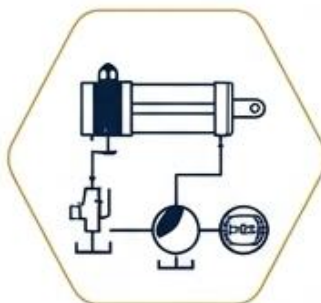




UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA

GUÍAS DE LABORATORIO PARA EL BANCO OLEOHIDRÁULICO

DE LA DIVISIÓN DE INGENIERÍAS



Autor

SERGIO ALBERTO NEIRA GIRALDO

Director

MSc. JAVIER GIOVANNY RODRÍGUEZ QUINTERO



PROGRAMA DE
INGENIERÍA MECÁNICA



FACULTAD DE
INGENIERÍAS

BOGOTÁ, 2026

ANEXOS

ANEXO A. MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL BANCO OLEOHIDRÁULICO

Este anexo reúne los entregables de los Objetivos Específicos 2 y 3: los Procedimientos Operativos Estandarizados (SOP) y el Plan de Mantenimiento Preventivo. Constituye la versión completa de los resultados resumidos en las secciones 7.2 y 7.3.

A.1. Seguridad general y matriz de riesgos

El banco opera con aceite ISO VG 46 a una presión nominal de trabajo de 100 bar (≈ 1450 psi), con alimentación de 220 V trifásica (motor) y 24 V DC (control). El EPP obligatorio es: gafas de seguridad, guantes resistentes a hidrocarburos, calzado cerrado y ropa de manga larga, con cabello recogido y sin prendas sueltas cerca del tablero.

Riesgo	Origen	Medida preventiva
Inyección de fluido en la piel	Fuga o desconexión bajo presión	Despresurizar antes de tocar acoples; nunca buscar fugas con la mano
Latigazo de manguera	Acople flojo o manguera dañada	Verificar acoples; reemplazar mangueras con fisuras
Sobrepresión / golpe de ariete	Bloqueo de línea en presión	Calibrar válvula de alivio; no bloquear A y B a media carrera
Cavitación de la bomba	Nivel bajo o filtro de succión sucio	Verificar nivel MIN-MAX; limpiar filtro
Riesgo eléctrico	220 V trifásico	Manipular solo con tablero desenergizado
Sobrecalentamiento	Estrangulamiento prolongado	No exceder 60 °C; recircular en pausas

⚠ RIESGO CRÍTICO — INYECCIÓN DE FLUIDO

Un chorro a 100 bar atraviesa la piel y produce lesión grave aunque la herida externa parezca menor.

Nunca pase la mano sobre una posible fuga. Despresurice SIEMPRE antes de tocar acoples o mangueras.

Ante una lesión por inyección, acuda de inmediato a urgencias e informe que es inyección de fluido a alta presión.

A.2. Interfaces de mando

El tablero de encendido concentra los mandos de potencia. Sus elementos son: (1) muletilla de encendido general; (2) pulsador verde de encendido de la unidad de fuerza; (3) pulsador rojo de apagado; (4) línea 24 V DC; (5) muletilla de fluido Recirculación/Presión; (6) línea 0 V DC. El tablero de conexiones contiene 3 pulsadores, 4 relés y los pilotos (4 LED y 1 buzzer) para construir la lógica de mando eléctrico.



Figura A.1 — Tablero de encendido del banco: 1 encendido general, 2 encendido de la unidad de fuerza, 3 apagado de la unidad de fuerza, 4 línea de 24 VDC, 5 muletilla de fluido (recirculación/presión), 6 línea de 0 VDC.



Figura A.2 — Tablero de conexiones eléctricas: pulsadores S0/S1/S2, relés K0–K3 y pilotos L0–L3 con zumbador (base del módulo de mando eléctrico). Numeración: 1 pulsadores, 2 relés, 3 pilotos.

Regla de oro de operación: el banco se arranca y se apaga **SIEMPRE** con la muletilla de fluido en RECIRCULACIÓN (circuito despresurizado, estado seguro). Solo se lleva a PRESIÓN para ejecutar la maniobra.

A.3. Procedimientos Operativos Estandarizados (SOP)

SOP-01 — Verificación pre-operacional

Objetivo: confirmar condiciones seguras antes de energizar. Tiempo: 5–8 min.

N.º	Acción	Componente / punto	Resultado esperado
1	Muletilla general en OFF y muletilla de fluido en RECIRCULACIÓN	Tablero de encendido	Banco en estado seguro
2	Verificar nivel de aceite	Visor del depósito	Nivel entre MIN y MAX
3	Inspeccionar fugas y goteos	Bandeja, acoples, mangueras	Sin fugas; piso seco
4	Revisar mangueras (fisuras, abombamientos)	Mangueras DN-06	Mangueras íntegras
5	Válvulas direccionales en neutro	Cajones / panel	Sin actuadores presurizados

N.º	Acción	Componente / punto	Resultado esperado
6	Válvula de alivio abierta (presión mínima)	Válvula de alivio	Tornillo aflojado
7	Colocarse el EPP	Operador	EPP completo
8	Despejar el área de trabajo	Mesa	Espacio libre

SOP-02 — Montaje del circuito hidráulico

Objetivo: conectar los componentes según el esquema ISO 1219. Solo con el banco apagado o en recirculación.

N.º	Acción	Componente / punto	Resultado esperado
1	Disponer el esquema ISO 1219 y los componentes	Guía de laboratorio	Componentes confirmados
2	Identificar puertos P, T, A, B	Componentes	Puertos identificados
3	Conectar presión P desde el manifold	Manifold P	Acople con clic de retención
4	Conectar líneas A y B al actuador	Cilindro / motor	Conexiones según esquema
5	Conectar retorno T al manifold de tanque	Manifold T	Retorno sin restricción
6	Instalar manómetros en los puntos indicados	Manómetros	Manómetros firmes
7	Verificar montaje contra el esquema	Esquema vs físico	Coincidencia confirmada

SOP-03 — Puesta en marcha / encendido

Objetivo: arrancar partiendo de recirculación. Tiempo: 3–5 min.

N.º	Acción	Componente / punto	Resultado esperado
1	Confirmar SOP-01 y SOP-02	Checklists	Verificaciones firmadas
2	Muletilla de fluido en RECIRCULACIÓN	Tablero (5)	Selector en recirculación
3	Muletilla general a ON	Tablero (1)	24 V DC energizada
4	Pulsar botón verde de la unidad de fuerza	Pulsador (2)	Motor y bomba en marcha

N.º	Acción	Componente / punto	Resultado esperado
5	Observar manómetro de presión	Manómetro	Presión baja (recirculación OK)
6	Dejar circular 1–2 min (purga y temperatura)	Sistema	Flujo estable, sin cavitación
7	Inspeccionar fugas en marcha	Acoples	Sin fugas

SOP-04 — Calibración de la válvula de alivio

Objetivo: fijar la presión de trabajo de la práctica. Tiempo: 3–5 min.

N.º	Acción	Componente / punto	Resultado esperado
1	En marcha y recirculación, aflojar tornillo del alivio	Válvula de alivio	Presión mínima
2	Muletilla de fluido a PRESIÓN	Tablero (5)	Circuito presurizado
3	Apretar gradualmente observando el manómetro	Alivio / manómetro	Presión sube controlada
4	Detener al alcanzar la presión objetivo	Manómetro	Presión estable
5	Asegurar el ajuste (contratuerca si existe)	Alivio	Ajuste fijo
6	Volver a RECIRCULACIÓN hasta la maniobra	Tablero (5)	Sistema despresurizado

SOP-05 — Medición de variables

Objetivo: registrar presión, caudal y temperatura de forma consistente.

N.º	Acción	Componente / punto	Resultado esperado
1	Leer manómetro del punto de interés (P1/P2/P3)	Manómetros	Aguja estabilizada
2	Caudal: vaciar vaso, cronometrar llenado 1300–1500 ml	Vaso volumétrico	$Q = V/t$
3	Leer temperatura del fluido	PT100 / PLC	$T < 60\text{ }^{\circ}\text{C}$

N.º	Acción	Componente / punto	Resultado esperado
4	Registrar valores con unidades coherentes	Tabla de datos	Datos consignados

SOP-06 — Operación normal

Objetivo: ejecutar la maniobra con seguridad.

N.º	Acción	Componente / punto	Resultado esperado
1	Con presión calibrada, muletilla a PRESIÓN	Tablero (5)	Circuito presurizado
2	Accionar válvula para avance del actuador	Válvula 4/2 o 4/3	Avance / giro
3	Registrar presiones y tiempos	Manómetros, cronómetro	Datos consignados
4	Invertir la válvula (retroceso)	Válvula direccional	Retroceso
5	Entre ensayos, volver a RECIRCULACIÓN	Tablero (5)	Menor calentamiento

SOP-07 — Apagado normal

Objetivo: dejar el banco en estado seguro. Tiempo: 3–5 min.

N.º	Acción	Componente / punto	Resultado esperado
1	Válvula direccional a neutro	Válvula	Sin demanda
2	Muletilla de fluido a RECIRCULACIÓN	Tablero (5)	Manómetro ≈ 0
3	Aflojar la válvula de alivio	Alivio	Sin presión residual
4	Pulsar botón rojo de apagado	Pulsador (3)	Motor detenido
5	Muletilla general a OFF	Tablero (1)	Banco desenergizado
6	Confirmar presión nula y desconectar mangueras	Manómetros / acoples	Desmontaje seguro
7	Limpiar, ordenar y registrar uso	Bitácora MP-01	Registro firmado

SOP-08 — Parada de emergencia

⚠ ACTUACIÓN INMEDIATA

1. Pulsar el botón rojo de apagado (o el paro general).
2. Llevar la muletilla general a OFF.
3. No manipular acoples ni mangueras hasta confirmar presión nula.
4. Atender a la persona si hay lesión y reportar al docente.
5. No reiniciar hasta identificar y corregir la causa (registrar en MP-04).

A.4. Plan de mantenimiento preventivo

El plan prioriza la prevención sobre la corrección y se organiza por frecuencias. Se fundamenta en las recomendaciones del fabricante y en las mejores prácticas de la industria oleohidráulica.

Matriz general de mantenimiento

Frecuencia	Tareas principales	Responsable
Diaria (cada uso)	Inspección de fugas y nivel; revisión de mangueras; limpieza; registro de uso	Monitor / estudiante
Mensual	Limpieza de filtros; verificación de la válvula limitadora; inspección de acoples y conexiones eléctricas	Técnico / docente
Trimestral	Estado del aceite (color, agua); verificación de manómetros; apriete de bornes	Técnico
Anual	Cambio de aceite y filtros; calibración de instrumentos; inspección de sellos; prueba funcional	Técnico / proveedor

A.4.1. Rutina diaria

N.º	Tarea	Criterio de aceptación
1	Verificar nivel de aceite	Entre MIN y MAX
2	Inspeccionar fugas	Sin goteos nuevos

N.º	Tarea	Criterio de aceptación
3	Revisar integridad de mangueras	Sin daños visibles
4	Válvulas en neutro al finalizar	Sistema despresurizado
5	Limpiar derrames	Puesto limpio
6	Registrar uso (MP-01)	Registro firmado

A.4.2. Rutina mensual

N.º	Tarea	Criterio de aceptación
1	Limpiar filtro de succión; revisar filtro de retorno	Filtro sin partículas
2	Verificar calibración de la válvula limitadora	Apertura a presión de tarado
3	Inspeccionar acoples; reemplazar desgastados	Sin fugas ni juego
4	Revisar conexiones eléctricas, relés, finales de carrera	Mando correcto
5	Verificar temperatura tras 15 min en presión	Por debajo de 60 °C
6	Registrar (MP-02)	Registro firmado

A.4.3. Rutina anual

N.º	Tarea	Criterio de aceptación
1	Cambio total de aceite ISO VG 46 y limpieza del depósito	Aceite en especificación
2	Reemplazo de elementos filtrantes	Filtros nuevos
3	Calibración de manómetros, transductor y PT100	Error dentro de clase
4	Inspección de sellos de cilindros y motor	Sin fugas
5	Prueba funcional de los circuitos tipo	Operación nominal
6	Registrar (MP-03) y actualizar hoja de vida (MP-04)	Registros firmados

A.4.4. Gestión del fluido hidráulico

Parámetro	Valor / criterio
Tipo de fluido	Aceite mineral ISO VG 46

Parámetro	Valor / criterio
Temperatura de operación	40–50 °C (máx. 60 °C)
Nivel de limpieza (ISO 4406)	Según recomendación del fabricante (servo/proporcional)
Filtro de succión	Malla ≈100–150 µm — limpieza mensual
Filtro de retorno	Elemento ≈25 µm — reemplazo anual
Cambio de aceite	Anual o por degradación/contaminación

⚠ CONTAMINACIÓN

La contaminación del fluido es la principal causa de falla, en especial con válvulas proporcionales. No deje acoples destapados ni introduzca herramientas sucias en el depósito.

