

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y DE ENERGÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**“REDISEÑO DE UN FILTRO PARA AIRE DE SELLO RADIAL
PARA MEJORAR SU PERFORMANCE EN MOTORES DE
COMBUSTIÓN INTERNA DE VEHÍCULOS SCOOP
CATERPILLAR”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
MECÁNICO**

VÍCTOR MARTÍN GAMARRA PINEDO

CALLAO, 2022

PERÚ

INFORMACIÓN BÁSICA

FACULTAD: FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y DE ENERGÍA.

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN: ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA.

TÍTULO: “REDISEÑO DE UN FILTRO PARA AIRE DE SELLO RADIAL PARA MEJORAR SU PERFORMANCE EN MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA DE VEHÍCULOS SCOOP CATERPILLAR”.

AUTOR / CÓDIGO ORCID / DNI: VÍCTOR MARTÍN GAMARRA PINEDO / 0000-0003-4066-0057 / 72452722.

ASESOR / CÓDIGO ORCID / DNI: JUAN MANUEL PALOMINO CORREA / 0000-0002-7973-882X / 10342696.

LUGAR DE EJECUCIÓN: LABORATORIO DE FILTROS DE UNA EMPRESA MANUFACTURERA.

UNIDAD DE ANÁLISIS: FILTRO PARA AIRE DE SELLO RADIAL.

TIPO / ENFOQUE / DISEÑO DE INVESTIGACIÓN: INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA / ENFOQUE CUANTITATIVO / DISEÑO CUASI-EXPERIMENTAL.

TEMA OCDE: INGENIERÍA DE MATERIALES.

(Resolución N° 019-2021-CU del 20 de enero de 2021)

ACTA N°087 DE SUSTENTACIÓN DE TESIS CON CICLO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECÁNICO E INGENIERO EN ENERGÍA

LIBRO 001 FOLIO N° 113, ACTA N° 087 DE SUSTENTACIÓN DE TESIS DEL I CICLO TALLER DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECÁNICO

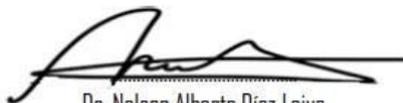
A los 20 días del mes de agosto, del año 2022, siendo las 11:23 horas, se reunieron, en la sala meet: <https://meet.google.com/civ-nwjd-nfn>, el **JURADO DE SUSTENTACION DE TESIS** para la obtención del **TÍTULO** profesional de Ingeniero Mecánico de la Facultad de Ingeniería Mecánica y de Energía conformado por los siguientes docentes ordinarios de la Universidad Nacional del Callao:

Dr. Nelson Alberto Díaz Leiva	: Presidente
Msc. Gustavo Ordoñez Cárdenas	: Secretario
Mag. Juan Adolfo Bravo Félix	: Miembro
Dr. Juan Manuel Palomino Correa	: Asesor

Se dio inicio al acto de sustentación de la tesis del Bachiller **GAMARRA PINEDO, VICTOR MARTIN** quien habiendo cumplido con los requisitos para optar el Título Profesional de **INGENIERO MECÁNICO**, sustenta la tesis titulada **“REDISEÑO DE UN FILTRO PARA AIRE DE SELLO RADIAL PARA MEJORAR SU PERFORMANCE EN MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA DE VEHÍCULOS SCOOP CATERPILLAR”** cumpliendo con la sustentación en acto público, de manera no presencial a través de la Plataforma Virtual, en cumplimiento de la declaración de emergencia adoptada por el Poder Ejecutivo para afrontar la pandemia del Covid- 19, a través del D.S. N° 044-2020-PCM y lo dispuesto en el DU N° 026-2020 y en concordancia con la Resolución del Consejo Directivo N°039-2020-SUNEDU-CD y la Resolución Viceministerial N° 085-2020-MINEDU, que aprueba las "Orientaciones para la continuidad del servicio educativosuperior universitario";

Con el quórum reglamentario de ley, se dio inicio a la sustentación de conformidad con lo establecido por el Reglamento de Grados y Títulos vigente. Luego de la exposición, y la absolución de las preguntas formuladas por el Jurado y efectuadas las deliberaciones pertinentes, acordó: Dar por **APROBADO** con la escala de calificación cualitativa de **BUENO** y calificación cuantitativa de **QUINCE (15)**, la presente Tesis, conforme a lo dispuesto en el Art. 27 del Reglamento de Grados y Títulos de la UNAC, aprobado por Resolución de Consejo Universitario N° 099-2021-CU del 30 de junio del 2021.

Se dio por cerrada la Sesión a las 12:05 horas del día 20 del mes y año en curso.



Dr. Nelson Alberto Díaz Leiva
Presidente de Jurado



Msc. Gustavo Ordoñez Cárdenas
Secretario de Jurado



Mg. Juan Adolfo Bravo Félix
Miembro de Jurado



Dr. Juan Manuel Palomino Correa
Asesor

DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico a Dios quien me dio la fuerza de voluntad para seguir adelante y bendecirme en toda mi existencia.

A mis padres quienes, gracias a su amor, esfuerzo y sacrificios en todos estos años, me brindaron todo su apoyo incondicional para cumplir la meta más deseada.

A mis abuelos que me han ofrecido todo su cariño, palabras de aliento y apoyo moral durante cada una de las etapas de mi vida para ser una mejor persona.

AGRADECIMIENTO

Agradezco toda mi vida a Dios quien siempre está conmigo presente, dándome la fortaleza necesaria para superar las adversidades y derramar sus bendiciones a toda mi familia.

Agradezco a mis padres Virgilio y Bertha, por ser mi motor principal que hacen posible el logro de mis sueños, gracias por sus valores inculcados.

Agradezco a todas mis amistades de promoción tanto del colegio como de la universidad, que estuvieron conmigo y me brindaron todo su apoyo, gracias por su confianza y buenos consejos.

Agradezco a todos los docentes académicos y catedráticos por inspirarme en mi camino como profesional, gracias por sus enseñanzas y momentos inolvidables compartidos.

Finalmente, quiere expresar mis más sinceros agradecimientos a todos los profesionales que hicieron posible esta tesis, gracias por su colaboración y por compartir todos sus conocimientos.

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN	3
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
1.1. Descripción de la realidad problemática	5
1.2. Formulación del problema	8
1.2.1. Problema general	8
1.2.2. Problemas específicos	8
1.3. Objetivos	9
1.3.1. Objetivo general	9
1.3.2. Objetivos específicos	9
1.4. Justificación	9
1.4.1. Justificación teórica	9
1.4.2. Justificación tecnológica	9
1.4.3. Justificación económica	10
1.5. Delimitantes de la investigación	10
1.5.1. Delimitante teórica	10
1.5.2. Delimitante temporal	10
1.5.3. Delimitante espacial	11
II. MARCO TEÓRICO	12
2.1. Antecedentes: Internacional y nacional	12
2.1.1. Antecedentes internacionales	12
2.1.2. Antecedentes nacionales	13
2.2. Bases teóricas	15
2.2.1. Grado del polvo de ensayo (Test Dust)	15
2.2.2. Preparación del polvo de ensayo	16
2.2.3. Aceite de prueba para filtros de aire en baño de aceite	16
2.2.4. Medios filtrantes absolutos	16
2.2.5. Validación de la eficiencia del medio filtrante absoluto (Ea)	17
2.2.6. Masa del filtro absoluto	17
2.2.7. Temperatura y humedad	17

