

Circuitos con motor hidráulico

OBJETIVO DEL EJERCICIO

- Describirá el diseño y operación de un motor hidráulico;
- Calculará el par y la velocidad de un motor hidráulico;
- Determinará el efecto de cambiar la razón de flujo o presión que tiene una operación del motor.

DISCUSIÓN

Los motores hidráulicos convierten la energía hidráulica en energía mecánica giratoria. Esta energía es utilizada para hacer girar un objeto que opone resistencia en un eje. Los motores hidráulicos tienen diferentes ventajas sobre los motores eléctricos. Pueden ser uni o bidireccionales. Son instantáneamente reversibles y pueden absorber diferentes choques de carga sin dañar el motor. Son más pequeños que los motores eléctricos y responden más rápido. Los motores hidráulicos pueden sobrecargarse y detenerse sin dañarse, debido al exceso de presión que es desviado sobre la válvula de alivio.

Como se muestra en la Figura 4-8, un motor hidráulico consta de los siguientes elementos:

- Un **orificio de entrada** que suministra aceite presurizado.
- Una **cubierta** que contiene un **mecanismo giratorio**, como un engranaje impulsor, expuesto a la presión del sistema. El mecanismo giratorio está conectado al eje del motor. Cuando el aceite presurizado pasa por la entrada del motor, la presión en el mecanismo giratorio causa que el eje del motor gire.
- Un **orificio de salida** a través del cual el aceite sale del motor.

Circuitos con motor hidráulico

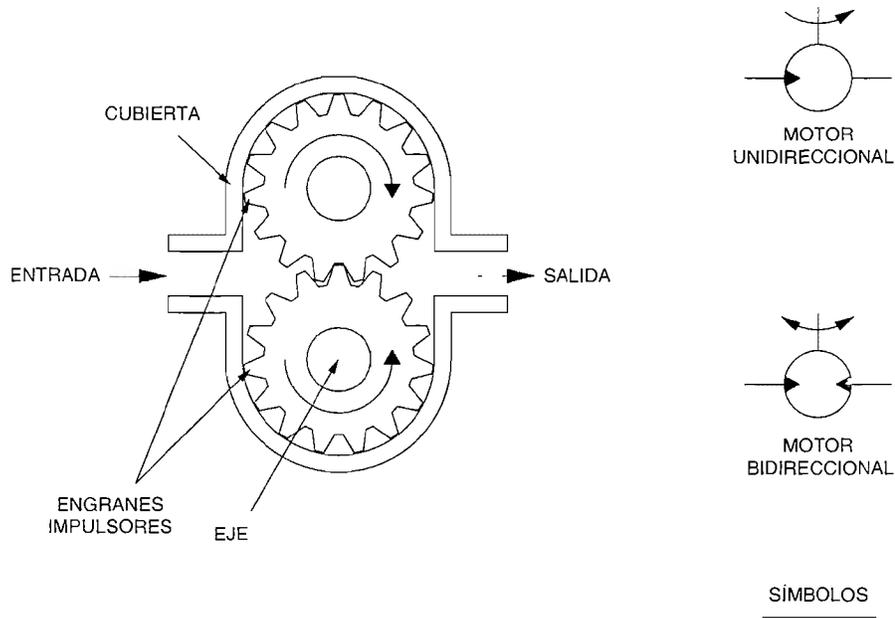


Figura 4-8. Motor hidráulico.

Tipos de motores hidráulicos

Existen tres tipos de motores hidráulicos, después haremos mención del tipo de mecanismo giratorio utilizado en el motor. Existen motores de **engrane**, de **paleta** y de **pistón**, como se muestra en la Figura 4-9.

- El motor de engrane es el tipo de motor suministrado con el equipo didáctico en hidráulica. Este consta de dos engranes enlazados dentro de la cubierta del motor. Un engrane está unido al eje del motor. Cuando el aceite presurizado es bombeado en el orificio de entrada, la presión actúa sobre el área de la superficie del diente del engrane y los engranes son forzados a girar. Los motores de engrane son normalmente menos costosos que los otros tipos de motores. Son utilizados comúnmente en agricultura y aplicaciones de minería.