A.5. Formatos de registro (bitácoras)

Atendiendo la estandarización documental de la Universidad, los formatos MP-01, MP-02 y MP-03 se ajustaron a la estructura de los formatos controlados que maneja la Unidad de Laboratorios de la Universidad Santo Tomás, sede principal: encabezado institucional con escudo, dependencia, nombre del formato, código, versión, fecha de emisión y paginación; bloque de identificación del equipo; cuerpo de registro; y bloque de firmas de elaboración, revisión y aprobación. La codificación interna definitiva será la que asigne la Unidad de Laboratorios al incorporar los formatos a su listado maestro de documentos; mientras tanto se conservan los códigos MP-01, MP-02 y MP-03 empleados en este trabajo.

Bitácora de uso diario del banco oleohidráulico (MP-01)

 UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA INSTITUCIÓN EDUCATIVA	DIVISIÓN DE INGENIERÍAS UNIDAD DE LABORATORIOS BITÁCORA DE USO DIARIO DEL BANCO OLEOHIDRÁULICO	Código: MP-01
		Versión: 01
		Fecha de emisión: 09/2026
		Página 1 de 1

Equipo:	Banco oleohidráulico Ingenium	N.º inventario USTA:	
Laboratorio / ubicación:	Laboratorio de Ingeniería Mecánica – Sede principal	Mes / año:	
Responsable del equipo:		Programa:	Ingeniería Mecánica

Fecha	Hora inicio / fin	Usuario / grupo	Práctica (código GL)	SOP-01 OK (✓)	Nivel aceite OK	Fugas (S/N)	Observaciones	Firma

Observaciones generales:

ELABORÓ	REVISÓ	APROBÓ
Firma: _____	Firma: _____	Firma: _____
Nombre: Cargo: Monitor / auxiliar de laboratorio	Nombre: Cargo: Coordinador(a) de laboratorio	Nombre: Cargo: Jefe(a) Unidad de Laboratorios

Instrucción: diligenciar una línea por sesión de uso. Cualquier anomalía debe registrarse también en el formato MP-04 e informarse al coordinador del laboratorio.

Bitácora de mantenimiento preventivo mensual (MP-02)

 UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA INICIADA EN 1950	DIVISIÓN DE INGENIERÍAS UNIDAD DE LABORATORIOS BITÁCORA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO MENSUAL	Código: MP-02
		Versión: 01
		Fecha de emisión: 09/2026
		Página 1 de 1

Equipo:	Banco oleohidráulico Ingenium	N.º inventario USTA:	
Laboratorio / ubicación:	Laboratorio de Ingeniería Mecánica – Sede principal	Mes / año:	
Responsable del equipo:		Programa:	Ingeniería Mecánica

Fecha	Actividad (rutina A.4.2)	Criterio de aceptación	C / NC	Hallazgos	Acción correctiva	Responsable / firma
	Limpiar filtro de succión; revisar filtro de retorno	Filtro sin partículas				
	Verificar calibración de la válvula limitadora	Apertura a presión de tarado				
	Inspeccionar acoples; reemplazar desgastados	Sin fugas ni juego				
	Revisar conexiones eléctricas, relés y finales de carrera	Mando correcto				
	Verificar temperatura tras 15 min en presión	Por debajo de 60 °C				
	Otra actividad:					

Observaciones generales:

ELABORÓ	REVISÓ	APROBÓ
Firma: _____	Firma: _____	Firma: _____
Nombre: Cargo: Monitor / auxiliar de laboratorio	Nombre: Cargo: Coordinador(a) de laboratorio	Nombre: Cargo: Jefe(a) Unidad de Laboratorios

C = conforme; NC = no conforme. Toda no conformidad debe cerrarse con una acción correctiva y registrarse en el formato MP-04.

Registro de cambio de aceite y filtros (MP-03)

 UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA INSTITUCIÓN EDUCATIVA	DIVISIÓN DE INGENIERÍAS UNIDAD DE LABORATORIOS REGISTRO DE CAMBIO DE ACEITE Y FILTROS	Código: MP-03
		Versión: 01
		Fecha de emisión: 09/2026
		Página 1 de 1

Equipo:	Banco oleohidráulico Ingenium	N.º inventario USTA:	
Laboratorio / ubicación:	Laboratorio de Ingeniería Mecánica – Sede principal	Mes / año:	
Responsable del equipo:		Programa:	Ingeniería Mecánica

Fecha	Horas de operación acumuladas	Aceite (tipo / lote)	Cantidad (L)	Filtro de succión (ref.)	Filtro de retorno (ref.)	Motivo (P / C)	Próximo cambio	Responsable / firma

Observaciones generales:

ELABORÓ	REVISÓ	APROBÓ
Firma: _____	Firma: _____	Firma: _____
Nombre: Cargo: Monitor / auxiliar de laboratorio	Nombre: Cargo: Coordinador(a) de laboratorio	Nombre: Cargo: Jefe(a) Unidad de Laboratorios

P = preventivo (rutina anual o 200 h de operación); C = correctivo (contaminación, degradación o fuga). Fluido de referencia: aceite hidráulico ISO VG 46; capacidad del depósito: 20 L.

Hoja de vida / incidentes (MP-04)

Fecha	Evento	Causa	Acción	Estado	Resp.

Fecha	Evento	Causa	Acción	Estado	Resp.

A.6. Guía rápida de diagnóstico de fallas

La siguiente guía resume las fallas más frecuentes observadas durante la puesta a punto y la operación del banco, con sus causas probables y las acciones recomendadas.

Síntoma	Causa probable	Acción recomendada
La bomba no genera caudal ni presión	Sentido de giro del motor invertido (secuencia de fases incorrecta)	Verificar el sentido de giro; intercambiar dos fases de alimentación y comprobar de nuevo
Ruido excesivo o cavitación en la bomba	Nivel de aceite bajo, filtro de succión obstruido o entrada de aire	Verificar nivel MIN–MAX, limpiar el filtro de succión y revisar hermeticidad de la succión
La electroválvula no conmuta	Solenoides sin alimentación, mal conectado o defectuoso	Verificar señal de 24 V DC y conexión; revisar/reemplazar el solenoide
No se alcanza la presión de trabajo	Válvula de alivio descalibrada o abierta	Recalibrar la válvula de alivio (SOP-04)
Fugas en acoples o mangueras	Acople flojo o desgastado; manguera dañada	Despresurizar; apretar o reemplazar el acople/manguera
Sobrecalentamiento del fluido	Estrangulamiento prolongado o recirculación deficiente	Recircular en pausas; no superar 60 °C; revisar el intercambio térmico
El sistema no responde pese a energizar	Falla en el circuito de mando o en el PLC	Verificar mando 24 V DC; el PLC se confirmó en buen estado, revisar cableado y señales

ANEXO B. GUÍAS DE LABORATORIO FORMALIZADAS

Este anexo presenta las 22 guías de laboratorio del banco, derivadas de los ejercicios del fabricante y reescritas bajo la estructura estándar del proyecto. Cada guía incluye objetivos de aprendizaje, fundamento teórico, lista de componentes en simbología ISO 1219-1, esquema del circuito, procedimiento experimental, registro de datos, cálculos cuando aplica, preguntas de análisis y espacio para conclusiones. Los recuadros punteados indican dónde insertar el esquema o la fotografía correspondiente (puede tomarse del documento de guías del fabricante).

⚠ SEGURIDAD EN TODAS LAS PRÁCTICAS

Antes de cada práctica aplique el SOP-01 del Anexo A. Use EPP. Monte y desmonte mangueras solo con el banco en RECIRCULACIÓN y presión nula. No supere 100 bar de presión de trabajo.

MÓDULO A — CARACTERIZACIÓN DE CURVAS CARACTERÍSTICAS

GL-A1. Curva característica de la bomba (caudal vs. presión)

Módulo A · Diagrama de referencia: documento del fabricante, práctica 1.1 · Simbología: ISO 1219-1

Objetivos de aprendizaje

- Determinar experimentalmente la curva caudal–presión (Q–P) de la bomba de engranajes.
- Comprender que la bomba entrega caudal y que la presión la impone la carga del circuito.
- Estimar la eficiencia volumétrica de la bomba a distintas presiones.

Fundamento teórico

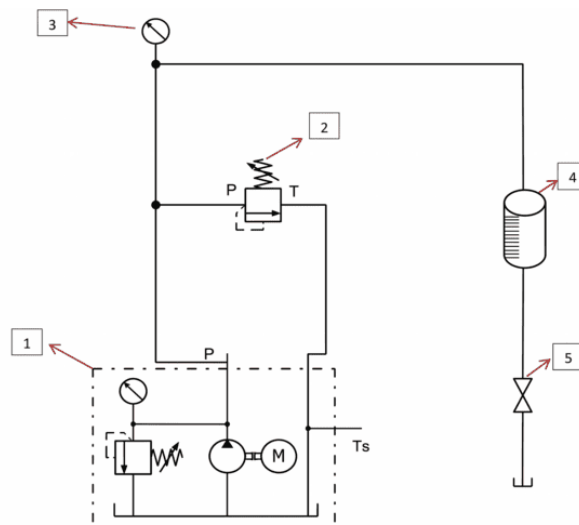
La bomba de engranajes es de desplazamiento positivo: entrega un caudal teórico $Q_t = V_g \cdot n$, donde V_g es el desplazamiento (cm^3/rev) y n la velocidad (rev/min). Al aumentar la presión, las fugas internas crecen y el caudal real disminuye

ligeramente; la relación entre el caudal real y el teórico es la eficiencia volumétrica $\eta_v = Q_{\text{real}}/Q_t$.

El caudal real se mide por método volumétrico: $Q = V/t$, recogiendo un volumen V conocido en el vaso volumétrico y midiendo el tiempo t de llenado.

Componentes (simbología ISO 1219-1)

- Unidad de potencia (bomba + válvula limitadora).
- Válvula de alivio en línea.
- Manómetro.
- Vaso volumétrico.
- Válvula de paso.



Esquema GL-A1 — Esquema ISO 1219: vaso en la línea de presión, en paralelo a la válvula de alivio. Fuente: Ingenium Ltda

Procedimiento experimental

1. Montar el vaso en la línea de presión, en paralelo a la válvula de alivio (según esquema).
2. Calibrar la válvula de alivio al primer escalón de presión (SOP-04).
3. Con la muletilla en RECIRCULACIÓN, vaciar el vaso.

4. Llevar la multilla a PRESIÓN e iniciar el cronómetro; detener al alcanzar 1300–1500 ml (no llenar al tope).
5. Volver a RECIRCULACIÓN y registrar volumen y tiempo.
6. Repetir para cada escalón de presión de 0 a 500 psi en pasos de 50 psi.
7. Calcular $Q = V/t$ para cada punto y graficar Q vs. P .

Registro de datos

Mantenga el volumen recogido entre 1300 y 1500 ml en cada medida.

Presión (psi)	Volumen (ml)	Tiempo (s)	Caudal Q (L/min)
0	1400	12.0	7.00
50	1400	12.1	6.94
100	1400	12.2	6.89
150	1400	12.4	6.77
200	1400	12.5	6.72
250	1400	12.7	6.61
300	1400	12.9	6.51
350	1400	13.1	6.41
400	1400	13.3	6.32
450	1400	13.6	6.18
500	1400	13.9	6.04

Cálculos

- Caudal: $Q = V/t$ (convertir ml/s a L/min).
- Caudal teórico: $Q_t = V_g \cdot n$ (con $V_g = 8\text{cm}^3/\text{rev}$ y n nominal).
- Eficiencia volumétrica: $\eta_v = Q_{\text{real}}/Q_t$ (expresar en %).
- Graficar Q (L/min) en el eje Y vs. P (bar o psi) en el eje X.

