

**ELABORACIÓN DE GUÍAS DE LABORATORIO PARA EL BANCO
OLEOHIDRÁULICO DE LA DIVISIÓN DE INGENIERÍAS DE LA
UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS SEDE PRINCIPAL**

SERGIO ALBERTO NEIRA GIRALDO

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTÁ D.C.

2026

**ELABORACIÓN DE GUÍAS DE LABORATORIO PARA EL BANCO
OLEOHIDRÁULICO DE LA DIVISIÓN DE INGENIERÍAS DE LA
UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS SEDE PRINCIPAL**

SERGIO ALBERTO NEIRA GIRALDO

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de

INGENIERO MECÁNICO

Director:

Ing. JAVIER GIOVANNY RODRIGUEZ QUINTERO

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

BOGOTÁ D.C.

2026

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Bogotá D.C., ____ de _____ de 2026

DEDICATORIA

A mi familia, por su apoyo constante e incondicional a lo largo de mi formación, y a todas las personas que, de una u otra manera, hicieron posible que este proyecto llegara a buen término.

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi más sincero agradecimiento a la Universidad Santo Tomás y a la Facultad de Ingeniería Mecánica por brindarme la formación y los recursos necesarios para el desarrollo de este trabajo. De manera especial, agradezco a mi director de trabajo de grado por su orientación, paciencia y valiosos aportes a lo largo de todo el proceso, así como a los docentes de la División de Ingenierías por su acompañamiento. Finalmente, agradezco a mi familia y a mis compañeros por su apoyo permanente.

TABLA DE CONTENIDO

Contenido

DEDICATORIA.....	3
AGRADECIMIENTOS	4
TABLA DE CONTENIDO.....	5
LISTA DE TABLAS.....	11
LISTA DE FIGURAS.....	12
LISTA DE ANEXOS	15
GLOSARIO.....	16
RESUMEN	19
ABSTRACT	21
INTRODUCCIÓN	22
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	24
1.1. Descripción del Problema	24
1.2. Riesgos Operacionales y de Seguridad	26
1.3. Impacto en la Formación por Competencias	26
1.4. Pregunta Investigativa	27
1.5. Hipótesis	28
2. OBJETIVOS	29
2.1. Objetivo General	29
2.2. Objetivos Específicos.....	29
3. JUSTIFICACIÓN	30
3.1. Pertinencia Académica y Formativa.....	30
3.2. Incorporación de Estándares Internacionales.....	30

3.3. Optimización de Recursos Institucionales	31
3.4. Escalabilidad y Transferibilidad del Modelo	32
4. MARCO REFERENCIAL	33
4.1. Marco Conceptual.....	33
4.1.1. Principios Físicos Fundamentales y Delimitación del Campo de Estudio	33
4.1.2. Arquitectura Funcional de un Banco de Entrenamiento Oleohidráulico	36
4.2. Marco Teórico.....	39
4.2.1. La Unidad de Potencia Hidráulica: Generación y Acondicionamiento de Energía.....	39
4.2.2. Válvulas de Control Direccional: Gobierno del Flujo y Movimiento	40
4.2.3. Actuadores Hidráulicos: Conversión Final de Energía	41
4.2.4. Normalización y Simbología Técnica: ISO 1219	42
4.3. Estado del Arte en Pedagogía de Sistemas Oleohidráulicos	43
5. METODOLOGÍA.....	45
5.1. Enfoque Metodológico General	45
5.1.1. Revisión Sistemática de la Literatura y Análisis del Estado del Arte	45
5.1.2. Esquema General de la Metodología	46
5.2. Fase 1: Caracterización Técnica del Banco Oleohidráulico	47
5.2.1. Objetivo de la Fase	47
5.2.2. Actividades Específicas.....	47
5.3. Fase 2: Desarrollo de Protocolos Operativos Estandarizados (SOPs)	48
5.3.1. Objetivo de la Fase	48
5.3.2. Actividades Específicas.....	49
5.4. Fase 3: Diseño del Plan de Mantenimiento Preventivo.....	49

5.4.1. Objetivo de la Fase	49
5.4.2. Actividades Específicas.....	50
5.5. Fase 4: Estructuración de Guías de Prácticas de Laboratorio	50
5.5.1. Objetivo de la Fase	50
5.5.2. Actividades Específicas.....	50
6. IMPACTO Y RESULTADOS ESPERADOS	52
6.1. Resultados Entregables.....	52
6.2. Impacto Esperado.....	53
6.3. Usuarios de los Resultados	54
7. RESULTADOS	55
7.1. Resultados de la Fase 1: Caracterización Técnica del Banco Oleohidráulico	55
7.1.1. Descripción General del Sistema	55
7.1.2. Unidad de Potencia Hidráulica (UPH)	57
7.1.3. Sistema de Válvulas Direccionales y Control	61
7.1.4. Actuadores Hidráulicos	66
7.1.5. Instrumentación y Sistema de Medición	69
7.1.6. Sistema de Control y Supervisión (PLC + HMI)	73
7.1.7. Elementos Auxiliares y Sistema de Seguridad	75
7.1.8. Inventario Técnico Completo del Banco Oleohidráulico	77
7.1.9. Puesta en funcionamiento y acciones correctivas iniciales	81
7.2. Fase 2: Desarrollo de Protocolos Operativos Estandarizados (SOPs)	82
7.2.1. Ejemplo de SOP desarrollado: SOP-03	84
7.3. Resultados de la Fase 3: Diseño del Plan de Mantenimiento Preventivo ...	89

7.3.1. Filosofía y Enfoque del Mantenimiento	90
7.3.2. Rutinas de Mantenimiento por Frecuencia.....	91
7.3.3. Cronograma Anual de Mantenimiento.....	94
7.3.4. Inventario Mínimo de Repuestos Críticos.....	96
7.3.5. Sistema de Registro y Documentación	97
7.4. Resultados de la Fase 4: Estructuración de Guías de Prácticas de Laboratorio	98
7.4.1. Metodología de Diseño de las Guías	99
7.4.2. Inventario de Guías de Prácticas Desarrolladas	100
7.4.3. Estructura Estándar de las Guías Desarrolladas.....	102
7.4.4. Ejemplo: Contenido de GL-C1 (Cilindro de doble efecto con válvula 4/3)	103
7.4.5. Innovaciones Pedagógicas Implementadas	105
7.4.6. Catálogo completo de guías formalizadas y entregables del banco...	106
8. ANÁLISIS DE RESULTADOS	108
8.1. Análisis de la caracterización técnica (Fase 1)	108
8.2. Análisis de los procedimientos operativos estandarizados (Fase 2).....	108
8.3. Análisis del plan de mantenimiento preventivo (Fase 3).....	109
8.4. Análisis de las guías de laboratorio (Fase 4)	109
8.5. Síntesis del análisis	109
9. CONCLUSIONES.....	110
10. RECOMENDACIONES	111
11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	112
ANEXOS	116

ANEXO A. MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL BANCO OLEOHIDRÁULICO	116
A.1. Seguridad general y matriz de riesgos.....	116
A.2. Interfaces de mando	117
A.3. Procedimientos Operativos Estandarizados (SOP)	118
A.4. Plan de mantenimiento preventivo.....	122
A.5. Formatos de registro (bitácoras)	124
A.6. Guía rápida de diagnóstico de fallas.....	128
ANEXO B. GUÍAS DE LABORATORIO FORMALIZADAS	129
MÓDULO A — CARACTERIZACIÓN DE CURVAS CARACTERÍSTICAS ..	129
MÓDULO B — MANDO ELÉCTRICO.....	138
MÓDULO C — CONTROL DE VELOCIDAD DE ACTUADORES (ELECTROHIDRÁULICA)	147
MÓDULO D — CIRCUITOS DE APLICACIÓN (ELECTROHIDRÁULICA) ..	160
MÓDULO E — HIDRÁULICA PROPORCIONAL (PLC + HMI)	170
MÓDULO F — PROPIEDADES DEL FLUIDO	178
ANEXO C. RÓTULOS DE IDENTIFICACIÓN DEL FABRICANTE	181
ANEXO D. EVIDENCIAS DE LA VALIDACIÓN DE LOS SOPs.....	183
D.1. Matriz de validación de los SOPs	183
D.2. Registro de validación	184
D.3. Registro fotográfico de los puntos de control verificados.....	184
ANEXO E. ESTADO DEL BANCO OLEOHIDRÁULICO ANTES Y DESPUÉS DEL PROYECTO.....	187
E.1. Estado del banco antes del proyecto	187
E.2. Estado del banco después del proyecto	188

ANEXO F. REGISTRO AUDIOVISUAL DE LA REALIZACIÓN Y VALIDACIÓN DE LAS PRÁCTICAS.....	191
---	-----

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Variables fundamentales en oleohidráulica	34
Tabla 2. Instrumentación y accesorios utilizados en bancos de entrenamiento oleohidráulicos	39
Tabla 3. Especificaciones de la Unidad de Potencia Hidráulica	58
Tabla 4. Inventario de Válvulas Direccionales	61
Tabla 5. Especificaciones de Actuadores Hidráulicos	66
Tabla 6. Instrumentación y Equipos de Medición	69
Tabla 7. Componentes del Sistema de Control	73
Tabla 8. Inventario Técnico Completo – Banco Oleohidráulico USTA.....	77
Tabla 9. Incidencias de puesta en marcha y acciones correctivas.....	81
Tabla 10. SOPs Desarrollados para el Banco Oleohidráulico	83
Tabla 11. Problemas Comunes y Acciones Correctivas.....	88
Tabla 12. Rutina de Mantenimiento Diario (Antes y Después de Cada Uso)	91
Tabla 13. Rutina de Mantenimiento Mensual (Cada 30 días o 20 horas de operación)	92
Tabla 14. Rutina de Mantenimiento Anual (Cada 12 meses o 200 horas de operación)	93
Tabla 15. Cronograma Anual de Mantenimiento Preventivo - Año 2026.....	94
Tabla 16. Inventario Mínimo de Repuestos y Consumibles.....	96
Tabla 17. Guías de Prácticas de Laboratorio Desarrolladas	100
Tabla 18. Estructura Estándar de las Guías de Laboratorio.....	102
Tabla 19. Catálogo de guías de laboratorio formalizadas	106

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Principio de Pascal aplicado a un sistema de dos pistones...	33
Figura 2. Arquitectura funcional de un banco de entrenamiento oleohidráulico. ...	36
Figura 3. Componentes principales de una unidad de potencia hidráulica.	37
Figura 4. Circuito hidráulico básico con control de presión y dirección.	38
Figura 5. Esquema general de la metodología: etapas, actividades y entregables.....	46
Figura 6. Vista general del banco oleohidráulico Ingenium	57
Figura 7. Unidad de potencia: depósito, bomba y motor SIEMENS.	59
Figura 8. Placa del motor eléctrico SIEMENS 1LE0141-0EB06-4AA4-Z: frame 90S, 1.5 HP (≈ 1.1 kW), 60 Hz, 220/380/440 V, IP55, Aisl. F, S1, SF 1.15, IE2.	59
Figura 9. Unidad de potencia: bloque de la válvula limitadora (REXPOWER) con manómetro, electroválvula y acoples T/P, junto al motor Siemens.	60
Figura 10. Tapa del depósito: respiradero/desaireador (izquierda) y filtro de llenado con malla (derecha).....	60
Figura 11. Electroválvula direccional YUKEN DSG-01 (4/3, solenoide 24 V DC)..	62
Figura 12. Válvula limitadora de presión modular REXPOWER MRV-02-P-2 (limita la presión máxima del sistema).	62
Figura 13. Electroválvula direccional YUKEN DSG-01-2B2-D24-N1-50 (4/2, mono-solenoide 24 V DC).	63
Figura 14. Electroválvula direccional REXPOWER ND-02G-2B60B-D24D-3 (24 V DC; presión máx. 315 kgf/cm ²).	63
Figura 15. Válvula moduladora de caudal con antirretorno REXPOWER MTC-02-W-0 (regulación meter-in/meter-out).	64
Figura 16. Válvula de control de caudal / estrangulamiento KOMPASS BHT-04B.	64
Figura 17. Válvula de control de caudal con antirretorno KOMPASS TVC-03-NPT (flecha de flujo libre).	65

Figura 18. Válvula antirretorno (cheque) en línea tipo VU 3/8", fabricación italiana.....	65
Figura 19. Válvula cheque pilotada KOMPASS CPDT-03-A2.	66
Figura 20. Cilindros de doble efecto (D.S.N) y manifold de distribución P/A/B.....	68
Figura 21. Motor hidráulico (marca EQUUS) con eje de salida y dos puertos, para demostración de actuadores rotativos.....	68
Figura 22. Final de carrera con palanca de rodillo instalado junto a los vástagos de los cilindros (detección de fin de carrera).	69
Figura 23. Rotámetro de medición de caudal (RITHERM, 1–11 L/min).....	70
Figura 24. Manómetro del banco (escala 0–100 bar / 0–1500 psi, glicerina).	71
Figura 25. Medidor volumétrico Ingenium, escala 100–2500 ml (MAX a 2500 ml), para medir caudal por método volumétrico.	71
Figura 26. Transductor de presión, rango 0–70 bar (manométrica), 9–30 V DC, montado en te con acoples rápidos.....	72
Figura 27. Sensor de temperatura (PT100) con cable apantallado y conectores tipo banana, en te NPT.	72
Figura 28. Tablero PLC + HMI (Unitronics V350) del módulo proporcional.	74
Figura 29. Válvula direccional proporcional ATOS DHZO-AEB-NP-051-L14/I 10 (Made in Italy), sobre subplaca con puertos P/T/A/B.	74
Figura 30. Electrónica integrada ATOS E-RI-AEB-NP-01H y válvula proporcional ATOS DHZO-AEB-NP-051-L14/I 10 (conexión USB; pinout del conector).....	75
Figura 31. Señalización de riesgo eléctrico en la unidad de potencia.	76
Figura 32. Conjunto de acoples rápidos DN-06 (macho–hembra) en línea.....	77
Figura A.1 — Tablero de encendido del banco	117
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).....	118
Figura C.1 — Rótulo del fabricante (grupo 1): PT100, válvula proporcional direccional, desaireador, cheque pilotado, válvula direccional 4/2 y manómetro.	181

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.....	181
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.....	182

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Manual de operación y mantenimiento del banco oleohidráulico.....	116
Anexo B. Guías de laboratorio formalizadas	129
Anexo C. Rótulos de identificación del fabricante	181
Anexo D. Evidencias de la validación de los SOPs	183
Anexo E. Estado del banco oleohidráulico antes y después del proyecto.....	187
Anexo F. Registro audiovisual de la realización y validación de las prácticas.....	191

GLOSARIO

“Actuador hidráulico”. Elemento que convierte la energía del fluido a presión en trabajo mecánico, lineal (cilindro) o rotativo (motor hidráulico).

“Banco oleohidráulico”. Equipo didáctico que integra los componentes de un sistema de potencia fluida para el montaje y estudio de circuitos hidráulicos y electrohidráulicos.

“Bleed-off” (regulación por sangría). Método de control de velocidad en el que una parte del caudal se deriva al tanque en paralelo, regulando el flujo que llega al actuador.

“Caudal”. Volumen de fluido que atraviesa una sección por unidad de tiempo; determina la velocidad del actuador.

“Cheque” (válvula antirretorno). Válvula que permite el paso del fluido en un solo sentido y lo bloquea en el contrario.

“Cilindro de doble efecto”. Actuador lineal en el que el fluido actúa sobre ambas caras del émbolo, permitiendo avance y retroceso con fuerza.

“Circuito regenerativo”. Configuración en la que el caudal de retorno del cilindro se reconduce hacia la cámara de avance para aumentar la velocidad de salida del vástago, aprovechando el área diferencial del émbolo.

“Consigna”. Valor de referencia (setpoint) fijado por el operario en el PLC/HMI para que el control proporcional regule la presión, el caudal o la posición hasta alcanzarlo.

“Desaireador”. Dispositivo que favorece la separación y evacuación del aire disuelto o atrapado en el fluido hidráulico, evitando cavitación y una respuesta esponjosa del sistema.

“Electroválvula direccional”. Válvula que dirige el flujo entre los puertos del circuito mediante accionamiento eléctrico (solenoides).

“HMI” (interfaz hombre-máquina). Dispositivo que permite al operario visualizar variables y enviar órdenes al sistema de control.

“ISO 1219”. Norma internacional que define la simbología gráfica para representar componentes y circuitos de potencia fluida.

“Lazo cerrado” (control en lazo cerrado). Estrategia de control en la que un sensor realimenta el valor real de una variable (presión, caudal o temperatura) y el controlador ajusta la consigna de la válvula para reducir el error respecto al valor deseado.

“Manifold”. Bloque distribuidor con múltiples puertos que centraliza y reparte las líneas de presión y de tanque.

“Manómetro”. Instrumento que mide la presión del fluido en un punto del circuito.

“Mantenimiento preventivo”. Conjunto de actividades planificadas y periódicas (inspección, lubricación, limpieza y sustitución de elementos) realizadas antes de que ocurra la falla, con el fin de conservar la función del equipo y prolongar su vida útil; se diferencia del mantenimiento correctivo, que actúa una vez producida la avería.

“Meter-in”. Técnica de control de velocidad que regula el caudal a la entrada del actuador.

“Meter-out”. Técnica de control de velocidad que regula el caudal a la salida del actuador.

“Oleohidráulica” (potencia fluida). Rama de la ingeniería que emplea líquidos a presión (aceite) para transmitir y controlar energía.

“PLC” (controlador lógico programable). Dispositivo electrónico programable que gobierna la lógica de control del sistema.

“Procedimiento Operativo Estandarizado” (SOP). Documento que describe, paso a paso, la forma correcta y segura de ejecutar una operación.

“PT100”. Sensor de temperatura tipo termorresistencia (RTD) cuya resistencia eléctrica varía con la temperatura ($100\ \Omega$ a $0\ ^\circ\text{C}$); en el banco se emplea para monitorear la temperatura del fluido hidráulico.

“Transductor de presión”. Sensor que convierte la presión del fluido en una señal eléctrica proporcional.

“Unidad de Potencia Hidráulica” (UPH). Conjunto de depósito, bomba y motor que genera y acondiciona el caudal a presión del sistema.

“Válvula limitadora de presión” (de alivio). Válvula que protege el sistema limitando la presión máxima y derivando el exceso de caudal al tanque.

“Válvula proporcional”. Válvula cuyo grado de apertura varía de forma continua en función de una señal eléctrica de mando.

“Válvula reguladora de caudal”. Válvula que ajusta el caudal de una línea para controlar la velocidad del actuador.

“Viscosidad”. Propiedad del fluido que cuantifica su resistencia a fluir; influye en las pérdidas de carga y en el desempeño del sistema.

RESUMEN

El presente trabajo se enfoca en la generación de guías de laboratorio para la enseñanza de los sistemas oleohidráulicos en la formación de ingenieros mecánicos, particularmente en el área de los sistemas de potencia fluida, donde el banco oleohidráulico de la División de Ingenierías de la Universidad Santo Tomás (Sede Principal) se empleaba sin documentación técnica ni protocolos normalizados. El objetivo general fue elaborar guías de laboratorio que estandaricen la operación, el mantenimiento preventivo y la ejecución de prácticas experimentales del banco, alineadas con las competencias técnicas requeridas en la industria.

La metodología se estructuró en cuatro fases, precedidas por una revisión sistemática de la literatura y del estado del arte: (1) la caracterización técnica del equipo mediante un inventario detallado de sus componentes, funciones y especificaciones; (2) el desarrollo de procedimientos operativos estandarizados (SOP) para la instalación, puesta en marcha, calibración, medición de variables, operación segura y apagado; (3) el diseño de un plan de mantenimiento preventivo con rutinas de frecuencia diaria, mensual y anual; y (4) la estructuración de prácticas de laboratorio fundamentadas en la simbología ISO 1219. Como resultado se obtuvo la caracterización completa del banco —unidad de potencia, válvulas, actuadores, instrumentación y sistema de control PLC + HMI—, ocho SOP, un plan de mantenimiento preventivo y veintidós guías de laboratorio (hidráulicas, eléctricas, electro-oleohidráulicas y proporcionales).

Como producto del trabajo teórico-práctico se obtiene un material de apoyo —una cartilla de laboratorio que integra el manual de operación y mantenimiento del banco con el catálogo de guías de prácticas—, el cual favorece un aprendizaje estandarizado, optimiza el uso del recurso institucional y prolonga la vida útil del equipo.

Palabras clave: banco oleohidráulico; guías de laboratorio; potencia fluida; simbología ISO 1219; mantenimiento preventivo; procedimientos operativos estandarizados (SOP).

ABSTRACT

This work focuses on the development of laboratory guides for teaching fluid power (oleohydraulic) systems in the training of mechanical engineers, particularly in the field of fluid power systems, where the hydraulic test bench of the School of Engineering at Universidad Santo Tomás (Main Campus) was being used without technical documentation or standardized protocols. The general objective was to develop laboratory guides to standardize the operation, preventive maintenance, and execution of experimental practices of the bench, aligned with the technical competencies required by industry.

The methodology was organized into four phases, preceded by a systematic review of the literature and the state of the art: (1) technical characterization of the equipment through a detailed inventory of its components, functions, and specifications; (2) development of standard operating procedures (SOPs) for installation, start-up, calibration, variable measurement, safe operation, and shutdown; (3) design of a preventive maintenance plan with daily, monthly, and annual routines; and (4) structuring of laboratory practices based on ISO 1219 symbology. The results include the complete characterization of the bench —power unit, valves, actuators, instrumentation, and PLC + HMI control system—, eight SOPs, a preventive maintenance plan, and twenty-two laboratory guides (hydraulic, electrical, electro-hydraulic, and proportional).

As a product of this theoretical and practical work, a support material is obtained —a laboratory handbook that integrates the operation and maintenance manual of the bench with the catalogue of practice guides—, which fosters consistent learning, optimizes the use of the institutional resource, and extends the equipment's service life.

Keywords: hydraulic test bench; laboratory guides; fluid power; ISO 1219 symbology; preventive maintenance; standard operating procedures (SOP).

INTRODUCCIÓN

La formación integral de los ingenieros mecánicos exige una articulación efectiva entre los contenidos teóricos y la destreza práctica, especialmente en el campo de los sistemas de potencia fluida, donde resulta indispensable validar experimentalmente los conceptos físicos abordados en el aula [1]. La División de Ingenierías de la Universidad Santo Tomás cuenta con un moderno banco de entrenamiento oleohidráulico, cuyo valor de reposición se estima en el orden de 110 millones de pesos colombianos, de acuerdo con las referencias comerciales internacionales de bancos didácticos de hidráulica y electrohidráulica con componentes de grado industrial [2], [3]; no obstante, su potencial didáctico se encuentra limitado por la ausencia de documentación técnica vigente y de guías de laboratorio formalmente validadas.