Circuitos con motor hidráulico

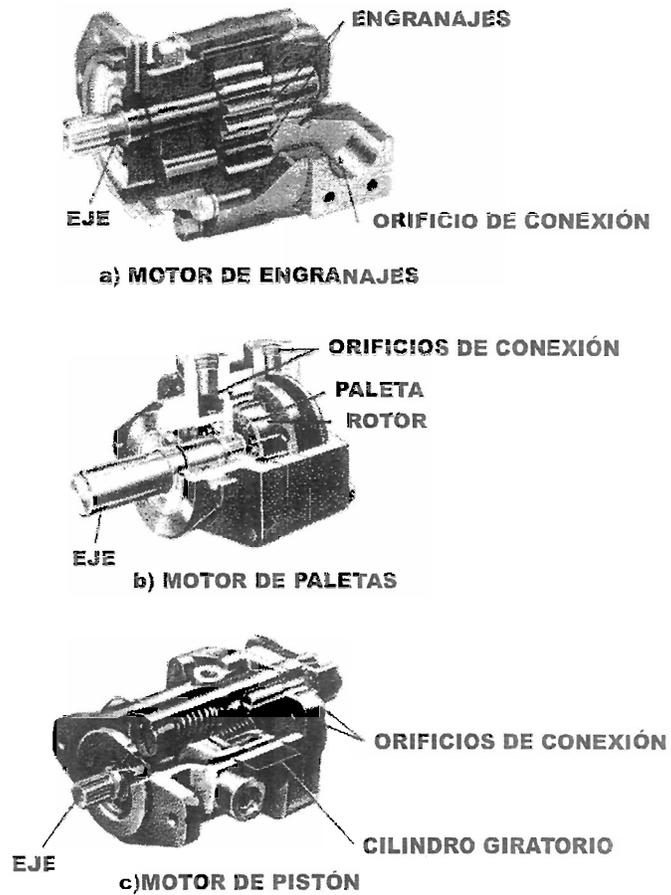


Figura 4-9. Tipos de motores hidráulicos.

- El motor de paleta consta de un rotor ranurado conectado al eje. Las ranuras contienen paletas que están libres para deslizarse. Cuando el aceite presurizado es bombeado en el orificio de entrada, la presión actúa en las paletas y el rotor es forzado a girar. Los motores de paleta son usados frecuentemente en equipos industriales.
- El motor de pistón consta de varios pistones adaptados en un cilindro giratorio. El cilindro está conectado al eje. Cuando el aceite presurizado es bombeado en el orificio de entrada, la presión actúa en los pistones y el cuerpo cilíndrico es forzado a girar. Los motores de pistón son utilizados en aplicaciones que requieren velocidades giratorias precisas.

Circuitos con motor hidráulico

Desplazamiento del motor

El **desplazamiento** de un motor hidráulico es el volumen de aceite requerido por el eje del motor para girar una revolución completa. Esto es expresado en centímetros cúbicos por revolución (cm^3/r) en unidades S.I., o en pulgadas por revolución (pulg^3/r) en unidades del Sistema Inglés.

Velocidad del motor y eficiencia volumétrica

La velocidad en la cual el motor hidráulico gira, es determinada por qué tan rápido es llenado con aceite. Entonces, esta velocidad, es directamente proporcional a la razón de flujo del aceite a través del motor e inversamente proporcional al desplazamiento del motor. La fórmula para calcular la **velocidad teórica** de un motor es:

En unidades de S.I.:

$$\text{Velocidad}_{(\text{r}/\text{min})} = \frac{\text{Razón de flujo}_{(\text{l}/\text{min})} \times 1000}{\text{Desplazamiento}_{(\text{cm}^3/\text{r})}}$$

En unidades de Sistema Inglés:

$$\text{Velocidad}_{(\text{r}/\text{min})} = \frac{\text{Rango de flujo}_{[\text{gal}(\text{US})/\text{min}] \times 231}{\text{Desplazamiento}_{(\text{pulg}^3/\text{r})}}$$

Debido a las fugas internas, la velocidad del motor actual será menor que la velocidad teórica dada por la fórmula anterior. La velocidad actual depende de la **eficiencia volumétrica** del motor. La eficiencia volumétrica es la relación entre la velocidad del motor actual y la velocidad teórica, expresada como un porcentaje:

$$\text{Eficiencia volumétrica (\%)} = \frac{\text{Velocidad actual}}{\text{Velocidad teórica}} \times 100$$

Ya que las fugas del motor son más bajas que las velocidades altas, la eficiencia volumétrica tiende a aumentarse cuando la velocidad del motor es aumentada. En la industria, los cálculos de la eficiencia volumétrica en diferentes velocidades son útiles para determinar si el motor debe ser reemplazado.