Preguntas de análisis

1. ¿Por qué el caudal disminuye al aumentar la presión en una bomba de desplazamiento positivo?
2. ¿Qué representa físicamente la eficiencia volumétrica y de qué depende?
3. ¿Qué función cumple la válvula limitadora de la unidad durante el ensayo?
4. ¿Cómo afectaría una fuga interna mayor a la pendiente de la curva Q–P?

Conclusiones del estudiante

GL-A2. Curva característica de la válvula de alivio (caudal vs. presión)

Módulo A · Diagrama de referencia: documento del fabricante, práctica 1.2 · Simbología: ISO 1219-1

Objetivos de aprendizaje

- Determinar la curva Q–P de la válvula de alivio (caudal derivado a tanque vs. presión de tarado).
- Comprender el papel de la válvula de alivio como elemento de seguridad y de regulación de presión.

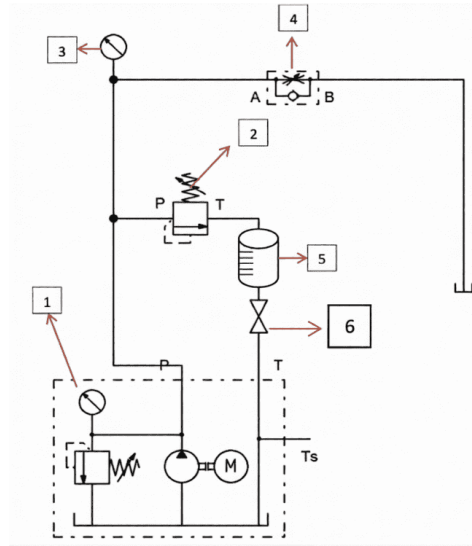
Fundamento teórico

La válvula de alivio limita la presión máxima del circuito: cuando la presión alcanza el valor de tarado, la válvula abre y deriva el exceso de caudal a tanque. Al variar la presión de tarado, varía el caudal que la válvula deja pasar a la línea de tanque.

Componentes (simbología ISO 1219-1)

- Unidad de potencia.

- Válvula de alivio en línea.
- Manómetro.
- Válvula de regulación de caudal (cerrada).
- Vaso volumétrico.
- Válvula de paso.



Esquema GL-A2 — Esquema ISO 1219: vaso en la línea de tanque, a la salida de la válvula de alivio. Fuente: Ingenium Ltda

Procedimiento experimental

1. Montar el vaso en la línea de tanque, a la salida de la válvula de alivio.
2. Mantener la válvula de control de flujo completamente cerrada.
3. Calibrar la presión de tarado al primer escalón (SOP-04).
4. Vaciar el vaso en RECIRCULACIÓN; pasar a PRESIÓN y cronometrar el llenado a 1300–1500 ml.
5. Volver a RECIRCULACIÓN; registrar y repetir cada 50 psi de 0 a 500 psi.
6. Calcular $Q = V/t$ y graficar Q vs. P .

Registro de datos

Presión tarado (psi)	Volumen (ml)	Tiempo (s)	Caudal Q (L/min)
0			
50			
100			
150			
200			
250			
300			
350			
400			
450			
500			

Cálculos

- Caudal derivado: $Q = V / t$.
- Graficar Q vs. presión de tarado.

Preguntas de análisis

1. ¿Por qué debe permanecer cerrada la válvula de control de flujo durante el ensayo?
2. ¿Qué diferencia hay entre la presión de apertura (crackeo) y la presión de tarado plena?
3. ¿Qué riesgo se evita gracias a la válvula de alivio en un sistema con bomba de desplazamiento positivo?

Conclusiones del estudiante

GL-A3. Curva característica de la válvula de control de flujo (ΔP vs. caudal)

Módulo A · Diagrama de referencia: documento del fabricante, práctica 1.3 · Simbología: ISO 1219-1

Objetivos de aprendizaje

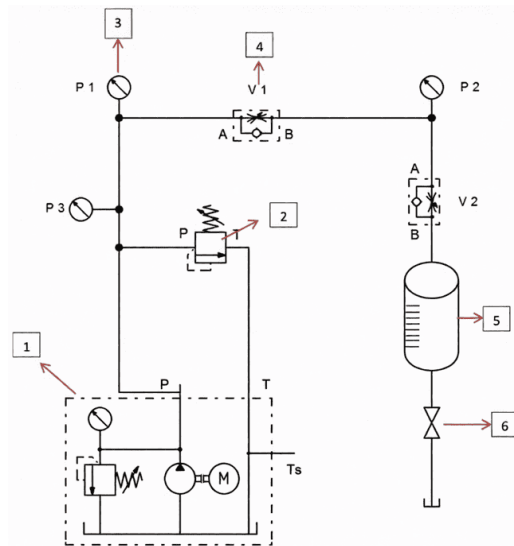
- Determinar la relación entre la caída de presión (ΔP) y el caudal en una válvula de control de flujo.
- Comprender el principio de estrangulamiento y su efecto sobre presión y temperatura.

Fundamento teórico

Una válvula de control de flujo regula el caudal mediante un estrangulamiento variable. El paso restringido genera una caída de presión ΔP entre la entrada y la salida; para una abertura fija, ΔP aumenta con el caudal. Se ubican dos válvulas (V1 y V2) y se comparan las presiones P1 y P2 a cada lado.

Componentes (simbología ISO 1219-1)

- Unidad de potencia.
- Válvula de alivio en línea.
- Manómetros (P1, P2, P3).
- Dos válvulas de control de flujo unidireccional (V1, V2).
- Vaso volumétrico.
- Válvula de paso.



Esquema GL-A3 — Esquema ISO 1219: dos válvulas de control de flujo en la línea de presión, en paralelo a la válvula de alivio. Fuente: Ingenium Ltda

Procedimiento experimental

1. Contar el número de vueltas de la válvula de control desde cerrada a totalmente abierta.
2. Realizar el montaje del esquema. Calibrar el alivio a 500 psi (V1 cerrada).
3. Dejar V1 en posición intermedia (mitad de las vueltas) y V2 completamente cerrada.
4. Encender y pasar de RECIRCULACIÓN a PRESIÓN.
5. Abrir V2 lentamente hasta obtener en P2 la presión deseada (0–500 psi en pasos de 50).
6. Volver a RECIRCULACIÓN, vaciar el vaso, pasar a PRESIÓN y cronometrar 1300–1500 ml.
7. Registrar P1, P2, P3 y el volumen/tiempo; calcular Q.
8. Repetir para cada presión y graficar $\Delta P = P1 - P2$ vs. Q.

Registro de datos

P1 (psi)	P2 (psi)	$\Delta P = P1 - P2$	Vol (ml)	t (s)	Q (L/min)

Cálculos

- $\Delta P = P1 - P2$.
- $Q = V / t$.
- Graficar ΔP vs. Q para la abertura fija de V1.

Preguntas de análisis

1. ¿Por qué aumenta la caída de presión al aumentar el caudal a través del estrangulamiento?
2. ¿Por qué el aceite tiende a calentarse en montajes con estrangulamiento permanente?
3. Variación: si modifica P1 con el alivio y deja V2 totalmente abierta, ¿cómo cambia la curva ΔP -Q?

Conclusiones del estudiante

MÓDULO B — MANDO ELÉCTRICO

GL-B1. Mando directo por impulso de una lámpara

Módulo B · Diagrama de referencia: documento del fabricante, práctica 2.1 · Mando eléctrico 24 V DC

Objetivos de aprendizaje

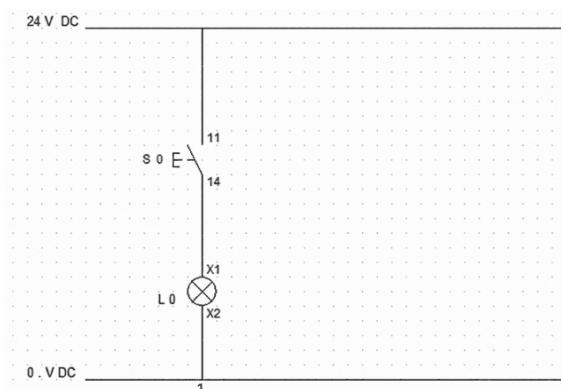
- Comprender el mando directo: la carga se energiza mientras se mantiene pulsado el accionador.
- Identificar contactos normalmente abiertos (NA) y normalmente cerrados (NC).

Fundamento / funcionamiento

El pulsador S0 (NA) conecta directamente la lámpara L0 a 24 V DC. La lámpara permanece encendida solo mientras S0 se mantiene pulsado (mando por impulso permanente). Una variación usa un contacto NC para invertir la lógica.

Componentes

- Línea 24 V DC y 0 V DC.
- Pulsador S0 (contacto NA, bornes 11–14).
- Lámpara L0.



Esquema GL-B1 — Esquema eléctrico de mando (24 V / 0 V DC). Fuente: Ingenium Ltda

Procedimiento experimental

1. Conectar S0 entre 24 V DC y la lámpara; la lámpara a 0 V DC.
2. Energizar el tablero (24 V DC).
3. Pulsar S0 y observar L0.
4. Soltar S0 y observar L0.
5. Repetir usando un contacto NC y comparar el comportamiento.

Tabla de función (accionamiento → estado de la salida)

Accionamiento	Relé K0	Lámpara L0	Observación
Reposo	—	Apagada	Sin accionar
S0 pulsado	—	Encendida	Mientras se mantiene
S0 liberado	—	Apagada	Se apaga al soltar

Preguntas de análisis

1. ¿Qué diferencia hay entre un contacto NA y uno NC?
2. ¿Por qué este mando se denomina "por impulso permanente"?
3. ¿Qué ocurre con la lámpara si se sustituye S0 por un contacto NC?

Conclusiones del estudiante

GL-B2. Mando indirecto con relé

Módulo B · Diagrama de referencia: documento del fabricante, práctica 2.2 · Mando eléctrico 24 V DC

Objetivos de aprendizaje

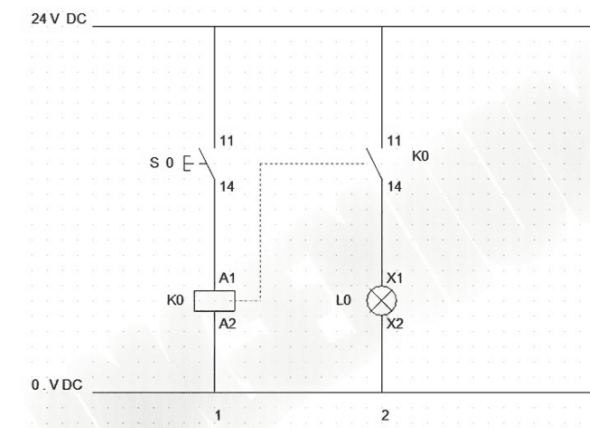
- Comprender el mando indirecto: el pulsador acciona un relé y el contacto del relé gobierna la carga.
- Distinguir el circuito de mando del circuito de potencia/carga.

Fundamento / funcionamiento

El pulsador S0 energiza la bobina del relé K0 (bornes A1–A2). Un contacto de K0 (bornes 11–14) cierra el circuito de la lámpara L0. Así, una señal de mando de baja potencia controla la carga de forma indirecta, base de toda la automatización.

Componentes

- Línea 24 V / 0 V DC.
- Pulsador S0 (NA).
- Relé K0 (bobina A1–A2; contacto 11–14).
- Lámpara L0



Esquema GL-B2 — Esquema eléctrico de mando (24 V / 0 V DC). Fuente: Ingenium Ltda

Procedimiento experimental

1. Conectar S0 en serie con la bobina A1–A2 de K0.
2. Conectar el contacto K0 (11–14) en serie con L0.
3. Energizar el tablero.
4. Pulsar S0: la bobina K0 se activa y su contacto enciende L0.