Esta situación genera una variabilidad no controlada en el proceso de enseñanza-aprendizaje que afecta aproximadamente a 60 estudiantes por semestre de las asignaturas de Transporte de Fluidos, Transformación de Energía y Diseño de Máquinas, quienes no cuentan con la posibilidad de desarrollar prácticas sistematizadas en este equipo.

La brecha entre la teoría y la práctica en los laboratorios de ingeniería ha sido documentada por otros autores en contextos similares: para Acuña Poveda [4], la falta de protocolos estandarizados en los laboratorios de la Universidad Santo Tomás incide en los procesos de aseguramiento de la calidad formativa, mientras que Colmenares y Mancera [5] señalan que una intervención basada únicamente en la transmisión oral explica la variabilidad de las experiencias formativas entre cohortes. En el ámbito internacional, la enseñanza de los sistemas oleohidráulicos ha evolucionado hacia el empleo de equipos modulares con componentes industriales reales, enfoque desarrollado por Festo Didactic [6] y por Parker Hannifin [7] para construir circuitos completos bajo estándares de seguridad controlados. Sin embargo, la eficacia de estos sistemas depende en gran medida de las guías que permiten avanzar progresivamente desde un circuito básico hasta aplicaciones

complejas. La elaboración de las guías de laboratorio que aquí se presentan tiene como propósito unificar la operación del banco oleohidráulico, establecer protocolos de seguridad y de mantenimiento preventivo y estructurar las prácticas experimentales conforme a la norma ISO 1219 sobre simbología de circuitos hidráulicos.

La generación de documentación técnica normalizada, junto con la formulación de procedimientos operativos estandarizados, incrementa el aprovechamiento del banco oleohidráulico, permite aprendizajes equiparables entre estudiantes y prolonga el ciclo de vida del equipo gracias a las rutinas de mantenimiento preventivo. El objeto de estudio de este trabajo es el proceso de enseñanza-aprendizaje de los sistemas de potencia fluida mediante el banco oleohidráulico y, de manera más precisa, los factores metodológicos que determinan la adquisición de competencias prácticas a partir del diseño, la operación y el diagnóstico de circuitos hidráulicos.

El proyecto se apoya en tres fundamentos teóricos: (a) los principios físicos de la oleohidráulica, en particular la Ley de Pascal, que explica la transmisión de la presión en los líquidos confinados en una cavidad cerrada y permite la multiplicación de fuerza característica de estos sistemas [8]; (b) la norma técnica internacional ISO 1219, que regula la simbología para la representación gráfica de componentes y circuitos hidráulicos y constituye un lenguaje técnico de uso universal en la industria [9]; y (c) los modelos pedagógicos de la educación basada en competencias, que privilegian la formación de habilidades prácticas mediante la resolución de problemas en situaciones análogas a las del ejercicio profesional.

El desarrollo metodológico comprende una etapa previa de revisión sistemática de la literatura y cuatro fases sucesivas: la caracterización técnica del banco mediante un inventario minucioso de sus componentes; el desarrollo de procedimientos operativos estandarizados para una operación segura; el diseño de un plan de mantenimiento preventivo; y la elaboración y validación de guías de prácticas experimentales. Los resultados esperados son la profesionalización del trabajo de

laboratorio, la optimización en el uso de los recursos institucionales y la generación de un modelo replicable en los demás equipos especializados de la División de Ingenierías.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del Problema

La enseñanza en el ámbito de la ingeniería mecánica requiere que, para que se lleguen a adquirir las competencias necesarias sobre sistemas de potencia fluida, tenga que existir una interacción directa con elementos industriales que permitan la validación experimental de la Ley de Pascal sobre sistemas de diseño industrial en condiciones de control [1]. La División de Ingenierías de la Universidad Santo Tomás cuenta un equipamiento ideal: un moderno banco de entrenamiento oleohidráulico, conformado por elementos de grado industrial montados sobre bastidores modulares con acoples rápidos que permiten realizar una construcción y reconfiguración de circuitos completos a través de los elementos de los bastidores modulares. Sin embargo, a pesar de la disponibilidad de un equipamiento de características profesionales, hemos querido desde la observación intentar evidenciar que existe una barrera técnico-pedagógica que nos impide su integración óptima en la forma de desarrollo en el modelo de currículo formativo: la falta de documentación técnica estandarizada, así como la falta de guías de prácticas de laboratorio formalmente validadas.

En la actualidad, la instrucción práctica en oleohidráulica se sustenta por una transmisión oral del conocimiento por parte del docente y su criterio particular sobre los circuitos a montar y analizar. Tal metodología llega a generar variabilidad no controlada asociada a procesos de enseñanza-aprendizaje, teniendo como resultado experiencias formativas heterogéneas entre grupos de estudiantes que dificultan el aseguramiento de la calidad docente. Tal escasez de estandarización de las prácticas de laboratorio también ha sido evidenciada en el marco de otras

asignaturas a nivel institucional [4], configurando una necesidad institucional que se extiende a otras carreras.

El banco oleohidráulico constituye un activo didáctico de valor significativo. Al no disponerse de la factura de adquisición, su valor se estimó a partir de referencias de mercado de equipos equivalentes: los bancos didácticos de hidráulica y electrohidráulica con componentes de grado industrial se cotizan entre USD 15.000, para configuraciones básicas, y más de USD 50.000, para estaciones avanzadas con módulo proporcional y control programable [2], mientras que los módulos didácticos individuales de hidráulica industrial superan por sí solos los USD 6.000 [3]. Dado que el banco de la División incorpora unidad de potencia, dos actuadores lineales, un actuador rotativo, módulo de hidráulica proporcional, instrumentación y control PLC + HMI, su configuración corresponde al segmento avanzado, con un valor de referencia promedio cercano a USD 35.000, equivalentes a unos 110 millones de pesos colombianos según la TRM vigente en julio de 2026 [10]. Se trata, por tanto, de uno de los activos de laboratorio de mayor valor de la División de Ingenierías; sin embargo, su tasa de utilización actual resulta muy inferior a la capacidad instalada. Se estima que, en el marco de las asignaturas de Transporte de Fluidos, Transformación de Energía y Diseño de Máquinas, apenas 60 estudiantes acceden de manera sistemática a prácticas estructuradas con este equipo. La baja utilización representa, por tanto, una pérdida de oportunidad técnica y financiera para la institución.

Desde el punto de vista técnico, la escasa utilización expone al equipo al riesgo de obsolescencia y dificulta la creación de rutinas de mantenimiento preventivo del equipo. Los componentes oleohidráulicos especiales, como bombas de engranajes, válvulas direccionales proporcionales o cilindros de precisión, exigen operación periódica o mantenimiento programado para asegurar su durabilidad y fiabilidad [11]. La falta de un protocolo de mantenimiento preventivo impide realizar tareas fundamentales como el control de contaminación del fluido hidráulico, un punto crítico para el óptimo funcionamiento del sistema.

1.2. Riesgos Operacionales y de Seguridad

Los sistemas oleohidráulicos normalmente funcionan en rangos de presión que oscilan entre 60 y 100 bar (aproximadamente 870-1450 psi) [12], [8], [13]. Estas magnitudes de presión, si bien son típicas en aplicaciones industriales, traen consigo riesgos que han de ser atendidos mediante estrictos protocolos operativos. La ausencia de Procedimientos Operativos Estandarizados (SOPs, en sus siglas en inglés) para las fases de arranque, de operación normal y de parada de emergencia del banco supone un riesgo latente tanto para los usuarios como para los componentes del sistema.

Los elementos constitutivos del banco son válvulas de dirección con diferentes configuraciones de centrado (tándem, cerrado, abierto), cilindros hidráulicos de doble efecto y actuadores rotativos [14].

La manipulación incorrecta de estos elementos puede dar lugar a situaciones peligrosas como fugas de fluido a alta presión, fenómenos de cavitación en la bomba, sobrepresiones en el circuito debido al bloqueo de líneas por error [8]

1.3. Impacto en la Formación por Competencias

El peligro más relevante que requiere atención especial es el de inyección de fluido hidráulico a través de la piel, herida que se produce cuando chorros de aceite a alta presión penetran en los tejidos blandos. La falta de documentos que especifiquen los límites del equipamiento y las conexiones correctas según la norma ISO 1219 [9] incrementa notablemente la posibilidad de errores de montaje, ya que unas conexiones equivocadas pueden llevar a una inversión no casual del sentido en que tienen que moverse los actuadores, así como a la aparición de contrapresiones en las líneas de retorno que superen los límites o al acoplamiento en situaciones de sobrepresión de la válvula limitadora de presión, de forma que el banco es considerado obsoleto sin que exista ningún rastro de ello.

El centro del problema que se ha detectado no radica en la parte física del banco, la cual es correcta y actual, sino que es la falta de herramientas metodológicas

(manuales de laboratorio, guías de funcionamiento, protocolos estandarizados), como las que permiten mediar y adecuar la relación entre estudiantes y las máquinas. Dicha ausencia provoca que la conexión existente entre el contenido teórico impartido en un aula y las capacidades prácticas que proclama la industria a los profesionales en el ámbito de la ingeniería mecánica no se concrete.

La formación por competencias que imparte la materia sistemas de potencia fluida debe tener por lo menos un mínimo dominio de los aspectos que aborda la física, esto es, la ecuación de continuidad, la ecuación de Bernoulli, la Ley de Pascal pero también debe contemplar las especificaciones explícitas en cuanto al diagnóstico sistemático de fallos en circuitos hidráulicos; la redacción del diseño de solución técnica a un problema operativo, sin dejar de lado la interpretación y la redacción de esquemas conforme a la normativa internacional. Sin la existencia de guías que orienten la secuenciación pedagógica desde la utilización de circuitos básicos hasta la aplicación de circuitos complejos, resulta complicado asegurar que todos los estudiantes efectúen dicha progresión de forma similar.

La variabilidad en la calidad de la experiencia formativa también genera desequilibrios de carácter educativo cuando se nota que los alumnos de las diferentes cohortes o bien grupos de taller tienen experiencias de aprendizaje de calidad notablemente diferentes entre sí dependiendo del criterio muy particular del docente responsable de dicha docencia en su conjunto, lo que no se sostiene ni en la estandarización ni incluso en la calidad que promulga el acreditador de programas académicos de ingeniería. Esto también imposibilita la continuidad del proceso de mejora a partir de la evidencia ya que la ausencia de protocolos hace difícil la detección de las debilidades sistemáticas en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

1.4. Pregunta Investigativa

A partir de la problemática descrita —la ausencia de documentación técnica normalizada, de protocolos operativos y de guías de práctica validadas para el banco oleohidráulico—, el presente trabajo se orienta por la siguiente pregunta investigativa:

¿Cómo estandarizar la operación del banco oleohidráulico y sistematizar las prácticas experimentales, de modo que permitan desarrollar competencias técnicas equiparables en toda la población académica de la División de Ingenierías?

1.5. Hipótesis

Frente a la pregunta planteada, el presente trabajo parte de la siguiente hipótesis:

Si el banco oleohidráulico dispone de documentación técnica normalizada — caracterización verificada de sus componentes, procedimientos operativos estandarizados, plan de mantenimiento preventivo y guías de práctica fundamentadas en la norma ISO 1219—, entonces su operación deja de depender del criterio individual del docente y resulta posible ofrecer experiencias de laboratorio seguras, repetibles y equiparables entre grupos y semestres.

La hipótesis desplaza el foco del problema desde el equipamiento hacia la documentación: sostiene que la limitación del banco no es de naturaleza tecnológica —el equipo cuenta con componentes de grado industrial equivalentes a los de las plataformas didácticas comerciales de referencia [6], [7]—, sino documental. En consecuencia, su contrastación no exige modificar el hardware del equipo, sino producir, aplicar y verificar el cuerpo documental del que este carece.

Para su valoración se definen tres criterios de contrastación, que orientan el diseño de las cuatro fases metodológicas descritas en el Capítulo 5:

- Reducción de la variabilidad operativa: usuarios distintos que aplican los mismos procedimientos alcanzan condiciones de operación equivalentes sobre el equipo.
- Trazabilidad documental: toda intervención de operación o de mantenimiento sobre el banco queda registrada y resulta verificable con posterioridad.
- Comparabilidad experimental: una misma práctica, ejecutada por grupos diferentes, produce resultados contrastables entre sí y frente a las predicciones teóricas.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

Elaborar guías de laboratorio para el banco oleohidráulico de la División de Ingenierías de la Universidad Santo Tomás que estandaricen su operación, su mantenimiento preventivo y la ejecución de prácticas experimentales, alineadas con las competencias técnicas requeridas en la industria.

2.2. Objetivos Específicos

- **Objetivo Específico 1:** Caracterizar técnicamente el banco oleohidráulico y sus accesorios, realizando un inventario detallado de componentes, funciones y especificaciones técnicas para establecer una base de conocimiento unificada del equipo.
- **Objetivo Específico 2:** Desarrollar y documentar protocolos operativos estandarizados (SOPs) que cubran de manera secuencial y clara los procedimientos de instalación, puesta en marcha, calibración, medición de variables, operación segura y apagado del equipo.
- **Objetivo Específico 3:** Diseñar un plan de mantenimiento preventivo basado en recomendaciones de fabricantes y mejores prácticas de la industria oleohidráulica, detallando rutinas de inspección con frecuencias diarias, mensuales y anuales para asegurar la fiabilidad y longevidad del equipo.
- **Objetivo Específico 4:** Estructurar, elaborar y consolidar prácticas de laboratorio como apoyo en la enseñanza de los mandos de circuitos oleohidráulicos, enfocadas en la identificación de componentes, la aplicación de la simbología ISO 1219 y el análisis funcional dentro de los sistemas de potencia fluida.

3. JUSTIFICACIÓN

3.1. Pertinencia Académica y Formativa

El desarrollo de este trabajo final de grado surge a partir de una necesidad muy concreta que se ha puesto de manifiesto en el ámbito de termofluidos de la Facultad de Ingeniería Mecánica y que se relaciona con la evolución que debe llevar a cabo un estudiante a partir del conocimiento teórico para adquirir habilidades prácticas precisas y necesarias para un egresado competente. El sentido básico del trabajo radica en que, de esta forma, esté alineado con las orientaciones formativas actuales por competencias en ingeniería, configurándose, por lo tanto, como un instrumento metodológico que permite al estudiante descender desde la asimilación conceptual de los principios físicos, la ley de Pascal, la ecuación de Bernoulli, la mecánica de fluidos incompresibles, hasta las correspondientes prácticas ingenieriles aplicadas.

La formalización de las guías de laboratorios elimina la dependencia de unos métodos de enseñanza puramente orales e informales, asegurando que cada uno de los estudiantes, independientemente del grupo de laboratorio al que pertenezca o del docente que esté dando forma a la misma a través de su experiencia, disponga de experiencias de aprendizaje equiparables y de calidad contrastada. Dicha estandarización es consistente con las exigencias impuestas por los organismos acreditadores de programas de ingeniería, en el sentido de tener que mostrar cómo se evidencian resultados de aprendizaje (outcomes) de forma congruente con la orientación respecto a resultados de aprendizaje (outcomes) a partir de métodos documentados y replicables [5].

3.2. Incorporación de Estándares Internacionales

Un importante valor añadido de este trabajo consistió en la incorporación de estándares técnicos internacionales, específicamente la norma ISO 1219 de simbología de esquemas hidráulicos y neumáticos (ISO 1219-1:2012 [9]; ISO 1219-2:2012 [15]), en los protocolos de aprendizaje, dado que la formación convencional

de componentes oleohidráulicos es válida y necesaria, sin embargo la inclusión de normativa estandarizada supone para los estudiantes su primer contacto sistemático con un idioma técnico de carácter universal empleado en todo el mundo en la industria. El dominio de la simbología ISO 1219 va más allá de la facultad de "accionar una palanca" o "mover un cilindro". Se trata de desarrollar la capacidad de interpretar diagramas técnicos complejos, elegir componentes en función de criterios de ingeniería documentados y realizar montajes de circuitos de forma segura y precisa. Esta competencia es básica en la empleabilidad de los graduados ya que la documentación técnica en plantas industriales, en manuales de equipos especializados y en proyectos de automatización utiliza universalmente este sistema de representación gráfica [16].

La profesionalización del conocimiento adquirido en prácticas de laboratorio permite que el perfil del graduado se aproxime sobremanera a las exigencias reales del sector productivo. Un ingeniero mecánico debe ser capaz de no solamente comprender el funcionamiento de sistemas oleohidráulicos sino de diseñar soluciones técnicas, especificar componentes adecuados, diagnosticar fallos sistemáticamente y comunicar sus propuestas mediante documentación técnica normalizada. Las guías que se han elaborado en este proyecto estructuran de modo intencionado el desarrollo progresivo de esta competencia.

3.3. Optimización de Recursos Institucionales

La propuesta de los protocolos de mantenimiento preventivo es la que se basa en las mejores prácticas a partir de la normativa de la industria oleohidráulica, y de las recomendaciones de los fabricantes de componentes. Los protocolos incluyen rutinas: de verificación diaria, que implica realizar inspección visual, chequeo de niveles del fluido, detección temprana de fugas; mantenimiento mensual, que consiste en análisis de contaminación del aceite, verificación de los niveles de presión en operación, limpieza de los filtros; mantenimiento anual, que comprende cambio de fluido hidráulico, calibración de instrumentos, verificación de sellos [11].

La estrategia de mantenimiento propuesta da preferencia a la práctica de la prevención operativa y las buenas prácticas, por sobre la detección y corrección de fallos complejos. Esta estrategia de mantenimiento propuesto es la adecuada, considerando que se trata de un equipo didáctico en el que debemos poder garantizar que su operación sea predecible y segura. El hecho de llevar a cabo acciones a través de un riesgo que esté controlado, evitando situaciones que puedan llevar al riesgo de llevar a cabo correcciones de lo no planeado, da como resultado alargar la vida útil del banco y evitar los costos del mantenimiento correctivo, que suelen superar con creces a los costos del mantenimiento preventivo planificado (UNE-EN 13306:2018; ISO 17359:2018).

3.4. Escalabilidad y Transferibilidad del Modelo

Este proyecto, además de dar respuesta a la necesidad concreta que surgiría del banco oleohidráulico, genera un modelo metodológico que puede replicarse para la producción de documentación técnica y las guías de los laboratorios de otros equipos especializados con los que cuenta la División de Ingenierías. La estructura que se genera (caracterización técnica, SOPs, plan de mantenimiento, guías de prácticas experimentales) puede usarse para bancos de neumática, equipos de termo fluidos, máquinas herramienta CNC, o bien cualquier activo didáctico complejo que deba estandarizar el uso del mismo.

A su vez, este modelo contribuye a un esfuerzo institucional más amplio de mejora continua en la formación práctica, generando capacidades internas de generación de documentación técnica de procesos y normalización de las experiencias de los aprendizajes en los laboratorios. La transferibilidad de este modelo de documentación técnica puede eventualmente proporcionar una cartera completa de guías de uso normalizadas para todos los laboratorios de la facultad, reforzando la acreditación del programa académico y asegurando la calidad del mismo.

4. MARCO REFERENCIAL

4.1. Marco Conceptual

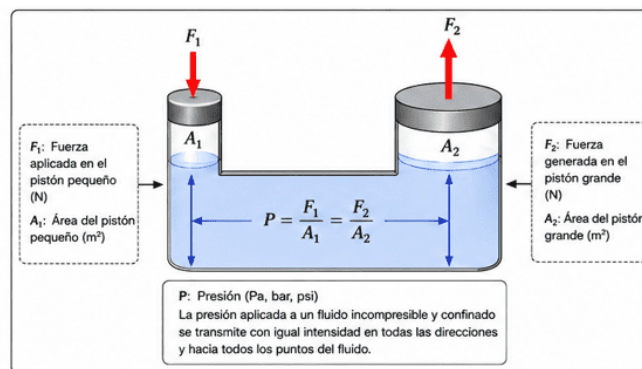
4.1.1. Principios Físicos Fundamentales y Delimitación del Campo de Estudio

La oleohidráulica constituye una rama especializada de la ingeniería de fluidos que se enfoca en la transmisión de fuerza y el control de movimiento mediante el empleo de fluidos confinados, típicamente aceites minerales de viscosidad controlada. A diferencia de la hidráulica general, que estudia el comportamiento de fluidos en diversas condiciones, la oleohidráulica se centra específicamente en tecnologías de transmisión de potencia para aplicaciones industriales y móviles [1], [13], [17].

El principio rector que gobierna los sistemas oleohidráulicos es la Ley de Pascal, enunciada por Blaise Pascal en el siglo XVII. Esta ley establece que la presión aplicada a un fluido incompresible y confinado en un recipiente cerrado se transmite con igual intensidad en todas las direcciones y hacia todos los puntos del fluido. Matemáticamente, para un sistema hidráulico simple con dos pistones de áreas diferentes (A_1 y A_2), si se aplica una fuerza F_1 sobre el pistón pequeño, la presión generada es $P = F_1/A_1$. Esta misma presión se transmite al pistón grande, generando una fuerza $F_2 = P \times A_2$. Si $A_2 > A_1$, entonces $F_2 > F_1$, lográndose multiplicación de fuerza [8].

Figura 1

Principio de Pascal aplicado a un sistema de dos pistones.



Nota: Elaboración propia.

Para el análisis riguroso de sistemas oleohidráulicos como los implementados en bancos de entrenamiento, resulta imperativo definir con precisión los conceptos fundamentales:

Tabla 1

Variables fundamentales en oleohidráulica.

Variable	Símbolo	Definición	Ecuación fundamental	Unidad típica	Influencia en el sistema
Presión	P	Fuerza ejercida por unidad de área.	$P = F/A$	Pa, bar, psi	Determina la fuerza que puede ejercer el sistema.
Caudal	Q	Volumen de fluido que atraviesa una sección por unidad de tiempo.	$Q = V/t$	L/min, GPM, m ³ /s	Determina la velocidad de desplazamiento de los actuadores.
Potencia hidráulica	P _h	Tasa a la cual se transfiere energía hidráulica en el sistema.	$P_h = P \cdot Q$	W, kW	Representa la capacidad del sistema para realizar trabajo mecánico.

Nota: Elaboración propia.

Presión (P): Es la fuerza normal (F) ejercida por unidad de área (A), expresada típicamente en bar, psi o Pascal (Pa). En el contexto oleohidráulico, un concepto fundamental es que la presión no es generada directamente por la bomba hidráulica, sino que surge como reacción a la resistencia que se opone al flujo del fluido. Esta resistencia puede originarse en la carga mecánica de un actuador, en restricciones geométricas del circuito, o en válvulas de control. La bomba genera caudal; el circuito genera presión [8], [18].

