

Informe de Ingeniería Inversa: Unidad de Filtración de Fluido Hidráulico Skydrol

Ing. Johan Sebastian Barbosa Gonzalez,
Ing. Briam Said Castro Pietro
AS22 Freddy Andrés Bello

Bogotá D. C. - Colombia

Tabla de contenido

- **Introducción**
 - 1.1. Antecedentes y Justificación
 - 1.2. Identificación del Componente
 - 1.3. Objetivos del Informe
 - 1.4. Metodología General
- **Análisis Funcional y de Diseño**
 - 2.1. Descripción General del Sistema
 - 2.2. Principio de Funcionamiento
 - 2.3. Análisis Físico y Desmontaje
- **Análisis Técnico y de Materiales**
 - 3.1. Análisis Dimensional
 - 3.2. Análisis de Materiales
 - 3.3. Análisis del Elemento Filtrante
 - 3.4. Ensamblaje y Estanqueidad
- **Especificaciones Técnicas Derivadas**
 - 4.1. Especificaciones de Rendimiento
 - 4.2. Especificaciones de Fabricación
- **Conclusiones**
 - 5.1. Resumen de Hallazgos
 - 5.2. Comparación con Estándares Conocidos
 - 5.3. Factibilidad de Replicación o Reparación
- **Recomendaciones**
 - 6.1. Recomendaciones para Fabricación
 - 6.2. Recomendaciones para Mantenimiento
 - 6.3. Recomendaciones para Futuros Análisis
- **Apéndice**
 - Apéndice A – Registro Fotográfico Detallado
- **Planos CAD y Modelado 3D de Piezas**

Informe de Ingeniería Inversa: Unidad de Filtración de Fluido Hidráulico Skydrol

1.0 Introducción

1.1. Antecedentes y Justificación

La unidad de filtración hidráulica objeto de este estudio ha sido identificada como un componente originalmente fabricado por la empresa *SOFRANCE*, actualmente parte del grupo *SAFRAN*. Debido a la falta de disponibilidad comercial del componente y la necesidad de asegurar la continuidad operativa del sistema hidráulico en aeronaves, se ha planteado un proceso de ingeniería inversa. El propósito es determinar la viabilidad técnica de reproducción local del sistema, garantizando compatibilidad funcional, integridad estructural y seguridad operacional.

1.2. Identificación del Componente

- **Designación:** Unidad de Filtración Hidráulica con válvula de retención integrada y sensor de presión.
- **Número de Parte (P/N):** FA02168A
- **Número de Serie (S/N):** Específico De cada unidad
- **Fabricante Original (OEM):** SOFRANCE (actualmente SAFRAN)
- **Ubicación en la Aeronave:** Instalado en el circuito hidráulico principal del POD's, conectado mediante acoples tipo codo en las líneas de entrada y salida del fluido. Se encuentra fijado mediante pernos a través de perforaciones roscadas con insertos tipo *helicoil* en la base principal.

1.3. Objetivos del Informe

- Documentar la estructura y funcionamiento del sistema.
- Generar modelos CAD 3D de la base principal, el filtro, el soporte cilíndrico y el conjunto válvula.
- Caracterizar materiales y métodos de fabricación utilizados.
- Evaluar la viabilidad técnica de la reproducción del sistema con tecnología disponible localmente.

1.4. Metodología General

Se realizó una inspección visual inicial, seguido del desmontaje ordenado del componente. Cada subcomponente fue analizado dimensional y materialmente. Se modelaron en 3D las piezas críticas y se identificaron interfaces mecánicas, hidráulicas y electrónicas (sensor de presión). Finalmente, se evaluaron alternativas de fabricación y ensamblaje.

2.0 Análisis Funcional y de Diseño

2.1. Descripción General del Sistema

El sistema permite el paso del fluido hidráulico *Skydrol* a través de un filtro desmontable para eliminar partículas contaminantes. La configuración interna direcciona el flujo a través de una base metálica principal y lo canaliza nuevamente hacia la salida, una vez ha sido filtrado.

2.2. Principio de Funcionamiento

El fluido ingresa por un puerto con acople tipo codo, circula por una galería interna hacia el filtro, y luego retorna hacia la salida.

- El filtro se sostiene mediante un soporte cilíndrico que se enrosca en la base central.
- Se incluye una válvula tipo check (retención) compuesta por un balín, un resorte y un tapón metálico, cuya función es evitar el retorno del flujo.
- Se incorpora un sensor de presión directamente en la base central, con una perforación que comunica la cámara del filtro con el cuerpo del sensor.
- Se emplean juntas tóricas tipo *O-ring* en el tapón, el soporte cilíndrico y las conexiones de entrada y salida para asegurar la estanqueidad.
- Las perforaciones de fijación a la estructura cuentan con roscas internas reforzadas con *inserts helicoidales* (tipo *helicoil*).