5. Soltar S0 y observar.

Tabla de función (accionamiento → estado de la salida)

Accionamiento	Relé K0	Lámpara L0	Observación
Reposo	Desactivado	Apagada	—
S0 pulsado	Activado	Encendida	Vía contacto K0
S0 liberado	Desactivado	Apagada	—

Preguntas de análisis

1. ¿Qué ventajas ofrece el mando indirecto frente al directo?
2. ¿Qué función cumplen los bornes A1–A2 y los bornes 11–14 del relé?
3. Si el relé tuviera un contacto NC, ¿cómo cambiaría el estado de la lámpara?

Conclusiones del estudiante

GL-B3. Autorretención (memoria con realimentación)

Módulo B · Diagrama de referencia: documento del fabricante, práctica 2.3 · Mando eléctrico 24 V DC

Objetivos de aprendizaje

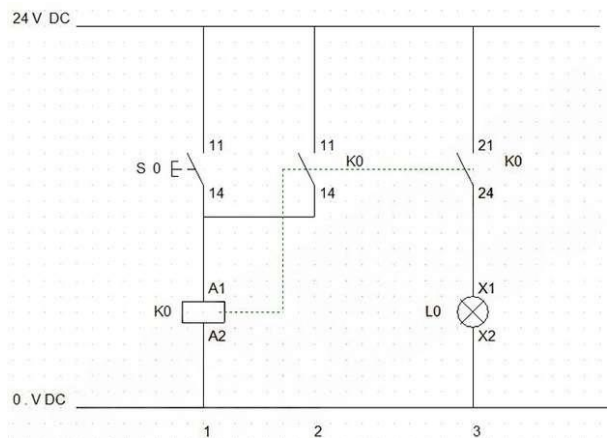
- Implementar la función de memoria (autorretención) mediante un contacto de realimentación del relé.
- Comprender el enclavamiento de una señal momentánea.

Fundamento / funcionamiento

Al pulsar S0 se energiza K0; un contacto NA de K0 se conecta en paralelo con S0, de modo que cuando se suelta S0 el relé se mantiene activado a través de su propio contacto (realimentación). La salida queda enclavada con un solo impulso.

Componentes

- Línea 24 V / 0 V DC.
- Pulsador S0 (NA).
- Relé K0 con contacto de retención (21–24).
- Lámpara L0.



Esquema GL-B3 — Esquema eléctrico de mando (24 V / 0 V DC). Fuente: Ingenium Ltda

Procedimiento experimental

1. Conectar S0 en serie con la bobina de K0.
2. Conectar un contacto NA de K0 en paralelo con S0 (rama de retención).
3. Conectar otro contacto de K0 para encender L0.
4. Energizar, pulsar S0 brevemente y soltar: la lámpara debe permanecer encendida.

Tabla de función (accionamiento → estado de la salida)

Accionamiento	Relé K0	Lámpara L0	Observación
Reposo	Desactivado	Apagada	—

Impulso S0	Activado	Encendida	Se enclava
S0 liberado	Activado	Encendida	Mantiene por realimentación

Preguntas de análisis

1. ¿Por qué la salida permanece activa tras soltar S0?
2. ¿Qué elemento adicional se necesitaría para apagar la lámpara en este circuito?
3. ¿Qué aplicaciones industriales usan la función de memoria?

Conclusiones del estudiante

GL-B4. Marcha-paro con retención y su eliminación

Módulo B · Diagrama de referencia: documento del fabricante, práctica 2.4 · Mando eléctrico 24 V DC

Objetivos de aprendizaje

- Implementar marcha con retención (set) y paro (reset) mediante dos pulsadores.
- Comprender la prioridad del paro sobre la marcha.

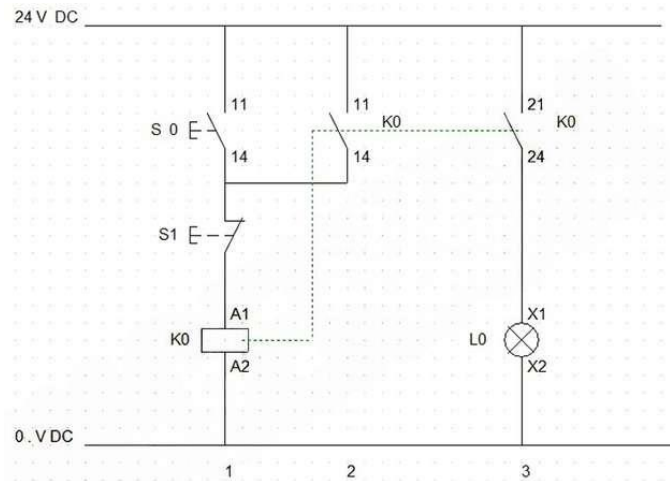
Fundamento / funcionamiento

S0 (NA) activa y enclava el relé K0 por realimentación (marcha). S1 (NC) en serie corta la alimentación de la bobina, eliminando la retención (paro). Es la lógica clásica de arranque/parada con prioridad de parada.

Componentes

- Línea 24 V / 0 V DC.

- Pulsador de marcha S0 (NA).
- Pulsador de paro S1 (NC).
- Relé K0 con contacto de retención.
- Lámpara L0.



Esquema GL-B4 — Esquema eléctrico de mando (24 V / 0 V DC). Fuente: Ingenium Ltda

Procedimiento experimental

1. Montar la rama: S1 (NC) en serie con el paralelo [S0 || contacto de retención K0] y la bobina K0.
2. Conectar un contacto de K0 para encender L0.
3. Energizar; pulsar S0 (enciende y se mantiene).
4. Pulsar S1 (se apaga).

Tabla de función (accionamiento → estado de la salida)

Accionamiento	Relé K0	Lámpara L0	Observación
Reposo	Desactivado	Apagada	—
Marcha S0	Activado	Encendida	Enclava
Paro S1	Desactivado	Apagada	Elimina retención

Preguntas de análisis

1. ¿Por qué S1 debe ser un contacto NC?
2. ¿Qué significa que el paro tenga prioridad sobre la marcha?
3. ¿Cómo se comporta el circuito si se pulsan S0 y S1 a la vez?

Conclusiones del estudiante

GL-B5. Mando desde dos estaciones

Módulo B · Diagrama de referencia: documento del fabricante, práctica 2.5 · Mando eléctrico 24 V DC

Objetivos de aprendizaje

- Implementar el arranque de una carga desde dos puntos distintos (dos pulsadores de marcha).
- Comprender la conexión en paralelo de señales de mando.

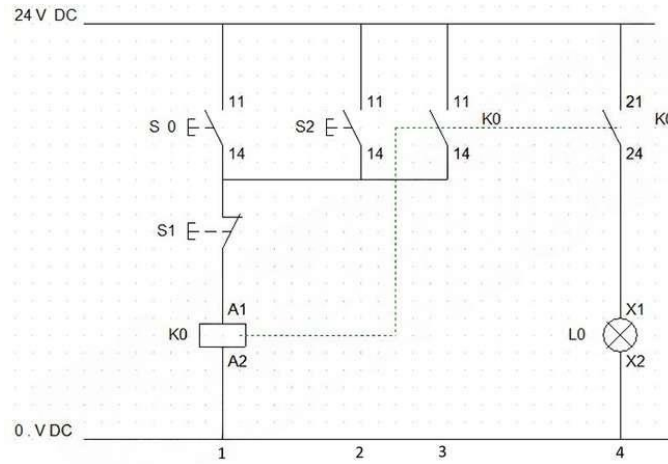
Fundamento / funcionamiento

Los pulsadores de marcha S0 y S2 se conectan en paralelo: accionar cualquiera de ellos activa y enclava K0. El paro S1 (NC), común, detiene el sistema. Es la base de los mandos desde varios puestos.

Componentes

- Línea 24 V / 0 V DC.
- Pulsadores de marcha S0 y S2 (NA, en paralelo).
- Pulsador de paro S1 (NC).
- Relé K0 con retención.

- Lámpara L0.



Esquema GL-B5 — Esquema eléctrico de mando (24 V / 0 V DC). Fuente: Ingenium Ltda

Procedimiento experimental

1. Conectar S0 || S2 || contacto de retención de K0.
2. Poner S1 (NC) en serie con esa combinación y la bobina K0.
3. Conectar contacto de K0 para L0.
4. Probar marcha desde S0 y desde S2; probar paro con S1.

Tabla de función (accionamiento → estado de la salida)

Accionamiento	Relé K0	Lámpara L0	Observación
Marcha S0	Activado	Encendida	Desde estación 1
Marcha S2	Activado	Encendida	Desde estación 2
Paro S1	Desactivado	Apagada	Común a ambas

Preguntas de análisis

1. ¿Por qué los pulsadores de marcha van en paralelo y el de paro en serie?
2. ¿Cómo se ampliaría el circuito a tres estaciones?
3. ¿Qué norma de seguridad recomienda para los pulsadores de paro?

Conclusiones del estudiante

MÓDULO C — CONTROL DE VELOCIDAD DE ACTUADORES (ELECTROHIDRÁULICA)

GL-C1. Cilindro de doble efecto con válvula 4/3 (operación básica)

Módulo C · Diagrama de referencia: documento del fabricante, práctica 3.1 · Simbología: ISO 1219-1

Objetivos de aprendizaje

- Montar y operar un circuito básico con cilindro de doble efecto gobernado por válvula 4/3.
- Medir presiones de avance y retroceso y calcular fuerzas teóricas.
- Analizar el efecto del área diferencial en la relación de fuerzas avance/retroceso.

Fundamento teórico

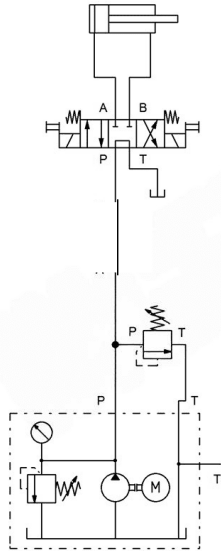
El cilindro de doble efecto trabaja en ambos sentidos. En avance el fluido actúa sobre el área del pistón $A_1 = \pi D^2/4$; en retroceso sobre el área anular $A_3 = A_1 - A_2$ (con $A_2 = \pi d^2/4$). Para la misma presión, $F_{\text{avance}} = P \cdot A_1 > F_{\text{retroceso}} = P \cdot A_3$. Para el cilindro Ø40/Ø20 la relación $A_1/A_3 \approx 1.33$.

La válvula 4/3 de centro tándem conecta P con T en posición neutra, descargando la bomba a baja presión.

Componentes (simbología ISO 1219-1)

- Unidad de potencia con válvula de alivio.
- Válvula direccional 4/3 (centro tándem).

- Cilindro de doble efecto Ø40/Ø20, carrera 200 mm.
- Manómetros en líneas A y B.



Esquema GL-C1 — Esquema ISO 1219: cilindro doble efecto con válvula 4/3. Fuente: Ingenium Ltda

Procedimiento experimental

1. Aplicar SOP-01 y montar el circuito (SOP-02). Calibrar el alivio (SOP-04).
2. Arrancar la UPH (SOP-03) y verificar presión en vacío.
3. Accionar avance: medir presión en A y B y cronometrar la carrera.
4. Accionar retroceso: medir presiones y cronometrar.
5. Aplicar una masa conocida al vástago y medir la presión bajo carga.
6. Apagar de forma segura (SOP-07) y completar la tabla de datos.

Registro de datos

Maniobra	P línea A (bar)	P línea B (bar)	Tiempo (s)	Carrera (mm)
Avance	25	3	2.3	200
Retroceso	3	30	1.7	200
Avance con carga	55	4	2.6	200

Cálculos

- Áreas: $A1 = \pi D^2/4$; $A2 = \pi d^2/4$; $A3 = A1 - A2$.
- Fuerzas teóricas: $F = P \cdot A$ (1 bar = 10 N/cm²).
- Relación de fuerzas: $R = F_{\text{avance}}/F_{\text{retroceso}} = A1/A3 \approx 1.33$.
- Velocidades: $v = L/t$; comparar avance vs. retroceso.
- Carga: comparar P_{medida} con $P_{\text{teórica}} = (m \cdot g)/A$ y calcular % de error.

Preguntas de análisis

1. ¿Por qué la fuerza de avance es mayor que la de retroceso?
2. ¿Cómo afecta el caudal a la velocidad del vástago? Demuéstrelo con ecuaciones.
3. ¿Qué ocurre si se bloquean A y B con el cilindro a media carrera?
4. ¿Cuál es la función del centro tandem y por qué importa energéticamente?