Caudal (Q): Representa el volumen de fluido que atraviesa una sección transversal del circuito por unidad de tiempo, expresado comúnmente en litros por minuto (L/min) o galones por minuto (GPM). El caudal determina directamente la velocidad de desplazamiento de los actuadores del sistema. Para un cilindro hidráulico, la

velocidad del vástago es proporcional al caudal e inversamente proporcional al área efectiva del pistón [1].

Potencia Hidráulica (P_h): Es la tasa a la cual se transfiere energía en el sistema, calculada como el producto de la presión y el caudal: $P_h = P \times Q$. En unidades del Sistema Internacional, si la presión se expresa en Pascales y el caudal en metros cúbicos por segundo, la potencia resulta en Watts. Esta relación fundamental encapsula la capacidad de un sistema hidráulico de ejercer una fuerza considerable (alta presión) a una velocidad determinada (caudal específico) [19].

Ecuación de continuidad: para un fluido incompresible en régimen permanente que circula por un conducto de sección variable, el caudal se conserva, de manera que $A_1v_1 = A_2v_2$. Esta relación explica por qué la reducción del área de paso —en una válvula reguladora de caudal, en un acople rápido o en un estrangulamiento— incrementa la velocidad del fluido y, con ella, las pérdidas por fricción [20].

Principio de Bernoulli: en un fluido ideal que circula por un conducto cerrado, la energía total —suma de las energías de presión, cinética y potencial— permanece constante a lo largo de una línea de corriente. Su enunciado permite interpretar el intercambio entre presión y velocidad que se produce en los estrangulamientos del circuito y constituye la base del análisis de los sistemas de potencia fluida, incluidas las aplicaciones de alta presión [21], [20]. En un sistema real, una fracción de esa energía se disipa como calor por efecto de la viscosidad y de la fricción, lo que obliga a incorporar términos de pérdida en el análisis y explica el calentamiento del fluido durante la operación prolongada del banco.

Régimen de flujo y número de Reynolds: el comportamiento del fluido en las líneas del circuito puede ser laminar —movimiento ordenado en capas paralelas— o turbulento —movimiento desordenado con formación de remolinos—, según el valor del número de Reynolds. En los sistemas oleohidráulicos se procura mantener el régimen laminar, especialmente en las líneas de aspiración y de retorno, pues la turbulencia incrementa las pérdidas de carga, favorece la aireación del fluido y eleva su temperatura [20], [21].

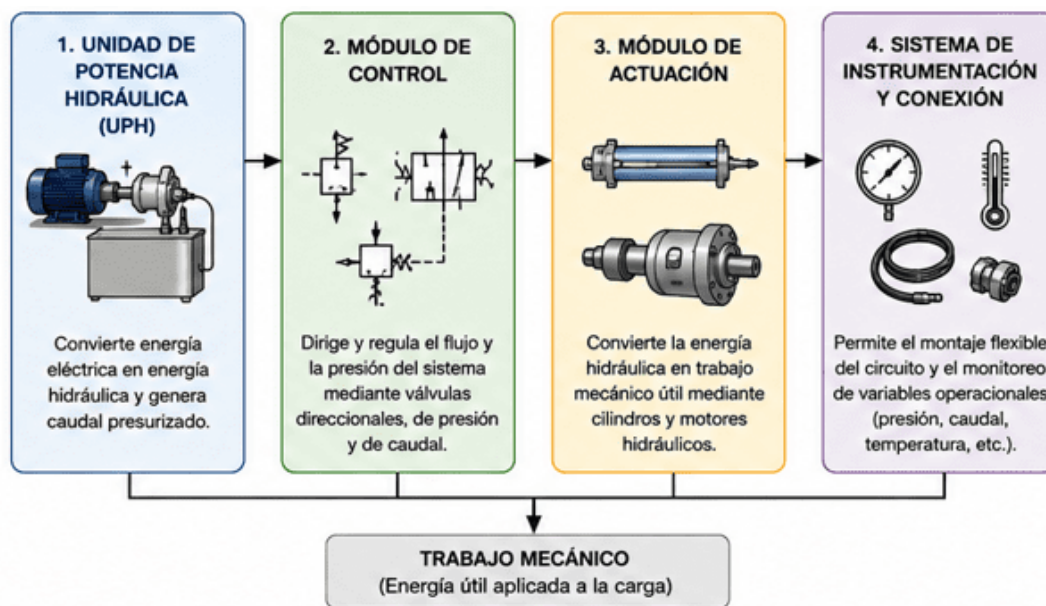
Viscosidad y pérdidas de carga: la viscosidad cuantifica la resistencia del fluido a fluir y depende fuertemente de la temperatura. Una viscosidad excesiva incrementa las pérdidas por fricción y dificulta el arranque de la bomba, mientras que una viscosidad insuficiente favorece las fugas internas y reduce la eficiencia volumétrica. Por ello, el control de la temperatura del fluido —monitoreada en el banco mediante el sensor PT100— y la verificación del grado de viscosidad ISO del aceite constituyen parámetros de operación y de mantenimiento, y no simples datos de catálogo [22], [11].

4.1.2. Arquitectura Funcional de un Banco de Entrenamiento Oleohidráulico

Un banco de entrenamiento oleohidráulico moderno constituye un sistema modular diseñado específicamente para permitir la construcción, operación y análisis de circuitos funcionales en un entorno didáctico seguro. Su arquitectura se descompone conceptualmente en cuatro subsistemas interdependientes, cada uno con funciones específicas:

Figura 2

Arquitectura funcional de un banco de entrenamiento oleohidráulico.

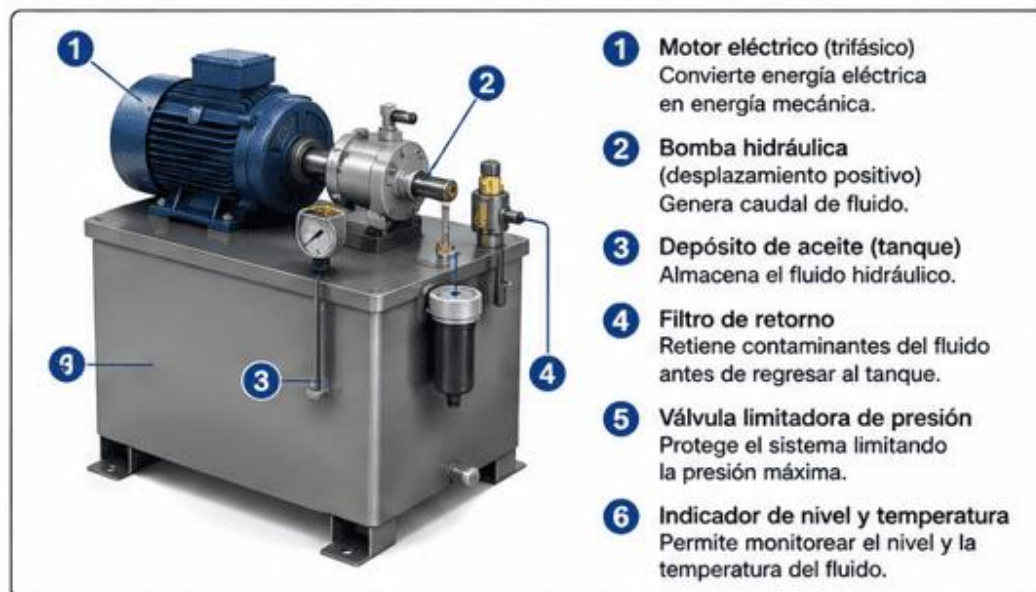


Nota: Elaboración propia.

1. Unidad de Potencia Hidráulica (UPH): Considerada el "corazón" del sistema, esta unidad realiza la conversión primaria de energía eléctrica en energía hidráulica. Está constituida por un motor eléctrico (típicamente trifásico), una bomba hidráulica de desplazamiento positivo, un depósito o tanque para almacenamiento del fluido, elementos de filtración para control de contaminación, y una válvula limitadora de presión que actúa como dispositivo de seguridad. La UPH proporciona el caudal presurizado que alimenta el resto del sistema [11].

Figura 3

Componentes principales de una unidad de potencia hidráulica.

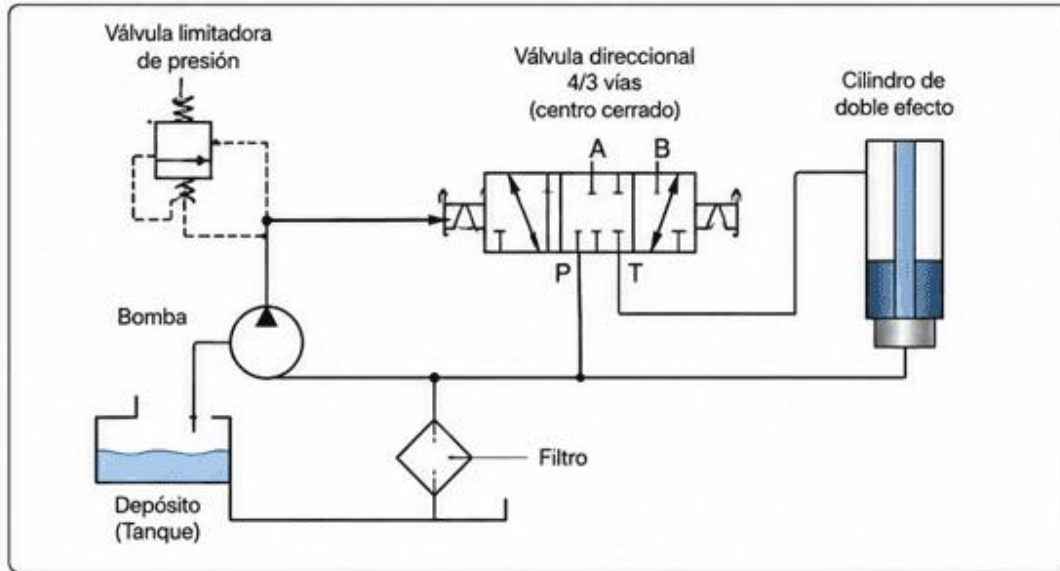


Nota: Elaboración propia.

2. Módulo de Control: Actúa como el "cerebro" del circuito, dirigiendo y regulando la energía hidráulica hacia los actuadores. Está conformado por un conjunto de válvulas modulares que incluyen válvulas de control direccional (que determinan la trayectoria del flujo), válvulas de presión (que limitan o reducen presión en ramales específicos), y válvulas de caudal (que regulan la velocidad de actuadores). La disposición modular permite reconfigurar rápidamente el circuito para diferentes aplicaciones didácticas [11].

Figura 4

Circuito hidráulico básico con control de presión y dirección.



Nota: Elaboración propia.

3. Módulo de Actuación: Representa los "músculos" del sistema, donde la energía hidráulica se reconvierte finalmente en trabajo mecánico útil. Este módulo incluye actuadores lineales (cilindros hidráulicos de simple o doble efecto) y actuadores rotativos (motores hidráulicos). Los cilindros generan movimiento rectilíneo para aplicaciones como prensado, elevación o posicionamiento, mientras que los motores hidráulicos generan movimiento rotativo continuo [11].

4. Sistema de Instrumentación y Conexión: Constituye el "sistema nervioso" que permite tanto el montaje flexible de circuitos como el monitoreo de variables operacionales. Incluye manómetros para medición de presión, caudalímetros, sensores de temperatura, y mangueras flexibles de alta presión equipadas con acoples rápidos que facilitan la reconfiguración segura de circuitos sin necesidad de herramientas especializadas [12], [23].

Tabla 2

Instrumentación y accesorios utilizados en bancos de entrenamiento oleohidráulicos

Elemento	Función principal
Manómetro	Medir la presión en diferentes puntos del circuito hidráulico.
Caudalímetro	Medir el caudal de fluido que circula por el sistema.
Sensor de temperatura	Monitorear la temperatura del fluido hidráulico.
Manguera hidráulica	Conducir el fluido a presión entre los diferentes componentes.
Acople rápido	Permitir la conexión y desconexión de mangueras de manera rápida y segura.

Nota: Elaboración propia.

4.2. Marco Teórico

4.2.1. La Unidad de Potencia Hidráulica: Generación y Acondicionamiento de Energía

La unidad generadora de potencia hidráulica da paso al ciclo de transformación de energía del sistema. Un motor eléctrico provoca la activación mecánica de una bomba hidráulica. Ésta, a su vez, succiona el fluido del depósito (tanque, acumulador, ...) para impulsarlo posteriormente hacia el circuito, a una determinada presión proporcional a la carga [8]. Los bancos de prácticas aplican principalmente las bombas de engranajes externos empíricamente debido a su robustez comercial, la facilidad de la construcción y su reducido coste en relación cómo otras bombas.

El principio de funcionamiento está basado en el desplazamiento positivo: dos engranajes enfrentados se encuentran acoplados y giran en el interior de una caja. Al girar, los dientes de los engranajes forman un vacío parcial dentro del puerto de succión; como resultado, se produce una diferencia entre la presión existente (depósito) y la que persiste en el interior de la carcasa. A medida que se produce esta presión, el fluido es succionado desde el depósito. Una vez que el fluido es transportado en los espacios entre el diente y la caja e intermitentemente lo conduce

hasta la salida por un lado del puerto de descarga, al final del otro ciclo de engranaje, cuando los dientes se reencuentran [18], [24].

Al ser un dispositivo mecánico de desplazamiento positivo, las bombas de engranajes entregan teóricamente un determinado volumen de fluido por cada revolución del eje, independientemente de la presión de salida (siempre que el sistema esté dentro de las condiciones de funcionamiento aceptadas). Esta propiedad implica, sin duda, la instalación de una válvula limitadora de presión o válvula de alivio. Este elemento de seguridad es normalmente cerrado, se calibran para abrirse a una presión de ápice de una cierta proporción (un 10-15% por encima de la máxima presión de trabajo). Cuando la presión del sistema se encuentra en este nivel, la válvula manda para detrás a la bomba de retorno el exceso de caudal (de retención) al depósito, protegiendo el sistema, a su vez, de sobrepresiones que pueden dañar los componentes o causar rupturas catastróficas [25].

4.2.2. Válvulas de Control Direccional: Gobierno del Flujo y Movimiento

Las válvulas de control direccional constituyen elementos fundamentales que gobiernan la trayectoria del flujo hidráulico y, consecuentemente, el movimiento de los actuadores. Entre las configuraciones más versátiles y comunes en entrenamiento se encuentra la válvula 4/3, empleada típicamente para controlar cilindros de doble efecto.

La designación "4/3" indica que la válvula posee cuatro vías (puertos) y tres posiciones de conmutación. Las cuatro vías son: P (Pressure - conexión a la bomba), T (Tank - retorno al depósito), A y B (puertos de trabajo conectados al actuador). Las tres posiciones representan configuraciones distintas de conexión interna que se seleccionan mediante el accionamiento de la válvula, ya sea manual, por solenoide eléctrico, o por pilotaje hidráulico [8].

La configuración de la posición central (posición neutra) resulta crucial para la funcionalidad y eficiencia energética del sistema. Existen múltiples configuraciones estándar:

- **Centro Tándem:** En la posición neutral, esta configuración conecta directamente la vía de presión (P) con la de tanque (T), mientras bloquea completamente las vías de trabajo (A y B). Esto permite que el caudal de la bomba circule libremente hacia el depósito a baja presión cuando el sistema está en reposo, minimizando el consumo de energía y la generación de calor. Los actuadores quedan desconectados, pero no bloqueados hidráulicamente, pudiendo moverse libremente bajo cargas externas [26].
- **Centro Cerrado:** En esta configuración, las cuatro vías (P, T, A y B) quedan completamente bloqueadas en la posición central. Esto detiene y bloquea hidráulicamente el actuador, permitiéndole mantener una posición fija incluso bajo carga externa. Sin embargo, es energéticamente ineficiente, ya que la bomba debe operar continuamente contra la válvula de alivio a máxima presión, generando calor significativo en el fluido [26].

4.2.3. Actuadores Hidráulicos: Conversión Final de Energía

Los actuadores hidráulicos realizan la conversión final de energía hidráulica (presión y caudal) en trabajo mecánico útil. El cilindro de doble efecto constituye el actuador lineal más empleado en aplicaciones industriales y formación técnica, caracterizándose por su capacidad de ejercer fuerza y generar movimiento en ambas direcciones de desplazamiento (avance y retroceso).

Constructivamente, un cilindro de doble efecto consta de: una camisa cilíndrica (tubo), un émbolo o pistón provisto de sellos que se desplaza dentro de la camisa, un vástago rígido unido al pistón que transmite el movimiento al exterior, y dos culatas (tapa delantera y tapa trasera) equipadas con puertos de conexión para admisión y descarga de fluido [14].

El funcionamiento se fundamenta en el concepto de área diferencial:

- **Fuerza de actuación:** Durante el avance (extensión), el fluido a presión actúa sobre el área completa del pistón ($A_{\text{pistón}} = \pi \times D^2/4$, donde D es el diámetro del pistón). Durante el retroceso (retracción), el fluido actúa sobre

el área anular ($A_{\text{anular}} = A_{\text{pistón}} - A_{\text{vástago}}$), que es menor debido a la presencia del vástago. Por tanto, para una misma presión de trabajo, la fuerza de avance es siempre superior a la fuerza de retroceso: $F_{\text{avance}} = P \times A_{\text{pistón}} > F_{\text{retroceso}} = P \times A_{\text{anular}}$ [13].

- **Velocidad de desplazamiento:** Inversamente, para un mismo caudal de alimentación, la velocidad de avance es menor que la velocidad de retroceso, dado que el volumen a llenar en la cámara trasera (lado del pistón) es mayor que el volumen en la cámara delantera (lado del vástago). Esta relación se expresa como: $v_{\text{avance}} = Q/A_{\text{pistón}} < v_{\text{retroceso}} = Q/A_{\text{anular}}$ [14].

4.2.4. Normalización y Simbología Técnica: ISO 1219

Las válvulas de control direccional son elementos importantes que controlan la dirección del líquido hidráulico y, por ende, el movimiento del actuador. La válvula 4/3, normalmente utilizada para controlar cilindros de doble efecto, representa una de las configuraciones más flexibles y frecuentes en entrenamiento.

El nombre "4/3" significa que la válvula tiene cuatro vías (puertos) y tres posiciones de conmutación. Las cuatro vías son: P (Presión - conexión a la bomba), T (Tanque - retorno al depósito), A y B (puertos de trabajo conectados al actuador). Las tres posiciones indican configuraciones internas de la conexión que se eligen por medio del accionamiento de la válvula, ya sea de forma manual, por solenoide eléctrico o por pilotaje hidráulico [8].

La regulación de la posición central (posición neutra) es de vital importancia para el correcto funcionamiento y eficiencia energética del sistema. Existen muchas configuraciones estándares:

Centro Tándem: En la posición de neutro, conecta directamente la vía de presión (P) y la vía de tanque (T), mientras que bloquea las vías de trabajo (A y B). Proporciona el paso libre del caudal de la bomba hacia el tanque a baja presión cuando el sistema reposa y, por lo tanto, minimiza el consumo energético y el calor.

Los actuadores quedan desconectados, pero no bloqueados hidráulicamente, por lo que son libres de moverse bajo la influencia de cargas externas [26].

Centro Cerrado: Todas las vías (P, T, A y B) quedan totalmente bloqueadas en la posición central. Esto significa que detiene y bloquea hidráulicamente el actuador, el cual puede mantenerse en su posición fija aún bajo cargas externas. El sistema, no obstante, no es energéticamente eficiente, ya que la bomba debe funcionar de forma continúa empujando contra la válvula de alivio a max. presión, produciendo en el fluido un calor importante [26].

4.3. Estado del Arte en Pedagogía de Sistemas Oleohidráulicos

La pedagogía para la preparación técnica ha tenido una gran significación en los últimos diez años y ha cambiado del enfoque que se centraba en el estudio de elementos encuadrados hasta el punto de desarrollar metodologías sustentadas en sistemas de formación modular. Este cambio de paradigma ha sido propugnado por empresas especializadas en la producción de medios didácticos como Festo Didactic (Alemania) y Parker Hannifin (Estados Unidos), las cuales desarrollaron sistemas que utilizan elementos de grado industrial sobre bastidores didácticos, con los que se pueden construir y considerar circuitos en condiciones de uso formativas [6], [7] La enseñanza construccional de circuitos es capaz de cerrar la brecha entre la enseñanza formal y la exigibilidad que plantea a la actividad laboral la industria. Las investigaciones en educación en ingeniería han señalado de manera reiterada que la brecha entre el contenido teórico y la ejecución de prácticas experimentales constituye un obstáculo determinante para el desarrollo de competencias profesionales en los egresados [5].

El banco de entrenamiento oleohidráulico de la División de Ingenierías aplica el tipo de enfoque moderno, porque utiliza componentes reales para aplicación industriales a la hora de simular circuitos y conexiones que son representativos de sistemas productivos. La metodología de aprendizaje ofrecida en este tipo de enfoque pedagógico está basada en la resolución de problemas de tipo sistema, donde los ejercicios de laboratorio están estructurados en torno a tareas funcionales que sean

análogas a aplicaciones industriales reales, como "Sistema de tensado de bandas transportadoras", "Control de posicionamiento de puertas automáticas", o "Circuito de prensado con control de presión" [6].

Este enfoque pedagógico exige que los estudiantes diseñen y operen circuitos obedeciendo instrucciones, sino que se conviertan en promotores de competencias de orden superior: mediciones precisas de variables (presión en diferentes puntos, caudales, tiempos de ciclo), cálculos de parámetros de rendimiento (fuerzas teóricas vs. reales, velocidades, eficiencia volumétrica y global), comparaciones sistemáticas de resultados empíricos respecto a predicciones teóricas, así como diagnóstico de discrepancias a través del razonamiento ingenieril fundamentado, un proceso que valida profundamente la comprensión de los principios físicos que existían tras, al mismo tiempo que permite la adquisición de pensamiento crítico aplicado.

Un procedimiento habitual para valorar estas plataformas es el estudio comparativo o benchmarking técnico, mediante el cual se contrastan las alternativas disponibles frente a un conjunto común de criterios ponderados antes de adoptar una solución [21]. Aplicado al ámbito didáctico, dicho contraste permite situar el banco de la División de Ingenierías respecto de las plataformas comerciales de referencia: mientras Festo Didactic y Parker Hannifin ofrecen equipos modulares acompañados de manuales, guías graduadas y material de evaluación, el banco con el que cuenta la Universidad dispone de un hardware equivalente en componentes de grado industrial, pero carecía del componente documental que hace posible su explotación didáctica sistemática. La comparación confirma que la brecha no es de equipamiento, sino de documentación, y delimita con precisión el alcance del presente trabajo.