2.3. Análisis Físico y Desmontaje

- **Inspección Visual:** El sistema presenta un diseño compacto, con superficie tratada (posiblemente anodizada o pasivada).
- **Desmontaje:** Se extrajo el soporte cilíndrico roscado, permitiendo el acceso al elemento filtrante. Posteriormente se desmontó la válvula tipo check y el sensor de presión.
- **Subcomponentes Identificados:**
 - Base principal (material: acero o aleación resistente)
 - Soporte cilíndrico roscado (material Acero)
 - Elemento filtrante (Malla filtrante, elemento filtrante)

- Conjunto válvula de retención (balín, resorte, tapón)
- Sensor de presión con comunicación directa al paso del fluido
- Juntas tóricas en puntos críticos
- Conexiones tipo codo en entrada/salida
- Insertos tipo helicoil en perforaciones roscadas de fijación

3.0 Análisis Técnico y de Materiales

3.1. Análisis Dimensional

El análisis dimensional fue realizado mediante herramientas de medición directa (calibrador, micrómetro y profundímetro). Se elaboraron modelos CAD 3D preliminares de las piezas clave: base principal, soporte cilíndrico, tapón de válvula y alojamiento del sensor de presión. Estos modelos servirán como base para los planos técnicos y la simulación de ensamblaje.

3.2. Análisis de Materiales

Las observaciones iniciales permiten inferir el uso de diferentes materiales según la función de cada componente. Para una verificación precisa se recomienda realizar espectrometría de emisión óptica (OES) o análisis por fluorescencia de rayos X (XRF).

Tabla 2. Identificación preliminar de materiales

Subcomponente	Función	Material Aparente	Método sugerido de verificación
Base principal	Soporte estructural y paso hidráulico	Acero inoxidable	Espectrometría / análisis metalográfico
Soporte cilíndrico	Sujeción del filtro	Acero o aluminio	Dureza / densidad / XRF
Tapón de válvula	Retención del resorte y balín	Aluminio	XRF / Densidad / Conductividad térmica
Balín	Elemento de cierre (válvula check)	Acero templado	Prueba de dureza / magnetismo
Resorte	Retorno del balín en válvula check	Acero para resorte	Microscopía / resistencia mecánica
Sensor de presión	Medición directa de presión hidráulica	Electrónico, cuerpo metálico	Confirmación por referencia técnica
Juntas tipo O-ring	Sellado en zonas de presión	Elastómero (Viton/EPDM)	Ensayo de compatibilidad con Skydrol

3.3. Análisis del Elemento Filtrante

El filtro no fue descrito en detalle, por lo que se considera como componente crítico pendiente de análisis específico. No obstante, se puede establecer la siguiente estructura para su caracterización:

Característica	Descripción esperada	Método de Análisis Propuesto
Tipo de medio filtrante	Malla metálica y elemento filtrante.	Corte transversal + análisis microscópico
Grado de filtración (micras)	[Por determinar]	Prueba en banco con partícula patrón
Eficiencia (Beta ratio)	[Ideal >75-100]	Si es posible, ensayo controlado
Construcción del cartucho	Plegado, encapsulado, soldado	Desmontaje y análisis físico

3.4. Ensamblaje y Estanqueidad

- Las uniones roscadas (tapón, soporte cilíndrico) cuentan con juntas tóricas tipo O-ring para garantizar la estanqueidad del sistema bajo presión.
- Se identificaron insertos tipo helicoil en la base principal, utilizados para mejorar la resistencia de las roscas al torque de fijación.
- Las conexiones hidráulicas en entrada y salida del sistema están hechas mediante **acoples tipo codo**, que permiten flexibilidad en el montaje en zonas confinadas de la aeronave.

4.0 Especificaciones Técnicas Derivadas

4.1. Especificaciones de Rendimiento

Estas especificaciones se establecen a partir del análisis del diseño del componente y de parámetros estándar en sistemas de filtración hidráulica aeronáutica compatibles con *Skydrol*. Algunos valores deben ser confirmados mediante pruebas o documentación del OEM si se logra acceder a ella.

Parámetro	Valor Estimado / Esperado	Observaciones
Presión de operación nominal	3000 psi (206.8 bar)	Valor impreso en el flitro
Presión de operación máxima	4500 psi (310.2 bar)	Valor impreso en el flitro
Temperatura de operación	-54 °C a +135 °C	Rango compatible con Skydrol

Tipo de fluido compatible	Skydrol LD-4, Skydrol 500B-4	Confirmar compatibilidad con sellos y materiales
----------------------------------	------------------------------	--

4.2. Especificaciones de Fabricación

Esta sub-sección presenta los procesos de manufactura sugeridos para cada subcomponente, basados en su geometría, función y materiales.