Par del motor

Par es la fuerza efectiva de giro o rotativa del eje del motor. Por ejemplo, la fuerza aplicada en el extremo de una llave de tuercas, para ajustar un tornillo es llamado par. En los sistemas hidráulicos, el par comúnmente es expresada en Newtons-metros ($\text{N}\cdot\text{m}$) en unidades S.I., o en libras pulgadas ($\text{lb}\cdot\text{pulg}$) en unidades del sistema Inglés. Una fuerza rotativa de 20 N (4,5 lb) aplicada a un eje de 5 cm (2 pulg), desde el centro del eje será expresada como un par de 1 $\text{N}\cdot\text{m}$ (9 $\text{lb}\cdot\text{pulg}$).

Circuitos con motor hidráulico

La cantidad del par generado en el eje del motor hidráulico es directamente proporcional al desplazamiento del motor y a la presión del sistema en la entrada del motor. La fórmula para calcular la salida del **par teórico** de un motor es:

En Unidades de S.I.:

$$\text{Par}_{(N\cdot m)} = \frac{\text{Desplazamiento}_{(cm^3/r)} \times \text{Presión}_{(kPa)}}{2\pi \times 1000}$$

En Unidades de Sistema Inglés:

$$\text{Par}_{(lb\cdot pulg)} = \frac{\text{Desplazamiento}_{(pulg^3/r)} \times \text{Presión}_{(psi)}}{2\pi}$$

La resistencia de la carga conectada al eje del motor, determina la cantidad de presión del sistema desarrollada en la entrada del motor y por lo tanto, la cantidad de par generado en el eje del motor. Ningún par será generado si no existe carga en el eje.

Potencia de salida del motor

La cantidad de potencia generada por un motor hidráulico es igual al par desarrollado en el eje del motor, multiplicado por la velocidad del eje. En forma de ecuación:

En unidades de S.I.:

$$\text{Potencia}_{(W)} = \frac{\text{Par}_{(N\cdot m)} \times \text{Velocidad}_{(r/min)}}{9,54}$$

En unidades de Sistema Inglés:

$$\text{Potencia}_{(hp)} = \frac{\text{Par}_{(lb\cdot pulg)} \times \text{Velocidad}_{(r/min)}}{63\,025}$$

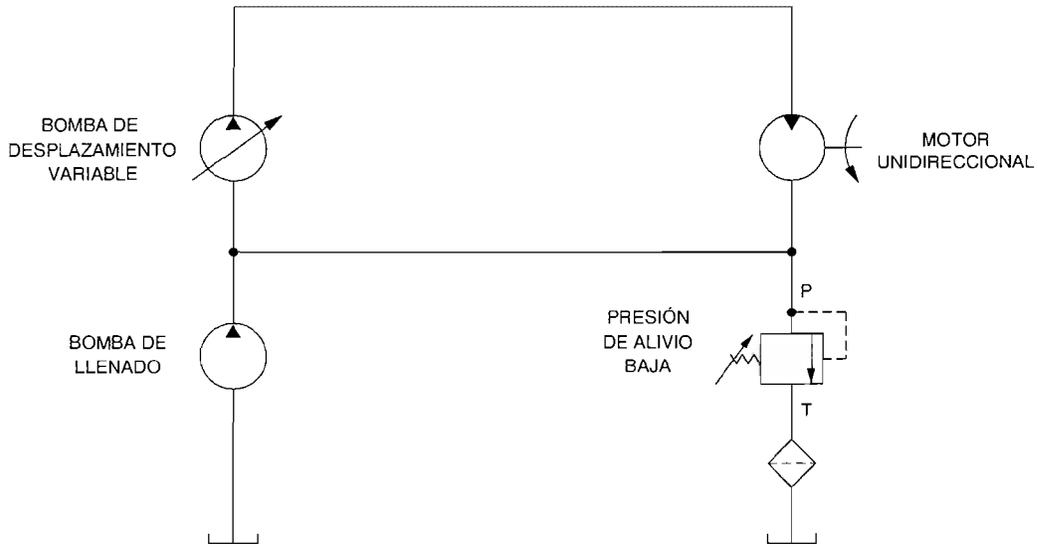
La cantidad actual de potencia generada por un motor hidráulico, será menor que el valor teórico dado por la fórmula en la parte superior, debido a las pérdidas, la fricción mecánica y la fricción de flujo experimentadas en el interior del motor.