5. METODOLOGÍA

5.1. Enfoque Metodológico General

El desarrollo de este proyecto de grado se estructura mediante un enfoque metodológico secuencial y sistemático, organizado en cuatro fases principales. Cada fase corresponde directamente a la consecución de uno de los objetivos específicos planteados, generando productos entregables concretos y verificables que se integran para conformar el conjunto de guías de laboratorio del banco.

La metodología adoptada combina elementos de investigación aplicada, ingeniería de procesos y diseño instruccional. El enfoque es fundamentalmente práctico y orientado a la generación de documentación técnica de utilidad directa e inmediata para la comunidad académica. No obstante, se sustenta rigurosamente en principios teóricos de la oleohidráulica, normativa técnica internacional (ISO 1219), y mejores prácticas documentadas de la industria en operación y mantenimiento de sistemas hidráulicos.

5.1.1. Revisión Sistemática de la Literatura y Análisis del Estado del Arte

El punto de partida metodológico consistió en una revisión sistemática de la literatura orientada a contextualizar el problema, identificar soluciones ya documentadas y establecer los fundamentos teóricos y normativos del trabajo. La búsqueda se realizó en bases de datos y repositorios especializados —Google Académico, Springer, ResearchGate y los repositorios institucionales de la Universidad Santo Tomás y de otras universidades—, así como en catálogos y manuales técnicos de fabricantes (Festo Didactic, Parker Hannifin, Bosch Rexroth, Ingenium Ltda.) y en la normativa aplicable: simbología de circuitos ISO 1219 [9], [15], requisitos generales de seguridad ISO 4413 [27], monitoreo de condición ISO 17359 [28] y terminología de mantenimiento UNE-EN 13306 [29].

Las fuentes recuperadas se sometieron a una verificación crítica mediante criterios de relevancia, actualidad, aplicabilidad al contexto del banco y calidad metodológica, procedimiento análogo al empleado en trabajos de diseño mecánico

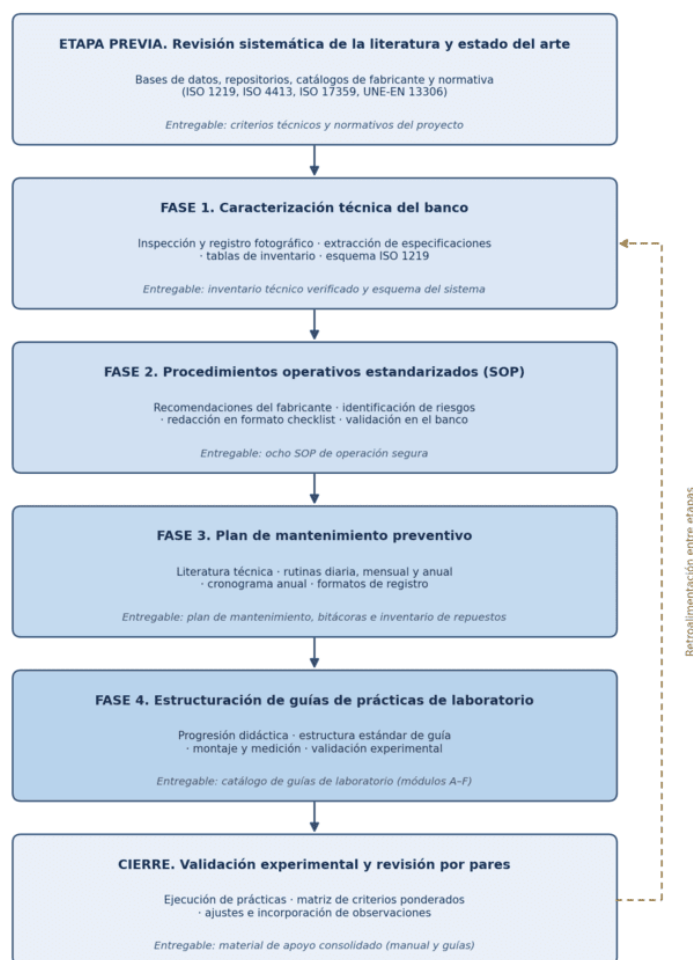
desarrollados en la misma línea de investigación [21]. El resultado de esta etapa permitió delimitar el alcance del proyecto, sustentar la estructura de las cuatro fases y definir los criterios técnicos que se aplicaron en la caracterización, en los procedimientos operativos, en el plan de mantenimiento y en las guías de práctica.

5.1.2. Esquema General de la Metodología

La Figura 1 sintetiza el desarrollo del trabajo y hace explícita la conexión entre etapas, las actividades generales de cada una y el entregable con el que concluye.

Figura 5

Esquema general de la metodología: etapas, actividades y entregables.



Nota: Elaboración propia.

La secuencia no es una simple sucesión de tareas: cada etapa aporta el insumo que hace posible la siguiente. La revisión sistemática proporciona los criterios técnicos y normativos que orientan la caracterización del banco (Fase 1); el inventario verificado y el esquema en simbología ISO 1219 resultantes constituyen el insumo indispensable para redactar los procedimientos operativos estandarizados (Fase 2), pues no es posible normalizar la operación de componentes que no han sido identificados ni verificados; los SOP, a su vez, delimitan las condiciones de uso y los puntos de inspección sobre los cuales se estructura el plan de mantenimiento preventivo (Fase 3); finalmente, la caracterización, los procedimientos y el plan de mantenimiento se integran en las guías de prácticas de laboratorio (Fase 4), que incorporan los circuitos, las advertencias de seguridad y los formatos de registro definidos en las etapas previas. El proceso se cierra con la validación experimental y la revisión por pares, cuyas observaciones retroalimentan las fases anteriores antes de consolidar los entregables definitivos.

5.2. Fase 1: Caracterización Técnica del Banco Oleohidráulico

5.2.1. Objetivo de la Fase

Realizar un inventario técnico exhaustivo y sistemático de todos los componentes del banco oleohidráulico, documentando sus especificaciones técnicas, funciones dentro del sistema, y estado operacional actual. El producto de esta fase es un documento de caracterización técnica que servirá como base de conocimiento unificada del equipo.

5.2.2. Actividades Específicas

- a) Inspección Visual y Registro Fotográfico:** Inspección pormenorizada de cada uno de los distintos componentes del banco (unidad de potencia hidráulica, válvulas direccionales, válvulas de presión y caudal, actuadores lineales y rotativos, instrumentación y mangueras de conexión), realizando tomas fotográficas de cada uno de los elementos con alta resolución y

diferentes perspectivas, incluida la comprobación de las placas de identificación del fabricante.

- b) Extracción de especificaciones técnicas:** identificación de códigos de modelo y números de serie de cada componente, consulta de las correspondientes especificaciones técnicas en catálogo del fabricante (por lo general en formato PDF disponible en línea) entre las cuales se incluyen rangos de presión y caudal, dimensiones, materiales constructivos, tipo de accionamiento, características de montaje, etc.
- c) Tablas de inventario:** a partir de la información extraída se elaborarán unas tablas estructuradas con la información recabada incluyendo: un código de identificación interno que se irá asignando a cada componente, la denominación técnica según fabricante, la función correspondiente dentro del banco de ensayos, las especificaciones técnicas que se consideren pertinentes y observaciones sobre el estado físico actual.
- d) Elaboración de Esquema General del Sistema:** Desarrollo de un diagrama técnico del banco completo empleando simbología normalizada ISO 1219. Este esquema identifica cada componente, muestra las interconexiones entre subsistemas, y sirve como referencia visual para comprender la arquitectura global del equipo.

5.3. Fase 2: Desarrollo de Protocolos Operativos Estandarizados (SOPs)

5.3.1. Objetivo de la Fase

Elaborar procedimientos operativos estandarizados que documenten de manera secuencial, clara y precisa todos los pasos necesarios para: verificación pre-operacional del equipo, puesta en marcha segura, calibración de instrumentos, medición de variables hidráulicas, operación normal, y procedimientos de parada (normal y de emergencia).

5.3.2. Actividades Específicas

- a) **Análisis de Recomendaciones de Fabricantes:** Análisis de las Recomendaciones de Fabricantes: Revisión pormenorizada de los manuales técnicos de los componentes íntimos (bomba hidráulica, motor eléctrico y válvulas) con el objetivo de identificar requerimientos de operación, advertencias de seguridad y procedimientos que recomiendan los fabricantes.
- b) **Identificación de los Riesgos de Operación:** Análisis exhaustivo de los riesgos de operación de los sistemas hidráulicos a alta presión: fugas de fluido, inyección de aceite –subcutáneo–, sobrepresiones de bloqueo de líneas, cavitación en bomba por el nivel insuficiente de fluido y riesgos eléctricos del motor. Para cada riesgo identificado se definirá medidas preventivas y procedimientos de mitigación.
- c) **Redacción de SOPs Paso a Paso:** Elaboración de procedimientos escritos en formato de lista de verificación (checklist), donde cada paso se describe de manera inequívoca, indicando qué acción realizar, en qué componente, y qué resultado observable debe obtenerse. Se incluyen advertencias de seguridad en puntos críticos.
- d) **Validación Experimental de SOPs:** Ejecución práctica de los procedimientos redactados, verificando su claridad, completitud y factibilidad. Se realizan ajustes iterativos basados en observaciones durante la ejecución. Se registra el tiempo aproximado requerido para cada procedimiento.

5.4. Fase 3: Diseño del Plan de Mantenimiento Preventivo

5.4.1. Objetivo de la Fase

Estructurar un plan de mantenimiento preventivo completo que especifique rutinas de inspección y mantenimiento con frecuencias definidas (diaria, mensual, anual), basado en recomendaciones de fabricantes y mejores prácticas de la industria oleohidráulica.

5.4.2. Actividades Específicas

- a) **Consulta de Literatura Técnica Especializada:** Revisión de manuales de mantenimiento de fabricantes de componentes oleohidráulicos, guías de mejores prácticas de asociaciones industriales, y normativa técnica aplicable (por ejemplo, normas sobre análisis de contaminación de fluidos hidráulicos).
- b) **Definición de Rutinas de Mantenimiento:** Especificación de tareas de mantenimiento preventivo organizadas por frecuencia temporal. Mantenimiento diario incluye: inspección visual de fugas, verificación de nivel de aceite en depósito, chequeo de temperatura del fluido. Mantenimiento mensual incluye: limpieza de filtros, verificación de ajustes de presión en válvula limitadora, inspección de acoples y mangueras. Mantenimiento anual incluye: reemplazo total del fluido hidráulico, calibración de instrumentos, inspección detallada de sellos en cilindros.
- c) **Elaboración de Formatos de Registro:** Diseño de hojas de registro (bitácoras) donde se documenten las actividades de mantenimiento realizadas, incluyendo fecha, responsable, observaciones encontradas, y acciones correctivas tomadas. Estos registros permiten trazabilidad y análisis de tendencias en el comportamiento del equipo.

5.5. Fase 4: Estructuración de Guías de Prácticas de Laboratorio

5.5.1. Objetivo de la Fase

Diseñar, elaborar y validar experimentalmente un conjunto de guías de laboratorio que estructuren el aprendizaje progresivo de sistemas oleohidráulicos, desde circuitos básicos hasta aplicaciones integradas, incorporando objetivos de aprendizaje claros, procedimientos experimentales detallados, y actividades de análisis que promuevan pensamiento crítico.

5.5.2. Actividades Específicas

- a) **Definición de Progresión Didáctica:** Progresión didáctica para establecer una secuencia lógica de prácticas comenzando desde circuitos básicos

(control manual de un cilindro de doble efecto) y progresando, por circuitos más complejos (circuitos con control de velocidad, circuitos con válvulas de secuencia, circuitos aplicados simulados). Cada práctica se deriva de los conocimientos adquiridos en prácticas anteriores hay que tener en cuenta la progresión del aprendizaje al seguir los circuitos que dependeremos de los conocimientos adquiridos de prácticas anteriores.

- b) Estructuración de cada Guía de Laboratorio:** título descriptivo de la práctica, objetivos de aprendizaje específicos dentro del tema de la práctica, fundamentación teórica (en pocas líneas), lista de componentes a emplear, esquema del circuito con simbología ISO 1219, procedimiento experimental que incluye los pasos a realizar, tablas para el registro de mediciones, cálculos a hacer, preguntas de análisis para el seguimiento de las prácticas y espacio reservado para la conclusión del estudiante.
- c) Validación Experimental de las Guías:** cada guía elaborada se sometió a ejecución práctica en el banco: se realizó el montaje del circuito propuesto, se tomaron las mediciones y se efectuaron los cálculos indicados, contrastando los valores experimentales con las predicciones teóricas. Durante la validación se registraron el tiempo de ejecución y las dificultades observadas, insumos con los cuales se ajustaron la redacción, la secuencia de pasos y el nivel de exigencia de cada práctica.
- d) Revisión por Pares Académicos:** las guías se sometieron a revisión por parte de docentes de la División de Ingenierías, quienes las evaluaron mediante una matriz de criterios ponderados —claridad de la redacción, pertinencia pedagógica, alineación con los objetivos de aprendizaje, adecuación del nivel de dificultad y suficiencia de las medidas de seguridad—, procedimiento de valoración análogo al empleado en trabajos de diseño mecánico de la misma línea de investigación [21]. Las observaciones recibidas se incorporaron en la versión final de cada guía.

6. IMPACTO Y RESULTADOS ESPERADOS

El impacto del trabajo de grado no debe confundirse con su justificación: mientras esta última expone el vacío de conocimiento que el proyecto pretende llenar y forma parte del planteamiento del problema, el impacto se refiere a las conexiones y consecuencias que se derivan de la realización del proyecto. En consecuencia, en este apartado se precisa qué se entrega al finalizar el trabajo, quiénes pueden utilizar esos resultados y de qué manera contribuyen al fortalecimiento de la actividad académica e investigativa de la institución.

6.1. Resultados Entregables

Al término del trabajo se entregan los siguientes productos, verificables y de aplicación inmediata en el laboratorio:

Documento de caracterización técnica: inventario completo de los componentes del banco —unidad de potencia, válvulas direccionales y de control, actuadores, instrumentación y sistema de control PLC + HMI—, con referencias verificadas contra los rótulos del fabricante y esquema del sistema en simbología ISO 1219.

Ocho procedimientos operativos estandarizados (SOP): verificación pre-operacional, montaje del circuito, puesta en marcha, calibración de la válvula de alivio, medición de variables, operación normal, apagado normal y parada de emergencia.

Plan de mantenimiento preventivo: rutinas de frecuencia diaria, mensual y anual, cronograma anual, inventario mínimo de repuestos críticos y formatos de bitácora que permiten el registro y la trazabilidad de las intervenciones.

Veintidós guías de laboratorio formalizadas: organizadas en seis módulos temáticos (curvas características, mando eléctrico, control de velocidad de actuadores, circuitos de aplicación, hidráulica proporcional con PLC + HMI y propiedades del fluido), con objetivos de aprendizaje, esquemas normalizados, procedimiento experimental, tablas de registro y preguntas de análisis.

Material de apoyo consolidado: manual de operación y mantenimiento (Anexo A) y catálogo de guías de laboratorio (Anexo B), reunidos en una cartilla de consulta directa para docentes, monitores y estudiantes.

6.2. Impacto Esperado

Los resultados descritos y su impacto se corresponden con las siguientes categorías:

Generación de conocimiento: se documenta de forma sistemática, por primera vez, la arquitectura funcional y las condiciones de operación del banco oleohidráulico de la División de Ingenierías; el trabajo queda disponible en el repositorio institucional como antecedente para futuros proyectos de grado en el área de potencia fluida.

Nuevos desarrollos tecnológicos: la normalización de la operación habilita el aprovechamiento del módulo de hidráulica proporcional y del control PLC + HMI en prácticas de mayor complejidad, así como la incorporación progresiva de la adquisición automática de datos y de la simulación de circuitos como complemento del trabajo experimental.

Fortalecimiento de la capacidad científica: los estudiantes desarrollan competencias de medición, cálculo, contraste entre resultados experimentales y predicciones teóricas y diagnóstico de discrepancias mediante razonamiento ingenieril, propias de la formación de nuevos investigadores.

Fortalecimiento de la capacidad institucional: se incrementa la tasa de utilización de un activo de laboratorio de alto valor, se reduce el riesgo de daño y de obsolescencia mediante el mantenimiento preventivo y se aporta evidencia documental de resultados de aprendizaje, útil en los procesos de autoevaluación y acreditación del programa.

Apropiación social del conocimiento: la estructura metodológica — caracterización, procedimientos, mantenimiento y guías— es transferible a otros laboratorios de la División de Ingenierías y puede compartirse con instituciones que

cuenten con equipos didácticos similares, ampliando el alcance del aporte más allá de la Universidad.

6.3. Usuarios de los Resultados

Los beneficiarios directos son los cerca de sesenta estudiantes por semestre de las asignaturas de Transporte de Fluidos, Transformación de Energía y Diseño de Máquinas; los docentes responsables de dichas asignaturas, que disponen de material normalizado para planear y evaluar las prácticas; los monitores y auxiliares de laboratorio, que cuentan con procedimientos claros de operación, seguridad y mantenimiento; y quienes desarrollen futuros trabajos de grado sobre el banco. De manera indirecta se benefician los demás programas de la División de Ingenierías, en los que el modelo documental puede replicarse, y los egresados, cuyo perfil se aproxima a las exigencias del sector productivo al haber trabajado con simbología y procedimientos normalizados.

7. RESULTADOS

7.1. Resultados de la Fase 1: Caracterización Técnica del Banco Oleohidráulico

7.1.1. Descripción General del Sistema

- El banco oleohidráulico de la División de Ingenierías se presenta como un sistema didáctico modular de fabricación de Ingenium Ltda. (Colombia) [30], dedicado específicamente a la formación en sistemas de potencia fluida. Instalado en el Laboratorio de Fluidos, el equipo está configurado en forma de panel vertical para un montaje flexible de circuitos oleohidráulicos con conexiones rápidas tipo acople rápido DN-06 (1/4").
- El volumen de operación del sistema es aceite hidráulico ISO VG 46. Está diseñado para la formación con presión nominal de trabajo de 100 bar (1450 psi), caudal nominal de 11.2 L/min y capacidad de 20 litros. La modularidad del banco permite realizar las prácticas desde el arranque con circuitos básicos orientados al control direccional hasta aplicaciones complejas de control proporcional con supervisión para PLC.

7.1.1.1 Inventario de Componentes Principales

El banco oleohidráulico de la División de Ingenierías está constituido por los siguientes subsistemas y componentes principales (el inventario consolidado, con el símbolo ISO 1219 de cada elemento, se presenta en la Tabla 8 de la Sección 7.1.8):

- **Unidad de Potencia Hidráulica (UPH):** La UPH está conformada por un motor eléctrico trifásico de 1.5 HP (≈ 1.1 kW) de potencia nominal (motor SIEMENS, frame 90S), operando a aproximadamente 1400 RPM. El motor acciona una bomba de engranajes externos con desplazamiento volumétrico de 8 cm³/revolución, capaz de generar un caudal nominal de 11.2 L/min a velocidad nominal. El sistema opera a una presión máxima de trabajo de 100

bar, regulada por una válvula limitadora de presión calibrada a 110 bar. El depósito tiene capacidad de 20 litros y está equipado con indicador visual de nivel, filtro de aspiración de malla metálica de 100 micras, y filtro de retorno con elemento filtrante de 25 micras para control de contaminación.

- Módulo de Válvulas de Control:** El banco incluye: electroválvulas direccionales YUKEN DSG-01 accionadas por solenoide de 24 V DC —una 4/3 de doble solenoide con centro tándem (DSG-01-3C60-D24-N1-50) y una 4/2 monosolenoide (DSG-01-2B2-D24-N1-50)—, empleadas para el control y la automatización de los cilindros; una válvula reguladora de caudal unidireccional con rango de ajuste 0-10 L/min, para control de velocidad de actuadores; una válvula de secuencia ajustable en el rango 10-100 bar, empleada en circuitos que requieren secuencia de movimientos. El banco dispone además de válvulas moduladoras de caudal con antirretorno (REXPOWER MTC-02-W-0, KOMPASS TVC-03-NPT y BHT-04B), una válvula limitadora de presión modular (REXPOWER MRV-02-P-2) y una válvula cheque pilotada (KOMPASS CPDT-03-A2).
- Módulo de Actuadores:** Dos cilindros hidráulicos de doble efecto marca D.S.N con las siguientes características: diámetro del pistón 40 mm, diámetro del vástago 20 mm, carrera útil 200 mm. La relación de áreas (área del pistón / área anular) es aproximadamente 1.33, lo que implica que la fuerza de avance es 33% superior a la fuerza de retroceso para una misma presión. Adicionalmente, el banco cuenta con un motor hidráulico de engranajes con desplazamiento de 12 cm³/rev, empleado para demostración de actuadores rotativos.
- Instrumentación:** El sistema cuenta con tres manómetros analógicos de glicerina: uno en la línea de presión principal (rango 0-160 bar), y dos manómetros en los puertos de trabajo de válvulas (rango 0-100 bar). Para la medición de caudal se dispone de un rotámetro de área variable (RITHERM, escala 0.3–3 GPM / 1–11 L/min) y de un medidor volumétrico graduado (0–2500 ml). El módulo proporcional incorpora además un transductor de

presión (rango 0–70 bar, alimentación 9–30 V DC) y un sensor de temperatura PT100. El conexionado y la interpretación de este tipo de sensores en sistemas didácticos siguen las prácticas descritas en la literatura técnica de instrumentación de procesos [31]. Todas las conexiones entre componentes se realizan mediante mangueras flexibles de alta presión (rating 200 bar) equipadas con acoples rápidos de conexión/desconexión sin herramientas.

Figura 6

Vista general del banco oleohidráulico Ingenium.



Nota: Elaboración propia.

7.1.2. Unidad de Potencia Hidráulica (UPH)

La unidad de potencia hidráulica constituye el corazón del sistema y se compone de los siguientes elementos caracterizados:

Tabla 3*Especificaciones de la Unidad de Potencia Hidráulica*

Componente	Especificación	Observaciones
Motor eléctrico	Marca: SIEMENS (1LE0141-0EB06-4AA4-Z, 90S) Potencia: 1.5 HP (≈ 1.1 kW) Voltaje: 220V trifásico Velocidad: 1420 rpm	Placa visible en imagen IMG-WA0027
Bomba hidráulica	Tipo: Engranajes externos Desplazamiento: 8 cm ³ /rev Caudal nominal: 11.2 L/min Presión máxima: 100 bar	Acoplamiento directo al motor
Depósito	Capacidad: 20 litros Indicador de nivel: Visual con visor graduado Material: Acero pintado	Nivel visible entre marcas MIN-MAX
Válvula limitadora de presión	Tipo: Acción directa Rango de ajuste: 0-100 bar Conexión: G1/4"	Montada en unidad de potencia
Filtro de succión	Tipo: Malla metálica Tamaño de poro: 150 mesh	Interno en depósito
Sistema de refrigeración	Tipo: Convección natural Aletas de disipación en depósito	Sin ventilación forzada

Nota: Elaboración propia.