Conclusiones del estudiante

GL-C2. Regulación meter-in antes de la válvula direccional

Módulo C · Diagrama de referencia: documento del fabricante, práctica 3.1.1 · Simbología: ISO 1219-1

Objetivos de aprendizaje

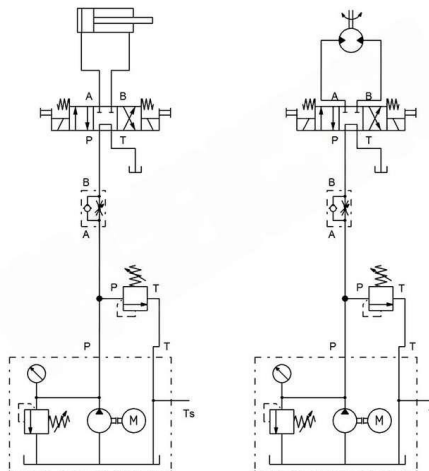
- Implementar el control de velocidad regulando el caudal de entrada antes de la válvula direccional.
- Comparar la velocidad de avance y retroceso resultante.

Fundamento teórico

En el meter-in antes de la direccional, el control de flujo regula el caudal antes de distribuirlo a los puertos del actuador, por lo que incide en avance y retroceso. En el cilindro, por el área diferencial, avance y retroceso tendrán velocidades distintas; en el motor hidráulico, la velocidad en ambos sentidos será la misma.

Componentes (simbología ISO 1219-1)

- Unidad de potencia.
- Válvula direccional (4/3 o 4/2).
- Válvula de control de flujo (antes de la direccional).
- Cilindro de doble efecto o motor hidráulico.
- Manómetro(s).



Esquema GL-C2 — Esquema ISO 1219: control de flujo en la línea de presión, antes de la direccional. Fuente: Ingenium Ltda

Procedimiento experimental

1. Montar el control de flujo entre la línea de presión y la entrada P de la direccional.
2. Calibrar el alivio y arrancar la UPH.
3. Para varias aberturas del control de flujo, cronometrar avance y retroceso.
4. Registrar tiempos y calcular velocidades.

Registro de datos

Abertura (vueltas)	t avance (s)	t retroceso (s)	v avance (mm/s)	v retroceso (mm/s)

Cálculos

- $v = L/t$ para avance y retroceso.
- Comparar v_{avance} vs. $v_{\text{retroceso}}$ y relacionar con el área diferencial.

Preguntas de análisis

1. ¿Por qué este montaje afecta tanto el avance como el retroceso?
2. ¿Por qué en un motor hidráulico la velocidad es igual en ambos sentidos y en un cilindro no?

Conclusiones del estudiante

GL-C3. Regulación meter-in después de la válvula direccional

Módulo C · Diagrama de referencia: documento del fabricante, práctica 3.1.2 · Simbología: ISO 1219-1

Objetivos de aprendizaje

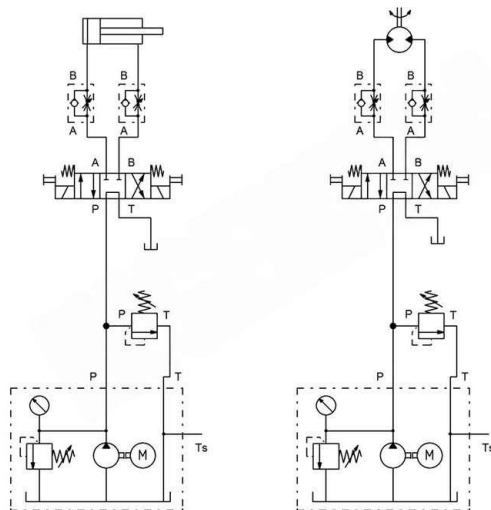
- Regular el caudal en un solo sentido instalando el control de flujo después de la direccional.
- Comparar presiones de entrada y salida y estimar la relación de diámetros del cilindro.

Fundamento teórico

Al colocar el control de flujo después de la direccional, la regulación afecta un solo sentido; pueden colocarse dos manómetros tras las válvulas de control para comparar presiones de entrada y salida y deducir la relación de diámetros del cilindro.

Componentes (simbología ISO 1219-1)

- Unidad de potencia.
- Válvula direccional.
- Válvula(s) de control de flujo (después de la direccional).
- Cilindro de doble efecto.
- Dos manómetros.



Esquema GL-C3 — Esquema ISO 1219: control de flujo después de la direccional (meter-in). Fuente: Ingenium Ltda

Procedimiento experimental

1. Montar el control de flujo a la salida de la direccional hacia el actuador.
2. Calibrar el alivio y arrancar.
3. Cronometrar avance/retroceso y registrar presiones de entrada y salida.

Registro de datos

Abertura	P entrada (bar)	P salida (bar)	t avance (s)	t retroceso (s)

Cálculos

- $v = L/t$.
- Relación de áreas a partir de presiones/tiempos medidos.

Preguntas de análisis

1. ¿Qué ventaja da regular un solo sentido?
2. ¿Cómo se estima la relación de diámetros con dos manómetros?

Conclusiones del estudiante

GL-C4. Regulación meter-out después de la válvula direccional

Módulo C · Diagrama de referencia: documento del fabricante, práctica 3.1.3 · Simbología: ISO 1219-1

Objetivos de aprendizaje

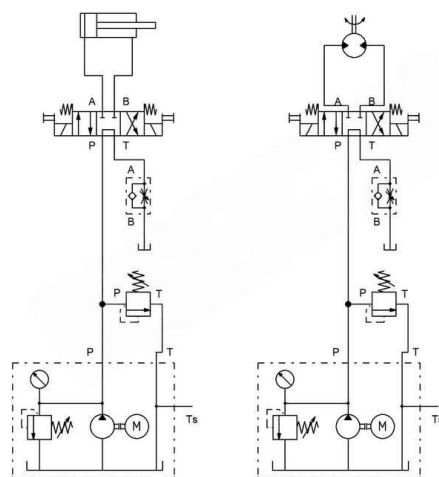
- Implementar el control de velocidad por estrangulamiento a la salida (meter-out) con un solo regulador.
- Observar el efecto del estrangulamiento sobre la temperatura del fluido.

Fundamento teórico

En el meter-out el caudal de retorno se estrangula, lo que da un control más estable frente a cargas que "tiran" del actuador. Como el aceite siempre pasa por un estrangulamiento, tiende a calentarse, por lo que debe vigilarse la temperatura.

Componentes (simbología ISO 1219-1)

- Unidad de potencia.
- Válvula direccional.
- Una válvula de control de flujo (en el retorno).
- Cilindro de doble efecto.
- Manómetro.



Esquema GL-C4 — Esquema ISO 1219: control de flujo en el retorno (meter-out). Fuente: Ingenium Ltda

Procedimiento experimental

1. Montar el control de flujo en la línea de retorno del actuador.
2. Calibrar el alivio y arrancar.
3. Cronometrar avance/retroceso para varias aberturas.
4. Vigilar la temperatura del fluido y registrarla.

Registro de datos

Abertura	t avance (s)	t retroceso (s)	Temp. fluido (°C)	Observación

Cálculos

- $v = L/t$.
- Relacionar el aumento de temperatura con el tiempo de estrangulamiento.

Preguntas de análisis

1. ¿Por qué el meter-out controla mejor las cargas negativas?
2. ¿Por qué el aceite se calienta en este montaje y cómo se mitiga?

Conclusiones del estudiante

GL-C5. Regulación meter-out a la salida del actuador (doble regulador)

Módulo C · Diagrama de referencia: documento del fabricante, práctica 3.1.4 · Simbología: ISO 1219-1

Objetivos de aprendizaje

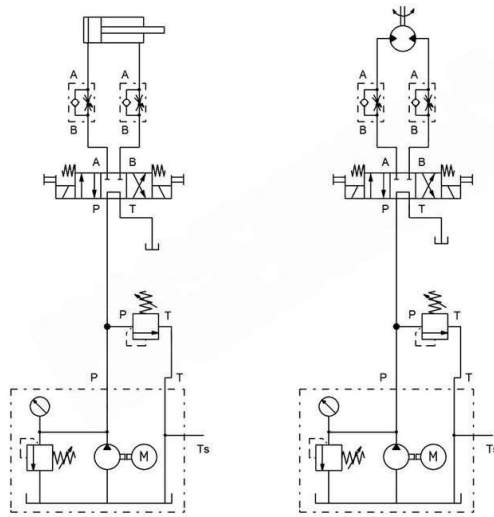
- Regular avance y retroceso de forma independiente con dos controladores de flujo a la salida.
- Comparar presiones de entrada y salida y tiempos del vástago.

Fundamento teórico

Con dos reguladores a la salida del actuador se pueden ajustar velocidades distintas para avance y retroceso; el montaje es aconsejable para cargas de comportamiento negativo o resistencia variable. Con dos manómetros se comparan presiones de entrada y salida.

Componentes (simbología ISO 1219-1)

- Unidad de potencia.
- Válvula direccional.
- Dos válvulas de control de flujo.
- Cilindro de doble efecto.
- Dos manómetros.



Esquema GL-C5 — Esquema ISO 1219: dos reguladores a la salida del actuador. Fuente: Ingenium Ltda

Procedimiento experimental

1. Montar un regulador en cada línea de salida del actuador.
2. Calibrar el alivio y arrancar.
3. Ajustar velocidades de avance y retroceso de forma independiente.
4. Registrar presiones de entrada/salida y tiempos.

Registro de datos

Maniobra	P entrada (bar)	P salida (bar)	Tiempo (s)	v (mm/s)

Cálculos

- $v = L/t$ para cada sentido.

- Relación de diámetros a partir de presiones medidas.

Preguntas de análisis

1. ¿Por qué este montaje conviene para cargas negativas?
2. ¿Qué información aporta comparar las presiones de entrada y salida?

Conclusiones del estudiante

GL-C6. Regulación por sangría (bleed-off)

Módulo C · Diagrama de referencia: documento del fabricante, práctica 3.1.5 · Simbología: ISO 1219-1

Objetivos de aprendizaje

- Implementar el control de velocidad derivando parte del caudal a tanque (bleed-off).
- Comparar la eficiencia energética del bleed-off frente al meter-in/meter-out.

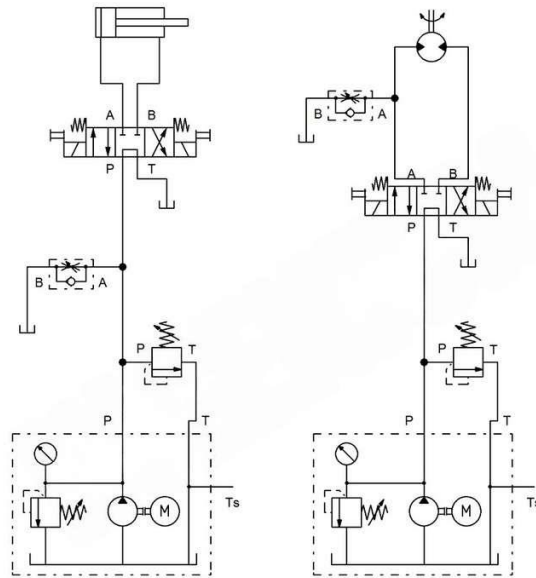
Fundamento teórico

En la regulación por sangría el control de flujo se coloca en paralelo en la línea de tanque: parte del caudal va a tanque y parte a la válvula direccional. Solo se estrangula el caudal derivado, por lo que suele ser más eficiente energéticamente, aunque el control depende de la carga.

Componentes (simbología ISO 1219-1)

- Unidad de potencia.
- Válvula direccional.
- Válvula de control de flujo (en paralelo a tanque).

- Cilindro o motor hidráulico.
- Manómetro.



Esquema GL-C6 — Esquema ISO 1219: control de flujo en paralelo a la línea de tanque (bleed-off). Fuente: Ingenium Ltda

Procedimiento experimental

1. Montar el control de flujo en derivación hacia tanque.
2. Calibrar el alivio y arrancar.
3. Variar la abertura del bleed-off y cronometrar la maniobra.
4. Registrar tiempos y presión.