2.2.8.	Ensayos de performance para aplicaciones automotriz.....	18
2.2.9.	Ensayos de performance para aplicaciones industriales	29
2.3.	Marco Conceptual	36
2.3.1.	Filtración.....	36
2.3.2.	Medio Filtrante.....	36
2.3.3.	Mecanismos de filtración.....	37
2.3.4.	Filtros para aire	38
2.3.5.	Presión absoluta.....	41
2.3.6.	Presión atmosférica.....	41
2.3.7.	Presión diferencial.....	41
2.3.8.	Presión manométrica (relativa)	41
2.3.9.	Área de filtración	42
2.3.10.	Clasificación de los flujos	43
2.3.11.	Ecuación de la conservación de la masa.....	45
2.3.12.	Ecuación de la conservación de la energía	45
2.3.13.	Efecto Venturi.....	47
2.3.14.	Polvo de ensayo ISO 12103-1, A2 Fine.....	48
2.3.15.	Eficiencia del filtro de aire	49
2.4.	Definición de términos básicos.....	50
III.	HIPÓTESIS Y VARIABLES	52
3.1.	Hipótesis (general y específicas).....	52
3.1.1.	Operacionalización de variable.....	53
IV.	METODOLOGÍA DEL PROYECTO	54
4.1.	Diseño metodológico	54
4.1.1.	Tipo y nivel de investigación	54
4.1.2.	Diseño de la investigación	54
4.2.	Método de investigación.....	55
4.3.	Población y muestra	55
4.4.	Lugar de estudio y periodo desarrollado	56
4.5.	Técnicas e instrumentos para la recolección de la información.....	56
4.6.	Análisis y procesamiento de datos.....	58
4.6.1.	Características de las muestras.....	58
4.6.2.	Ensayos de Restricción al Flujo de Aire	59

4.6.3. Ensayos de presión diferencial y eficiencia de filtración.....	70
4.6.4. Cálculo de la vida útil estimada.....	88
4.7. Aspectos Éticos en Investigación.....	93
V. RESULTADOS.....	95
5.1. Resultados inferenciales.....	95
5.2. Resultados descriptivos.....	99
5.2.1. Simulación del Análisis de Costos.....	99
VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	102
6.1. Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados.....	102
6.2. Contrastación de los resultados con otros estudios similares.....	102
6.3. Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes.....	104
VII. CONCLUSIONES.....	105
VIII. RECOMENDACIONES.....	106
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	107
ANEXOS.....	111
A1. Matriz de Consistencia.....	112
A2. Ficha de reporte: Ensayo de performance (aplicación automotriz).....	113
A3. Ficha de reporte: Ensayo de performance (aplicación industrial).....	114
A4. Certificado de calibración: Man. columna líquida inclinada de 10 pulgH ₂ O.....	115
A5. Certificado de calibración: Manómetro de columna líquida de 36 pulgH ₂ O.....	116
A6. Certificado de calibración: Balanza electrónica de 15Kg.....	117
A7. Certificado de calibración: Balanza electrónica de 2000g.....	118
A8. Diagrama del medidor de flujo en el tubo Venturi.....	119
A9. Estándares de ensayos de filtración con polvo ISO 12103-1.....	120
A10. Características técnicas y costos del polvo ISO 12103-1.....	122
A11. Plano del filtro para aire de sello radial rediseñado.....	123
A12. Hoja de especificaciones técnicas del motor Toyota modelo 5L.....	124
A13. Hoja de especificaciones de material del medio filtrante MF-1.....	126
A14. Hoja de especificaciones de material del medio filtrante MF-2.....	127
A15. Hoja de especificaciones de material del medio filtrante MF-3.....	128
A16. Hoja de especificaciones de material del medio filtrante MF-4.....	129
A17. Hoja de especificaciones de material del medio filtrante MF-5.....	130

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Cargador de Bajo Perfil Caterpillar R1600H.....	6
Figura 1.2. Mantenimiento del porta-filtro de aire en vehículos Caterpillar	7
Figura 1.3. Curva del tiempo de vida de un filtro para aire	8
Figura 2.1. Esquema del Banco de Ensayo de Filtros para Aire	20
Figura 2.2. Disposición del ensayo usando una carcasa para polvo.....	20
Figura 2.3. Tubo piezométrico para ingreso y salida	21
Figura 2.4. Configuración para ensayo de eficiencia y capacidad	28
Figura 2.5 Ciclo típico de flujo de aire variable (flujo promedio al 60%)	29
Figura 2.6. Disposición del banco para ensayo de eficiencia y capacidad.....	30
Figura 2.7. Mecanismos físicos de filtración	38
Figura 2.8. Filtros para aire de sello axial	39
Figura 2.9. Filtro primario y filtro secundario para aire de sello radial	39
Figura 2.10. Filtro panel para aire con marco de plástico.....	40
Figura 2.11. Filtro panel para aire con marco de resina	40
Figura 2.12. Filtro panel para aire con fibras non-woven.....	40
Figura 2.13. Niveles de referencia de presión	42
Figura 2.14. Efecto Venturi en una contracción gradual.....	48
Figura 2.15. Filtro de aire nuevo comparado con uno usado	49

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 4.1. Puntos de toma de presión al ingreso y salida	60
Imagen 4.2. Carcasa porta-filtro para ensayos de performance	60
Imagen 4.3. Muestras estándar de filtros para aire de sello axial.....	62
Imagen 4.4. Manómetro de columna líquida inclinada	63
Imagen 4.5. Manómetro diferencial de columna líquida	64
Imagen 4.6. Secado del filtro absoluto en cámara de alta temperatura	70
Imagen 4.7. Balanza electrónica de 0 a 15 Kg	71
Imagen 4.8. Sistema electromecánico alimentador del polvo contaminante.....	73
Imagen 4.9. Frascos de 3.5Kg del polvo contaminante ISO 12103-1 A2 Fine.	73
Imagen 4.10. Puesta en marcha en el PLC Allen-Bradley C300.....	74
Imagen 4.11. Disposición del inyector de polvo contaminante.....	74
Imagen 4.12. Balanza electrónica de 0 a 2000g.....	75
Imagen 4.13. Tolva para carga del polvo contaminante ISO 12103-1	75
Imagen 4.14. Filtro absoluto en condiciones finales de ensayo	76
Imagen 4.15. Filtro muestra estándar en condiciones finales de ensayo.....	76
Imagen 5.1. Filtro de aire rediseñado a instalarse en porta-filtro	98
Imagen 5.2. Conformidad de la vida útil del filtro rediseñado.....	99
Imagen 5.3. Solicitud N°6411 por cambio de especificación.....	100
Imagen 5.4. Despiece simulado por cambio de medio filtrante.....	100
Imagen 5.5. Valorización por cambio del medio filtrante	101

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Inyectores de polvo ISO recomendados.....	19
Tabla 2.2. Tipo del polvo de ensayo y su concentración.....	30
Tabla 2.3. Distribución del tamaño de partículas del polvo ISO 12103-1.....	48
Tabla 3.1. Operacionalización de variables.....	53
Tabla 4.1. Características de las muestras de filtros estándar.....	59
Tabla 4.2. Especificaciones técnicas del motor Toyota 5L.....	61
Tabla 4.3. Resistencia al Flujo de Aire con MF-1.....	65
Tabla 4.4. Resistencia al Flujo de Aire con MF-2.....	66
Tabla 4.5. Resistencia al Flujo de Aire con MF-3.....	67
Tabla 4.6. Resistencia al Flujo de Aire con MF-4.....	68
Tabla 4.7. Resistencia al Flujo de Aire con MF-5.....	69
Tabla 4.8. Condiciones del ensayo de eficiencia de filtración.....	72
Tabla 4.9. Ensayo de eficiencia de filtración con MF-1.....	81
Tabla 4.10. Ensayo de eficiencia de filtración con MF-2.....	81
Tabla 4.11. Ensayo de eficiencia de filtración con MF-3.....	82
Tabla 4.12. Ensayo de eficiencia de filtración con MF-4.....	82
Tabla 4.13. Ensayo de eficiencia de filtración con MF-5.....	83
Tabla 4.14. Datos de presión diferencial con MF-1.....	83
Tabla 4.15. Datos de presión diferencial con MF-2.....	84
Tabla 4.16. Datos de presión diferencial con MF-3.....	85
Tabla 4.17. Datos de presión diferencial con MF-4.....	86
Tabla 4.18. Datos de presión diferencial con MF-5.....	87
Tabla 5.1. Resultados de ensayos de performance.....	95