Nota: De acuerdo con la placa de identificación del motor eléctrico Siemens (fotografiada durante la caracterización), el equipo presenta clase de

eficiencia EFF2, factor de potencia 0.84 y temperatura ambiente máxima de operación de 40°C.

Figura 7

Unidad de potencia: depósito, bomba y motor SIEMENS.



Nota: Elaboración propia.

Figura 8

Placa del motor eléctrico SIEMENS 1LE0141-0EB06-4AA4-Z: frame 90S, 1.5 HP (≈1.1 kW), 60 Hz, 220/380/440 V, IP55, Aisl. F, S1, SF 1.15, IE2.



Nota: Elaboración propia.

Figura 9

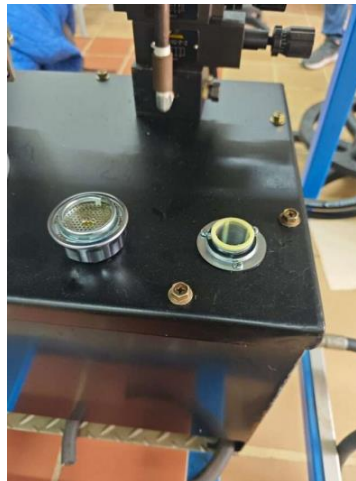
Unidad de potencia: bloque de la válvula limitadora (REXPOWER) con manómetro, electroválvula y acoples T/P, junto al motor Siemens.



Nota: Elaboración propia.

Figura 10

Tapa del depósito: respiradero/desaireador (izquierda) y filtro de llenado con malla (derecha).



Nota: Elaboración propia.

7.1.3. Sistema de Válvulas Direccionales y Control

El banco cuenta con válvulas direccionales de accionamiento eléctrico que permiten el control del flujo hidráulico hacia los actuadores. La caracterización identificó los siguientes componentes:

Tabla 4

Inventario de Válvulas Direccionales

Tipo de Válvula	Fabricante/Modelo	Especificaciones	Cantidad
Válvula direccional 4/3	YUKEN DSG-01-3C60-D24-N1-50 Modelo: visible en IMG-WA0021	Centro tándem Solenoides 24 VDC Caudal nominal: 15 L/min	1
Válvula direccional 4/2	YUKEN Modelo: DSG-01-2B2-D24-N1-50	Solenoides simple 24 VDC Caudal nominal: 10 L/min Conexión: subplate	1
Válvula proporcional direccional	ATOS Conexión USB y Main	Control proporcional 0-10V Interfaz digital USB Respuesta rápida	1
Válvula proporcional de caudal	Marca: No identificada Etiqueta: visible en cajón 3	Control proporcional Rango: 0-10 L/min	1

Nota: Elaboración propia.

Las válvulas ATOS modelo E-RI-AEB-NP-01H presentan conexiones eléctricas claramente identificadas en su placa de conexión, con pinout para Main (alimentación principal), USB (comunicación digital), y conexiones de señal analógica. Esta configuración permite tanto operación manual mediante pulsadores como control automatizado vía PLC.

Figura 11

Electroválvula direccional YUKEN DSG-01 (4/3, solenoide 24 V DC).



Nota: Elaboración propia.

Figura 12

Válvula limitadora de presión modular REXPOWER MRV-02-P-2 (limita la presión máxima del sistema).



Nota: Elaboración propia.

Figura 13

Electroválvula direccional YUKEN DSG-01-2B2-D24-N1-50 (4/2, mono-solenóide 24 V DC).



Nota: Elaboración propia.

Figura 14

Electroválvula direccional REXPOWER ND-02G-2B60B-D24D-3 (24 V DC; presión máx. 315 kgf/cm²).



Nota: Elaboración propia.

Figura 15

Válvula moduladora de caudal con antirretorno REXPOWER MTC-02-W-0 (regulación meter-in/meter-out).



Nota: Elaboración propia.

Figura 16

Válvula de control de caudal / estrangulamiento KOMPASS BHT-04B.



Nota: Elaboración propia.

Figura 17

Válvula de control de caudal con antirretorno KOMPASS TVC-03-NPT (flecha de flujo libre).



Nota: Elaboración propia.

Figura 18

Válvula antirretorno (cheque) en línea tipo VU 3/8", fabricación italiana.



Nota: Elaboración propia.

Figura 19

Válvula cheque pilotada KOMPASS CPDT-03-A2.



Nota: Elaboración propia.

7.1.4. Actuadores Hidráulicos

El sistema dispone de actuadores lineales y rotativos para ejecutar las prácticas de laboratorio:

Tabla 5

Especificaciones de Actuadores Hidráulicos

Tipo de Actuador	Especificaciones Técnicas	Cantidad
Cilindro hidráulico doble efecto	Diámetro del pistón (D): 40 mm Diámetro del vástago (d): 20 mm Carrera útil: 200 mm Presión máxima: 100 bar Montaje: Bridas en ambos extremos	2

Tipo de Actuador	Especificaciones Técnicas	Cantidad
Motor hidráulico	Tipo: Engranajes Desplazamiento: 12 cm ³ /rev Velocidad máxima: 1500 rpm Presión nominal: 80 bar Sentido de giro: Bidireccional	1

Nota: Elaboración propia.

Cálculo de fuerzas teóricas del cilindro de doble efecto:

Área del pistón:

$$A_1 = \pi \times D^2 / 4 = \pi \times (40 \text{ mm})^2 / 4 = 1256.6 \text{ mm}^2 = 12.57 \text{ cm}^2$$

Área del vástago:

$$A_2 = \pi \times d^2 / 4 = \pi \times (20 \text{ mm})^2 / 4 = 314.2 \text{ mm}^2 = 3.14 \text{ cm}^2$$

Área anular (retroceso):

$$A_3 = A_1 - A_2 = 12.57 - 3.14 = 9.43 \text{ cm}^2$$

A presión máxima de trabajo (100 bar):

$$\text{Fuerza de avance: } F_{av} = 100\text{bar} \times 12.57\text{cm}^2 \times 10 = 12,570\text{N} \approx 1,282\text{kgf}$$

$$\text{Fuerza de retroceso: } F_{ret} = 100\text{bar} \times 9.43\text{cm}^2 \times 10 = 9,430\text{N} \approx 962\text{kgf}$$

Relación de fuerzas: $F_{av}/F_{ret} = 1.33$, lo que significa que el cilindro genera 33% más fuerza en avance que en retroceso debido al área diferencial causada por el vástago.

Figura 20

Cilindros de doble efecto (D.S.N) y manifold de distribución P/A/B.



Nota: Elaboración propia.

Figura 21

Motor hidráulico (marca EQUUS) con eje de salida y dos puertos, para demostración de actuadores rotativos.



Nota: Elaboración propia.

Figura 22

Final de carrera con palanca de rodillo instalado junto a los vástagos de los cilindros (detección de fin de carrera).



Nota: Elaboración propia.

7.1.5. Instrumentación y Sistema de Medición

El banco dispone de instrumentación analógica y digital para medición de variables hidráulicas, permitiendo la verificación experimental de los principios teóricos estudiados:

Tabla 6

Instrumentación y Equipos de Medición

Instrumento	Rango de Medición	Precisión/Resolución	Cantidad
Manómetros analógicos	0 - 160 bar 0 - 250 bar (dual scale)	Clase 1.6 Diámetro carátula: 63 mm	4
Caudalímetro visual (rotámetro)	0.3 - 3 GPM 1 - 11 LPM (escala dual)	Lectura directa Tubo transparente graduado Flotador esférico	1

Instrumento	Rango de Medición	Precisión/Resolución	Cantidad
Medidor volumétrico (vaso graduado)	0 - 2500 ml	Graduación cada 100 ml Material: Acrílico transparente	1
Transductor de presión	0 - 70 bar	Salida: 0-10 VDC Conexión: Etiquetada en IMG-WA0025	1
Sensor de temperatura (PT100)	-50 a +200°C	RTD 3 hilos Precisión: Clase B	1

Nota: Elaboración propia.

Observación sobre el medidor volumétrico: El vaso graduado visible en las fotografías del banco presenta marcas de graduación claras entre 100 ml y 2500 ml, con la leyenda "MEDIDOR VOLUMÉTRICO" y logo de Ingenium. Este instrumento es fundamental para la determinación experimental de caudales mediante método volumétrico, utilizado en las prácticas de caracterización de bombas y válvulas.

Figura 23

Rotámetro de medición de caudal (RITHERM, 1–11 L/min).



Nota: Elaboración propia.

Figura 24

Manómetro del banco (escala 0–100 bar / 0–1500 psi, glicerina).



Nota: Elaboración propia.

Figura 25

Medidor volumétrico Ingenium, escala 100–2500 ml (MAX a 2500 ml), para medir caudal por método volumétrico.



Nota: Elaboración propia.

Figura 26

Transductor de presión, rango 0–70 bar (manométrica), 9–30 V DC, montado en te con acoples rápidos.



Nota: Elaboración propia.

Figura 27

Sensor de temperatura (PT100) con cable apantallado y conectores tipo banana, en te NPT.



Nota: Elaboración propia.

7.1.6. Sistema de Control y Supervisión (PLC + HMI)

El banco incorpora un sistema de control programable que permite automatizar secuencias, monitorear variables en tiempo real y realizar prácticas avanzadas de electrohidráulica:

Tabla 7

Componentes del Sistema de Control

Componente	Especificaciones	Funcionalidad
PLC + HMI integrado	Modelo: V350 (Unitronics) Pantalla táctil: 3.5" Entradas digitales: 12 Salidas digitales: 8 Entradas analógicas: 4 (0-10V)	Control de válvulas proporcionales Monitoreo de sensores Interfaz usuario-máquina
Módulo de válvulas proporcionales	Conexiones etiquetadas: - ENTRADAS: 12 terminales - SALIDAS: 12 terminales - VÁLVULAS PROPORCIONALES: sección dedicada	Acondicionamiento de señales Amplificación para solenoides Protección electrónica
Potenciómetro de control	Tipo: Rotativo lineal Rango: 0-10 k Ω Salida: 0-10 VDC	Control manual de válvulas proporcionales Setpoint de presión/caudal
Tablero de conexiones	Configuración: Banana 4mm Código de colores: - Rojo: +24VDC - Azul/Amarillo: 0VDC - Negro: Común	Distribución de señales Conexión de sensores Flexibilidad didáctica

Nota: Elaboración propia.

El sistema PLC+HMI permite implementar prácticas de hidráulica proporcional donde los estudiantes pueden programar lazos de control de presión y caudal, visualizar curvas de respuesta del sistema, y ejecutar secuencias automatizadas de actuadores. La interfaz táctil facilita la selección de válvulas, configuración de parámetros y monitoreo en tiempo real de las variables del proceso [32], [17].

Figura 28

Tablero PLC + HMI (Unitronics V350) del módulo proporcional. (1 PLC+HMI Unitronics V350, 2 potenciómetro, 3 módulo de válvulas proporcionales).



Nota: Elaboración propia.

Figura 29

Válvula direccional proporcional ATOS DHZO-AEB-NP-051-L14/I 10 (Made in Italy), sobre subplaca con puertos P/T/A/B.



Nota: Elaboración propia.

Figura 30

Electrónica integrada ATOS E-RI-AEB-NP-01H y válvula proporcional ATOS DHZO-AEB-NP-051-L14/I 10 (conexión USB; pinout del conector).



Nota: Elaboración propia.

7.1.7. Elementos Auxiliares y Sistema de Seguridad

El banco cuenta con componentes auxiliares que garantizan la operación segura y la flexibilidad del sistema, en línea con los requisitos generales de seguridad aplicables a los sistemas de potencia fluida hidráulica [27]:

- Válvulas de alivio ajustables (2 unidades): Montadas en cajón 2, permiten limitar la presión máxima del sistema en diferentes puntos del circuito. Rango de ajuste: 0-150 bar.
- Válvulas de control de flujo unidireccional (3 unidades): Regulan la velocidad de actuadores mediante estrangulación del flujo. Ajuste mediante tornillo manual.
- Válvulas cheque estándar (2 unidades): Permiten flujo en un solo sentido, utilizadas para protección de circuitos y configuraciones especiales.
- Válvula cheque pilotada (1 unidad): Identificada en el panel, permite bloqueo de carga con pilotaje hidráulico externo. Aplicación típica: retención de cilindros verticales.

- Manifolds de distribución (2 unidades): Línea de presión y línea de tanque, con múltiples puntos de conexión mediante acoples rápidos etiquetados con “P” y “T”.
- Finales de carrera eléctricos (4 unidades): Sensores de posición para detección automática de fin de carrera de cilindros. Montados en el panel vertical.
- Mangueras hidráulicas flexibles: Rating 200 bar, longitud variable (30-80 cm), acoples rápidos DN-06 en ambos extremos. Identificadas con anillos de colores azul y rojo para diferenciación de líneas.

Sistema de Seguridad Eléctrica:

El banco incorpora señalización de seguridad visible en las fotografías (IMG-WA0038), específicamente una calcomanía triangular amarilla con símbolo de rayo y la leyenda “RIESGO ELÉCTRICO – Solo manipule personal adiestrado y con el tablero desenergizado”. Esta advertencia se ubica estratégicamente en el panel de la unidad de potencia, alertando sobre los 220V trifásicos del motor y los 24VDC del sistema de control.

Figura 31

Señalización de riesgo eléctrico en la unidad de potencia.



Nota: Elaboración propia.

Figura 32

Conjunto de acoples rápidos DN-06 (macho–hembra) en línea.



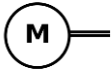
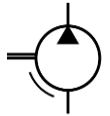
Nota: Elaboración propia.

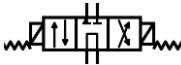
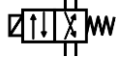
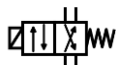
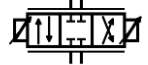
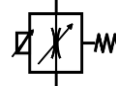
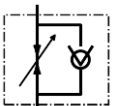
7.1.8. Inventario Técnico Completo del Banco Oleohidráulico

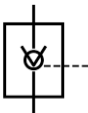
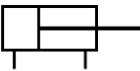
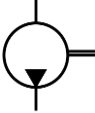
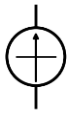
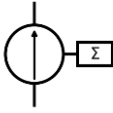
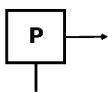
Como resultado final de la Fase 1 de caracterización, se presenta el inventario técnico completo del banco, consolidando todos los componentes identificados, medidos y documentados fotográficamente:

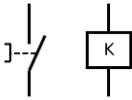
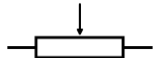
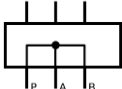
Tabla 8

Inventario Técnico Completo – Banco Oleohidráulico USTA

ID	Componente	Símbolo ISO 1219	Fabricante/Modelo	Especificación verificada	Cantidad
01	Motor eléctrico trifásico		SIEMENS 1LE0141-0EB06-4AA4-Z	1.5 HP (≈ 1.1 kW), 90S, 60 Hz, 220/380/440 V, IP55, IE2	1
02	Bomba de engranajes		Acoplada al motor	8 cm ³ /rev, ≈ 11.2 L/min	1

ID	Componente	Símbolo ISO 1219	Fabricante/Modelo	Especificación verificada	Cantidad
03	Depósito hidráulico		Ingenium	20 litros, con visor de nivel	1
04	Electroválvula direccional 4/3		YUKEN	DSG-01-3C60-D24-N1-50; doble solenoide 24 V DC	1
05	Electroválvula direccional 4/2		YUKEN	DSG-01-2B2-D24-N1-50; mono-solenoide 24 V DC	varias
06	Electroválvula direccional		REXPOWER	ND-02G-2B60B-D24D-3; 24 V DC	1
07	Válvula proporcional direccional		ATOS	DHZO-AEB-NP-051-L14/I; driver E-RI-AEB-NP-01H (USB)	1
08	Válvula proporcional de caudal		Ingenium/ATOS	Control 0–10 V (PLC/HMI)	1
09	Válvula proporcional de presión		Ingenium/ATOS	Control 0–10 V (PLC/HMI)	1
10	Válvula limitadora de presión (alivio)		REXPOWER	MRV-02-P-2 (modular)	2
11	Control de caudal con antirretorno		REXPOWER / KOMPASS	MTC-02-W-0; TVC-03-NPT; BHT-04B	varias

ID	Componente	Símbolo ISO 1219	Fabricante/Modelo	Especificación verificada	Cantidad
12	Válvula cheque pilotada		KOMPASS	CPDT-03-A2	1
13	Válvula cheque en línea		tipo VU	3/8" (italiana)	2
14	Cilindro de doble efecto		D.S.N	Ø40 / Ø20 mm, carrera 200 mm	2
15	Motor hidráulico		EQUUS (engranajes)	12 cm³/rev	1
16	Final de carrera de rodillo	 (IEC 60617)	—	interruptor de posición eléctrico	varios
17	Manómetros		glicerina	0–100 bar / 0–1500 psi	2 +
18	Rotámetro (medición de caudal)		RITHERM	0.3–3 GPM / 1–11 LPM	1
19	Medidor volumétrico		Ingenium	100–2500 ml	1
20	Transductor de presión		electrónico	0–70 bar, 9–30 V DC	1

ID	Componente	Símbolo ISO 1219	Fabricante/Modelo	Especificación verificada	Cantidad
21	Sensor de temperatura		PT100	RTD 3 hilos	1
22	PLC + HMI	 (IEC 60617)	Unitronics	V350	1
23	Tablero de conexiones	 (IEC 60617)	Ingenium	3 pulsadores (S0–S2), 4 relés (K0–K3), 4 pilotos + zumbador	1
24	Potenciómetro	 (IEC 60617)	rotativo	consigna de válvulas proporcionales	1
25	Manifolds		aluminio	distribución con acoples rápidos	2

Nota: Elaboración propia.

Nota: Todos los componentes listados fueron verificados físicamente, fotografiados y documentados durante el periodo diciembre 2025 - enero 2026. Las especificaciones se obtuvieron de placas de identificación, documentación del fabricante (Ingenium Ltda.) y mediciones directas. N/I = No identificado en placa visible.

Nota sobre la simbología: los símbolos de la columna «Símbolo ISO 1219» corresponden a la representación normalizada de cada componente según la norma ISO 1219-1:2012 (símbolos gráficos para sistemas de potencia fluida). Los elementos eléctricos y electrónicos que no tienen equivalente en ISO 1219 (final de carrera, PLC + HMI, tablero de pulsadores y relés, y potenciómetro)

se representan con su símbolo según IEC 60617. Estos mismos símbolos son los empleados en los esquemas de las guías de laboratorio del Anexo B.

7.1.8.1 Esquematización del Sistema

Se ha hecho una representación general del banco oleohidráulico aplicando de manera estricta la simbología estandarizada ISO 1219. Este diagrama técnico se ocupa de identificar cada uno de los componentes gracias a un código alfanumérico exclusivo para cada uno de ellos, p. ej. B1 en el caso de la bomba principal, V1 en la válvula direccional principal, C1 y C2 para los cilindros, etc., para permitir en su caso la trazabilidad en la documentación técnica posterior. El esquema ha sido cotejado y corroborado por parte del director del proyecto. El esquema se incluirá como material de referencia permanente en el laboratorio.

7.1.9. Puesta en funcionamiento y acciones correctivas iniciales

Antes de ejecutar la caracterización, el banco requirió una etapa de puesta a punto en la que se identificaron y corrigieron varias incidencias que impedían su operación normal. Documentarlas resulta relevante por dos razones: constituyen el estado inicial del equipo del que parte la caracterización y, además, alimentan el plan de mantenimiento con casos reales de diagnóstico de fallas.

Tabla 9

Incidencias de puesta en marcha y acciones correctivas

Componente	Hallazgo	Acción correctiva aplicada
Unidad de potencia (motor–bomba)	La bomba no entregaba caudal en el arranque. El motor trifásico estaba mal conectado eléctricamente, con una secuencia de fases incorrecta que invertía su sentido de giro.	Se desmontó por completo el sistema de potencia para el diagnóstico. Se corrigió la conexión eléctrica intercambiando dos de las tres fases de alimentación, invirtiendo así el sentido de giro del motor. Posteriormente se verificó y sincronizó el sentido de giro correcto del conjunto motor–bomba, restableciéndose el caudal.
Electroválvula (solenoides)	Uno de los solenoides de las electroválvulas presentó conmutación anómala.	Se revisó y corrigió el solenoide y su conexión para asegurar la conmutación correcta de la válvula.

Control (PLC + HMI)	Sin novedad.	Verificado en buen estado de funcionamiento; no requirió intervención.
---------------------	--------------	--

Nota: Elaboración propia.

La incidencia principal —el sentido de giro invertido por una secuencia de fases incorrecta— es característica de los equipos accionados por motor trifásico: una bomba de engranajes, al ser de desplazamiento positivo, solo impulsa fluido en su sentido de giro de diseño, de modo que un giro invertido se traduce en ausencia de caudal y de presión. Por ello, la verificación del sentido de giro del motor y de la secuencia de fases se incorporó como paso obligatorio previo a la primera puesta en marcha (véase la guía de diagnóstico de fallas del Anexo A).

⚠ VERIFICACIÓN DEL SENTIDO DE GIRO (SECUENCIA DE FASES)

Antes de la primera puesta en marcha, confirme que el motor gira en el sentido indicado por la flecha del conjunto motor–bomba.

Si la bomba no genera caudal ni presión, lo más probable es un sentido de giro invertido: desenergice e intercambie dos de las tres fases de alimentación, y vuelva a verificar.

7.2. Fase 2: Desarrollo de Protocolos Operativos Estandarizados (SOPs)

La Fase 2 del proyecto tuvo como objetivo establecer procedimientos operativos estandarizados (Standard Operating Procedures - SOPs) que garanticen la operación segura, eficiente y a la vez fiable tanto del banco oleohidráulico. Los SOPs elaborados contemplan todos los distintos aspectos operativos del dispositivo, desde el arranque inicial hasta el apagado de emergencia, pasando por procedimientos de calibración y manejo de situaciones anómalas (ISO 4413:2010).