Subcomponente	Material Aparente	Proceso de Fabricación Recomendado	Observaciones
Base principal	Acero inoxidable	Mecanizado CNC / Brochado / Perforado	Puede requerir tratamientos anticorrosivos
Soporte cilíndrico	Aluminio / Acero	Torneado CNC + roscado	Debe garantizar alineación y sellado
Tapón de válvula	Aluminio	Torneado CNC / Moleteado / Taladrado	Ligero y mecanizable fácilmente
Balín	Acero templado	Pieza estándar (no requiere fabricación)	Usar esferas calibradas grado A
Resorte	Acero para resorte	Compra estándar por fabricación enrollado	Confirmar coeficiente de rigidez
Juntas tóricas	Viton o EPDM	Compra estándar	Compatibilidad con Skydrol
Sensor de presión	Electrónico, metálico	Comercial	Fijación al soporte por medio de tres roscas M6x1 o similar
Inserto helicoidal	Acero inoxidable	Comercial (helicoil)	Mejora resistencia de roscas

Nota técnica: La selección de materiales y procesos debe garantizar compatibilidad total con *Skydrol*, ya que este fluido es altamente agresivo frente a ciertos elastómeros y metales no tratados. Se recomienda incluir pruebas específicas de resistencia química para cualquier modificación propuesta.

5.0 Conclusiones

5.1. Resumen de Hallazgos

Del proceso de ingeniería inversa realizado sobre la unidad de filtración hidráulica compatible con *Skydrol*, fabricada originalmente por *SOFRANCE* (actualmente *SAFRAN*), se obtuvieron los siguientes hallazgos clave:

- La unidad se compone de una base principal mecanizada en aluminio, que integra el paso del fluido, alojamiento del filtro, el sensor de presión y una válvula tipo check.
- El sistema de filtración utiliza un soporte cilíndrico enroscado para fijar el filtro, con sellado mediante juntas tipo O-ring.
- La válvula check se compone de un balín, un resorte y un tapón, este último con alta probabilidad de ser aluminio mecanizado.
- El sensor de presión toma lectura directa mediante una perforación que comunica el paso del fluido con su alojamiento roscado.
- Las conexiones hidráulicas externas están aseguradas mediante acoples tipo codo.
- Se identificó el uso de *inserts helicoidales* (tipo helicoil) en las perforaciones de fijación para mejorar la durabilidad de las roscas.
- Las propiedades funcionales del sistema corresponden a condiciones estándar de operación en aeronaves (presiones de hasta 3000–5000 psi y compatibilidad con Skydrol).

5.2. Comparación con Estándares Conocidos

Característica	Normativa o Referencia Estándar	Estado Actual del Componente
Compatibilidad química (fluido Skydrol)	ASTM D471 / AMS 3217	Parcialmente verificado
Presión de operación	SAE AS5440 / MIL-H-5440	Alineado con valores típicos
Integridad estructural (roscas)	NAS1130 / NASM33537 (helicoil)	Conforme al uso de insertos helicoidales
Sensor de presión	MIL-PRF-62121 / RTCA DO-160	No verificado aún (pendiente análisis funcional)

Se requiere una validación más profunda de los materiales usados, especialmente en sellos y elementos filtrantes, para confirmar su cumplimiento normativo y compatibilidad total con entornos aeronáuticos.

5.3. Factibilidad de Replicación o Reparación

Con base en el análisis realizado, se concluye que **sí es técnicamente viable** la reproducción del sistema bajo las siguientes condiciones:

- Disponibilidad de procesos de mecanizado CNC de alta precisión para la base principal y subcomponentes.
- Adquisición de balines y resortes de grado industrial estandarizado.
- Fabricación local o adquisición externa del elemento filtrante, sujeto a análisis de su estructura y medio filtrante.
- Confirmación mediante pruebas de los materiales elastoméricos seleccionados para las juntas, garantizando su resistencia a *Skydrol*.
- Reemplazo del sensor de presión por un equivalente comercial, calibrado según el rango de presión del sistema.

6.0 Recomendaciones

6.1. Recomendaciones para Fabricación

Para la producción o reproducción de la unidad de filtración hidráulica, se recomiendan las siguientes acciones y parámetros:

Ítem	Recomendación
Material de la base principal	Acero inoxidable AISI 316L o equivalente, con pasivado posterior.
Soporte cilíndrico	Aluminio 6061-T6 anodizado, mecanizado por torno CNC.
Tapón de válvula	Aluminio anodizado o acero 1045 con tratamiento anticorrosión.
Balin	Acero inoxidable templado (esfera calibrada DIN 5401 Grado G10).
Resorte	Acero para resorte tipo AISI 302 o Inconel X750 (según carga).
Juntas tóricas	Viton (FKM) o EPDM compatible con Skydrol, según ASTM D2000.
Roscas	Incluir <i>inserts helicoidales</i> tipo Helicoil en zonas críticas.
Sensor de presión	Sustituible por sensor comercial, con el mismo sistema de fijación al soporte, o equivalente en electrónica, modificando sistema de fijación a la estructura.

Se sugiere realizar **prototipado inicial** en impresión 3D (material resistente a químicos) para validación dimensional previa al mecanizado.