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 4.1. Caída de presión (KPa) vs. flujo (m^3/min) con MF-1	65
Gráfico 4.2. Caída de presión (KPa) vs. flujo (m^3/min) con MF-2	66
Gráfico 4.3. Caída de presión (KPa) vs. flujo (m^3/min) con MF-3	67
Gráfico 4.4. Caída de presión (KPa) vs. flujo (m^3/min) con MF-4	68
Gráfico 4.5. Caída de presión (KPa) vs. flujo (m^3/min) con MF-5	69
Gráfico 4.6. Caída de presión (KPa) vs. cap. retención (g) con MF-1.....	84
Gráfico 4.7. Caída de presión (KPa) vs. cap. retención (g) con MF-2.....	85
Gráfico 4.8. Caída de presión (KPa) vs. cap. retención (g) con MF-3.....	86
Gráfico 4.9. Caída de presión (KPa) vs. cap. retención (g) con MF-4.....	87
Gráfico 4.10. Caída de presión (KPa) vs. cap. retención (g) con MF-5.....	88
Gráfico 4.11. Caída de presión (KPa) vs. tiempo de vida (min) con MF-1	89
Gráfico 4.12. Caída de presión (KPa) vs. tiempo de vida (min) con MF-2	89
Gráfico 4.13. Caída de presión (KPa) vs. tiempo de vida (min) con MF-3	90
Gráfico 4.14. Caída de presión (KPa) vs. tiempo de vida (min) con MF-4	90
Gráfico 4.15. Caída de presión (KPa) vs. tiempo de vida (min) con MF-5	91
Gráfico 5.1. Comparativo de datos de resistencia al flujo de aire.....	96
Gráfico 5.2. Comparativo de datos de presión diferencial	96
Gráfico 5.3. Comparativo de datos del tiempo de vida útil.....	97

RESUMEN

En esta tesis de investigación, el objetivo general es rediseñar el filtro para aire de sello radial para mejorar su performance, instalado en un porta-filtro de aire para motores de combustión interna Caterpillar de vehículos SCOOP, conocidos como vehículos cargueros de bajo perfil para minería subterránea.

La tesis corresponde a un tipo de investigación tecnológica de nivel aplicado con un diseño cuasi-experimental, empleándose el método de investigación sistémico para analizar 5 muestras de medios filtrantes seleccionadas por criterio de investigación, de una población de 183, para simulación de su performance en un banco de ensayo, de los cuales resultó favorable la primera muestra con un flujo nominal de 4 m³/min, mayor restricción de flujo de 0.47 KPa y menor caída de presión final de 5.50 KPa al ser dosificado con 980 gr de polvo contaminante (ISO 12103-1, grado A2 fino), lo que se traduce como mayor resistencia al colapso del filtro para aire.

Con respecto a la durabilidad, la primera muestra del medio filtrante obtuvo una vida útil simulada de 5.3 horas para una resistencia final teórica de 30 pulg H₂O, mediante una extrapolación lineal en Microsoft Excel de los datos cuantitativos recogidos de los ensayos de eficiencia y capacidad de retención por método del filtro absoluto, según norma ISO 5011:2014. Después de un mes, se confirmó vía correo electrónico que el filtro rediseñado, enviado al cliente contratista para prueba de campo, logró 86 horas reales de vida útil.

En consecuencia, se logró mejorar la performance del filtro para aire en términos de su vida útil en un 43.3%, con una eficiencia de filtración del 99.13% y capacidad de retención de 819.5 g/m² para un nivel de 40 micras. Finalmente, en un simulador de costos se logró obtener el ahorro del costo directo por material en -14.86% y del costo total por fabricación del producto rediseñado en -8.01%; por lo tanto, resulta factible su producción en lotes.

PALABRAS CLAVE: Filtro para aire de sello radial, performance del filtro, eficiencia de filtración, vida útil.

ABSTRACT

In this research thesis, the general objective is to redesign the radial seal air filter to improve its performance, installed in an air filter holder for Caterpillar internal combustion engines of SCOOP vehicles, known as low profile subway mining vehicles.

The thesis corresponds to a type technological research of applied level with an quasi-experimental design, using the systemic research method to analyze 5 samples of filter media selected for research criteria, from a population of 183, for simulation of their performance in a test bench, of which the first sample was favorable with a nominal flow of 4 m³/min, higher flow restriction of 0.47 KPa and lower final pressure drop of 5.50 KPa when dosed with 980 gr of contaminant dust (ISO 12103-1, grade A2 fine), which translates as higher resistance to air filter collapse.

Regarding durability, the first sample of the filter media obtained a simulated full life of 5.3 hours for a theoretical final resistance of 30 inchH₂O, through a linear extrapolation in Microsoft Excel of the quantitative data collected from the efficiency and retention capacity tests by absolute filter method, according to ISO 5011:2014. After one month, it was confirmed via email that the redesigned filter, sent to the client contractor for field testing, achieved 86 real hours of full life.

Accordingly, the performance of the air filter in terms of full life was improved by 43.3%, with a filtration efficiency of 99.13% and retention capacity of 819.5 g/m² for a 40-micron level. Finally, in a cost simulator it was possible to obtain savings of -14.86% in the direct cost per material and -8.01% in the total manufacturing cost of the redesigned product; therefore, it is feasible to produce it in batches.

KEY WORDS: Radial seal air filter, performance of the filter, filtration efficiency, full life.

INTRODUCCIÓN

La investigación se centra en el rediseño de un filtro para aire de sello radial y en cómo mejorar su performance para dar solución a una aplicación tecnológica de motores de combustión interno en vehículos de servicio pesado fuera de carretera. Poniendo en práctica los conocimientos teóricos de mecánica de fluidos y tomando como referencia la norma ISO 5011:2014, se decidió investigar a fondo el problema de la saturación prematura del filtro pues no es conveniente para este tipo de aplicaciones que podría resultar en paradas no programadas con mantenimiento correctivo, perjudicando al cliente final en aumentar sus costos operativos y generando pérdidas en su producción.

Algunas de las dificultades encontradas en la investigación fueron el personal no calificado para los ensayos de laboratorio, por ello se realizó una capacitación en la norma ISO 5011, procedimientos de ensayo, reporte de resultados y operación del banco de ensayo. Por otro lado, la información publicada en esta tesis es de carácter reservado puesto que la compañía se reserva el derecho de su propiedad intelectual, no mencionando cualquier activo tanto físico como digital en el procesamiento de datos y resultados.

En el capítulo I, se explica la problemática de la performance en un filtro para aire de sello radial, el cual se comercializó con un lote de 80 unidades, presentando un tiempo de vida útil de 25 horas a comparación de otros filtros OEM del mismo tipo que ofrecen un tiempo de vida de 80 horas estimado. La causa-raíz del problema fue el medio filtrante que no cubría las expectativas de desempeño debido a su baja capacidad de retención del diseño original, por lo que surgió la necesidad de plantear una solución para la aplicación requerida que es en motores de combustión interno de vehículos SCOOP Caterpillar.