Transmisiones hidráulicas

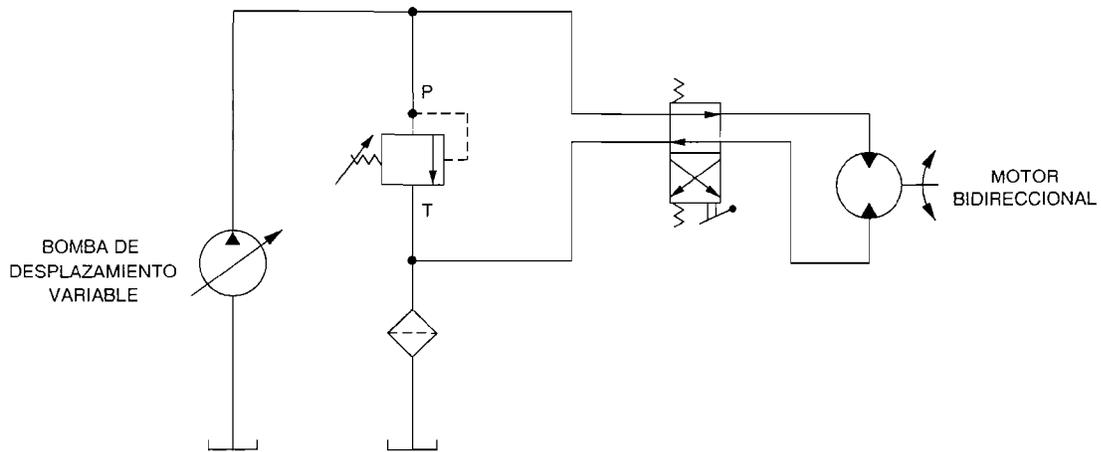
Un motor hidráulico puede ser asociado con una bomba de desplazamiento variable para formar una **transmisión hidráulica**. Las transmisiones hidráulicas son circuitos que adaptan el par y la velocidad de una bomba hidráulica a los requerimientos de par y velocidad de un motor hidráulico controlando una carga.

Las transmisiones hidráulicas son de gran utilidad para aplicaciones móviles, de marina y aeronáutica. Pueden ser de "**lazo cerrado**" o "**lazo abierto**", como se muestra en la Figura 4-10.

Circuitos con motor hidráulico



a) LAZO CERRADO



b) LAZO ABIERTO

Figura 4-10. Circuitos de transmisión hidráulica de lazo abierto y cerrado.

Circuitos con motor hidráulico

En una **transmisión de lazo cerrado**, la salida de la bomba es conectada a la entrada del motor y la salida del motor es conectada a la entrada de la bomba, como se muestra en la Figura 4-10 (a). Una bomba pequeña, es llamada bomba de llenado, compensada para que las fugas mantengan el lazo completo de aceite. El motor gira solamente en una dirección. En lugar de regresar al depósito, el aceite descargado del motor es recirculado de la entrada de la bomba a baja presión. La ventaja de este tipo de transmisión es que es altamente controlable y compacta en tamaño. Las transmisiones de lazo cerrado también son llamadas **transmisiones hidrostáticas**.

En una **transmisión de lazo abierto**, la salida de la bomba es conectada a la entrada del motor y la salida del motor es conectada al depósito, como se muestra en la Figura 4-10 (b). El motor puede girar en cualquier dirección. La dirección de rotación es controlada a través del uso de la válvula direccional accionada por palanca. Este tipo de transmisión es menos costosa para fabricar las transmisiones de lazo cerrado, pero es menos eficiente y menos fácil de controlar.

Cilindros hidráulicos comparados con motores hidráulicos

Los cilindros hidráulicos son actuadores lineales, considerando que los motores hidráulicos son actuadores rotativos. Sin embargo, es el caso de los cilindros hidráulicos donde la velocidad de un motor hidráulico está en función de la razón de flujo, mientras su fuerza de salida o par, es una función de presión. Por lo tanto, aumentando la razón de flujo a través de un motor, aumenta la velocidad de rotación sin afectar la capacidad de salida del par. En forma inversa, aumentando la presión del sistema disponible en un motor, aumenta la capacidad de salida del par sin afectar la velocidad de rotación.

Conversiones métricas

La Tabla 4-3 muestra los **factores de conversión** utilizados para convertir mediciones de desplazamiento y de par de unidades S.I. a unidades del Sistema Inglés y viceversa.

Desplazamiento				
Centímetros cúbicos por revolución (cm ³ /r)	x 0,061 =	Pulgadas cúbicas por revolución (pulg ³ /r)	x 16,387 =	Centímetros cúbicos por revolución (cm ³ /r)
Par				
Newton-metros (N·m)	x 8,85 =	Libras-pulgadas (lb·pulg; lbf·pulg)	x 0,113 =	Newton-metros (N·m)

Tabla 4-3. Factores de conversión.

Circuitos con motor hidráulico

MATERIAL DE REFERENCIA

Para información detallada de motores hidráulicos, consulte el capítulo titulado *Hydraulic Motors* (Motores Hidráulicos) en el manual *Industrial Hydraulic Technology* de Parker-Hannifin.