6.2. Recomendaciones para Mantenimiento

Con el fin de preservar la funcionalidad del sistema y prevenir fallas por contaminación o degradación de componentes, se recomienda:

Elemento	Acción Sugerida
Elemento filtrante	Inspección visual y/o reemplazo
Sensor de presión	Calibración y verificación funcional
Válvula check	Prueba de estanqueidad / limpieza interna
Juntas O-ring	Sustitución preventiva
Estructura de soporte	Revisión de fisuras o corrosión

6.3. Recomendaciones para Futuros Análisis

Área de Estudio	Acción Propuesta
Elemento filtrante	Caracterización completa del medio filtrante (micras, tipo, construcción).
Pruebas de compatibilidad química	Ensayos con <i>Skydrol</i> para juntas, adhesivos y materiales propuestos.
Ensayos de presión y flujo	Pruebas en banco para confirmar presión de trabajo y caudal nominal.
Simulación por elementos finitos (FEA)	Análisis estructural de la base y tapón bajo presión máxima prevista.
Documentación de trazabilidad	Establecer control documental (planos, fichas, certificados de materiales).
Validación aeronáutica	Consultar con autoridad competente para homologación o uso experimental.

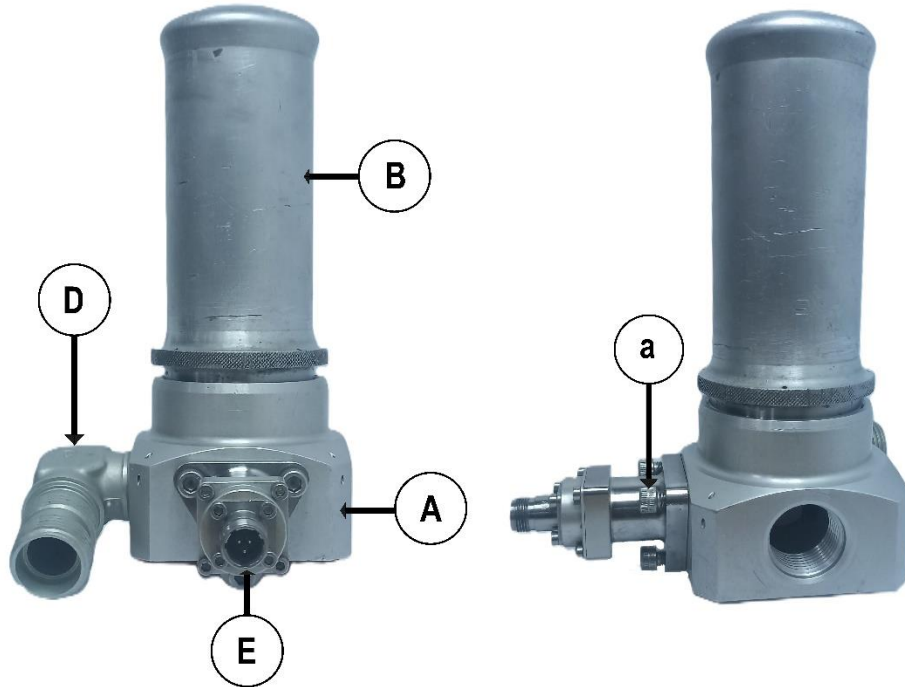
Nota Final: Se recomienda establecer una **cadena de suministro confiable** para piezas estándar (resortes, balines, sensores, O-rings) y considerar la fabricación bajo norma AS9100 o ISO 9001 para asegurar calidad aeronáutica.

7.0 Apéndice

Apéndice A – Registro Fotográfico Detallado

Fotografías tomadas durante la inspección visual, desmontaje y análisis físico del sistema.

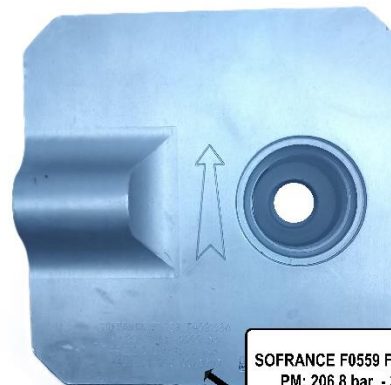
- Vista general del componente completo montado



A	Foto A-01, A-02	Base Principal / Soporte Central	Estructura principal que aloja todos los componentes y gestiona los conductos de entrada, salida y paso hacia el filtro.
B	Foto B-01	Soporte Cilíndrico / Carcasa	Contiene y sella el elemento filtrante (C). Su montaje roscado permite el acceso para el reemplazo del filtro.
D	Foto D-01, D-02	Acople tipo Codo (x2)	Proporciona la interfaz de conexión en ángulo para las líneas hidráulicas externas de entrada y salida del sistema.
E	Foto E-01	Sensor de Presión	Mide la presión del fluido para monitorear el estado del sistema. Su ubicación sugiere una medición de presión diferencial para detectar colmatación del filtro.
a	Foto a-01	Tornillos de Fijación del Sensor (x3)	Aseguran el sensor de presión (E) firmemente contra la base principal (A), garantizando un sellado correcto.