En el capítulo II, se describen los antecedentes internacionales y nacionales que describen un aporte previo a este proyecto de tesis, así como el marco teórico y conceptual que explica el sustento científico para la solución a las hipótesis planteadas.

En el capítulo III, se plantean la hipótesis general e hipótesis específicas, seguido de las definiciones conceptuales y operacionales de las variables

independiente y dependiente, detallando sus dimensiones, indicadores, método empleado y técnicas de recolección y análisis de datos.

En el capítulo IV, el diseño metodológico corresponde a una investigación de tipo tecnológica donde se obtienen valores empíricos mediante procedimientos de ensayo, logrando resultados haciendo uso de los conocimientos teóricos del principio de continuidad de masa y el principio de Bernoulli mediante un efecto de Tubo Venturi, así como valores gravimétricos al inicio y al final del ensayo. Las características técnicas, datos recogidos en laboratorio y análisis de éstos, son expuestos con el fin de aportar a una mejora de la eficiencia del producto para alargar su vida útil en horas de servicio. Durante el trabajo de investigación realizado en laboratorio, se propuso al cliente cambiar el medio filtrante por uno de alta performance, decidiendo realizar ensayos en un Banco de Pruebas para recopilar datos empíricos con el fin de calcular la eficiencia de filtración del medio filtrante óptimo. Así mismo, se comunica los resultados obtenidos de los ensayos comparativos, según norma ISO 5011:2014, detallándose las tablas y gráficos que indican el medio filtrante para un mejor performance del filtro.

En el capítulo V, se describen los resultados inferenciales por medio de datos tabulados y gráficos, y los resultados descriptivos por medio de un simulador de análisis de costos en un Sistema Informático Integrado.

En el capítulo VI, se muestra la discusión de resultados para contrastar los resultados experimentales con las hipótesis y con otros estudios similares relacionados a un rediseño del producto, así como la responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes.

Por último, se presentan las conclusiones y recomendaciones a manera de aportar conocimiento teórico y práctico para futuros investigadores que busquen información sobre el objeto de estudio de la tesis.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

Según un estudio del Ph. D. Ratan Raj Tatiya, más del 75% de las minas subterráneas del mundo utilizan equipos LHD (Load, Haul, Dump) para manipular el lodo de sus excavaciones. Los equipos LHD en minería subterránea, son conocidos como equipos de carga, transporte y volcado, por su traducción al español. Su principal función se basa en el transporte de elementos que fueron recientemente dinamitados a los buzones. Asimismo, estos poseen capacidades de carga desde 3 hasta 6 toneladas (Lopez, 2020, párr. 4-6).

En Latinoamérica, la mayoría de los gerentes de flotas tienen un conocimiento general de que el flujo de aire a través de un motor influye en el ahorro de combustible. Pero, ¿cuánto análisis hay en esa idea? ¿Se toma nota y se archiva o se trata de un elemento de acción que hay que abordar? Si pudiéramos mejorar la eficiencia de la filtración del aire en una pequeña fracción, ¿cómo se reembolsaría esa eficiencia? Una flota con 600 o más camiones que utilice la tecnología de filtración de aire PowerCore de Donaldson puede recuperar más de 100.000 dólares. Esto se debe a la relación entre el filtro de aire y el motor. Los filtros de aire restringen el flujo de aire y afectan negativamente a la eficiencia del combustible. No obstante, su sistema de filtración de aire acumula partículas nocivas que podrían reducir significativamente el rendimiento del motor, si no causar daños catastróficos (Donaldson Company Inc., 2022, párr. 2-3).

Para Jesús Izaguirre, Coordinador de proyectos mineros y generación eléctrica de la empresa DETROIT DIESEL MTU PERÚ, el motor es el corazón de los equipos mineros, y es utilizado en camiones de acarreo, cargadores, perforadoras, palas y otros equipos cuya disponibilidad es fundamental para alcanzar los valores de producción que demanda este sector. En lo que respecta a la disponibilidad de estos equipos, lograr que estos equipos reduzcan sus costos sin menguar productividad es uno de los grandes retos para este sector (DETROIT DIESEL MTU PERÚ, 2019, p. 153).

En ese sentido, se hace mención a la problemática originada en las operaciones en mina de un cliente de la compañía, que se dedica al rubro de

servicios de alquiler y operación de maquinaria pesada para el sector minero. Este cliente ejecutó su mantenimiento programado preventivo en zonas de extracción de minera subterránea donde se hace uso de vehículos SCOOP que son clasificados como vehículos de bajo perfil para carga y acarreo de minerales. En estas condiciones, es normal presenciar una concentración moderada o alta de polvo grueso y polvo fino. Al principio, este cliente contratista se disponía de un stock de filtros OEM o de marcas importadas para realizar el reemplazo de los filtros para aire usados como parte de su plan de mantenimiento de los sistemas de admisión de aire. Al darse cuenta que no le era rentable seguir comprando anualmente filtros importados, se vio en la necesidad de buscar otras alternativas viables.

Figura 1.1. Cargador de Bajo Perfil Caterpillar R1600H



Fuente: <https://s7d2.scene7.com/is/image/Caterpillar/C841383>

A partir de esta ocasión, la compañía vendió a este cliente contratista un lote de 80 unidades de un filtro para aire de sello radial equivalente que debía mantener un tiempo de vida útil similar a un filtro OEM, normalmente alcanzando hasta 80 horas o más; sin embargo, el usuario final de un área de operaciones en mina reportó que estos filtros solo consiguieron 25 horas de servicio, confirmando el no cumplimiento de la vida útil esperada en el sistema

de filtración multietapa compuesta por un filtro de aire primario y uno secundario, ambos de sello radial.

Por otro lado, los fabricantes de vehículos normalmente no recomiendan que se limpie el filtro. Sin embargo, existen conductores que tratan de sacar el último kilómetro del filtro, gastando tiempo y arriesgando el motor para lavar o soplar el filtro (Widman, 2021, p. 6).

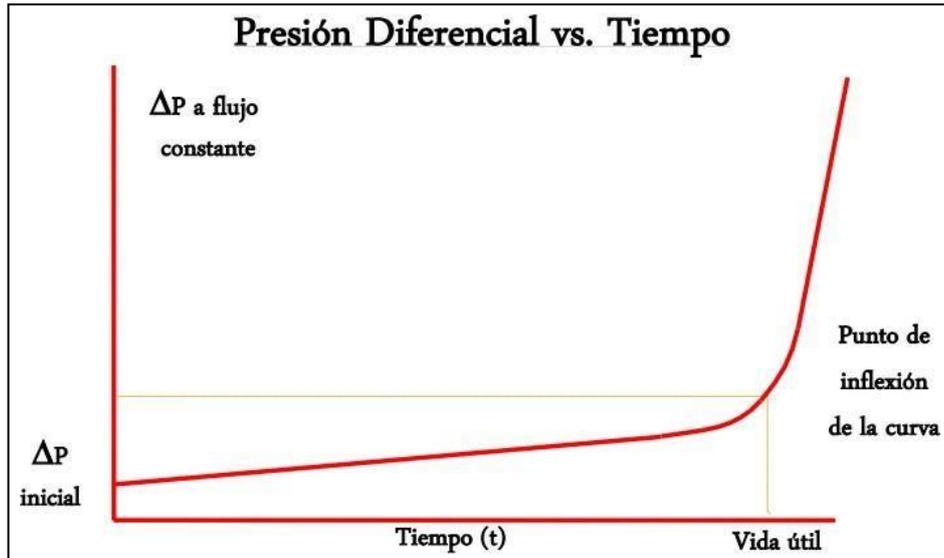
Figura 1.2. Mantenimiento del porta-filtro de aire en vehículos Caterpillar