Resumen del procedimiento

En la primera parte del ejercicio, determinará el efecto que produce el cambio de la razón de flujo en la velocidad de un motor hidráulico. Para lograrlo, medirá la velocidad del motor en diferentes razones de flujo, utilizando un tacómetro. Después comparará las velocidades obtenidas con los valores teóricos, demostrando que la eficiencia volumétrica del motor aumenta ligeramente, debido a que disminuyen las fugas internas cuando aumenta la velocidad.

En la segunda parte del ejercicio, determinará el efecto que produce el cambio en la presión del sistema en la salida del par del motor. Para lograrlo, realizará variaciones de carga en el motor, en donde variará la presión del sistema de la entrada del motor. Para cada condición de carga, evaluará el par generado en el eje del motor deteniendo el volante de inercia del motor con su mano. La resistencia del motor, al detenerse, indicará si el par generado es alto o bajo.

EQUIPO REQUERIDO

Consulte la gráfica de utilización del equipo, en el Apéndice A de este manual, para obtener la lista del equipo requerido para realizar este ejercicio.

PROCEDIMIENTO

Relación entre velocidad y flujo en un motor hidráulico

- 1. Conecte los circuitos mostrados en las Figuras 4-11 y 4-12. En esta parte del ejercicio, determinará el efecto que tiene un cambio de la razón de flujo en la velocidad de un motor hidráulico. La válvula de control de flujo no compensada se utilizará para cambiar la razón de flujo a través del motor.