- Fotografías del sistema desmontado (por fases)
- Detalles de:
 - Base principal (cara superior e inferior)



SOFRANCE F0559 FA02168A
PM: 206.8 bar - 3000 psi
PE: 310.2 bar - 4500 psi
M483830 - 003 08/2009

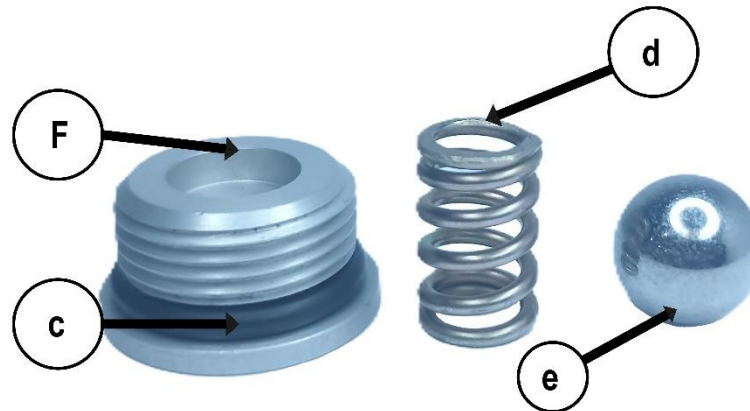
- Soporte cilíndrico



- Elemento filtrante.

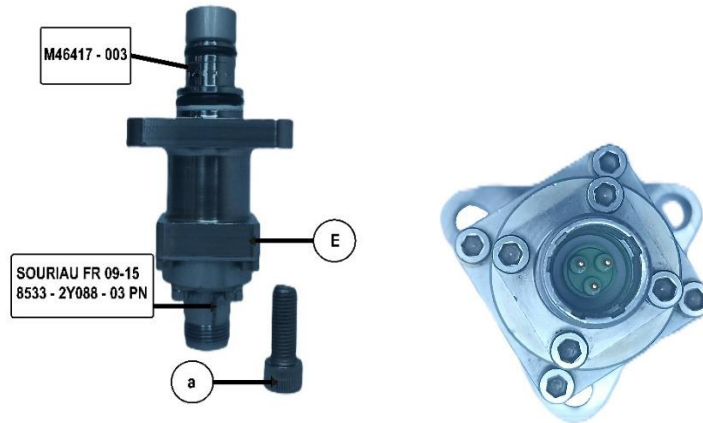


- Válvula check (balín, resorte, tapón)



F	Foto F-01	Tapón de la Válvula de Retención	Sella el alojamiento de la válvula de retención y proporciona la precarga mecánica necesaria para el resorte (d).
c	Foto c-01	Junta Tórica Tapon sistema check (O-ring)	Proporciona el sello estático principal entre el tapon del sistema de valvula check y la Base Principal (A).
d	Foto d-01	Resorte de la Válvula de Retención	Ejerce una fuerza constante sobre el balín (e) para mantener la válvula cerrada hasta que la presión del fluido supere dicha fuerza.
e	Foto e-01	Balín / Esfera de Obturación	Elemento móvil que actúa como obturador. Al ser empujado por el resorte (d), sella el paso de fluido en la válvula de retención.

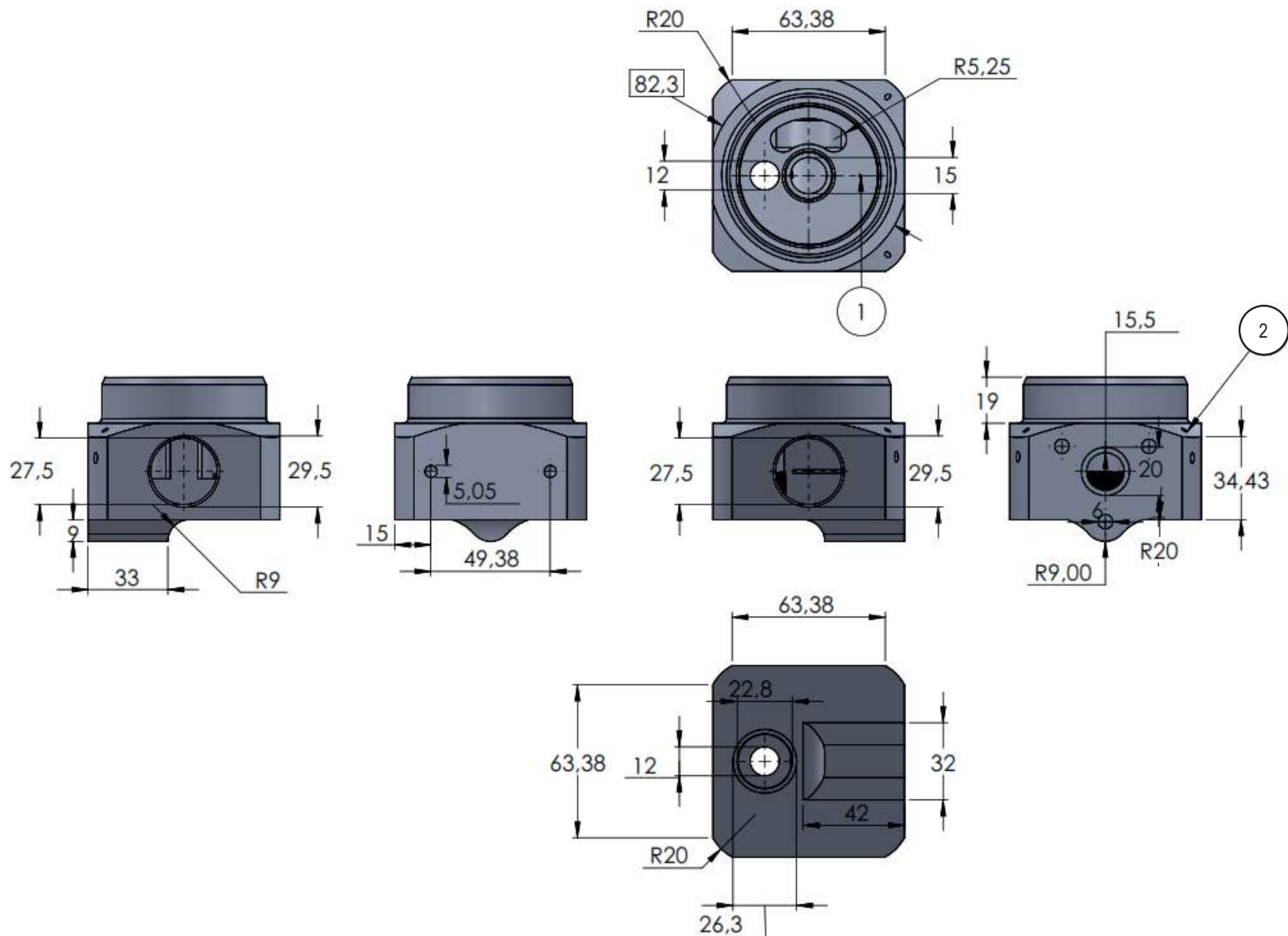
- Sensor de presión y canal de comunicación