Fuente: <https://i.ytimg.com/vi/DekFpQEKx0I/maxresdefault.jpg>

En el intento de mejorar esta situación, se propuso al cliente ofrecer una mejora del diseño del producto al cambiar el medio filtrante original por otro de mayor performance que satisfaga las condiciones de operación en minería subterránea. Sumado a esta decisión, se planificó ensayos de performance en laboratorio para un análisis comparativo de 5 muestras de medios filtrantes ensamblados en filtros de aire estándares, con el fin de simular su performance y averiguar cuál de ellos cumpliría con el nivel de protección requerido para tamaño de partículas de 40 micras. Adicionalmente, se aprovechó la oportunidad de ofrecer una mejora en el proceso de plisado del medio filtrante al agregar muescas para aumentar su capacidad de retención de polvo a través de toda el área efectiva de filtración.

Figura 1.3. Curva del tiempo de vida de un filtro para aire



Fuente: http://www.bdcint.com.do/wp-content/uploads/2017/06/Conceptos-basicos-de-filtracion_Pharm_vDS_Junio-2016.pdf

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

- ¿Cómo rediseñar el filtro para aire de sello radial para mejorar su performance en motores de combustión interna de vehículos SCOOP Caterpillar?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cómo determinar las características de las muestras de filtros que permita evaluar la performance del filtro para aire de sello radial?
- ¿Cómo determinar el método de simulación en laboratorio mediante la norma ISO 5011 que permita mejorar la performance y vida útil del filtro para aire de sello radial?
- ¿Cómo obtener la simulación del análisis de costos que permita demostrar un ahorro económico por el rediseño del filtro para aire de sello radial?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

- Rediseñar el filtro para aire de sello radial para mejorar su performance en motores de combustión interna de vehículos SCOOP Caterpillar.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar las características de las muestras de filtros que permita evaluar la performance del filtro para aire de sello radial.
- Determinar el método de simulación en laboratorio mediante la norma ISO 5011 que permita mejorar la performance y vida útil del filtro para aire de sello radial.
- Obtener la simulación del análisis de costos que permita demostrar un ahorro económico por el rediseño del filtro para aire de sello radial.

1.4. Justificación

1.4.1. Justificación teórica

Los medios filtrantes en filtros para aire comprenden una amplia gama para asegurar el nivel de limpieza del aire de admisión según norma ISO 5011, el cual nos explica las bases teóricas de la eficiencia de filtración en base a la capacidad del filtro para retener diferentes tamaños de partículas contaminantes que podrían ingresar a un motor de combustión interna, así como a un compresor, grupo electrógeno, sistemas HVAC y otros equipos industriales.

En el caso particular de este filtro para aire de sello radial en investigación, cuenta con un medio filtrante original hecho de celulosa que ofrece una eficiencia nominal del 99%, teniendo como aplicación en filtros de aire para vehículos motorizados de servicio pesado.

1.4.2. Justificación tecnológica

La aplicación tecnológica que comprende este filtro para aire de sello radial es para equipos de línea amarilla que operan en el sector minería y construcción, los cuales están en contacto directo con polvo en suspensión de tamaño de partículas mayores a 1 micra e incluso con polvo grueso. Por esta razón, se requiere de un medio filtrante de

alta performance que retenga mayor cantidad de polvo a un tiempo de vida útil estimado de 80 horas, con el fin de asegurar la disponibilidad de la flota de vehículos cargueros SCOOP con los filtros instalados.

1.4.3. Justificación económica

El costo directo del producto por materia prima, en específico referido a los medios filtrantes, en filtros OEM es muy elevado en comparación con los costos por material que la empresa fabricante incluye y ofrece al mercado nacional como costo de venta. Por lo que, para el análisis de costos se obtendrá una variación significativa en % en la reducción del costo directo del medio filtrante como expectativa para lograr un mayor tiempo de vida útil en horas de servicio.

Por otro lado, el costo de venta del producto terminado del filtro para aire de sello radial ofrecido al cliente es menor comparado con un filtro de marca reconocida en el mercado como por ejemplo en Donaldson y Sakura, no obstante, es bueno aclarar que anteriormente este producto no había presentado fallas en otras aplicaciones que se indican en su ficha técnica.

1.5. Delimitantes de la investigación

1.5.1. Delimitante teórica

Las delimitantes teóricas que influyeron en la investigación fueron las características físicas de la familia de medios filtrantes, los equipos de ensayo de laboratorio limitado a aplicaciones automotriz para pruebas de filtros para aire tanto en servicio liviano como en servicio pesado en la ejecución de los ensayos en base a la norma ISO 5011, así como la reserva de la propiedad intelectual de las fuentes primarias para la información recopilada que brinde el aporte a la investigación, contribuyendo a solucionar la problemática en la empresa.

1.5.2. Delimitante temporal

Dentro de los delimitantes temporales que identificamos en la presente investigación, podemos resaltar las condiciones operativas

del Banco de Ensayo para filtros de aire, encontrándose en buen estado de conservación a pesar de su implementación desde hace más de 30 años. Cabe indicar que aún prevalece un plan anual de calibración por lo que se puede verificar en los anexos la vigencia de los certificados de calibración de sus equipos e instrumentos. Otro factor es el tiempo invertido en horas de trabajo en el laboratorio para el análisis y reporte de resultados, pues cada ensayo de aplicación industrial demanda aproximadamente 3 horas entre la preparación, ejecución, inspección y control de las variables del ensayo.

1.5.3. Delimitante espacial

Para identificar las delimitantes espaciales de la investigación, podemos mencionar las condiciones climáticas del aire presente en el sótano del Laboratorio donde se realiza la investigación, como son la presión atmosférica, temperatura ambiente y humedad relativa que influyen en la calidad del aire interior para los ensayos de performance en las muestras. En el caso que hubiese un alto % de humedad relativa del ambiente, puede afectar los resultados del ensayo al humedecerse el polvo ISO contaminante no solo en errores de precisión sino en fallas funcionales del sistema mecánico transportador del polvo, generando tiempos de reparación significativos por mantenimiento correctivo.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes: Internacional y nacional

2.1.1. Antecedentes internacionales

Guevara (2018) presentó su tesis denominada **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN FILTRO DE AIRE DE BAÑO DE ACEITE PARA EQUIPO PESADO”** en la Universidad Tecnológica Equinoccial de Ecuador para obtener el título profesional de Ingeniero Automotriz, tiene como objetivo general en diseñar e implementar un filtro de aire de baño de aceite para equipo pesado; y concluye que al incrementar la filtración de aire en el sistema de admisión con el filtro de aire bañado en aceite, debido a la extrema cantidad de partículas contaminantes abrasivas en el aire al que se encuentra expuesta la cargadora frontal, los análisis de las muestras de aceite del filtro de aire bañado en aceite demuestran que el motor permanece limpio, reduciendo gastos de mantenimiento y también aumentando considerablemente la vida útil del filtro seco. Para la investigación, se rescata el cálculo del flujo de aire teórico que ingresa al motor de una cargadora frontal y el diseño del filtro considerando su ubicación y espacio disponible.