Registro de datos

Abertura bleed-off	t maniobra (s)	P sistema (bar)	Observación

Abertura bleed-off	t maniobra (s)	P sistema (bar)	Observación

Cálculos

- $v = L/t$.
- Discutir cualitativamente la eficiencia frente a meter-in/meter-out.

Preguntas de análisis

1. ¿Por qué el bleed-off suele ser más eficiente energéticamente?
2. ¿Por qué el control de velocidad por sangría es más sensible a la variación de carga?

Conclusiones del estudiante

MÓDULO D — CIRCUITOS DE APLICACIÓN (ELECTROHIDRÁULICA)

GL-D1. Circuito regenerativo

Módulo D · Diagrama de referencia: documento del fabricante, práctica 3.2.1 · Simbología: ISO 1219-1

Objetivos de aprendizaje

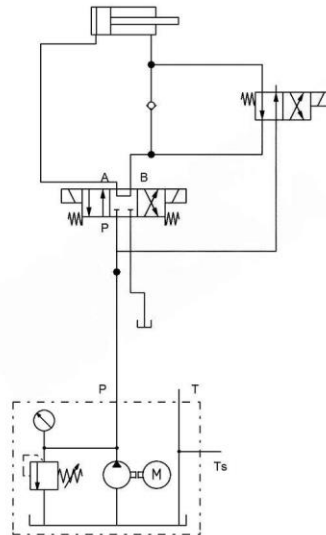
- Montar un circuito regenerativo usando el manifold como distribuidor tras la electroválvula 4/3.
- Comprender el aumento de velocidad de avance al reutilizar el caudal del lado del vástago.

Fundamento teórico

En el circuito regenerativo, durante el avance el caudal del lado del vástago se suma al de la bomba en el lado del pistón, aumentando la velocidad de avance a costa de menor fuerza. Se emplea el manifold como distribuidor después de la electroválvula 4/3.

Componentes (simbología ISO 1219-1)

- Unidad de potencia.
- Electroválvula 4/3.
- Manifold distribuidor.
- Cheque.
- Cilindro de doble efecto.
- Manómetros (entrada/salida).



Esquema GL-D1 — Esquema ISO 1219: circuito regenerativo con manifold tras la 4/3. Fuente: Ingenium Ltda

Procedimiento experimental

1. Montar el circuito regenerativo según el esquema, usando el manifold como distribuidor.
2. Calibrar el alivio y arrancar.
3. Medir tiempos de avance regenerativo y retroceso; registrar presiones.

4. Comparar la velocidad de avance con la del montaje convencional (GL-C1).

Registro de datos

Maniobra	P entrada (bar)	P salida (bar)	Tiempo (s)	v (mm/s)

Cálculos

- $v_{\text{avance regenerativo}}$ vs. $v_{\text{avance convencional}}$.
- Discutir la pérdida de fuerza en avance regenerativo.

Preguntas de análisis

1. ¿Por qué aumenta la velocidad de avance en el circuito regenerativo?
2. ¿Por qué disminuye la fuerza disponible en avance?

Conclusiones del estudiante

GL-D2. Meter-in / meter-out con válvula direccional 4/2

Módulo D · Diagrama de referencia: documento del fabricante, práctica 3.2.2 / 3.2.3 · Simbología: ISO 1219-1

Objetivos de aprendizaje

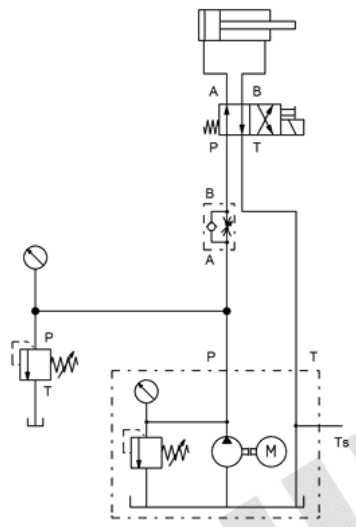
- Implementar control de velocidad meter-in y meter-out usando una válvula direccional 4/2.
- Comparar el comportamiento frente a los montajes con 4/3.

Fundamento teórico

Con una válvula 4/2 (dos posiciones) se gobierna el actuador con control de flujo a la entrada (meter-in) o a la salida (meter-out). Se pueden instalar manómetros a entrada y salida del actuador para comparar presiones y tomar tiempos de entrada y retroceso.

Componentes (simbología ISO 1219-1)

- Unidad de potencia.
- Válvula direccional 4/2.
- Válvula de control de flujo.
- Cilindro de doble efecto.
- Manómetros (entrada/salida).



Procedimiento experimental

1. Montar primero el meter-in con la 4/2; calibrar el alivio y arrancar.
2. Cronometrar avance/retroceso y registrar presiones.
3. Cambiar al montaje meter-out y repetir las medidas.
4. Comparar ambos montajes.

Registro de datos

Montaje	P entrada (bar)	P salida (bar)	t avance (s)	t retroceso (s)

Cálculos

- $v = L/t$ en cada montaje.
- Comparar estabilidad y presiones meter-in vs. meter-out.

Preguntas de análisis

1. ¿Qué diferencia operativa hay entre usar una 4/2 y una 4/3?
2. ¿En qué casos conviene meter-in y en cuáles meter-out?

Conclusiones del estudiante

GL-D3. Cheque como protección de bomba

Módulo D · Diagrama de referencia: documento del fabricante, práctica 3.2.4 · Simbología: ISO 1219-1

Objetivos de aprendizaje

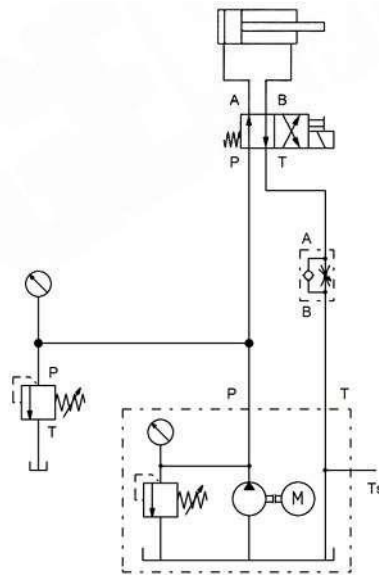
- Comprender el uso de una válvula cheque para proteger la bomba contra retornos de presión.
- Identificar el sentido de bloqueo del cheque en el circuito.

Fundamento teórico

Una válvula cheque permite el flujo en un solo sentido; ubicada a la salida de la bomba evita que la presión del circuito retorne hacia la bomba, protegiéndola ante picos o cargas que empujan el fluido en sentido inverso.

Componentes (simbología ISO 1219-1)

- Unidad de potencia.
- Válvula cheque (en línea).
- Electroválvula direccional.
- Cilindro de doble efecto.
- Manómetro.



Esquema GL-D3 — Esquema ISO 1219: cheque a la salida de la bomba como protección. Fuente: Ingenium Ltda

Procedimiento experimental

1. Montar el cheque a la salida de la bomba según el esquema.
2. Calibrar el alivio y arrancar.
3. Operar el actuador y verificar el sentido de bloqueo del cheque.
4. Registrar la presión antes y después del cheque.

Registro de datos

[illegible]

Preguntas de análisis

1. ¿Cómo orienta el cheque para proteger la bomba?
2. ¿Qué le ocurriría a la bomba ante un retorno de presión sin el cheque?

Conclusiones del estudiante

GL-D4. Cheque pilotado (retención de carga)

Módulo D · Diagrama de referencia: documento del fabricante, práctica 3.2.5 · Simbología: ISO 1219-1

Objetivos de aprendizaje

- Comprender el funcionamiento del cheque pilotado para retener cargas en posición intermedia.
- Relacionar el montaje con aplicaciones de ascensores hidráulicos y cargas pesadas.

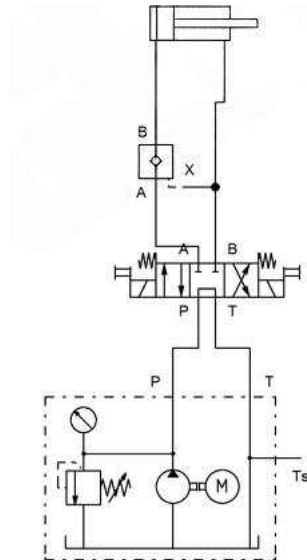
Fundamento teórico

El cheque pilotado bloquea el retorno del actuador salvo cuando recibe una señal de pilotaje que lo abre. Permite mantener una carga en posición intermedia con la válvula en el centro, sin que el actuador descienda; es típico en ascensores hidráulicos o equipos con cargas muy pesadas. Se usa el manifold como distribuidor tras la electroválvula 4/3.

Componentes (simbología ISO 1219-1)

- Unidad de potencia.
- Electroválvula 4/3.

- Manifold distribuidor.
- Cheque pilotado.
- Cilindro de doble efecto.
- Manómetro.



Esquema GL-D4 — Esquema ISO 1219: cheque pilotado para retención de carga. Fuente: Ingenium Ltda

Procedimiento experimental

1. Montar el circuito con el cheque pilotado según el esquema.
2. Calibrar el alivio y arrancar.
3. Avanzar el cilindro con carga y llevar la válvula al centro.
4. Verificar que la carga se mantiene; luego pilotar el cheque para descender.
5. Registrar el comportamiento.

Registro de datos

Maniobra	Válvula	Cheque pilotado	Posición del vástago	Observación

Maniobra	Válvula	Cheque pilotado	Posición del vástago	Observación

Preguntas de análisis

1. ¿Por qué la carga no desciende con la válvula en el centro?
2. ¿Qué papel juega la señal de pilotaje en el cheque?
3. ¿Por qué este sistema es adecuado para ascensores hidráulicos?

Conclusiones del estudiante

MÓDULO E — HIDRÁULICA PROPORCIONAL (PLC + HMI)

Antes de las prácticas E, realice el conexionado del módulo de válvulas proporcionales al PLC siguiendo el procedimiento del fabricante (Sección 3.3 del documento de guías): cables a las bananas de colores, tierra a las entradas del PLC, 0 V a la salida análoga amarilla, señal a A0/A1, potenciómetro a 0 V (azul), entrada análoga I6 (2) y 24 V (rojo); de ser necesario, conecte el transductor de presión a I5/I11 y la PT100 a I7-I10/I11. Seleccione en el PLC la válvula a utilizar y siga las instrucciones de la pantalla.

GL-E1. Válvula direccional proporcional (PLC + HMI)

Módulo E · Diagrama de referencia: documento del fabricante, práctica 3.3.1 · Simbología: ISO 1219-1

Objetivos de aprendizaje

- Operar una válvula direccional proporcional variando la consigna desde el potenciómetro/PLC.
- Relacionar la consigna (0–10 V) con la apertura y la velocidad del actuador.
- Introducir el control en lazo cerrado con sensor de presión o temperatura.

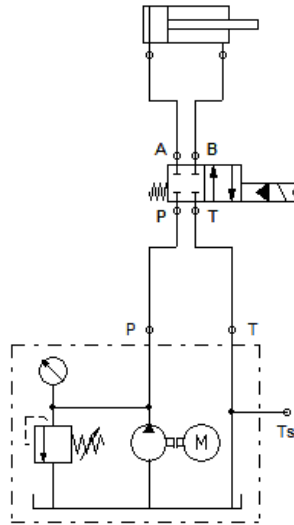
Fundamento teórico

La válvula proporcional varía su apertura de forma continua en función de una señal eléctrica de consigna (0–10 V), a diferencia de las válvulas todo-nada. Al aumentar la consigna con el potenciómetro aumenta la apertura y, por tanto, el caudal y la velocidad del actuador. Con un sensor (presión o temperatura) después de la válvula puede cerrarse el lazo: el PLC ajusta la apertura para mantener un valor mínimo de la variable. El fundamento de la hidráulica proporcional y del control en lazo cerrado se desarrolla con mayor detalle en la literatura didáctica especializada [33], [34].

Componentes (simbología ISO 1219-1)

- Unidad de potencia.

- Válvula direccional proporcional.
- Módulo de conexión de válvulas proporcionales.
- PLC + HMI V350 y potenciómetro.
- Cilindro de doble efecto.
- Sensor de presión / PT100 (opcional, lazo cerrado).



Esquema GL-E1 — Esquema ISO 1219 / conexionado del módulo proporcional y el PLC. Fuente: Ingenium Ltda., práctica 3.3.1.