Durante los meses de enero y febrero del año 2026 se elaboraron y revisaron ocho procedimientos operativos estandarizados, validados experimentalmente en julio y agosto de 2026, que cubren el ciclo completo de operación del banco —desde la verificación previa al encendido hasta la parada de emergencia—. Todos ellos se documentan formalmente en un único documento estructurado, incluido en el Anexo

A, el cual contiene la descripción de: objetivo, alcance, responsables, equipos de protección individual a requerir, procedimiento paso a paso, precauciones de seguridad, y acciones correctivas a seguir ante desviaciones.

La validación experimental de los ocho SOPs consistió en su ejecución en el banco durante las sesiones de prueba y de validación de las guías de laboratorio, verificando para cada uno el cumplimiento de su criterio de aceptación. Las evidencias de esta validación —matriz de criterios verificados, registro de validación y registro fotográfico de los puntos de control— se presentan en el Anexo D.

Tabla 10

SOPs Desarrollados para el Banco Oleohidráulico

Código SOP	Título del procedimiento	Objetivo	Tiempo estimado
SOP-01	Verificación pre-operacional	Confirmar condiciones seguras antes de energizar el banco	5–8 min
SOP-02	Montaje del circuito hidráulico	Conectar los componentes según el esquema ISO 1219, con el banco apagado o en recirculación	Según circuito
SOP-03	Puesta en marcha / encendido	Arrancar el sistema partiendo de recirculación	3–5 min
SOP-04	Calibración de la válvula de alivio	Fijar la presión de trabajo de la práctica	3–5 min
SOP-05	Medición de variables	Registrar presión, caudal y temperatura de forma consistente	Según práctica

Código SOP	Título del procedimiento	Objetivo	Tiempo estimado
SOP-06	Operación normal	Ejecutar la maniobra con seguridad	Según práctica
SOP-07	Apagado normal	Dejar el banco en estado seguro	3–5 min
SOP-08	Parada de emergencia	Detener el sistema de inmediato ante una situación de riesgo	Inmediato

Nota: Elaboración propia.

7.2.1. Ejemplo de SOP desarrollado: SOP-03

A continuación, se presenta el contenido completo del SOP-03 «Puesta en marcha / encendido del banco oleohidráulico», como ejemplo representativo del nivel de detalle y estructura de los documentos desarrollados. Su primer bloque reproduce la verificación pre-operacional del SOP-01, que constituye requisito previo a cualquier arranque:

PROCEDIMIENTO OPERATIVO ESTANDARIZADO

PUESTA EN MARCHA / ENCENDIDO

SOP-03 | Versión 1.0 | Fecha: 15/01/2026

Objetivo:	Establecer el procedimiento seguro y estandarizado para el arranque, verificación y puesta en marcha del banco oleohidráulico, garantizando la integridad del equipo y la seguridad del operador.
Alcance:	Aplica a todo el personal docente y técnico autorizado para operar el banco oleohidráulico de la División de Ingenierías.

Objetivo:	Establecer el procedimiento seguro y estandarizado para el arranque, verificación y puesta en marcha del banco oleohidráulico, garantizando la integridad del equipo y la seguridad del operador.
Responsables:	Docente a cargo de la práctica, Monitor de laboratorio, Estudiantes autorizados (bajo supervisión).
EPP Requerido:	Gafas de seguridad, calzado cerrado antideslizante, ropa ajustada sin elementos colgantes.
Frecuencia:	Cada vez que se requiera operar el banco para prácticas de laboratorio o demostraciones.

PROCEDIMIENTO:

1. VERIFICACIÓN PRE-OPERACIONAL (5 minutos)

- Inspeccionar visualmente el banco en busca de derrames de aceite, mangueras dañadas o conexiones flojas.
- Verificar que el nivel de aceite en el depósito se encuentre entre las marcas MIN y MAX del visor volumétrico.
- Confirmar que todas las válvulas manuales estén en posición neutra (palancas centradas).
- Verificar que el área de trabajo esté despejada de herramientas, objetos u obstáculos.
- Confirmar que todos los operadores tengan puesto el EPP requerido.
- Verificar que el botón de parada de emergencia esté desbloqueado (girado en sentido horario).

2. ENERGIZACIÓN ELÉCTRICA (2 minutos)

- 2.1. Verificar que el interruptor principal del tablero eléctrico esté en posición OFF.
- 2.2. Conectar el cable de alimentación trifásica 220V al tomacorriente industrial.
- 2.3. Girar el interruptor principal (muletilla negra) a posición ON.
- 2.4. Verificar encendido del indicador luminoso verde de "Alimentación Disponible".
- 2.5. Confirmar lectura de 24 VDC en el display del PLC (si está instalado).

3. ARRANQUE DE LA UNIDAD DE POTENCIA (3 minutos)

- 3.1. Girar la muletilla de "Fluido Hidráulico" a la posición de RECIRCULACIÓN (izquierda).
- 3.2. Presionar el pulsador verde de ARRANQUE durante 1-2 segundos.
- 3.3. Verificar que el motor eléctrico arranque suavemente sin ruidos anormales ni vibraciones excesivas.
- 3.4. Observar el manómetro principal: la presión debe estabilizarse entre 5-10 bar (sistema en vacío con recirculación).
- 3.5. Escuchar el funcionamiento de la bomba: debe ser uniforme, sin ruidos metálicos ni cavitación.
- 3.6. Dejar operar el sistema en recirculación durante 30 segundos para permitir la estabilización térmica.

4. VERIFICACIÓN DE PARÁMETROS OPERACIONALES (2 minutos)

- ✓ Presión en vacío: Debe estar entre 5-10 bar. Si supera 15 bar, verificar válvula de alivio.
- ✓ Temperatura del aceite: Debe estar entre 20-30°C al arranque (si hay sensor PT100 instalado).
- ✓ Nivel de ruido: Funcionamiento suave sin golpeteos metálicos.
- ✓ Fugas: Inspección visual de todas las conexiones. No debe haber goteo activo.
- ✓ Vibraciones: El banco debe permanecer estable sin vibraciones excesivas.

5. PUESTA EN PRESIÓN DEL SISTEMA (1 minuto)

- 5.1. Con el sistema operando en recirculación de manera estable, girar lentamente la mulilla de "Fluido Hidráulico" hacia la posición de PRESIÓN (derecha).
- 5.2. Observar el manómetro principal: la presión debe incrementarse gradualmente hasta alcanzar la presión de ajuste de la válvula limitadora (típicamente 60-80 bar).
- 5.3. Si la presión no se estabiliza o supera 100 bar, retornar inmediatamente a RECIRCULACIÓN y verificar.
- 5.4. Una vez estabilizada la presión, el sistema está listo para operar actuadores.

PRECAUCIONES DE SEGURIDAD:

- ⚠ NUNCA intente arrancar el sistema con mangueras desconectadas o válvulas abiertas a presión atmosférica.
- ⚠ NO toque mangueras, válvulas ni actuadores durante la operación del sistema presurizado.
- ⚠ NUNCA intente conectar o desconectar mangueras con el sistema en presión.
- ⚠ Si se observan fugas de aceite, detenga inmediatamente el sistema usando el botón de parada de emergencia.
- ⚠ El aceite hidráulico a presión puede penetrar la piel. Mantenga las manos alejadas de posibles fugas.
- ⚠ Si el motor no arranca después de 3 intentos, NO continúe intentando. Reporte al técnico.
- ⚠ La presión máxima del sistema es 100 bar. NUNCA exceda este valor.

ACCIONES CORRECTIVAS ANTE DESVIACIONES:

Tabla 11

Problemas Comunes y Acciones Correctivas

Problema Detectado	Causa Probable	Acción Correctiva
Motor no arranca	Fusibles quemados Interruptor OFF Falla eléctrica	Verificar fusibles Verificar interruptor principal Llamar electricista
Presión excesiva (>100 bar)	Válvula limitadora mal calibrada	Retornar a RECIRCULACIÓN Recalibrar válvula limitadora
Ruido excesivo o cavitación	Nivel bajo de aceite Aire en el sistema Filtro obstruido	Verificar nivel de aceite Purgar aire del sistema Revisar filtro de succión
Fugas visibles	Conexiones flojas Mangueras dañadas Sellos deteriorados	Detener sistema (parada emergencia) Ajustar conexiones Reemplazar componentes dañados
Temperatura alta (>60°C)	Operación prolongada Válvula en recirculación restrictiva	Permitir enfriamiento Reducir tiempo de operación Verificar válvulas

Nota: Elaboración propia.

REGISTRO DE EJECUCIÓN:

Fecha	Operador	Hora Arranque	Observaciones

Los SOPs desarrollados constituyen una herramienta fundamental para la estandarización de las operaciones del banco oleohidráulico. Su implementación garantiza que todos los usuarios del equipo (docentes, monitores y estudiantes) sigan procedimientos consistentes, reduciendo el riesgo de errores operacionales, accidentes y daños al equipo. Los documentos han sido diseñados con un enfoque didáctico, incluyendo verificaciones tipo checklist que facilitan su uso durante las prácticas de laboratorio.

7.3. Resultados de la Fase 3: Diseño del Plan de Mantenimiento Preventivo

La Fase 3 del trabajo tuvo como objetivo diseñar un plan integral de mantenimiento preventivo para el banco de prueba oleohidráulica, buscando la extensión de la vida útil de equipo, garantizar su confiabilidad operacional y minimizar las paradas no programadas. El plan que se elabora tiene como base las recomendaciones del fabricante (Ingenium Ltda.), las mejores prácticas de la industria hidráulica y su experiencia operacional recogida durante la caracterización técnica.

El plan de mantenimiento está definido en tres tipos de intervención de acuerdo a su frecuencia y complejidad: mantenimiento diario, realizado por el operador; mantenimiento mensual, realizado por monitor de laboratorio; y mantenimiento anual, realizado por el personal técnico especializado. Los resultados de esta fase se presentan seguidamente.

7.3.1. Filosofía y Enfoque del Mantenimiento

El plan de mantenimiento elaborado se caracteriza por la aplicación de una metodología de mantenimiento preventivo basado en el tiempo (Time-Based Maintenance - TBM), pero complementándolo con inspecciones basadas en condición para los componentes críticos, conforme a la terminología normalizada de mantenimiento [29] y a las directrices generales de monitoreo de condición de máquinas [28]. La filosofía de mantenimiento puesta en práctica se apoya en tres bases fundamentales:

- **Prevención:** Ejecutar intervenciones programadas previas a cualquier tipo de fallas siguiendo los intervalos recomendados por el fabricante y el número de horas operativas acumuladas.
- **Inspección:** Monitoreo frecuente del estado del aceite, presiones, temperaturas y ruidos anómalos para detectar desviaciones respecto al estado inicial de funcionamiento a tiempo.
- **Documentación:** Registro sistemático de todas las intervenciones de mantenimiento realizadas, los hallazgos y repuestos utilizados y el tiempo dedicado a realizar todas estas actividades, de tal manera que podamos construir un historial histórico y ser capaz de realizar análisis de tendencias.

Este mantenimiento preventivo nos permite anticipar fallas catastróficas y los correspondientes costes para realizar una reparación y un posterior aseguramiento de la disponibilidad del equipo para realizar las actividades académicas programadas.

7.3.2. Rutinas de Mantenimiento por Frecuencia

Tabla 12

Rutina de Mantenimiento Diario (Antes y Después de Cada Uso)

Item	Actividad	Criterio de Aceptación	Responsable
1	Inspección visual de fugas	Sin goteos activos en conexiones, mangueras o actuadores	Operador
2	Verificación de nivel de aceite	Nivel entre marcas MIN-MAX del visor	Operador
3	Inspección de mangueras	Sin abrasiones, cortes o deformaciones visibles	Operador
4	Verificación de conexiones	Acoples firmemente conectados, sin aflojamiento	Operador
5	Limpieza de superficies externas	Panel y componentes libres de polvo y derrames	Operador
6	Verificación de parada emergencia	Botón funcional, desbloqueo suave	Operador
7	Registro de horas de operación	Horómetro registrado en bitácora	Operador
8	Inspección de ruidos anormales	Operación silenciosa sin golpeteos metálicos	Operador

Nota: Elaboración propia.

Tabla 13*Rutina de Mantenimiento Mensual (Cada 30 días o 20 horas de operación)*

Item	Actividad	Especificación/Criterio	Responsable
1	Inspección y ajuste de conexiones eléctricas	Terminales firmes, sin oxidación. Apretar según torque manual.	Monitor/Técnico
2	Limpieza del filtro de succión	Retirar, limpiar con solvente, soplar con aire comprimido. Reinstalar.	Monitor/Técnico
3	Verificación de temperatura de operación	Temperatura máxima: 60°C después de 15 min operación continua.	Monitor
4	Inspección visual del aceite	Color ámbar claro/dorado. Sin turbidez, agua o partículas en suspensión.	Monitor
5	Lubricación de guías de cilindros	Aplicar grasa multiuso en vástagos cromados. Limpiar excesos.	Monitor
6	Verificación de manómetros	Comparar lecturas con manómetro patrón. Diferencia máxima: $\pm 5\%$.	Monitor
7	Prueba de válvulas de seguridad	Activar válvula limitadora. Verificar apertura a presión ajustada.	Técnico

Nota: Elaboración propia.

Tabla 14

Rutina de Mantenimiento Anual (Cada 12 meses o 200 horas de operación)

Item	Actividad	Especificación/Procedimiento	Responsable
1	Cambio total de aceite hidráulico	Drenar completamente. Llenar con 20L de aceite ISO VG 46. Purgar aire.	Técnico especializado
2	Reemplazo de filtro de succión	Instalar filtro nuevo de 150 mesh. Verificar empaque en buen estado.	Técnico especializado
3	Análisis de aceite en laboratorio	Enviar muestra 100ml para análisis fisicoquímico y conteo de partículas.	Técnico
4	Inspección interna de depósito	Retirar tapa. Limpiar sedimentos. Verificar estado de pintura interior.	Técnico especializado
5	Reemplazo de mangueras flexibles	Cambiar mangueras con más de 5 años. Instalar con acoples nuevos.	Técnico especializado
6	Calibración de válvula limitadora	Ajustar a 80 bar usando manómetro patrón calibrado.	Técnico especializado
7	Inspección de sellos en cilindros	Desmontar cilindros. Verificar sellos pistón y vástago. Reemplazar si hay desgaste.	Técnico especializado
8	Verificación de aislamiento eléctrico motor	Medir resistencia de aislamiento. Mínimo: 10 MΩ a 500 VDC.	Electricista

Item	Actividad	Especificación/Procedimiento	Responsable
9	Prueba de estanqueidad del sistema	Presurizar a 100 bar durante 10 min. Caída máxima permitida: 5 bar.	Técnico especializado
10	Actualización de inventario de repuestos	Verificar stock de filtros, sellos, mangueras. Generar orden de compra.	Monitor/Técnico

Nota: Elaboración propia.

7.3.3. Cronograma Anual de Mantenimiento

Con base de las rutinas definidas, se establece el siguiente cronograma anual de mantenimiento preventivo para el banco oleohidráulico, considerando el calendario académico de la Universidad Santo Tomás:

Tabla 15

Cronograma Anual de Mantenimiento Preventivo - Año 2026

Mes	Tipo de Mantenimiento	Actividades Principales	Duración Est.
Enero	Mensual	Limpieza filtro, inspección aceite, verificación manómetros	2 horas
Febrero	Diario	Inspecciones rutinarias pre/post operación	15 min/día
Marzo	Mensual	Lubricación cilindros, ajuste conexiones eléctricas	2 horas
Abril	Diario	Inspecciones rutinarias pre/post operación	15 min/día

Mes	Tipo de Mantenimiento	Actividades Principales	Duración Est.
Mayo	Mensual + Semestral	Rutina mensual + Revisión completa pre-vacaciones	4 horas
Junio-Julio	ANUAL MAYOR	✓ Cambio aceite total ✓ Reemplazo filtros ✓ Análisis laboratorio ✓ Calibración válvulas ✓ Inspección sellos	16 horas
Agosto	Mensual	Limpieza filtro, inspección aceite, prueba seguridad	2 horas
Septiembre	Diario	Inspecciones rutinarias pre/post operación	15 min/día
Octubre	Mensual	Lubricación cilindros, verificación temperatura	2 horas
Noviembre	Diario	Inspecciones rutinarias pre/post operación	15 min/día
Diciembre	Mensual + Semestral	Rutina mensual + Revisión cierre año académico	4 horas

Nota: Elaboración propia.

Nota importante: El mantenimiento anual mayor está programado para el periodo de vacaciones intersemestrales (junio-julio) con el fin de minimizar el impacto en las actividades académicas. Esta intervención requiere 2 jornadas completas (16 horas) y debe ser coordinada con el proveedor Ingenium Ltda. para suministro de repuestos originales.

7.3.4. Inventario Mínimo de Repuestos Críticos

Para garantizar la continuidad operativa del banco y reducir tiempos de parada ante fallos previsibles, se recomienda mantener en stock el siguiente inventario mínimo de repuestos críticos:

Tabla 16

Inventario Mínimo de Repuestos y Consumibles

Código	Repuesto/Consumible	Cant. Mín.	Vida Útil Est.	Proveedor
REP-001	Aceite hidráulico ISO VG 46 (balde 20L)	1	1 año en uso	Texaco/Shell
REP-002	Filtro de succión 150 mesh	2	1 año	Ingenium Ltda.
REP-003	Kit de sellos cilindro Ø40mm	1	3 años	Ingenium Ltda.
REP-004	Manguera DN-06, 1m con acoples	2	5 años	Parker/Eaton
REP-005	Manómetro 0-160 bar, Ø63mm	1	10 años	WIKA/Ashcroft
REP-006	Acoples rápidos DN-06 (par)	4	8 años	Faster/Stucchi
REP-007	Fusibles 3x10A retardados	6	10 años	Ferretería
REP-008	Válvula limitadora 0-150 bar	1	15 años	Ingenium Ltda.

Código	Repuesto/Consumible	Cant. Mín.	Vida Útil Est.	Proveedor
REP-009	Grasa multiuso (tubo 400g)	1	2 años	Mobil/Castrol
REP-010	Trapos absorbentes (paquete)	2	Consumible	Industria

Nota: Elaboración propia.

Inversión estimada en inventario inicial de repuestos: \$2.800.000 COP (aproximadamente USD \$700). Esta inversión garantiza disponibilidad inmediata de componentes críticos y reduce tiempos de parada de días a horas.

7.3.5. Sistema de Registro y Documentación

Como parte del plan de mantenimiento, se diseñaron cuatro formatos de registro estandarizados que permiten documentar sistemáticamente todas las intervenciones realizadas. Los formatos completos se incluyen en el Anexo A (sección A.5):

- Formato MP-01: Bitácora de uso diario. Registro de la fecha, el usuario o grupo, la práctica ejecutada, la verificación del nivel de aceite, la ausencia de fugas y las observaciones de cada sesión de laboratorio, con firma del responsable.
- Formato MP-02: Bitácora de mantenimiento mensual. Registro de la fecha, la tarea ejecutada, los hallazgos, la acción correctiva aplicada y el responsable de la intervención.
- Formato MP-03: Registro de cambio de aceite y filtros. Documenta la fecha, el tipo y lote de aceite, la cantidad en litros, los filtros sustituidos, la fecha del próximo cambio y el responsable, de modo que la gestión del fluido quede trazable a lo largo de la vida del equipo.

- Formato MP-04: Hoja de vida e incidentes. Consigna la fecha del evento, su descripción, la causa identificada, la acción emprendida, el estado de cierre y el responsable, constituyendo el historial de fallas del equipo.

Los formatos MP-01, MP-02 y MP-03 fueron adaptados a la estructura del formato institucional de la Unidad de Laboratorios de la Universidad (encabezado con código, versión y fecha, identificación del equipo y firmas de elaboración, revisión y aprobación), como se presenta en la sección A.5 del Anexo A. Los formatos están disponibles en versión digital (Excel) e impresa, esta última ubicada junto al banco oleohidráulico. El sistema de registro permite obtener estadísticas de fallas, identificar componentes problemáticos y justificar futuras inversiones con datos históricos concretos.

El plan de mantenimiento preventivo elaborado supone un cambio de paradigma respecto a la gestión histórica del equipo, que se limitaba a intervenciones reactivas ante fallas. Su implementación sistemática permite anticipar fallas, prolongar la vida útil de los componentes críticos, reducir los costos asociados a reparaciones mayores y mejorar la disponibilidad operativa del banco durante el año académico. El plan fue socializado con el personal técnico del laboratorio y está listo para su implementación formal a comienzos del segundo semestre de 2026.

7.4. Resultados de la Fase 4: Estructuración de Guías de Prácticas de Laboratorio

La 'Fase 4' del proyecto se convierte en el producto de enseñanza: un conjunto de guías de prácticas de laboratorio estructuradas, progresivas y autosuficientes que permiten a los estudiantes del área de la Ingeniería Mecánica de la USTA desarrollar competencias técnicas en sistemas oleohidráulicos de forma sistematizada. Las guías de prácticas de laboratorio han sido elaboradas de conformidad con la normativa pedagógica del Proyecto Educativo Institucional (PEI) de la USTA y las recomendaciones internacionales para las prácticas de laboratorio en ingeniería (ABET, ASEE).

Entre diciembre de 2025 y febrero de 2026 se concluyó el desarrollo y la diagramación final de veintidós (22) guías de prácticas de laboratorio, cuya validación experimental se realizó en julio y agosto de 2026, que cubren la totalidad de las prácticas del banco: la caracterización de componentes (curvas de la bomba y de las válvulas), el mando eléctrico, el control de velocidad de actuadores, los circuitos de aplicación electro-oleohidráulicos, la hidráulica proporcional con PLC + HMI y el ensayo de viscosidad del fluido. Cada una de las guías de prácticas de laboratorio incluye: objetivos de aprendizaje, fundamento teórico brevemente expuesto, lista de recursos materiales, diagramas ISO 1219, procedimiento experimental en pasos, tablas de registro de datos, cálculos guiados, preguntas de análisis y espacio para conclusiones del estudiante.

7.4.1. Metodología de Diseño de las Guías

El diseño de las guías de laboratorio fue realizado siguiendo la metodología estructurada en 4 etapas:

1. **Análisis de competencias.** Se llevaron a cabo las competencias técnicas a desarrollar por los estudiantes de Ingeniería Mecánica en el área de hidráulica, tomando como referencia el plan de estudios vigente y los perfiles ocupacionales que el programa desarrolla.
2. **Secuenciación didáctica.** Las prácticas realizadas se establecieron en orden de complejidad creciente: comenzamos con circuitos sencillos que introducían componentes individuales y luego llegamos a sistemas integrados donde se analizan variables múltiples.
3. **Validación experimental.** Cada una de las 22 prácticas fue ejecutada en el banco por el autor, bajo la supervisión del director del proyecto, para verificar factibilidad, tiempos, claridad de instrucciones y pertinencia de los cálculos propuestos. La realización y validación de cada práctica quedó registrada en video (Anexo F).
4. **Diagramación profesional.** Las guías fueron diagramadas en formato institucional USTA, incluyendo carátulas, encabezados, numeración de

secciones, tablas formateadas y espacios en blanco para que los estudiantes completen datos durante la práctica.