Ordoñez y Salamea (2020), presentaron su tesis denominada **“ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA QUE TIENE LA CALIDAD DEL FILTRO DE AIRE EN LA CONTAMINACIÓN DEL ACEITE DE UN MOTOR A DIESEL POR MATERIAL PARTICULADO”** en la Universidad Politécnica Salesiana de Ecuador para obtener el título profesional de Ingeniero Mecánico Automotriz, tienen como objetivo general en determinar la influencia que tiene la calidad del filtro de aire al exponerse a la contaminación ambiental; y concluyen que mediante el análisis de resultados obtenidos por el método de conteo partículas, indican que la combinación del filtro principal y secundario con marca Donsson posee una mejor calidad de papel filtrante, dentro de sus análisis la mayor cantidad de partículas tanto como pequeñas y grandes se encontraron dentro de la zona normal, permitiendo prolongar la vida útil del aceite

lubricante. Para la investigación, se rescata la descripción de las características técnicas de un filtro de aire y el procedimiento técnico para el análisis de un filtro de aire contaminado o usado en campo.

Álvarez y Paredez (2020) presentaron su tesis denominada **“DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA FILTROS DE AIRE DE DISTINTAS MARCAS DE VEHÍCULOS”** en la Universidad Internacional del Ecuador para obtener el título profesional de Ingeniero en Mecánica Automotriz, tienen como objetivo general en diseñar una herramienta específica que analice la eficiencia en filtros de aire de distintas marcas; y concluyen que entre filtros de aire originales y alternos se observó una diferencia de % pérdida de eficiencia en su funcionamiento, siendo muy parecida en ralentí y 2500 RPM; esta diferencia es mayor cuando ambos filtros son nuevos siendo el original el que registra una menor pérdida en un 1.04 % en relación al filtro alternativo; sin embargo una vez que se llegan a 5000 km la diferencia es menor de un 0.41% y a los 10000 km en un 0.51%, estando ambos fuera del rango óptimo de funcionamiento, por lo que se necesitaría cambiarlos sin importar su fuente de fabricación. Para la investigación, se rescata las etapas de diseño del banco de pruebas para filtros de aire, pues brindan conocimiento teórico mediante un diagrama de flujo para su funcionamiento y para obtener resultados comparativos.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Alcántara (2020) presentó su tesis denominada **“REDISEÑO DEL PORTA FILTRO DE AIRE PARA MANTENER LA PERFORMANCE DEL MOTOR TOYOTA 14B EN CONDICIONES CRÍTICAS DE EXPLOTACIÓN”** en la Universidad Tecnológica del Perú para obtener el título profesional de Ingeniero Mecánico, tiene como objetivo general en rediseñar el porta filtro de aire para mantener la performance del motor Toyota 14B en condiciones críticas de explotación; y concluye que la variación de caída de presión después del filtro de aire, según las

condiciones críticas de explotación en el PFR (porta filtro de aire rediseñado) disminuye para todo el rango de frecuencia de rotación del motor correspondiente a la frecuencia de rotación mínima, al régimen de torque máximo, al régimen de frecuencia de rotación intermedia y al régimen de frecuencia de rotación nominal, en 20%, 23,08%, 27,50% y 28%, respectivamente, comparado con la caída de presión en el PFO, porta filtro de aire original. Para la investigación, se rescata el procedimiento experimental según la metodología de ensayos de restricción y de presión diferencial en el porta-filtro de aire rediseñado.

Ticse (2018) presentó su tesis denominada **“PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE FILTROS DE AIRE FLEETGUARD DE TECNOLOGÍA NANOFORCE, PARA REDUCIR COSTOS EN LOS MANTENIMIENTOS PREVENTIVOS DEL MOTOR CUMMINS K2000”** en la Universidad Privada del Norte para obtener el título profesional de Ingeniero Industrial, tiene como objetivo general en mejorar los costos de los filtros de aire que se utilizan en los mantenimientos preventivos del motor diésel CUMMINS modelo K2000 instalado en camiones KOMATSU; y concluye que utilizando nuevos filtros de aire FLEETGUARD en camiones mineros KOMATSU en un aproximado de 08 meses de prueba piloto desde escoger y preparar los equipos, instalar los restrictores de medición e implementar una balanza para tener el peso de los filtros, el Camión C12 (con filtro FLEETGUARD) llegó a 3000 horas de operación trabajando solo el 55% de su vida útil según los parámetros del fabricante; a diferencia del Camión C15 (con filtro DONALDSON) llegó a 500 horas de operación con una vida útil del 80%. Para la investigación, se rescata los conocimientos teóricos de los tipos de filtros de aire utilizados en motores Diesel, características y especificaciones técnicas, así como los resultados comparativos en costos, eficiencia y desempeño de los filtros de aire utilizados en las pruebas piloto.

Ramírez (2019) presentó su tesis denominada “**FABRICACIÓN DE MOLDES PARA POLIURETANO EN IMPRESIÓN 3D PARA REDUCIR EL TIEMPO DE FABRICACIÓN DE LAS MATRICES DE PROTOTIPOS DE FILTROS DE AIRE CON SELLO RADIAL**” en la Universidad Nacional del Callao para obtener el título profesional de Ingeniero Mecánico, tiene como objetivo general en fabricar moldes para poliuretano en impresión 3D para reducir el tiempo de fabricación de las matrices de prototipos de filtros de aire con sello radial; y concluye que se redujo en promedio un 29.3% del tiempo de fabricación de las matrices de prototipos de filtros de aire con sello radial, mediante la fabricación de los moldes para poliuretano en impresión 3D. Adicionalmente, se determinó que el PLA (ácido poliláctico, material usado en los filamentos para impresión 3D) soporta sin deformaciones el cambio de temperatura producto de la reacción exotérmica del poliuretano. Para la investigación, se rescata los conocimientos teóricos de los componentes principales de un filtro para aire de sello radial y el comportamiento térmico del poliuretano que asegure la sellabilidad del producto terminado en su porta-filtro.

2.2. Bases teóricas

Las bases teóricas presentadas a continuación, se sustentan en la norma ISO 5011:2014 que detalla los procedimientos de ensayos de performance en filtros de aire secos para aplicaciones automotriz en motores de combustión interna y aplicaciones industriales en compresores.

2.2.1. Grado del polvo de ensayo (Test Dust)

El polvo de prueba que se utilizará debe ser ISO 12103 - A2 (ISO fino) o ISO 12103 - A4 (ISO grueso), sujeto bajo acuerdo entre el fabricante del filtro y el cliente. El análisis químico y la distribución del tamaño de partícula deberá cumplir con la norma ISO 12103-1. A falta de un acuerdo sobre el polvo, para filtros de una sola etapa, usar polvo fino de prueba ISO; y para filtros multietapa, usar polvo grueso de prueba ISO.

2.2.2. Preparación del polvo de ensayo

Antes de usar el polvo de prueba, se debe mezclar una cantidad suficiente en un recipiente sellado por un mínimo de 15 min. A continuación, se permitirá que el polvo de prueba llegue a aclimatarse para una masa constante bajo las condiciones de prueba prevalecientes. Para asegurar una tasa constante de dosificación de polvo con algunos dispositivos dosificadores, puede ser necesario calentar el polvo antes de ser alimentado al inyector.

2.2.3. Aceite de prueba para filtros de aire en baño de aceite

El aceite utilizado para probar los filtros de aire en baño de aceite debe ser el especificado por el fabricante del filtro y el acordado por el usuario para su uso a la temperatura ambiente adecuada. Si no se especifica un aceite, el aceite de prueba debe ser un aceite de servicio pesado y su viscosidad a la temperatura de la prueba se ajustará de la siguiente manera: 85 mm²/s para pruebas de arrastre de aceite y restricción/presión diferencial; 330 mm²/s para ensayos de eficiencia y capacidad, incluida una prueba de transferencia de aceite después de la prueba de capacidad.

