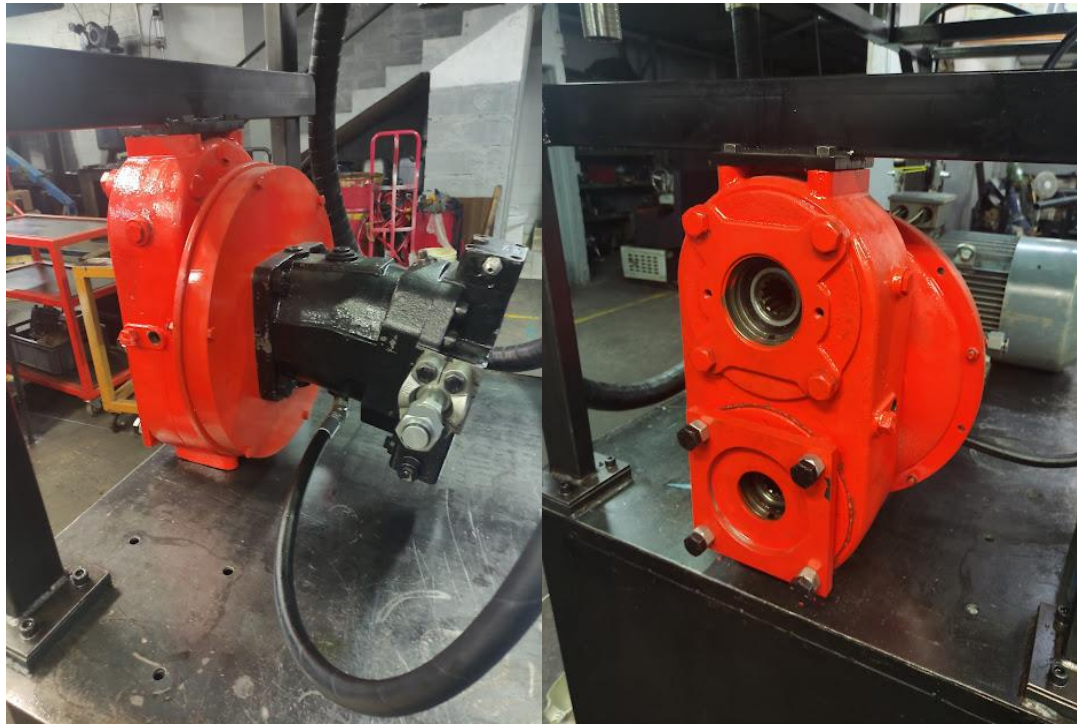


Ilustración 44. Montaje de PTO con motor A6VM160

El motor hidráulico acciona directamente la bomba a probar, y según el giro de la misma se utiliza una de las dos salidas del equipo, ya que su movimiento interno es por medio de engranajes, por lo que cada salida tiene giro contrario a la otra, para la implementación del mismo se realizaron los cálculos de potencia final que este montaje brindaría a comparación del motor eléctrico.

Para estos cálculos es necesario saber el desplazamiento o cilindrada (D) máxima del motor hidráulico A6VM160, esta es de 160 cm³ o 9,7638 in³, con esto y teniendo en cuenta que la bomba que va a enviar el caudal al motor es una bomba de piñones Parker P350 de 22 GPM, se procede a calcular las RPM de salida del motor hidráulico.

$$RPM_{motorhidraulico} = \frac{GPM_{Bomba} * 231}{D_{Cilindradamotorhid} [in^3]}$$

$$RPM = \frac{22 * 231}{9,7638}$$

$$RPM = 520rpm$$

Teniendo las RPM de salida, un dato que es importante para el cálculo de la potencia es el torque que pueda generar el motor hidráulico, para esto se necesita conocer la presión máxima a la que se puede someter, esto va relacionado con el galonaje de la bomba y la potencia del motor eléctrico, se calcula la presión máxima a la que se puede llevar la bomba para que el motor hidráulico no dispare el fusible térmico, y con esto se calcula el torque de salida del motor hidráulico.

$$P_{\max} = \frac{Hp}{GPM * 0,0007}$$

$$P_{\max} = \frac{40}{22 * 0,0007}$$

$$P_{\max} = 2597 \text{ psi}$$

$$T = \frac{p * D_{\text{cilindradamotorhid}} [in^3]}{6,28}$$

$$T = \frac{2600 \text{ psi} * 9,7638 in^3}{6,28}$$

$$T = 4042 lb * in = 336,8 lb * ft$$

Teniendo el torque generado por el motor y las rpm de salida del mismo, podemos relacionar estas dos variables y así hallar la potencia efectiva del montaje del PTO.

$$P[hp] = \frac{T[lb * ft] * RPM}{5252}$$

$$P = \frac{336,8 * 520}{5252}$$

$$P = 33,34 hp$$

Teniendo en cuenta que la transmisión de giro es por medio de engranajes se debe aplicar la eficiencia de transmisión de potencia de los mismos que es de aproximadamente el 97%, lo que nos da una potencia final efectiva de 32,34 Hp. Se puede notar que la potencia final baja, a comparación de la potencia del motor eléctrico, pero se debe tener en cuenta que este

montaje brinda una velocidad de salida de solo 520 RPM, algo que no se puede lograr con el motor eléctrico directamente, esto da una ventaja para las pruebas de bombas grandes.

Como se puede notar, implementar este montaje al banco de prueba le da un gran valor agregado a la empresa, ya que sin aumentar la capacidad del motor eléctrico o generar más consumo de energía, estamos cubriendo una falencia que se tenía para las pruebas de bombas de gran capacidad, este se probó con una bomba Rexroth A10VS140, con resultados óptimos para el cliente y para la calidad de la prueba.