Procedimiento experimental

1. Realizar el conexionado del módulo proporcional al PLC (procedimiento del fabricante).
2. Seleccionar la válvula direccional proporcional en la HMI.
3. Conectar las salidas de la válvula al cilindro.
4. Variar el potenciómetro de 0 a 100 % y observar/medir la apertura y la velocidad del cilindro.
5. Opcional (lazo cerrado): conectar el sensor después de la válvula, fijar un setpoint en la HMI y restringir el paso con un control de flujo para observar la respuesta de la válvula.

Registro de datos

Consigna (%)	Tensión de mando (V)	Presión (psi)	Tiempo de carrera (s)	Velocidad (mm/s)
0				
10				
20				
30				
40				
50				
60				
70				
80				
90				
100				

Cálculos

- Relacionar consigna (V) con velocidad $v = L/t$.
- Graficar v vs. consigna y comentar la linealidad.

Preguntas de análisis

1. ¿En qué se diferencia una válvula proporcional de una todo-nada?
2. ¿Qué variable controla el lazo cerrado y cómo reacciona la válvula ante una restricción?
3. ¿Qué papel cumple el PLC + HMI en esta práctica?

Conclusiones del estudiante

GL-E2. Válvula de control de caudal proporcional (PLC + HMI)

Módulo E · Diagrama de referencia: documento del fabricante, práctica 3.3.1 · Simbología: ISO 1219-1

Objetivos de aprendizaje

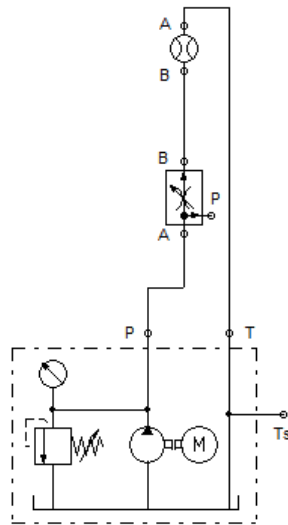
- Caracterizar la variación de caudal de una válvula de caudal proporcional según la consigna.
- Tomar lecturas de caudal con el caudalímetro al variar el potenciómetro.

Fundamento teórico

La válvula de caudal proporcional regula de forma continua el caudal en función de la consigna. Conectando una de sus salidas al caudalímetro se registra cómo varía el caudal al abrir o cerrar la válvula con el potenciómetro. El lazo cerrado con sensor permite mantener un caudal/presión objetivo.

Componentes (simbología ISO 1219-1)

- Unidad de potencia.
- Válvula de control de caudal proporcional.
- Módulo proporcional + PLC/HMI + potenciómetro.
- Caudalímetro.
- Sensor de presión / PT100 (opcional).



Esquema GL-E2 — Esquema ISO 1219 / conexasoado válvula de caudal proporcional. Fuente: Ingenium Ltda., práctica 3.3.1.

Procedimiento experimental

1. Conectar el módulo proporcional al PLC (procedimiento del fabricante) y seleccionar la válvula de caudal.
2. Conectar una salida de la válvula al caudalímetro.
3. Variar el potenciómetro y registrar el caudal a cada consigna.
4. Opcional: cerrar el lazo con sensor y fijar un setpoint en la HMI.

Registro de datos

Consigna (%)	Tensión (V)	Volumen (ml)	Tiempo (s)	Caudal Q (L/min)
0				
10				
20				
30				
40				
50				

60				
70				
80				
90				
100				

Cálculos

- Graficar caudal vs. consigna.
- Comentar la zona muerta y la linealidad de la válvula.

Preguntas de análisis

1. ¿Cómo varía el caudal con la consigna? ¿Es lineal en todo el rango?
2. ¿Qué utilidad tiene una válvula de caudal proporcional frente a una de control de flujo manual?

Conclusiones del estudiante

GL-E3. Válvula proporcional de presión (PLC + HMI)

Módulo E · Diagrama de referencia: documento del fabricante, práctica 3.3.1 · Simbología: ISO 1219-1

Objetivos de aprendizaje

- Operar una válvula proporcional de presión variando la consigna desde el potenciómetro/PLC.

- Relacionar la consigna (0–10 V) con la presión de tarado del sistema.
- Introducir el control de presión en lazo cerrado con el transductor de presión.

Fundamento teórico

La válvula proporcional de presión regula de forma continua la presión de trabajo del sistema en función de una señal eléctrica de consigna (0–10 V), a diferencia de una válvula de alivio de tarado fijo. Al variar la consigna con el potenciómetro, varía la presión límite que la válvula mantiene en la línea. Con el transductor de presión conectado al PLC puede cerrarse el lazo: el sistema ajusta la consigna para sostener una presión objetivo (setpoint) fijada en la HMI.

Componentes (simbología ISO 1219-1)

- Unidad de potencia.
- Válvula proporcional de presión.
- Módulo de conexión de válvulas proporcionales.
- PLC + HMI V350 y potenciómetro.
- Transductor de presión (0–70 bar).
- Manómetro.

Esta práctica emplea el mismo montaje proporcional de la práctica 3.3.1 (véase el esquema de la guía GL-E1), operando la válvula en modo de control de presión con realimentación del transductor.

Procedimiento experimental

1. Realizar el conexionado del módulo proporcional al PLC (procedimiento del fabricante).
2. Seleccionar la válvula proporcional de presión en la HMI.
3. Conectar el transductor de presión a la línea de trabajo y a la entrada del PLC.
4. Variar el potenciómetro de 0 a 100 % y registrar la presión indicada por el manómetro y el transductor.

5. Opcional (lazo cerrado): fijar un setpoint de presión en la HMI y verificar cómo la válvula lo mantiene ante variaciones de carga.

Registro de datos

Consigna de presión (%)	Tensión (V)	Presión ajustada (psi)	Presión medida (psi)	Error (%)
0				
10				
20				
30				
40				
50				
60				
70				
80				
90				
100				

Cálculos

- Graficar la presión regulada vs. la consigna.
- Comentar la linealidad y la zona muerta de la válvula.

Preguntas de análisis

1. ¿En qué se diferencia una válvula proporcional de presión de una válvula de alivio de tarado fijo?
2. ¿Cómo mantiene el lazo cerrado la presión objetivo ante cambios de carga?
3. ¿Qué ventajas aporta poder variar la presión de trabajo desde la HMI durante una práctica?

Conclusiones del estudiante

MÓDULO F — PROPIEDADES DEL FLUIDO

GL-F1. Ensayo de viscosidad del fluido hidráulico

Módulo F · Diagrama de referencia: documento del fabricante, práctica — · Simbología: ISO 1219-1

Objetivos de aprendizaje

- Determinar la viscosidad del aceite hidráulico y verificar su grado ISO VG.
- Comprender la influencia de la temperatura sobre la viscosidad y su efecto en el sistema.
- Relacionar la viscosidad con la eficiencia volumétrica y las fugas internas.

Fundamento teórico

La viscosidad mide la resistencia del fluido a fluir. La viscosidad cinemática ν (mm^2/s = cSt) se relaciona con la dinámica μ por $\nu = \mu/\rho$. El grado ISO VG (ISO 3448) corresponde a la viscosidad cinemática a 40 °C; el aceite del banco es ISO VG 46 (≈ 46 cSt a 40 °C). La viscosidad disminuye al aumentar la temperatura: un aceite demasiado fluido aumenta fugas internas y reduce la eficiencia volumétrica, mientras que uno demasiado viscoso aumenta pérdidas de carga y riesgo de cavitación.

En laboratorio la viscosidad cinemática se mide con un viscosímetro capilar (ISO 3104 / ASTM D445) [35], cronometrando el tiempo t que tarda el fluido en recorrer el capilar: $\nu = C \cdot t$, con C la constante del viscosímetro. Si no se dispone de

viscosímetro normalizado, puede emplearse un método comparativo de tiempo de vaciado (copa) a temperatura controlada, indicando que el resultado es relativo.

Componentes (simbología ISO 1219-1)

- Muestra de aceite hidráulico del banco (ISO VG 46).
- Viscosímetro capilar calibrado (o copa de viscosidad).
- Baño térmico o termómetro para control de temperatura.
- Cronómetro.
- Probeta y densímetro (para ρ).

Ensayo de propiedad del fluido: no requiere circuito hidráulico. Se realiza con viscosímetro y control de temperatura, según el procedimiento descrito en la guía.

Procedimiento experimental

1. Tomar una muestra representativa del aceite del depósito.
2. Acondicionar la muestra a 40 °C (y repetir a 100 °C si se desea el índice de viscosidad).
3. Medir con el viscosímetro el tiempo de flujo t a cada temperatura (3 repeticiones).
4. Calcular $v = C \cdot t$ y promediar.
5. Medir la densidad ρ con densímetro para obtener $\mu = v \cdot \rho$ si se requiere la viscosidad dinámica.
6. Comparar la viscosidad a 40 °C con el valor nominal del grado ISO VG 46.

Registro de datos

Temperatura (°C)	Tiempo de flujo (s)	Viscosidad cinemática (cSt)	Observaciones
20			
30			
40			

50			
60			
70			

C = constante del viscosímetro (de su certificado de calibración).

Cálculos

- Viscosidad cinemática: $v = C \cdot t$ (cSt).
- Viscosidad dinámica: $\mu = v \cdot \rho$.
- Comparar $v(40\text{ }^{\circ}\text{C})$ con el rango del grado ISO VG 46 (41.4–50.6 cSt) y concluir si cumple.
- Índice de viscosidad (opcional) a partir de $v(40\text{ }^{\circ}\text{C})$ y $v(100\text{ }^{\circ}\text{C})$.

Preguntas de análisis

1. ¿Por qué la viscosidad del aceite es crítica para la bomba y las válvulas del banco?
2. ¿Cómo afecta la temperatura a la viscosidad y, por tanto, a las fugas internas?
3. ¿Qué consecuencias tiene operar con un aceite fuera del grado ISO VG recomendado?
4. A partir de su medición, ¿el aceite del banco cumple el grado ISO VG 46? Justifique.

Conclusiones del estudiante

ANEXO C. RÓTULOS DE IDENTIFICACIÓN DEL FABRICANTE

Este anexo recopila los rótulos de identificación del fabricante (placas y referencias) de los componentes del banco, como evidencia de las especificaciones técnicas verificadas. El registro fotográfico individual de cada componente se integró directamente en la caracterización del banco (sección 7.1).



Figura C.1 — Rótulo del fabricante (grupo 1): PT100, válvula proporcional direccional, desaireador, cheque pilotado, válvula direccional 4/2 y manómetro.



Figura C.2 — Rótulo del fabricante (grupo 2): válvula de alivio (2), control de flujo unidireccional, cheque en línea (2) y válvula direccional 4/2.



Figura C.3 — Rótulo del fabricante (grupo 3): válvula proporcional de caudal, válvula proporcional de presión, manómetro (2), control de flujo unidireccional y transductor de presión.

ANEXO D. EVIDENCIAS DE LA VALIDACIÓN DE LOS SOPs

Este anexo reúne las evidencias de la validación experimental de los ocho procedimientos operativos estandarizados (SOP-01 a SOP-08) desarrollados en la Fase 2 y documentados en la sección A.3 del Anexo A. La validación se realizó en el banco oleohidráulico durante julio y agosto de 2026, ejecutando cada procedimiento en las sesiones de prueba y de validación de las guías de laboratorio, bajo la supervisión del director del proyecto. Un SOP se consideró validado cuando su ejecución completa cumplió el criterio de aceptación definido y no requirió ajustes adicionales en su redacción.