2.2.4. Medios filtrantes absolutos

El filtro absoluto puede consistir en un medio de fibra de vidrio con un espesor mínimo de 12,7 mm y un mínimo densidad de 9,5 kg/m³. El diámetro de la fibra será de 0,76g a 1,27g y la absorción de humedad será menos del 1 % en masa después de la exposición a 50 °C y 95 % de humedad relativa durante 96 h. El medio filtrante absoluto debe ser instalado con el lado más abierto hacia arriba, en un soporte hermético que adecuadamente se coloque el medio filtrante. La velocidad frontal no debe exceder aprox. 0,8 m/s para mantener su integridad.

Como alternativa, se puede usar un medio filtrante no tejido con la eficiencia descrita en la ecuación 1. Para reducir cualquier error posterior en las medidas causadas por pérdidas de fibras o materiales, el filtro absoluto estará sujeto a un flujo de al menos el 110 % del flujo nominal de aire ambiente durante 15 min antes del primer pesaje de prueba. El uso de un filtro absoluto con refuerzo minimizará la pérdida de fibra.

2.2.5. Validación de la eficiencia del medio filtrante absoluto (Ea)

Primero, se tiene que disponer de dos filtros absolutos en tándem, luego realizar una prueba de eficiencia del filtro y determinar el aumento de masa de cada filtro absoluto de acuerdo con el procedimiento de ensayo con el método del filtro absoluto. La eficiencia del filtro absoluto debe ser como mínimo del 99 % para el contaminante que se le presente según la ecuación (1):

$$E_a = \frac{\Delta m_A}{\Delta m_A + \Delta m_B} \times 100\% \quad \dots (1)$$

Donde:

- E_a es la eficiencia del filtro absoluto.
- Δm_A es el aumento de masa del filtro absoluto aguas arriba.
- Δm_B es el aumento de masa del filtro absoluto aguas abajo.

2.2.6. Masa del filtro absoluto

El filtro absoluto se pesará con una precisión de 0,01 g, después de que la masa se haya estabilizado. La estabilización en una balanza puede lograrse mediante el almacenamiento en un horno ventilado a una temperatura constante de 105°C ± 5 °C. El filtro absoluto se pesará dentro del horno. Alternativamente, el aire puede ser arrastrado a través del filtro absoluto durante 15 min y luego se pesa el filtro.

2.2.7. Temperatura y humedad

Todas las pruebas se realizarán con aire exterior que ingrese al filtro para aire a una temperatura de 23°C ± 5 °C. Las pruebas deberán realizarse a una humedad relativa de 55% ± 15%, la variación permisible en cada etapa de pesaje a lo largo de cada prueba individual viene siendo de ± 2 %. Los resultados de las pruebas de un filtro de aire se verán afectados por la humedad relativa del aire que lo atraviesa y los resultados de pruebas idénticas llevadas a cabo cerca de los dos extremos del rango permitido de la humedad relativa puede no ser directamente comparable, por ello los ensayos deben realizarse dentro de los límites más estrechos de rango de temperatura y humedad relativa posible.

2.2.8. Ensayos de performance para aplicaciones automotriz

Los ensayos de performance (rendimiento) se realizarán en un ensamble completo del filtro de aire o en un solo filtro elemento de aire, de los cuales la primera opción es preferida. Los ensayos consistirán en una prueba de presión diferencial / restricción del flujo de aire, una prueba de eficiencia y una prueba de capacidad de retención de polvo. Además, se debe realizar una prueba de colapso de presión en el filtro elemento de aire.

a) Equipo de ensayo

Usar un alimentador de polvo que conlleve el uso de un inyector de polvo con aire comprimido, es capaz de dosificar el polvo en el rango de caudales requeridos. Este sistema de alimentación de polvo no cambiará la distribución del tamaño de las partículas primarias del contaminante. La presión de alimentación de aire será de 100 kPa como mínimo, mientras que la presión del inyector en servicio pesado debe ser de 280 kPa como mínimo.

El sistema de alimentación de polvo se validará de la siguiente manera:

- Cargar el alimentador de polvo con una cantidad previamente pesada de polvo de prueba ISO 12103.
- Iniciar simultáneamente el sistema de alimentación de polvo y el temporizador para una mayor precisión de recojo de datos.
- A intervalos de 5 min, determinar la masa de polvo dispensada. Continuar registrando los valores de masa por incrementos de polvo durante 30 min.
- Ajustar el alimentador de polvo hasta que la tasa de dosificación promedio esté dentro del 5 % de la tasa deseada y la desviación en la tasa de dosificación promedio no sea más del 5 %.

Utilizar un tubo de transferencia de polvo entre el alimentador de polvo y el inyector de un tamaño adecuado para mantener la suspensión del polvo. Se recomienda el uso del inyector de polvo descrito en la tabla 2.1.

Tabla 2.1. Inyectores de polvo ISO recomendados

Tasa de polvo dosificado (g/min)	0 a 26	26 a 45	>45
Tipo de inyector	Inyector ISO	Inyector ISO o Inyector Servicio-Pesado ISO	Inyector Servicio-Pesado ISO

Fuente: Estándar internacional ISO 5011:2014, 3era. edición.

Se ha demostrado que el inyector ISO especificado alimenta polvo satisfactoriamente a velocidades de hasta 45 g/min. Cuando se requieran velocidades de alimentación de polvo superiores a ésta, se deberá utilizar más de un inyector. Cabe señalar que el diseño del sistema que alimenta el polvo de prueba al inyector puede afectar esta tasa máxima de alimentación de polvo. Por lo tanto, la tasa de alimentación de polvo máxima alcanzable debe determinarse antes de utilizar el sistema de inyección/alimentación de polvo para los ensayos de los filtros para aire.

Las boquillas de los inyectores están sujetas a la erosión natural. La erosión puede afectar la distribución y entrega del contaminante de prueba, por lo tanto, se recomienda utilizar un diseño con piezas reemplazables. Para el ensayo del filtro de aire ensamblado, usar una carcasa y una configuración acordadas por el fabricante y el usuario de acuerdo con la Figura 2.1. Para la prueba del filtro elemento de aire, usar una disposición de ensayo como se muestra en la Figura 2.2. Cuando el equipo de ensayo es como se muestra en la Figura 2.2, el polvo se introduce en la cámara y para asegurarse de que no se adhiera a las paredes y se distribuya uniformemente, se deben proporcionar chorros de aire comprimido seco en la tubería flexible para su ingreso en la carcasa, configurada para agitar cualquier polvo que se asiente.

Cuando se utilice aire comprimido para agitar el polvo, se debe tener cuidado de no expulsar polvo de la cámara, para garantizar esto debe mantenerse una presión negativa entre la carcasa y el ingreso libre abierto a la atmósfera.