Circuitos con motor hidráulico

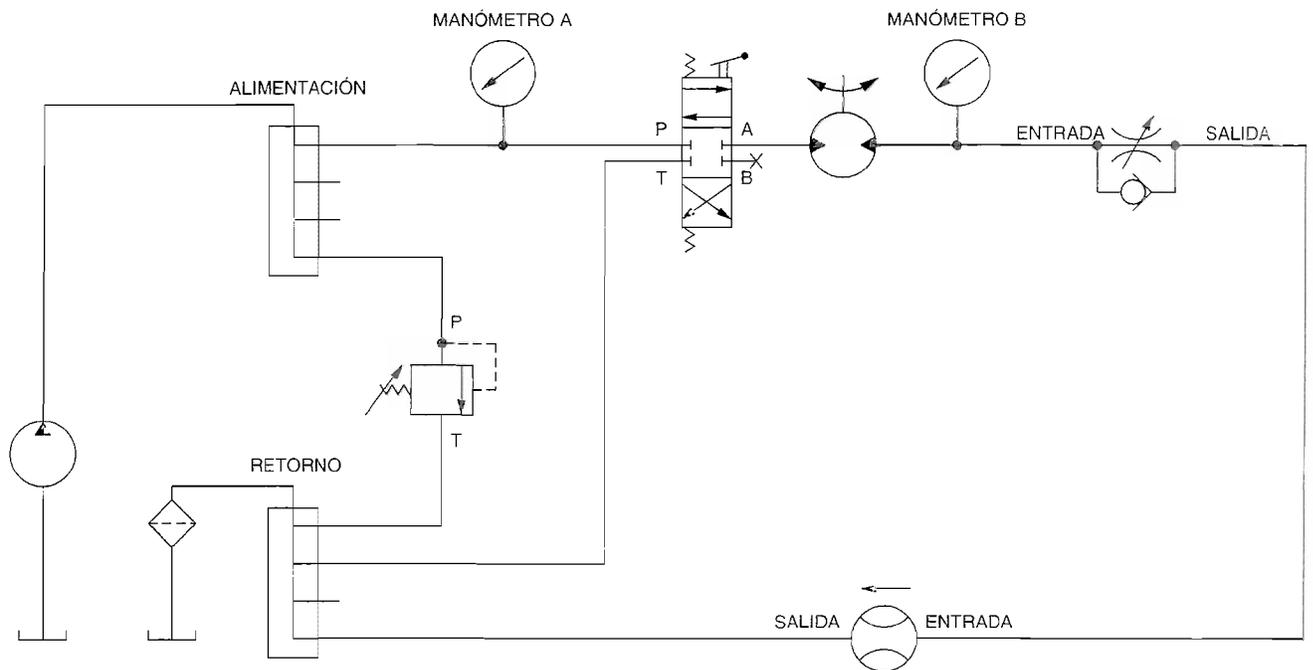
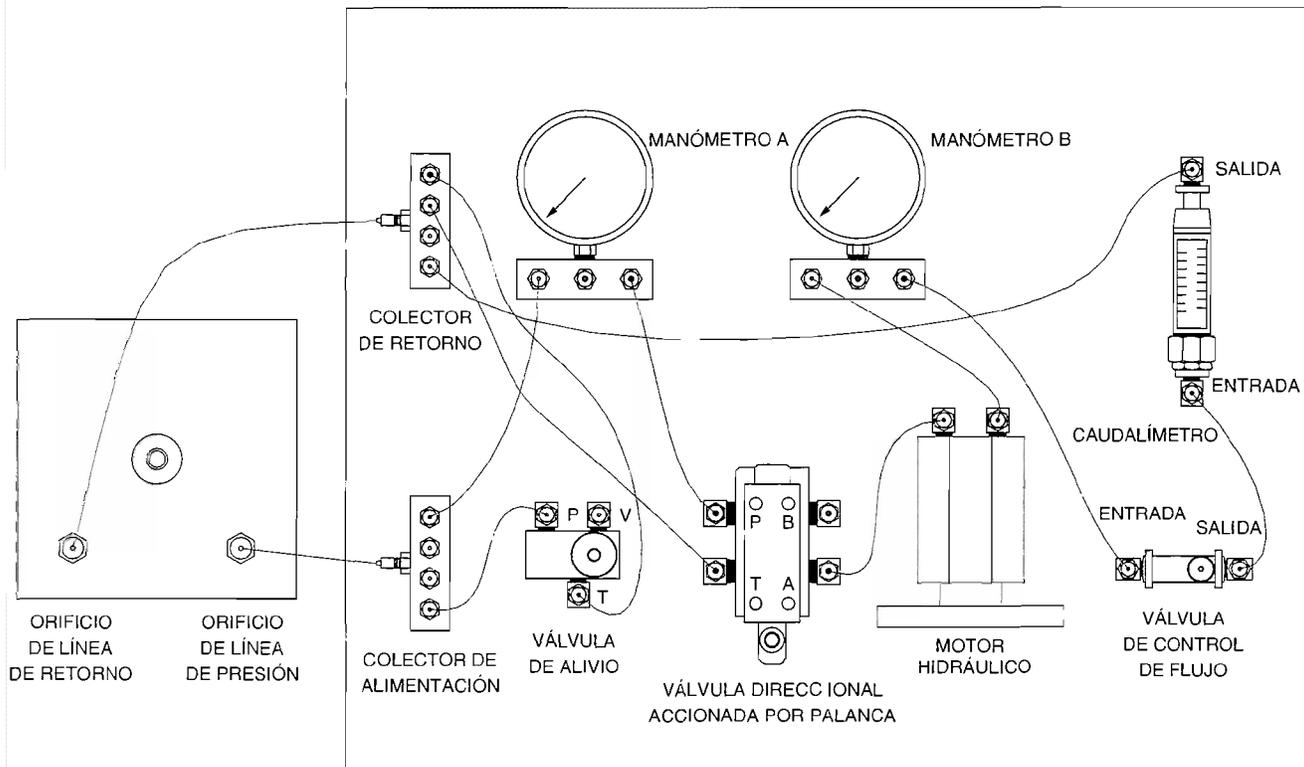


Figura 4-11. Diagrama esquemático del circuito utilizado para probar la operación del motor.

- 2. Antes de encender la fuente de alimentación hidráulica, realice el siguiente procedimiento inicial:
 - a. Asegúrese de que las mangueras estén firmemente conectadas.
 - b. Verifique el nivel de aceite en el depósito. Agregue aceite si se requiere.
 - c. Utilice lentes de seguridad.
 - d. Asegúrese de que el interruptor de energía de la fuente de alimentación hidráulica esté ajustado en la posición OFF (APAGADO).
 - e. Conecte el cable de la fuente de alimentación hidráulica en la salida de energía de CA.
 - f. Abra completamente la válvula de alivio (gire la perilla de ajuste totalmente en el sentido contrario al de las manecillas del reloj).

Circuitos con motor hidráulico



FUENTE DE ALIMENTACIÓN HIDRÁULICA

SUPERFICIE DE TRABAJO

Figura 4-12. Diagrama de conexión del circuito utilizado para la prueba de operación del motor.

- 3. Asegúrese de que el motor hidráulico esté fijo en forma segura en la superficie de trabajo. Limpie continuamente las mangueras, herramientas y otros objetos del motor.
- 4. Cierre completamente la válvula de control de flujo no compensada (gire la perilla totalmente en el sentido de las manecillas del reloj), después ábrala una vuelta.
- 5. Active la fuente de alimentación hidráulica.
- 6. Gire la perilla de ajuste de la válvula de alivio en el sentido de las manecillas del reloj hasta que la presión del sistema, en el manómetro A, sea de 2800 kPa (400 psi).