D.1. Matriz de validación de los SOPs

Tabla D.1

Criterios de aceptación y resultado de la validación de los SOPs

Código	Procedimiento	Criterio de aceptación verificado	Evidencia	Resultado
SOP-01	Verificación pre-operacional	Lista de chequeo completa antes de energizar: nivel de aceite en el visor, ausencia de fugas, mangueras y acoples asegurados y muletilla de fluido en RECIRCULACIÓN.	Lista de chequeo diligenciada; Fig. D.1	Conforme
SOP-02	Montaje del circuito hidráulico	Circuito montado según el esquema ISO 1219 de la práctica, con el banco apagado o en recirculación; sin fugas en acoples al presurizar.	Verificación del montaje por el director; Fig. D.2	Conforme
SOP-03	Puesta en marcha / encendido	Arranque en RECIRCULACIÓN con sentido de giro correcto, sin ruido anómalo ni cavitación, y presión estable al pasar a PRESIÓN.	Lectura de manómetro; Fig. D.3	Conforme
SOP-04	Calibración de la válvula de alivio	Presión de apertura ajustada al valor de trabajo de la práctica y estable en el manómetro de línea.	Lectura de manómetro; Fig. D.4	Conforme
SOP-05	Medición de variables	Lecturas de presión, caudal y temperatura repetibles entre ejecuciones y registradas en las tablas de las guías.	Tablas de datos de las guías; Fig. D.5	Conforme
SOP-06	Operación normal	Maniobra ejecutada según la secuencia prevista, sin desviaciones ni condiciones inseguras.	Registro de ejecución; videos Anexo F; Fig. D.6	Conforme
SOP-07	Apagado normal	Banco detenido con la muletilla en RECIRCULACIÓN, circuito despresurizado (0 bar) antes de desconectar y energía cortada.	Lectura de manómetro en 0 bar; Fig. D.7	Conforme
SOP-08	Parada de emergencia	Detención inmediata de la unidad de potencia al accionar el mando de apagado en simulacro, seguida de despresurización del circuito.	Simulacro supervisado; Fig. D.8	Conforme

Nota: Elaboración propia.

D.2. Registro de validación

Tabla D.2

Registro de validación de los SOPs

Código	Periodo de validación	Ejecutó	Verificó	Firma
SOP-01	Julio – agosto de 2026	Sergio Alberto Neira Giraldo	Ing. Javier Giovanni Rodríguez Quintero (director)	
SOP-02	Julio – agosto de 2026	Sergio Alberto Neira Giraldo	Ing. Javier Giovanni Rodríguez Quintero (director)	
SOP-03	Julio – agosto de 2026	Sergio Alberto Neira Giraldo	Ing. Javier Giovanni Rodríguez Quintero (director)	
SOP-04	Julio – agosto de 2026	Sergio Alberto Neira Giraldo	Ing. Javier Giovanni Rodríguez Quintero (director)	
SOP-05	Julio – agosto de 2026	Sergio Alberto Neira Giraldo	Ing. Javier Giovanni Rodríguez Quintero (director)	
SOP-06	Julio – agosto de 2026	Sergio Alberto Neira Giraldo	Ing. Javier Giovanni Rodríguez Quintero (director)	
SOP-07	Julio – agosto de 2026	Sergio Alberto Neira Giraldo	Ing. Javier Giovanni Rodríguez Quintero (director)	
SOP-08	Julio – agosto de 2026	Sergio Alberto Neira Giraldo	Ing. Javier Giovanni Rodríguez Quintero (director)	

Nota: Elaboración propia.

D.3. Registro fotográfico de los puntos de control verificados

Las siguientes fotografías corresponden a los elementos del banco sobre los que se verificó el criterio de aceptación de cada SOP durante su validación. El registro audiovisual de la ejecución de los procedimientos dentro de cada práctica se relaciona en el Anexo F.

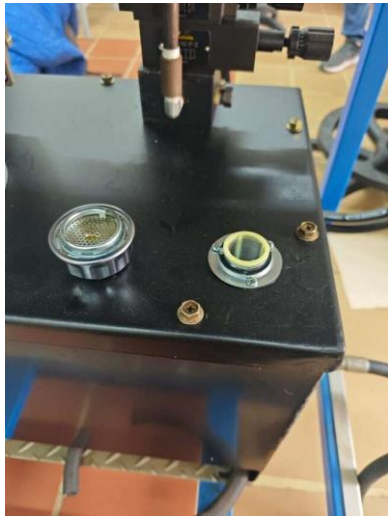


Figura D.1 — SOP-01: verificación de la tapa del depósito, respiradero y filtro de llenado antes de energizar.



Figura D.2 — SOP-02: acoples rápidos DN-06 verificados durante el montaje del circuito.



Figura D.3 — SOP-03: tablero de encendido; arranque con la muletilla en RECIRCULACIÓN.



Figura D.4 — SOP-04: bloque de la válvula limitadora con manómetro empleado en la calibración.



Figura D.5 — SOP-05: rotámetro empleado en la medición de caudal.



Figura D.6 — SOP-06: tablero de conexiones eléctricas utilizado en la operación de las prácticas.



Figura D.7 — SOP-07: manómetro de línea verificado en 0 bar tras el apagado.



Figura D.8 — SOP-08: señalización de riesgo y mando de apagado de la unidad de potencia.

Nota: Elaboración propia.

ANEXO E. ESTADO DEL BANCO OLEOHIDRÁULICO ANTES Y DESPUÉS DEL PROYECTO

Este anexo presenta el estado del banco oleohidráulico de la División de Ingenierías al inicio del proyecto y su estado al finalizarlo, con el fin de evidenciar las intervenciones realizadas y el aporte del trabajo de grado.

E.1. Estado del banco antes del proyecto

Al iniciar el proyecto (diciembre de 2025), el banco se encontraba fuera de servicio y sin documentación técnica de soporte. Los principales hallazgos fueron:

- **Unidad de potencia inoperante:** la bomba no entregaba caudal ni presión en el arranque, debido a que el motor trifásico estaba conectado con una secuencia de fases incorrecta que invertía su sentido de giro.
- **Falla en el mando direccional:** uno de los solenoides de las electroválvulas presentaba conmutación anómala, lo que impedía la operación confiable de los actuadores.
- **Ausencia de documentación:** no existía un inventario técnico verificado de los componentes ni un registro centralizado de sus especificaciones y rótulos del fabricante.
- **Operación sin procedimientos:** el uso del banco dependía de la experiencia individual de docentes y monitores, sin SOPs de arranque, operación, apagado ni parada de emergencia.
- **Mantenimiento reactivo:** no se contaba con un plan de mantenimiento preventivo, bitácoras ni inventario de repuestos; las intervenciones se realizaban solo ante fallas.
- **Prácticas no formalizadas:** solo se disponía de los ejercicios propuestos por el fabricante, sin guías estructuradas ni validadas para la formación por competencias.



Figura E.1 — Vista general del banco antes del proyecto (fuera de servicio).



Figura E.2 — Unidad de potencia antes de la corrección de la secuencia de fases.



Figura E.3 — Electroválvula con falla de conmutación del solenoide.



Figura E.4 — Estado de los componentes y accesorios antes de su inventario.

Nota: Elaboración propia.

E.2. Estado del banco después del proyecto

Al finalizar el proyecto, el banco quedó en condición operativa y soportado por la documentación técnica desarrollada. Se corrigió la secuencia de fases del motor, restableciendo el caudal de la bomba; se reparó el solenoide y su conexión; y se verificó el funcionamiento del PLC + HMI. Adicionalmente, el equipo cuenta con inventario técnico con simbología ISO 1219 (Tabla 8), ocho SOPs validados (Anexo

D), plan de mantenimiento preventivo con formatos institucionales (Anexo A) y veintidós guías de laboratorio validadas (Anexos B y F).



Figura E.5 — Vista general del banco oleohidráulico en operación.



Figura E.6 — Unidad de potencia operativa (depósito, bomba y motor SIEMENS).



Figura E.7 — Electroválvula direccional YUKEN DSG-01 con conmutación verificada.



Figura E.8 — Tablero PLC + HMI Unitronics V350 verificado en funcionamiento.

Nota: Elaboración propia.

Tabla E.1*Comparativo del estado del banco antes y después del proyecto*

Aspecto	Antes del proyecto	Después del proyecto
Unidad de potencia	Sin caudal ni presión por sentido de giro invertido.	Secuencia de fases corregida; caudal y presión nominales restablecidos.
Válvulas direccionales	Solenoides con conmutación anómala.	Solenoides y conexión corregidos; conmutación verificada.
Control (PLC + HMI)	Sin verificación.	Verificado en buen estado de funcionamiento.
Inventario técnico	Inexistente.	Inventario de 25 ítems con especificaciones y símbolo ISO 1219 (Tabla 8).
Procedimientos de operación	Sin procedimientos escritos.	8 SOPs documentados (Anexo A) y validados (Anexo D).
Mantenimiento	Reactivo, sin registros.	Plan preventivo diario, mensual y anual con formatos MP-01 a MP-04.
Prácticas de laboratorio	Solo ejercicios del fabricante.	22 guías formalizadas (Anexo B) y validadas en video (Anexo F).
Estado general	Fuera de servicio.	Operativo y documentado para su uso académico.

Nota: Elaboración propia.

ANEXO F. REGISTRO AUDIOVISUAL DE LA REALIZACIÓN Y VALIDACIÓN DE LAS PRÁCTICAS

Como evidencia de la realización y validación experimental de las 22 prácticas de laboratorio resultado del proyecto, se entrega un video por cada guía. Cada video muestra: (1) la verificación pre-operacional y el montaje del circuito según el esquema ISO 1219 (SOP-01 y SOP-02); (2) la puesta en marcha y el ajuste de la presión de trabajo (SOP-03 y SOP-04); (3) la ejecución de la maniobra y la toma de datos (SOP-05 y SOP-06); y (4) el apagado seguro del banco (SOP-07). Los archivos se entregan en medio digital junto con este documento, en la carpeta «Anexo F – Videos» (nombre de archivo según la Tabla F.1), y pueden consultarse también mediante el enlace indicado en la Tabla F.1.

Tabla F.1

Relación de videos de realización y validación de las guías de laboratorio

N.º	Código	Práctica	Archivo de video	Enlace de consulta
1	GL-A1	Curva característica de la bomba (Q–P)	GL-A1_validacion.mp4	[Insertar enlace]
2	GL-A2	Curva característica de la válvula de alivio (Q–P)	GL-A2_validacion.mp4	[Insertar enlace]
3	GL-A3	Curva característica de la válvula de control de flujo (ΔP –Q)	GL-A3_validacion.mp4	[Insertar enlace]
4	GL-B1	Mando directo por impulso de una lámpara	GL-B1_validacion.mp4	[Insertar enlace]
5	GL-B2	Mando indirecto con relé	GL-B2_validacion.mp4	[Insertar enlace]
6	GL-B3	Autorretención (memoria con realimentación)	GL-B3_validacion.mp4	[Insertar enlace]
7	GL-B4	Marcha–paro con retención y su eliminación	GL-B4_validacion.mp4	[Insertar enlace]
8	GL-B5	Mando desde dos estaciones	GL-B5_validacion.mp4	[Insertar enlace]
9	GL-C1	Cilindro de doble efecto con válvula 4/3	GL-C1_validacion.mp4	[Insertar enlace]
10	GL-C2	Regulación meter-in antes de la válvula direccional	GL-C2_validacion.mp4	[Insertar enlace]
11	GL-C3	Regulación meter-in después de la válvula direccional	GL-C3_validacion.mp4	[Insertar enlace]
12	GL-C4	Regulación meter-out después de la válvula direccional	GL-C4_validacion.mp4	[Insertar enlace]
13	GL-C5	Regulación meter-out a la salida del actuador	GL-C5_validacion.mp4	[Insertar enlace]
14	GL-C6	Regulación por sangría (bleed-off)	GL-C6_validacion.mp4	[Insertar enlace]
15	GL-D1	Circuito regenerativo	GL-D1_validacion.mp4	[Insertar enlace]
16	GL-D2	Meter-in / meter-out con válvula 4/2	GL-D2_validacion.mp4	[Insertar enlace]
17	GL-D3	Cheque como protección de bomba	GL-D3_validacion.mp4	[Insertar enlace]
18	GL-D4	Cheque pilotado (retención de carga)	GL-D4_validacion.mp4	[Insertar enlace]
19	GL-E1	Válvula direccional proporcional (PLC + HMI)	GL-E1_validacion.mp4	[Insertar enlace]
20	GL-E2	Válvula de control de caudal proporcional (PLC + HMI)	GL-E2_validacion.mp4	[Insertar enlace]
21	GL-E3	Válvula proporcional de presión (PLC + HMI)	GL-E3_validacion.mp4	[Insertar enlace]
22	GL-F1	Ensayo de viscosidad del fluido hidráulico	GL-F1_validacion.mp4	[Insertar enlace]

Nota: Elaboración propia.