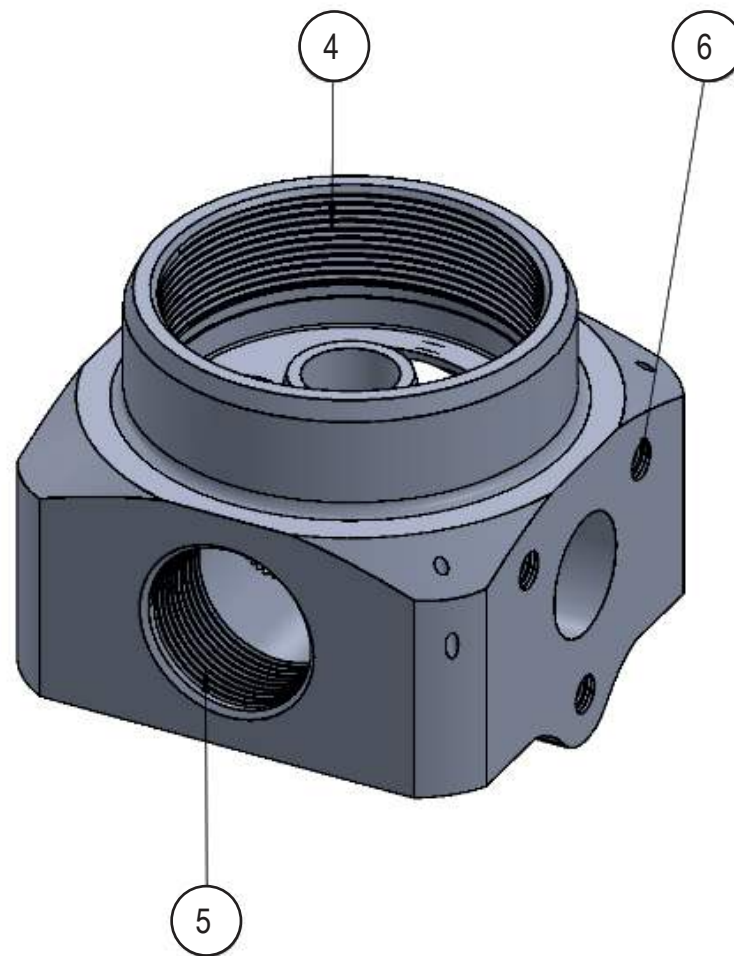
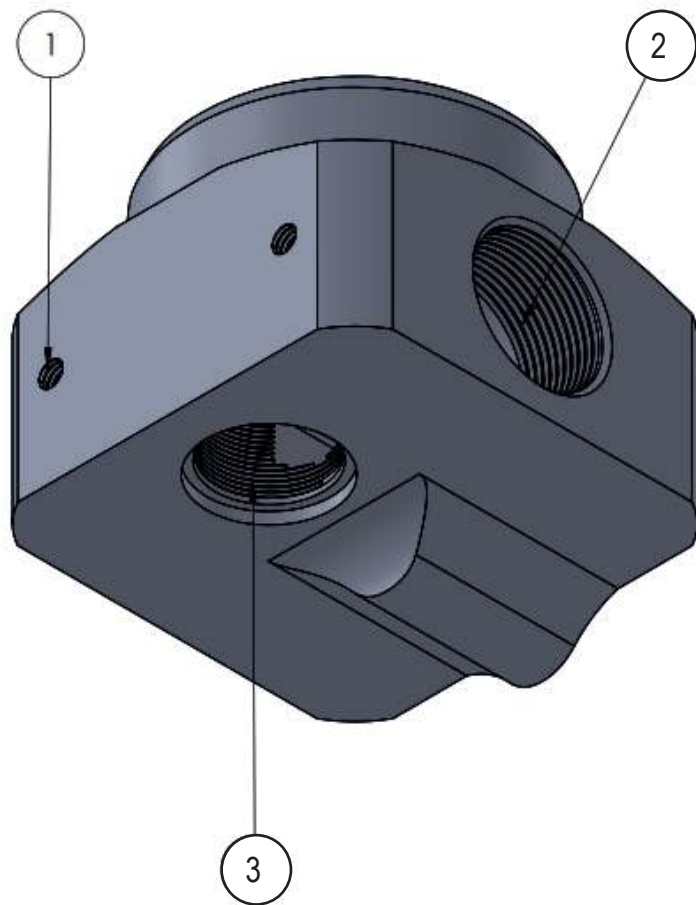
E	Foto E-01	Sensor de Presi3n	Mide la presi3n del fluido para monitorear el estado del sistema. Su ubicaci3n sugiere una medici3n de presi3n diferencial para detectar colmataci3n del filtro.
a	Foto a-01	Tornillos de Fijaci3n del Sensor (x3)	Aseguran el sensor de presi3n (E) firmemente contra la base principal (A), garantizando un sellado correcto.