Circuitos con motor hidráulico

- 7. Lentamente mueva la palanca de la válvula direccional hacia el cuerpo de la válvula para dirigir la salida del aceite al orificio A, el cual hace que gire el motor. Observe el eje del motor por la parte frontal del motor, ¿en qué dirección gira el motor?

- 8. ¿Qué le sucede a la operación del motor, cuando la válvula direccional es liberada en su posición central? ¿Por qué?

- 9. Mueva la palanca de la válvula direccional hacia el cuerpo de la válvula y manténgala así hasta que el motor funcione. Lentamente gire la perilla de ajuste de la válvula de control de flujo no compensada en el sentido de las manecillas del reloj, hasta que la válvula esté completamente cerrada. Mientras realiza esto, observe el eje del motor. ¿Qué le sucede al funcionamiento del motor?

- 10. Mientras mantiene la palanca de la válvula direccional en la posición hacia adentro, lentamente aumente la abertura de la válvula de control de flujo no compensada, girando su perilla de ajuste en el sentido contrario al de las manecillas del reloj. De acuerdo al establecimiento del sonido hecho por el motor, ¿qué le sucede a la velocidad del motor cuando la razón de flujo de aceite aumenta a través del motor?

- 11. Mientras el motor esté girando, ajuste la válvula de control de flujo no compensada hasta que el caudalímetro lea 2,0 l/min [0,53 gal(US)/min].

- 12. Mientras el motor esté girando, coloque un tacómetro en el eje del motor y mida la velocidad del motor. Registre esta velocidad en la Tabla 4-4 debajo de "ACTUAL".

Circuitos con motor hidráulico

RAZÓN DE FLUJO	VELOCIDAD ACTUAL	VELOCIDAD TEÓRICA	EFICIENCIA VOLUMÉTRICA
2,0 l/min [0,53 gal(US)/min]			
2,5 l/min [0,66 gal(US)/min]			
3,0 l/min [0,79 gal(US)/min]			

Tabla 4-4. Velocidad y eficiencia del motor contra la razón de flujo.

13. Repita los pasos 11 y 12 para las otras razones de flujo en la Tabla 4-4.
14. Desactive la fuente de alimentación hidráulica. Abra completamente la válvula de alivio (gire la perilla totalmente en el sentido contrario al de las manecillas del reloj). No desconecte su circuito, lo utilizará en la siguiente parte del ejercicio.
15. De acuerdo a las velocidades registradas en la columna "ACTUAL" de la Tabla 4-4, ¿Cuál razón de flujo afecta la velocidad de un motor?
-
16. Dado que el desplazamiento teórico de su motor es de **1,77 cm³/r (0,108 pulg³/r)**, calcule la velocidad del motor teórica para cada una de las razones de flujo enlistadas en la Tabla 4-4. Registre sus resultados en la columna "TEÓRICA" de la Tabla 4-4.
17. Basándose en las velocidades actual y teórica registradas en la Tabla 4-4, calcule la eficiencia volumétrica del motor para cada razón de flujo enlistada en la Tabla 4-4. Registre sus resultados en la Tabla 4-4 bajo la columna "EFICIENCIA VOLUMÉTRICA".
18. ¿Aumenta la eficiencia volumétrica, cuando la velocidad del motor aumenta? ¿Por qué?
-
-

Circuitos con motor hidráulico

- 19. ¿Cuál razón de flujo es requerida para hacer que un motor gire a 2000 r/min?

Relación entre presión y par en un motor hidráulico

Nota: *Utilice los guantes de protección cuando realice esta parte del ejercicio.*

- 20. Asegúrese de que su circuito esté conectado como se muestra en la Figura 4-11. En esta parte del ejercicio, demostrará que la presión de la entrada del motor aumentará si la carga mecánica aplicada al motor aumenta.
- 21. Examine el volante de inercia del motor para asegurarse que esté sin movimiento y libre de rebabas o de bordes afilados.
- 22. Asegúrese de que la válvula de alivio esté completamente abierta (gire la perilla totalmente en el sentido contrario al de las manecillas del reloj).
- 23. Abra completamente la válvula de control de flujo no compensada (gire la perilla totalmente en el sentido contrario al de las manecillas del reloj).
- 24. Active la fuente de alimentación hidráulica.
- 25. Incremente la presión de la válvula de alivio ajustándola hasta que la presión del circuito del manómetro A marque 2800 kPa (400 psi).
- 26. Mueva la palanca de la válvula direccional hacia el cuerpo de la válvula para hacer que el motor gire. Ya que no existe carga en el motor, no se genera el par en el eje del motor. Mientras mantiene la palanca de la válvula en la posición hacia adentro, anote y registre las lecturas de presión de los manómetros A y B en el renglón "SIN CARGA" de la Tabla 4-5.