7.4.2. Inventario de Guías de Prácticas Desarrolladas

Tabla 17

Guías de Prácticas de Laboratorio Desarrolladas

Código	Título de la Práctica	Duración	Nivel	Págs.
GL-A1	Curva característica de la bomba (Q–P)	2 horas	Básico	3
GL-A2	Curva característica de la válvula de alivio (Q–P)	2 horas	Básico	3
GL-A3	Curva característica de la válvula de control de flujo (ΔP –Q)	2 horas	Básico	3
GL-B1	Mando directo por impulso de una lámpara	1.5 horas	Básico	2
GL-B2	Mando indirecto con relé	1.5 horas	Básico	2
GL-B3	Autorretención (memoria con realimentación)	1.5 horas	Básico	2
GL-B4	Marcha–paro con retención y su eliminación	1.5 horas	Básico	2
GL-B5	Mando desde dos estaciones	1.5 horas	Básico	2
GL-C1	Cilindro de doble efecto con válvula 4/3	2.5 horas	Intermedio	2
GL-C2	Regulación meter-in antes de la válvula direccional	2 horas	Intermedio	3

Código	Título de la Práctica	Duración	Nivel	Págs.
GL-C3	Regulación meter-in después de la válvula direccional	2 horas	Intermedio	2
GL-C4	Regulación meter-out después de la válvula direccional	2 horas	Intermedio	2
GL-C5	Regulación meter-out a la salida del actuador (doble regulador)	2 horas	Intermedio	2
GL-C6	Regulación por sangría (bleed-off)	2 horas	Intermedio	2
GL-D1	Circuito regenerativo	2 horas	Intermedio	3
GL-D2	Meter-in / meter-out con válvula direccional 4/2	2 horas	Intermedio	2
GL-D3	Cheque como protección de bomba	2 horas	Intermedio	2
GL-D4	Cheque pilotado (retención de carga)	2 horas	Intermedio	3
GL-E1	Válvula direccional proporcional (PLC + HMI)	2.5 horas	Avanzado	3
GL-E2	Válvula de control de caudal proporcional (PLC + HMI)	2.5 horas	Avanzado	2
GL-E3	Válvula proporcional de presión (PLC + HMI)	2.5 horas	Avanzado	3
GL-F1	Ensayo de viscosidad del fluido hidráulico	2 horas	Básico	3

Nota: Elaboración propia.

Total de guías desarrolladas: 22 prácticas completas, organizadas en seis módulos (A a F), que suman 53 páginas de material didáctico en el Anexo B (la columna «Págs.» indica la extensión de cada guía en dicho anexo). **Duración total del módulo de laboratorio:** 43.5 horas de trabajo experimental.

Las veintidós guías fueron ejecutadas y validadas experimentalmente en el banco, verificando su factibilidad, tiempos, claridad de las instrucciones y pertinencia de los cálculos. Se organizan en orden de complejidad creciente: caracterización de curvas (módulo A), mando eléctrico (B), control de velocidad de actuadores (C), circuitos de aplicación (D), hidráulica proporcional con PLC + HMI (E) y propiedades del fluido (F). La correspondencia de cada guía con el ejercicio del fabricante se presenta en la Sección 7.4.6 (Tabla 19), su contenido completo se desarrolla en el Anexo B y el registro audiovisual de su realización y validación se relaciona en el Anexo F.

7.4.3. Estructura Estándar de las Guías Desarrolladas

Todas las guías siguen una estructura estandarizada de 10 secciones que garantiza coherencia pedagógica y facilita su uso tanto por docentes como por estudiantes:

Tabla 18

Estructura Estándar de las Guías de Laboratorio

Sección	Contenido	Propósito Pedagógico
1. Portada	Título, código, grupo, fecha, integrantes	Identificación del trabajo
2. Objetivos	1 general + 3-5 específicos	Clarificar metas de aprendizaje
3. Fundamento Teórico	Conceptos clave, ecuaciones, principios (2-3 págs)	Contextualización teórica

Sección	Contenido	Propósito Pedagógico
4. Materiales y Equipos	Lista detallada con especificaciones	Preparación pre-laboratorio
5. Diagrama Hidráulico	Circuito según ISO 1219-1 + espacio para dibujo	Comprensión del sistema
6. Procedimiento	Pasos numerados + advertencias de seguridad	Ejecución estandarizada
7. Registro de Datos	Tablas con espacios en blanco para llenar	Documentación experimental
8. Cálculos y Análisis	Fórmulas + ejemplo resuelto + ejercicios	Procesamiento de resultados
9. Preguntas de Análisis	5-7 preguntas conceptuales y aplicadas	Pensamiento crítico
10. Conclusiones	Espacio para 3-4 conclusiones propias	Síntesis de aprendizajes

Nota: Elaboración propia.

7.4.4. Ejemplo: Contenido de GL-C1 (Cilindro de doble efecto con válvula 4/3)

A continuación, se presenta un resumen del contenido de la guía GL-C1 "Cilindro de doble efecto con válvula 4/3", como ejemplo representativo del nivel de desarrollo alcanzado:

Objetivos de aprendizaje:

- Identificar los componentes de un circuito hidráulico básico según simbología ISO 1219-1.
- Montar y operar un circuito con cilindro de doble efecto controlado por válvula 4/3.
- Medir experimentalmente las presiones en cámaras de avance y retroceso.

- Calcular fuerzas teóricas y compararlas con valores experimentales.
- Analizar el efecto del área diferencial en la relación de fuerzas avance/retroceso.

Fundamento teórico incluido:

- Ley de Pascal: $P = F/A$, con aplicación a sistemas hidráulicos cerrados.
- Cilindro de doble efecto: Análisis de áreas efectivas ($A_{\text{pistón}}$, A_{anular}) y cálculo de fuerzas ($F_{\text{avance}} = P \times A_{\text{pistón}}$, $F_{\text{retroceso}} = P \times A_{\text{anular}}$).
- Válvula direccional 4/3 centro tándem: Función de cada puerto (P, T, A, B) y posiciones de operación.
- Relación de áreas: Para cilindro Ø40/20 mm $\rightarrow$ Relación $F_{\text{avance}}/F_{\text{retroceso}} = 1.33$

Procedimiento experimental (8 pasos principales):

1. Verificación pre-operacional: Inspección de fugas, nivel de aceite, válvulas en neutro, uso de EPP.
2. Montaje del circuito: Conexiones P-T-A-B según diagrama ISO 1219, instalación de manómetros.
3. Puesta en marcha: Arranque de UPH, verificación de presión en vacío (5-10 bar), inspección de fugas.
4. Ensayo 1 - Avance: Accionamiento de válvula, medición de presiones en líneas A y B, cronometraje de carrera completa.
5. Ensayo 2 - Retroceso: Inversión de válvula, medición de presiones, cronometraje de retroceso.
6. Ensayo 3 - Carga externa: Aplicación de masa conocida al vástago, medición de presión bajo carga, comparación con vacío.
7. Apagado seguro: Retorno a posición neutra, parada de motor, despresurización, desconexión de mangueras.
8. Registro de datos: Completar tablas de presiones, tiempos, especificaciones del cilindro.

Cálculos guiados en la guía:

- Áreas efectivas: $A_1 = \pi D^2/4$, $A_2 = \pi d^2/4$, $A_3 = A_1 - A_2$ (con ejemplo numérico para Ø40/20 mm)
- Fuerzas teóricas: $F = P \times A$, con conversión de unidades (1 bar = 10 N/cm²)
- Relación de fuerzas: $R = F_{\text{avance}}/F_{\text{retroceso}} = A_1/A_3$
- Velocidades: $v = L/t$, donde L = carrera (200 mm) y t = tiempo medido
- Verificación experimental de carga: Comparar P_{medida} vs $P_{\text{teórica}} = (m \times g)/A$, calcular % error

Preguntas de análisis crítico (7 preguntas):

1. ¿Por qué la fuerza de avance es mayor que la de retroceso en un cilindro de doble efecto?
2. ¿Cómo afecta el caudal de la bomba a la velocidad del cilindro? Demuestre con ecuaciones.
3. ¿Cuáles son las causas de las diferencias entre valores teóricos y experimentales?
4. ¿Qué ocurriría si se bloquearan simultáneamente las líneas A y B con el cilindro en media carrera?
5. ¿Cuál es la función del centro tándem de la válvula 4/3 y por qué es importante?
6. Si se requiere aumentar la fuerza del cilindro, ¿qué modificaciones se podrían realizar?
7. ¿Cómo se diseñaría un cilindro que genere la misma fuerza en avance y retroceso?

7.4.5. Innovaciones Pedagógicas Implementadas

Las guías desarrolladas incorporan varias innovaciones pedagógicas que las diferencian de manuales tradicionales de laboratorio:

- Advertencias de seguridad resaltadas en rojo: Todas las instrucciones relacionadas con seguridad (uso de EPP, prohibición de desconexión bajo

presión, riesgos de inyección de aceite) están escritas en color rojo con símbolos $\triangle$ para captar atención inmediata.

- Espacios en blanco integrados: Las tablas de registro de datos y áreas de cálculo tienen espacios en blanco suficientes para que los estudiantes completen durante la práctica, eliminando la necesidad de hojas anexas.
- Esquema de referencia en ISO 1219: cada guía incluye el esquema del circuito en simbología ISO 1219 —reproducido del documento del fabricante (Ingenium Ltda.) con su autorización— como apoyo para identificar componentes y realizar el montaje.

7.4.6. Catálogo completo de guías formalizadas y entregables del banco

A partir de los ejercicios propuestos por el fabricante en su documento de guías y de las prácticas validadas durante el proyecto, se formalizó el conjunto completo de guías de laboratorio del banco. Cada ejercicio del fabricante se reescribió bajo la estructura estándar de la Sección 7.4.3 (objetivos de aprendizaje, fundamento teórico, componentes en simbología ISO 1219-1, esquema, procedimiento, registro de datos, cálculos, preguntas de análisis y conclusiones). El conjunto completo de guías se presenta en el Anexo B, y el manual de operación y mantenimiento (productos de los Objetivos 2 y 3) en el Anexo A.

Tabla 19

Catálogo de guías de laboratorio formalizadas

Código	Guía de laboratorio	Módulo	Ref. fab.
GL-A1	Curva característica de la bomba (Q–P)	A. Curvas	1.1
GL-A2	Curva característica de la válvula de alivio (Q–P)	A. Curvas	1.2
GL-A3	Curva característica de la válvula de control de flujo (ΔP –Q)	A. Curvas	1.3
GL-B1	Mando directo por impulso de una lámpara	B. Mando eléctrico	2.1
GL-B2	Mando indirecto con relé	B. Mando eléctrico	2.2
GL-B3	Autorretención (memoria con realimentación)	B. Mando eléctrico	2.3
GL-B4	Marcha–paro con retención y su eliminación	B. Mando eléctrico	2.4

Código	Guía de laboratorio	Módulo	Ref. fab.
GL-B5	Mando desde dos estaciones	B. Mando eléctrico	2.5
GL-C1	Cilindro de doble efecto con válvula 4/3	C. Velocidad	3.1
GL-C2	Regulación meter-in antes de la válvula direccional	C. Velocidad	3.1.1
GL-C3	Regulación meter-in después de la válvula direccional	C. Velocidad	3.1.2
GL-C4	Regulación meter-out después de la válvula direccional	C. Velocidad	3.1.3
GL-C5	Regulación meter-out a la salida del actuador	C. Velocidad	3.1.4
GL-C6	Regulación por sangría (bleed-off)	C. Velocidad	3.1.5
GL-D1	Circuito regenerativo	D. Aplicación	3.2.1
GL-D2	Meter-in / meter-out con válvula 4/2	D. Aplicación	3.2.2/3
GL-D3	Cheque como protección de bomba	D. Aplicación	3.2.4
GL-D4	Cheque pilotado (retención de carga)	D. Aplicación	3.2.5
GL-E1	Válvula direccional proporcional (PLC + HMI)	E. Proporcional	3.3.1
GL-E2	Válvula de control de caudal proporcional (PLC + HMI)	E. Proporcional	3.3.1
GL-E3	Válvula proporcional de presión (PLC + HMI)	E. Proporcional	3.3.1
GL-F1	Ensayo de viscosidad del fluido hidráulico	F. Fluido	—

Nota: Elaboración propia.

En total se formalizan 22 guías organizadas en seis módulos de complejidad creciente. Los módulos A (caracterización de curvas) y B (mando eléctrico) constituyen la base; los módulos C y D integran la electrohidráulica que condiciona el comportamiento del sistema.

8. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se interpretan los resultados obtenidos en cada fase del proyecto y se contrastan con los objetivos planteados y con la problemática que originó el trabajo, con el fin de valorar en qué medida la documentación técnica desarrollada responde a la necesidad de estandarizar la operación, el mantenimiento y la práctica experimental del banco oleohidráulico de la División de Ingenierías.

8.1. Análisis de la caracterización técnica (Fase 1)

La caracterización permitió consolidar, por primera vez, un inventario unificado de los componentes del banco —unidad de potencia, válvulas direccionales y de control, actuadores, instrumentación y sistema de control PLC + HMI— con sus referencias y especificaciones verificadas a partir de los rótulos del fabricante. Este resultado atiende directamente la ausencia de una base de conocimiento común sobre el equipo, señalada en el planteamiento del problema, y constituye el insumo sobre el cual se apoyan las demás fases. La verificación física de cada referencia reduce el riesgo de errores en el montaje y en la selección de componentes durante las prácticas.

8.2. Análisis de los procedimientos operativos estandarizados (Fase 2)

Los SOP desarrollados traducen la operación del banco en secuencias claras y repetibles para la verificación pre-operacional, el montaje, la puesta en marcha, la calibración, la medición y el apagado. Su principal aporte es la reducción de la variabilidad operativa, identificada por Acuña Poveda [4] como una de las causas de la brecha entre la teoría y la práctica: al normalizar el procedimiento, distintos usuarios obtienen condiciones de operación equivalentes, lo que mejora la seguridad y la comparabilidad de los resultados experimentales entre grupos y semestres.

8.3. Análisis del plan de mantenimiento preventivo (Fase 3)

El plan de mantenimiento, organizado en rutinas de frecuencia diaria, mensual y anual, desplaza el enfoque reactivo hacia uno preventivo. Su análisis evidencia que la mayoría de las fallas potenciales del banco —fugas, contaminación del fluido y descalibración de la instrumentación— pueden anticiparse mediante inspecciones de bajo costo y alta frecuencia. La incorporación de bitácoras y de un inventario mínimo de repuestos hace el plan ejecutable en el contexto institucional y contribuye a prolongar la vida útil del equipo.

8.4. Análisis de las guías de laboratorio (Fase 4)

Se estructuraron veintidós guías que abarcan circuitos hidráulicos, eléctricos, electro-oleohidráulicos y de control proporcional, todas fundamentadas en la simbología ISO 1219 y alineadas con competencias técnicas propias de la industria. La validación experimental de las veintidós guías, documentada en video (Anexo F), confirma la viabilidad de la estructura propuesta —objetivos, fundamento, componentes, procedimiento, registro y análisis— y aporta evidencia de su pertinencia didáctica. Con ello, el laboratorio dispone de un catálogo completo y verificado, listo para su incorporación en las asignaturas asociadas.

8.5. Síntesis del análisis

En conjunto, los resultados evidencian que la documentación técnica normalizada —caracterización, SOP, plan de mantenimiento y guías— conforma un sistema coherente que atiende la problemática inicial: estandariza el uso del banco, mejora las condiciones de seguridad, favorece un aprendizaje homogéneo para los cerca de sesenta estudiantes por semestre que cursan las asignaturas asociadas y optimiza el aprovechamiento de un recurso institucional de alto valor para toda la División de Ingenierías.

9. CONCLUSIONES

A partir del desarrollo de las cuatro fases del proyecto, y en relación con los objetivos planteados, se derivan las siguientes conclusiones:

1. Se caracterizó técnicamente el banco oleohidráulico y sus accesorios mediante un inventario detallado de componentes, funciones y especificaciones, verificadas a partir de los rótulos del fabricante, estableciendo una base de conocimiento unificada del equipo —antes inexistente— que sustenta su operación, mantenimiento y uso didáctico.
2. Se desarrollaron y documentaron los procedimientos operativos estandarizados (SOP) que cubren la instalación, la puesta en marcha, la calibración, la medición, la operación segura y el apagado del banco, reduciendo la variabilidad operativa y elevando las condiciones de seguridad para los usuarios. Se diseñó un plan de mantenimiento preventivo con rutinas de frecuencia diaria, mensual y anual, complementado con bitácoras e inventario mínimo de repuestos, orientado a asegurar la fiabilidad del equipo y a prolongar su vida útil. Se estructuraron y elaboraron veintidós guías de laboratorio basadas en la simbología ISO 1219 —todas ellas validadas experimentalmente— enfocadas en la identificación de componentes y el análisis funcional de circuitos de potencia fluida, alineadas con las competencias requeridas en la industria.
3. En conjunto, se elaboraron las guías de laboratorio para el banco oleohidráulico de la División de Ingenierías de la Universidad Santo Tomás que estandarizan su operación, su mantenimiento preventivo y la ejecución de prácticas experimentales, cumpliendo así el objetivo general del trabajo.

El proyecto contribuye a cerrar la brecha entre la teoría y la práctica en la formación de ingenieros mecánicos, beneficia a los estudiantes que cursan las asignaturas asociadas a los sistemas de potencia fluida y optimiza el aprovechamiento de un recurso de laboratorio de alto valor para toda la División de Ingenierías.

10. RECOMENDACIONES

Con base en la experiencia y los resultados del proyecto, se formulan las siguientes recomendaciones para asegurar su continuidad, actualización y aprovechamiento:

1. Mantener el registro de resultados de cada ejecución de las guías validadas, documentando los ajustes que surjan de su uso en clase con el fin de consolidar versiones actualizadas.
2. Implementar formalmente el plan de mantenimiento preventivo y las bitácoras propuestas, asignando responsables y verificando periódicamente su diligenciamiento.
3. Capacitar a docentes y monitores en los SOP y en el uso seguro del banco antes de cada periodo académico, garantizando la correcta transferencia de los procedimientos.
4. Mantener actualizado el inventario técnico y los rótulos del fabricante ante cualquier reemplazo o incorporación de componentes.
5. Verificar y calibrar periódicamente la instrumentación —manómetros, transductor de presión, sensor PT100 y medidor volumétrico— para asegurar la confiabilidad de las mediciones.
6. Incorporar progresivamente la adquisición de datos a través del PLC + HMI, de modo que las variables puedan registrarse de forma automática y se enriquezca el análisis experimental.
7. Revisar y actualizar las guías de manera periódica con la retroalimentación de estudiantes y docentes, y evaluar la ampliación del catálogo hacia nuevas prácticas, en especial de hidráulica proporcional.
8. Reforzar la señalización de seguridad y disponer de los elementos de protección personal correspondientes en el área del laboratorio.
9. Complementar las guías con la simulación de circuitos en software especializado y, para el estudio de las pérdidas de carga y del comportamiento del fluido, con herramientas de modelado y simulación CAD/CAE como las empleadas en trabajos de diseño hidráulico de la misma línea de investigación [21].

11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Pérez Pupo, I., & Navarro Ojeda, M. (2020). Sistemas oleohidráulicos y neumáticos para ingeniería mecánica. Editorial Félix Varela. ISBN: 978-959-258-456-2
- [2] EDQUIP. (2026). Hydraulics lab equipment and training systems: specification and budget guide [página web]. <https://edquip.co/en/technical-training-equipment/fluid-power/hydraulics>
- [3] RS Components. (2026). SMC Hydromodel MOD-201 / MOD-202 hydraulics industrial training system [catálogo en línea]. RS Online. <https://uk.rs-online.com>
- [4] Acuña Poveda, V. (2024). Gestión del conocimiento y prácticas de laboratorio en la Universidad Santo Tomás. Revista Científica General José María Córdova, 12(3), 245-260. <https://revistacientificaesmil.edu.co>
- [5] Colmenares, A., & Mancera, D. (2023). Desconexión teoría-práctica en formación de ingenieros: Análisis y propuestas. Revista Educación en Ingeniería, 18(35), 78-95. <https://educacioneningeneria.org>
- [6] Festo Didactic. (s.f.). Hidráulica. Nivel básico (TP 501). Festo Didactic GmbH & Co. KG.
- [7] Parker Hannifin. (2024). Mobile hydraulics training systems catalog. Parker Hannifin Corporation. <https://www.parker.com/training-systems>
- [8] Creus Solé, A. (2012). Neumática e hidráulica (2ª ed.). Editorial Marcombo. ISBN: 978-84-267-1767-3
- [9] ISO 1219-1:2012. (2012). Fluid power systems and components — Graphic symbols and circuit diagrams — Part 1: Graphic symbols for conventional use and data-processing applications. International Organization for Standardization. <https://www.iso.org/standard/60185.html>

- [10] Banco de la República. (2026). Tasa de cambio representativa del mercado (TRM) — julio de 2026. Banco de la República de Colombia. <https://www.banrep.gov.co>
- [11] Mobley, R. K. (2002). An introduction to predictive maintenance (2^a ed.). Butterworth-Heinemann. ISBN: 978-0-7506-7531-4
- [12] Ingenium Ltda. (2023). Manual técnico del banco de entrenamiento oleohidráulico modelo HTB-2000 [Documento técnico no publicado]. Ingenium Equipos Didácticos.
- [13] Esposito, A. (2008). Fluid power with applications (7^a ed.). Pearson. ISBN: 978-0-13-513690-4
- [14] Bastimec. (2023). Cilindros hidráulicos de doble efecto: Guía técnica de aplicación. Bastimec Ingeniería. <https://www.bastimec.com/cilindros-hidraulicos-doble-efecto>
- [15] ISO 1219-2:2012. (2012). Fluid power systems and components — Graphic symbols and circuit diagrams — Part 2: Circuit diagrams. International Organization for Standardization.
- [16] SMC Corporation. (2024). Guía de simbología neumática e hidráulica según ISO 1219. SMC Technical Library. <https://www.smc Pneumatics.com/simbologia-iso-1219>
- [17] Vacca, A., & Franzoni, G. (2021). Hydraulic fluid power: Fundamentals, applications, and circuit design. John Wiley & Sons. ISBN: 978-1-119-56911-4
- [18] Hynesur. (2022). Bombas de engranajes externos: Funcionamiento y especificaciones técnicas. Hynesur Hydraulic Components. <https://www.hynesur.com/bombas-engranajes>
- [19] Jerez Salazar, P. (2025). Fundamentos de sistemas de potencia fluida aplicados a maquinaria industrial. Editorial Universitaria Técnica.