10 Conclusiones.

Se realiza un análisis completo de todos los sensores con los que cuenta la empresa, desde los análogos hasta los digitales que se tenían guardados, los resultados en las pruebas de los sensores análogos son correctos, garantizan el correcto funcionamiento del equipo y la correcta calibración de cada uno de los sensores de las bombas, todo debe quedar documentado en video, para llevar el registro y se tiene la posibilidad del error del ojo humano.

Se completan las reformas estructurales en el tanque, lo que libera mucho espacio que se ocupaba con el tanque alternativo, se implementa el uso del tanque aéreo para todas las pruebas a realizar, además se realiza un ordenamiento de los cajones inferiores por tipo de accesorio, lo que agiliza la búsqueda de cada componente, finalmente se implementa a la estructura el montaje del PTO y del motor hidráulico para las pruebas de bombas de gran capacidad.

Se realiza diseño de sistema hidráulico, el cual no se implementa completamente debido a temas de espacio y de optimización de los equipos que se tienen en el taller, se deja el banco de pruebas exclusivamente para la prueba de bombas hidráulicas y el banco pequeño alterno para la prueba de actuadores.

Se realiza montaje de los accesorios del tanque aéreo; baffle, visor de nivel, filtros de succión y retorno y demás accesorios para la conexión de mangueras y drenos, además del montaje del PTO para pruebas de bombas de gran capacidad.

Se realiza investigación sobre todos los sensores digitales con los que cuenta la empresa y su respectivo control, teniendo resultados negativos al no ser compatibles directamente, además, se busca la compatibilidad realizando modificaciones en la conexión de cada componente, a tal punto de lograr que el control reconozca el sensor, pero no lea los datos que este le envía, por lo que se descarta la idea de usar esta turbina medidora de caudal y se propone la compra de un sensor de caudal compatible con el control que se maneja.

Finalmente se revisa el funcionamiento de los cambios que se pudieron realizar; el tanque aéreo funciona correctamente, se reconoce la mejoría que le dio a la funcionalidad final

del banco de prueba, ya que le da más orden y se tiene mayor capacidad de aceite, y la implementación del montaje del PTO para la prueba de bombas de gran capacidad, este ya se probó con resultados óptimos para el montaje, lo cual deja buena imagen en la empresa.



11 Bibliografía

- C. Kwan, R. X. (2003). Fault Detection and identification in aircraft hydraulic pumps using MCA. *Intelligent automation Inc.*, 6.
- Carreño, A. y. (2021). *Importaciones ardila y carreño*. Obtenido de https://www.ayc-ltda.com/MCO-622857071-acople-flexible-para-motor-con-arana-m-c-075-_JM
- Cervimar, G. I. (2021). *Grupo Invemar Cervimar*. Obtenido de Catálogo de productos: <https://cervimar.com/catalogo/campanas/>
- Diener. (2021). *Diener*. Obtenido de External gear pumps: <https://dienerprecisionpumps.com/external-gear-pumps/>
- Dynaco. (s.f.). Gear pumps and motors. 17.
- hidráulica, T. (2021). *Tecnocasa hidráulica*. Obtenido de Filtros de retorno: <https://teconasa.com/filtros-retorno/>
- Indestrialec, M. (2021). *Repuestos Industriales*. Obtenido de Manómetro de 0 a 300 PSI: <https://mercadoindustrialec.com/tienda/manometro-de-0-a-300-psi-caratula-4-toma-1-2-vertical-t-inf-bronce-modelo-pfq/>
- industry, D. (2021). *Direct industry*. Obtenido de Caudalímetro análogo: <https://www.directindustry.es/prod/stauff/product-5551-504470.html>
- Interempresas. (2021). *BC hidráulica*. Obtenido de <https://www.interempresas.net/Agricola/FeriaVirtual/Producto-Bombas-hidraulicas-de-engranajes-de-aluminio-Rexroth-Bosch-Group-AZPF-158921.html>
- Jhasmin, L. (2016). *Sensórica Numpaque*. Obtenido de Definición: <http://sensoricanumpaque.blogspot.com/2016/10/definicion.html>
- neumática, H. y. (2021). *Hidráulica y neumática*. Obtenido de Filtros de succión, visores de nivel, Tapas de llenado.: <http://www.hnsa.com.co/filtros-de-succion/>
- Parker. (2021). *Parker*. Obtenido de Bombas de engranaje: <https://ph.parker.com/co/es/gear-pumps1>
- Pneumatics, H. a. (2021). *Hydraulics and Pneumatics*. Obtenido de <https://www.hydraulicspneumatics.com/hp-en-espanol/article/21886594/principios-ingenieriles-bsicos-bombas-hidraulicas>
- qué, C. F. (2021). *Cómo funciona qué*. Obtenido de cómo funciona el motor eléctrico: <https://comofuncionaque.com/como-funciona-el-motor-electrico/>

Sanket Amin, C. B. (2005). Fuzzy inference and fusion for health state diagnosis of hydraulic pumps and motors. *Impact Technologies, LLC*, 6.

Vevor. (2021). *Amazon*. Obtenido de Vevor depósito de aceite hidráulico: <https://www.amazon.es/VEVOR-Deposito-Hidraulico-Hidr%C3%A1ulico-Temperatura/dp/B08D64K6ZP>

Vickers, S. (1981). *Manual de oleohidráulica industrial*. España: BLUME, S.A.