Circuitos con motor hidráulico

CONDICIÓN DE CARGA	ENTRADA DE PRESIÓN DEL MOTOR (MANÓMETRO A)	SALIDA DE PRESIÓN DEL MOTOR (MANÓMETRO B)
SIN CARGA		
DETENIDO		

Tabla 4-5. Presión y par del motor contra condición de carga.

27. Utilice los guantes de protección. Mueva la palanca de la válvula direccional hacia el cuerpo de la válvula para hacer que el motor gire. Mientras el motor esté girando, sujete el volante de inercia del motor con su mano, para que aumente la carga mecánica en el motor. Mientras realiza esto, observe la presión de entrada del motor en el manómetro A. ¿Qué le sucede a esta presión cuando la carga mecánica en el motor aumenta?

28. Mueva la palanca de la válvula direccional hacia el cuerpo de la válvula para hacer que el motor gire. Sostenga el volante de inercia del motor con su mano para mantener al motor girando. Anote y registre en la Tabla 4-5 las presiones de entrada y salida del motor en los manómetros A y B cuando el motor es detenido.

29. ¿A dónde fluye el aceite de la bomba cuando el motor es detenido?

30. Desactive la fuente de alimentación hidráulica. Abra completamente la válvula de alivio (gire la perilla totalmente en el sentido contrario al de las manecillas del reloj).

31. Calcule la cantidad del par teórico que está siendo generado en el eje del motor cuando el motor es detenido, basándose en la presión de entrada del motor registrada en el renglón "DETENIDO" de la Tabla 4-5.

Circuitos con motor hidráulico

32. ¿Cuál es la salida de potencia mecánica del motor en la pregunta 31?

33. Desconecte el cable de la fuente de alimentación hidráulica de la salida de energía, después desconecte todas las mangueras. Limpie cualquier residuo de aceite hidráulico.
34. Retire todos los componentes de la superficie de trabajo y limpie cualquier residuo de aceite hidráulico. Regrese todos los componentes a su lugar de almacenamiento.
35. Limpie cualquier residuo de aceite hidráulico del piso y del equipo. Deseche adecuadamente las toallas de papel y tela utilizadas para limpiar el aceite.

CONCLUSIÓN

En la primera parte del ejercicio, operó el motor hidráulico en diferentes velocidades y demostró que la velocidad del motor es directamente proporcional a la razón de flujo. Observó cómo la velocidad puede variar demasiado en un motor hidráulico, lo cual lo lleva a una de las muchas ventajas de utilizar un motor hidráulico como un controlador mecánico. También notó que cuando ejecutaba este tipo de motor a una velocidad baja, existe mayor fuga interna y por lo tanto, la velocidad no es tan grande como debe ser. Cuando la razón de flujo aumenta, la velocidad aumenta y la eficiencia volumétrica mejora.

En la segunda parte del ejercicio operó el motor hidráulico bajo diferentes condiciones de carga y demostró que el par del motor, es directamente proporcional a la presión del sistema en la entrada del motor. Cuando la carga en el motor aumenta, la presión del sistema en la entrada del motor aumenta y por lo tanto, el par de salida aumenta.

Como en los cilindros hidráulicos, la velocidad de un motor hidráulico es una función de la razón de flujo, mientras su fuerza de salida o par es una función de la presión. Por lo tanto, el aumento en la razón de flujo del sistema, aumenta la velocidad del motor, sin afectar el par del motor. Al incrementar de la presión del sistema incrementa el par del motor sin afectar la velocidad del motor.

PREGUNTAS DE REVISIÓN

1. ¿Cuál es la función de un motor hidráulico en un circuito hidráulico?

Circuitos con motor hidráulico

2. Nombre los tres tipos más comunes de motores hidráulicos.

3. ¿Qué es una transmisión hidráulica?

4. ¿Qué le sucede a la velocidad y a la capacidad de salida del par de un motor hidráulico cuando el desplazamiento del motor es doble?

5. Plantee dos métodos para incrementar la velocidad de un motor hidráulico.

6. Un motor hidráulico es requerido para controlar una carga de una velocidad de 2000 r/min con un par de 4,52 N·m (40 lb·pulg). Calcule la salida mínima de potencia del motor requerida para controlar la carga.