- [20] Mott, R. L., & Untener, J. A. (2015). *Mecánica de fluidos* (7ª ed.). Pearson Educación.
- [21] Sáenz Posada, J. A., & López Díaz, M. Á. (2024). *Diseño de un prototipo de máquina de corte hidrodinámico a alta presión con desplazamiento automático* [Trabajo de grado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. Facultad Tecnológica, Tecnología en Mecánica Industrial.
- [22] ISO 3448. (1992). *Industrial liquid lubricants — ISO viscosity classification*. International Organization for Standardization.
- [23] Universidad Austral de Chile. (2009). *Manual de laboratorio de sistemas hidráulicos y neumáticos*. Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Universidad Austral de Chile.
- [24] Poocca. (2024). *Tecnología de bombas hidráulicas de desplazamiento positivo*. Poocca Industrial Hydraulics. <https://www.poocca.com/bombas-desplazamiento-positivo>
- [25] Cybermatics. (2025). *Válvulas limitadoras de presión: Principios y aplicaciones*. Cybermatics Automation Solutions. <https://www.cybermatics.com/valvulas-limitadoras>
- [26] Bosch Rexroth. (2011). *Hydraulics, basic principles and components: The hydraulic trainer (Vol. 1)*. Bosch Rexroth AG. ISBN: 978-3-9814879-3-0
- [27] ISO 4413:2010. (2010). *Hydraulic fluid power — General rules and safety requirements for systems and their components*. International Organization for Standardization.
- [28] ISO 17359:2018. (2018). *Condition monitoring and diagnostics of machines — General guidelines*. International Organization for Standardization.
- [29] UNE-EN 13306:2018. (2018). *Mantenimiento. Terminología del mantenimiento*. Asociación Española de Normalización (AENOR).

- [30] Ingenium Ltda. (s.f.). Banco de oleohidráulica [página web]. Recuperado de <https://ingeniumltda.com/oleohidraulica/>
- [31] Ebel, F. (s.f.). Sensores para la técnica de procesos y manipulación. Festo Didactic GmbH & Co. KG.
- [32] Merritt, H. E. (1967). Hydraulic control systems. John Wiley & Sons. ISBN: 978-0-471-59617-2
- [33] Scholz, D. (s.f.). Hidráulica proporcional (TP 700). Festo Didactic GmbH & Co. KG.
- [34] Zimmermann, A. (s.f.). Hidráulica de bucle cerrado. Festo Didactic GmbH & Co. KG.
- [35] ISO 3104 / ASTM D445. (2020). Petroleum products — Transparent and opaque liquids — Determination of kinematic viscosity. International Organization for Standardization / ASTM International.

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

N.º	Acción	Componente / punto	Resultado esperado
4	Pulsar botón verde de la unidad de fuerza	Pulsador (2)	Motor y bomba en marcha
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	$Q = V/t$

N.º	Acción	Componente / punto	Resultado esperado
3	Leer temperatura del fluido	PT100 / PLC	T < 60 °C
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 $\approx$ 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
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 1950-2025	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 1950-2025	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	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.

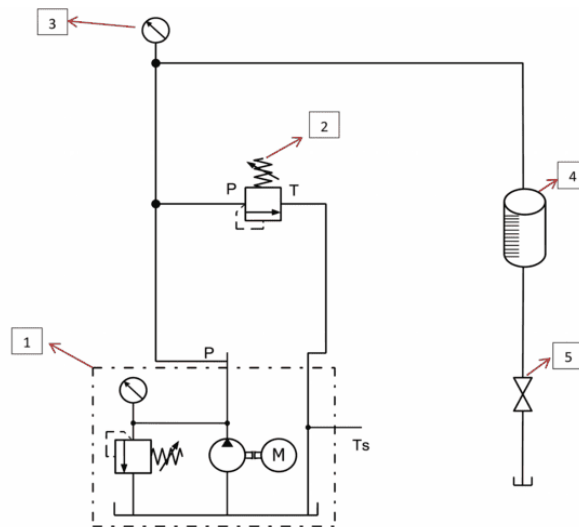
Fundamento teórico

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 muletilla 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

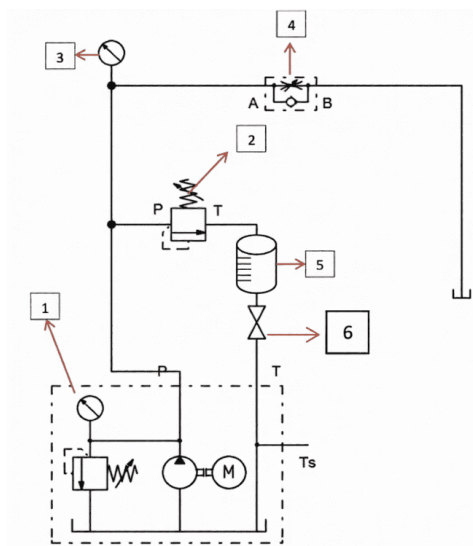
- Determinar la curva Q–P de la válvula de alivio (caudal derivado a tanque vs. presión de tarado).
- Comprender el papel de la válvula de alivio como elemento de seguridad y de regulación de presión.

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			

Presión tarado (psi)	Volumen (ml)	Tiempo (s)	Caudal Q (L/min)
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

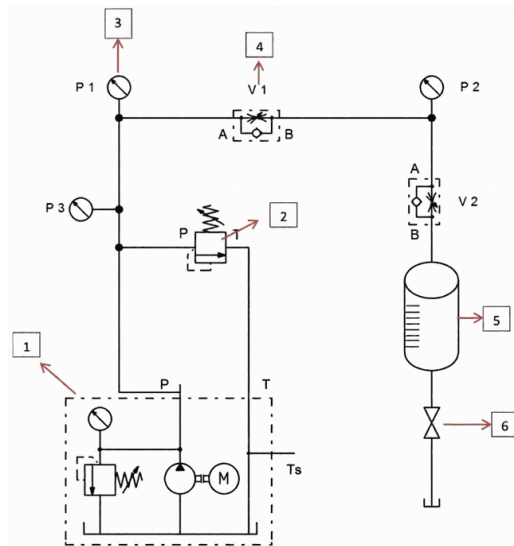
- Determinar la relación entre la caída de presión (ΔP) y el caudal en una válvula de control de flujo.
- Comprender el principio de estrangulamiento y su efecto sobre presión y temperatura.

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

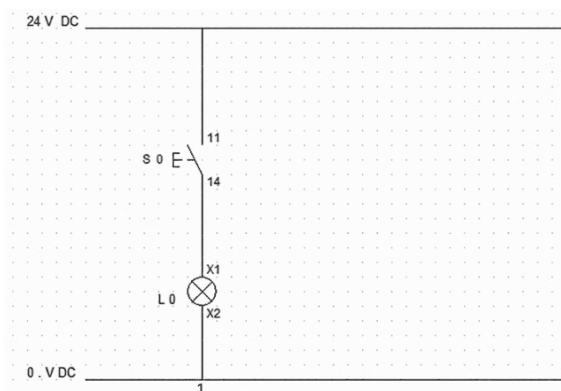
- Comprender el mando directo: la carga se energiza mientras se mantiene pulsado el accionador.
- Identificar contactos normalmente abiertos (NA) y normalmente cerrados (NC).

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

Objetivos de aprendizaje

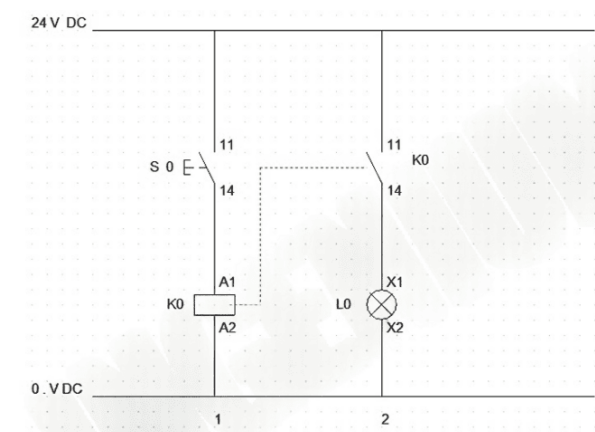
- Comprender el mando indirecto: el pulsador acciona un relé y el contacto del relé gobierna la carga.
- Distinguir el circuito de mando del circuito de potencia/carga.

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

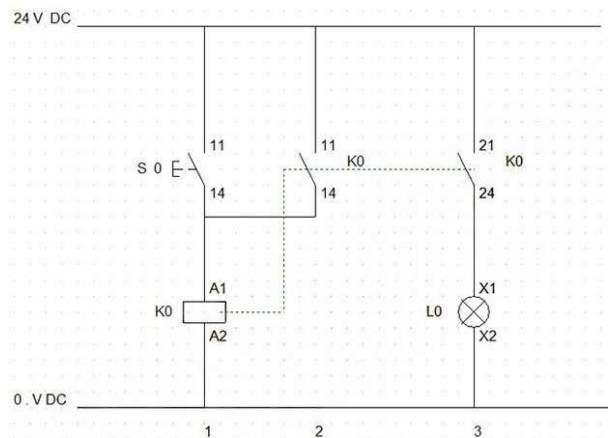
- Implementar la función de memoria (autorretención) mediante un contacto de realimentación del relé.
- Comprender el enclavamiento de una señal momentánea.

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

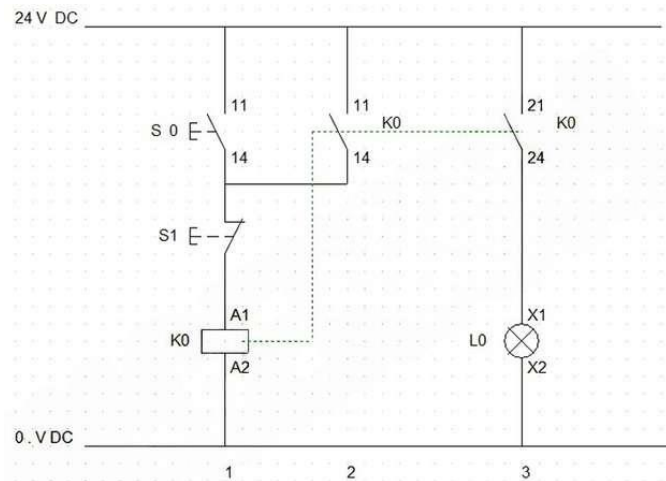
- Implementar marcha con retención (set) y paro (reset) mediante dos pulsadores.
- Comprender la prioridad del paro sobre la marcha.

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.

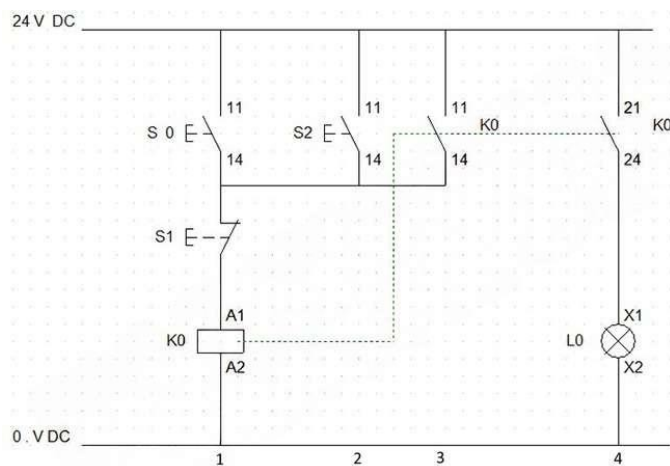
Fundamento / funcionamiento

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

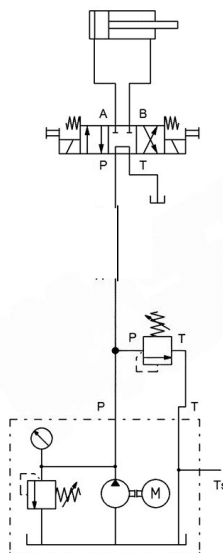
El cilindro de doble efecto trabaja en ambos sentidos. En avance el fluido actúa sobre el área del pistón $A_1 = \pi D^2/4$; en retroceso sobre el área anular $A_3 = A_1 - A_2$ (con $A_2 = \pi d^2/4$). Para la misma presión, $F_{\text{avance}} = P \cdot A_1 > F_{\text{retroceso}} = P \cdot A_3$. Para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

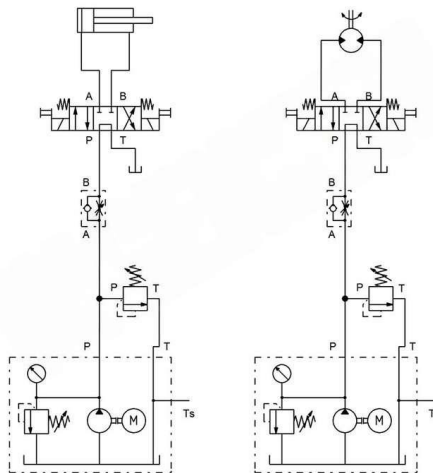
- Implementar el control de velocidad regulando el caudal de entrada antes de la válvula direccional.
- Comparar la velocidad de avance y retroceso resultante.

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

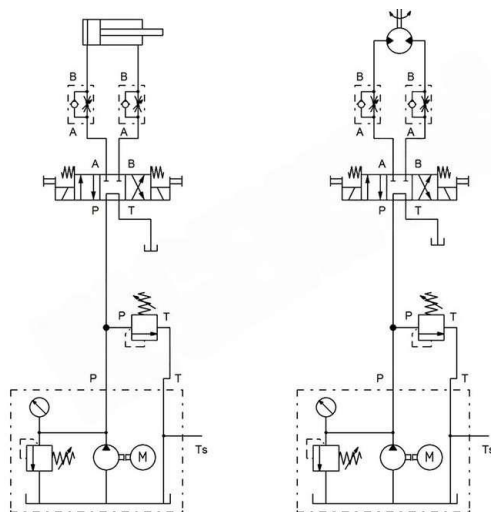
- Regular el caudal en un solo sentido instalando el control de flujo después de la direccional.
- Comparar presiones de entrada y salida y estimar la relación de diámetros del cilindro.

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

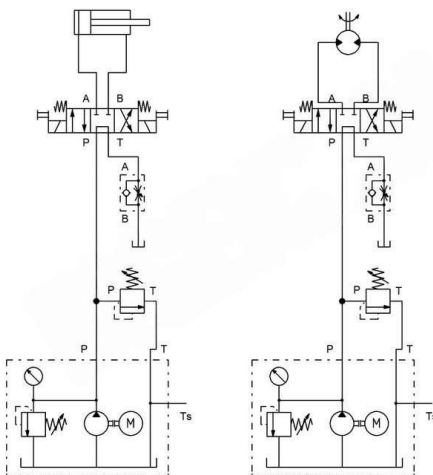
- Implementar el control de velocidad por estrangulamiento a la salida (meter-out) con un solo regulador.
- Observar el efecto del estrangulamiento sobre la temperatura del fluido.

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

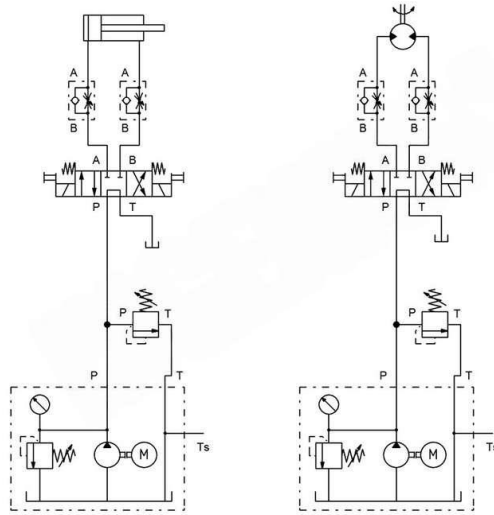
- Regular avance y retroceso de forma independiente con dos controladores de flujo a la salida.
- Comparar presiones de entrada y salida y tiempos del vástago.

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

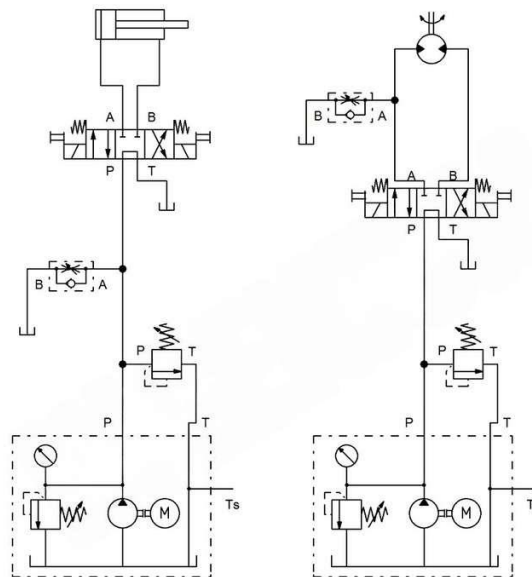
- Implementar el control de velocidad derivando parte del caudal a tanque (bleed-off).
- Comparar la eficiencia energética del bleed-off frente al meter-in/meter-out.

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

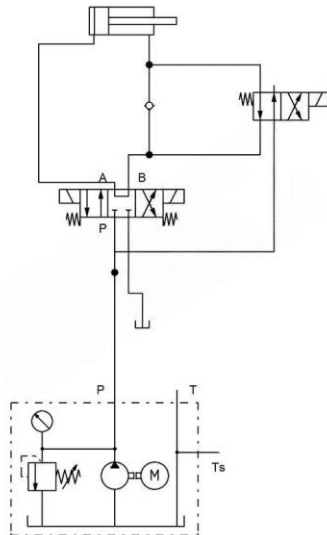
- Montar un circuito regenerativo usando el manifold como distribuidor tras la electroválvula 4/3.
- Comprender el aumento de velocidad de avance al reutilizar el caudal del lado del vástago.

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

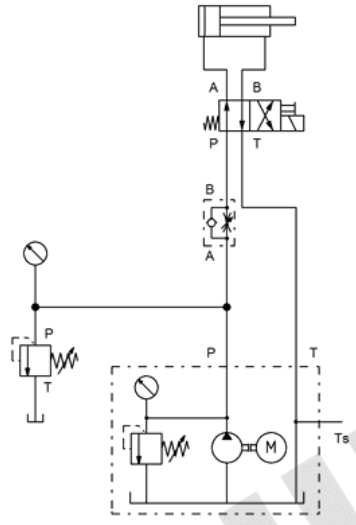
- Implementar control de velocidad meter-in y meter-out usando una válvula direccional 4/2.
- Comparar el comportamiento frente a los montajes con 4/3.

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).



Esquema GL-D2 — Esquemas ISO 1219: meter-in y meter-out con válvula 4/2. Fuente: Ingenium Ltda

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

[illegible]

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.

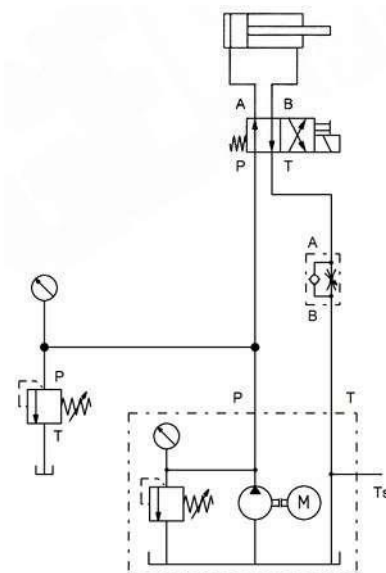
Fundamento teórico

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

Estado	P antes cheque (bar)	P después cheque (bar)	Observación

Estado	P antes cheque (bar)	P después cheque (bar)	Observación

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.

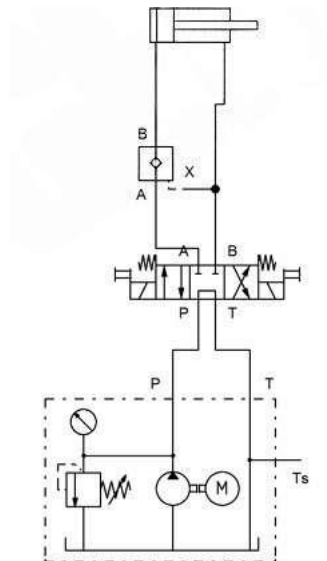
Fundamento teórico

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

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.

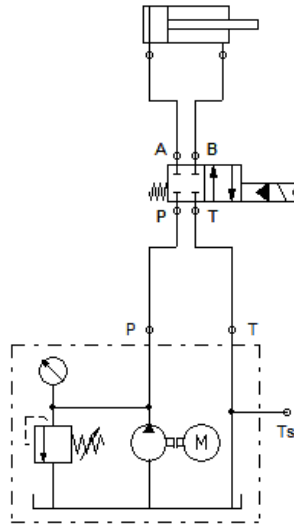
Fundamento teórico

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 / conexión 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

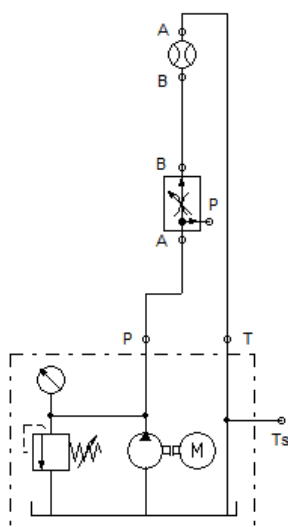
- Caracterizar la variación de caudal de una válvula de caudal proporcional según la consigna.
- Tomar lecturas de caudal con el caudalímetro al variar el potenciómetro.

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 / conexaso 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 potencmetro 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: $v = C \cdot t$, 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.

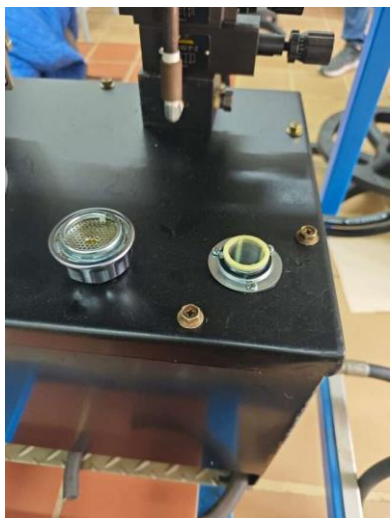


Figura D.1 — SOP-01: verificación de la tapa del depósito, respiradero y filtro de llenado antes de energizar.



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.