- o Acoples tipo codo






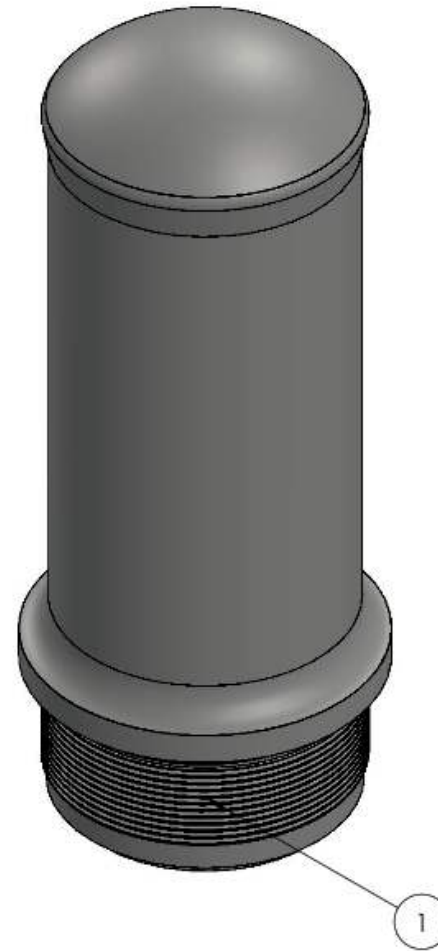
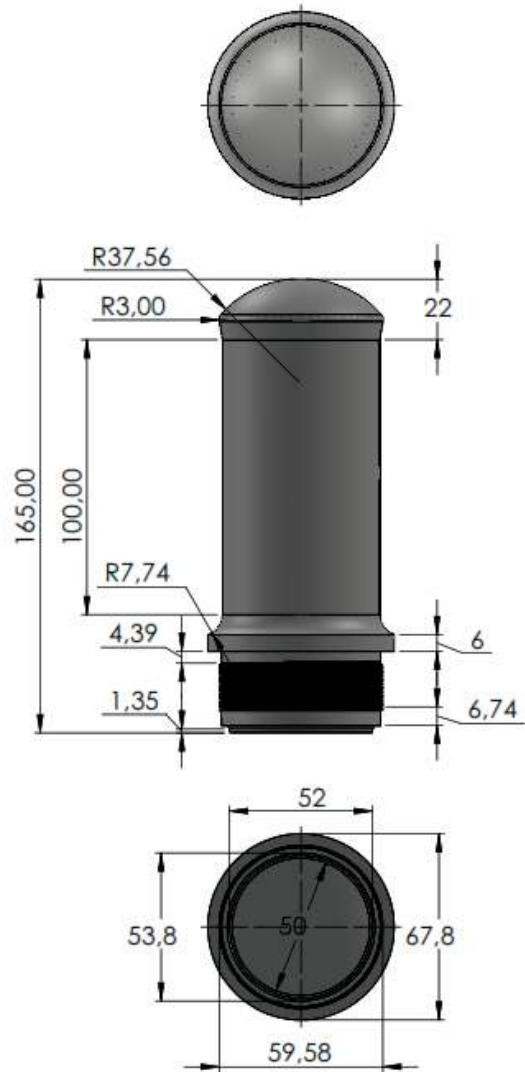
1: Perforación camara de filtro hacia sensor de presión 2: Perforaciones para frenado.	SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN milímetros (mm)		FECHA:	NOMBRE:	FIRMA:		
		DIBUJADO:	24/06/2025	Briam said castro sebastian Barbosa			
		COMPROBADO:				ESCALA:	REVISIÓN:




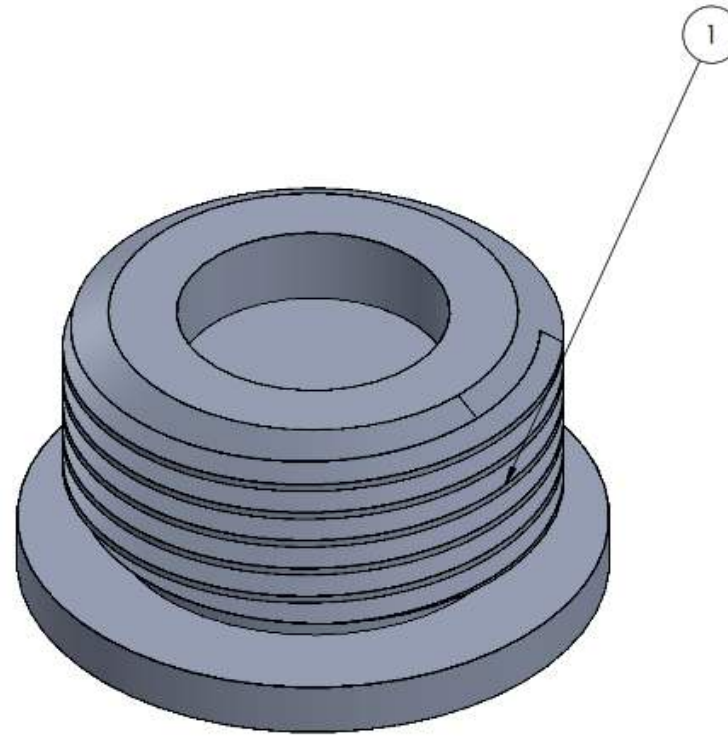
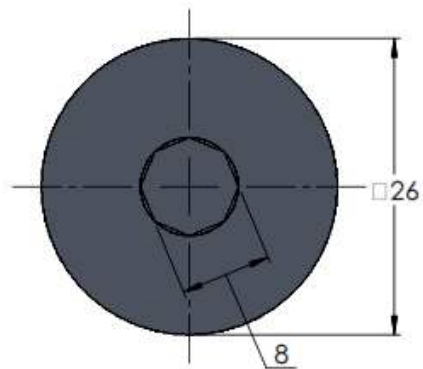
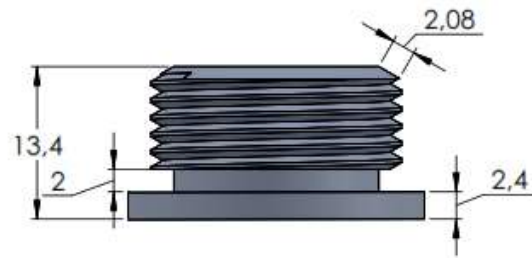
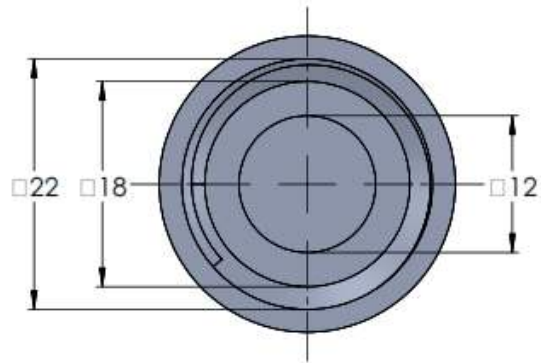
1: HELICOI, ROSCA M8 PASO 1
 2: ROSCA 1 1/16 PASO 12
 3: ROSCA 7/8 PASO 16
 4: ROSCA M 60 PASO 1.5
 5: ROSCA 1 1/16 PASO 12
 6: HELICOI M6 PASO 1


SI NO SE
 INDICA LO
 CONTRARIO:
 LAS COTAS SE
 EXPRESAN EN
 milímetros (mm)

	FECHA:	NOMBRE:	FIRMA:	 ESCALA: REVISIÓN:	
DIBUJADO:	24/06/2025	Brian said castro sebastian Barbosa			
COMPROBADO:					



1: ROSCA M 60 PASO 1.5	SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN milímetros (mm)		FECHA:	NOMBRE:	FIRMA:		
		DIBUJADO:	24/06/2025	Briam said castro sebastian Barbosa			
		COMPROBADO:				ESCALA:	REVISIÓN:



1: ROSCA M22 PASO 1.5	SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN milímetros (mm)		FECHA:	NOMBRE:	FIRMA:	 ESCALA: REVISIÓN:	
		DIBUJADO:	24/06/2025	Briam said castro sebastian Barbosa			
		COMPROBADO:					