Figura 2.1. Esquema del Banco de Ensayo de Filtros para Aire

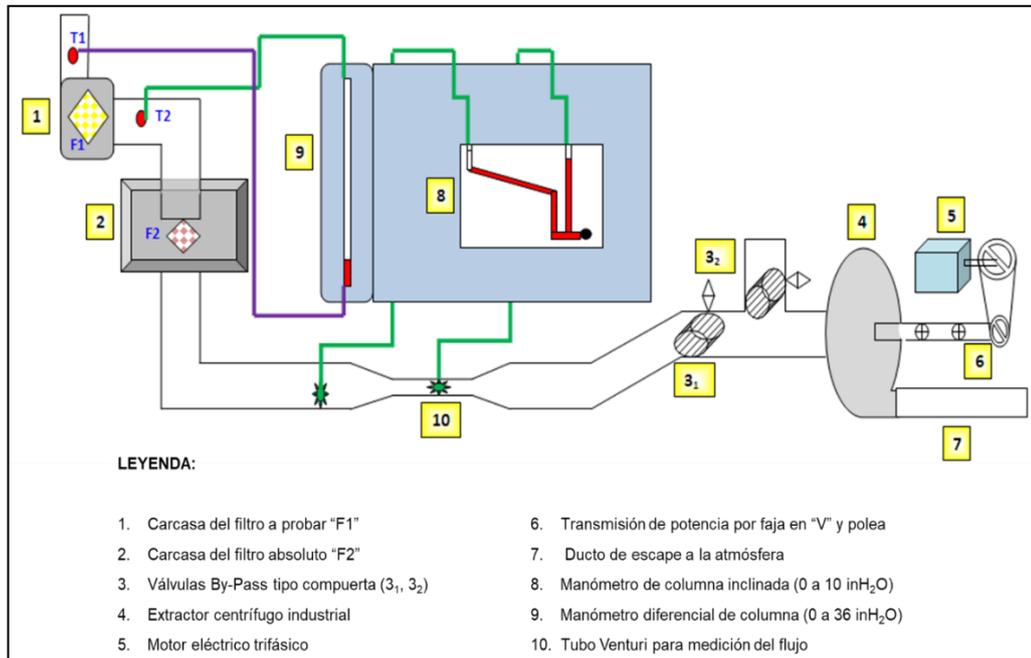
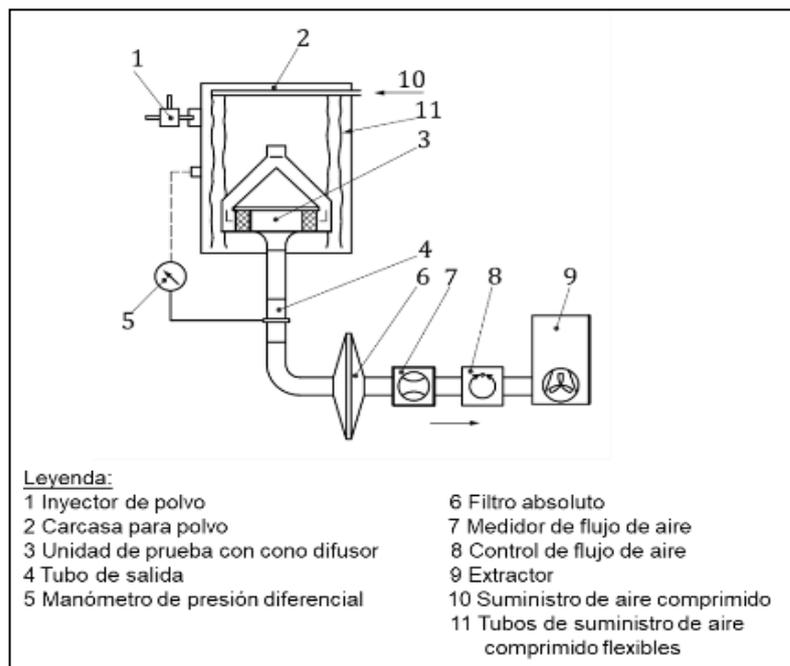


Figura 2.2. Disposición del ensayo usando una carcasa para polvo



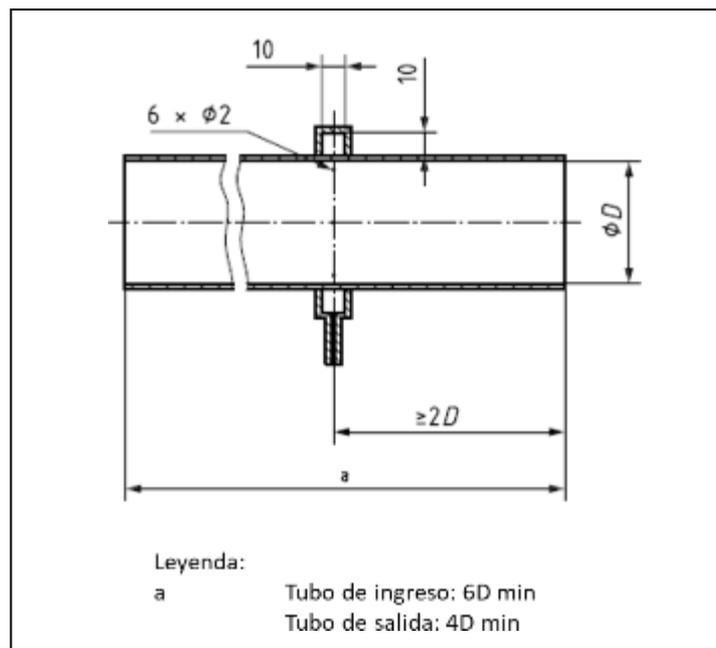
Fuente: Estándar internacional ISO 5011:2014, 3era. edición.

Utilizar un tubo de salida conforme a la Figura 2.3. La sección transversal será la misma que la salida del filtro de aire. En el caso de condiciones de flujo

no uniformes causadas por tubos de salida especiales, pueden ser necesarias precauciones especiales.

El caudalímetro de aire debe tener un diseño aceptable, como un orificio calibrado y un manómetro conforme a la norma ISO 5167-1. La unidad de orificio debe estar marcada permanentemente de modo que pueda identificarse después de la calibración. Se deben hacer correcciones por variaciones en la presión absoluta y la temperatura a la entrada del medidor y el caudal de aire se debe expresar en metros cúbicos por minuto corregido a condiciones estándar. Utilice un sistema de control de la tasa de flujo de aire capaz de mantener la tasa de flujo indicada dentro del 1 % del valor seleccionado durante la operación de flujo de aire constante y variable.

Figura 2.3. Tubo piezométrico para ingreso y salida



Fuente: Estándar internacional ISO 5011:2014, 3era. edición.

Utilizar un soplador/extractor para inducir el flujo de aire a través del sistema, que tenga características adecuadas de caudal y presión para los filtros que se van a probar. La pulsación del caudal debe ser tan baja que no sea medible por el sistema de medición del caudal.

Se requiere conexión a tierra para todos los aparatos de prueba para reducir los efectos de las cargas estáticas y mejorar la consistencia de los

resultados de la prueba. Se recomienda la conexión a tierra de superficies metálicas y no metálicas, carcasas, tubos de transporte de polvo, inyector y hardware asociado.

b) Ensayo de restricción de flujo y presión diferencial

El propósito de esta prueba es determinar la restricción por presión diferencial o pérdida de presión a través del filtro de ensayo, que resultará cuando pase aire bajo condiciones predeterminadas. La restricción del flujo de aire o la presión diferencial se mide con un elemento o elementos filtrantes limpios, en cinco flujos de aire igualmente espaciados de entre el 50% y el 150% del flujo de aire nominal, o según lo acordado entre el usuario y fabricante. El procedimiento de ensayo de restricción y presión diferencial es el siguiente:

- Acondicionar el sistema a la tasa de flujo de aire a la que se prueba el filtro durante al menos 15 min en condiciones de temperatura y humedad como se especificó anteriormente hasta que la masa se haya estabilizado.
- Instalar el banco de pruebas, así mismo sellar todas las juntas para evitar fugas de aire al momento de conectar las tomas de presión.
- Medir y registrar la restricción y la presión diferencial frente al caudal a aproximadamente el 50 %, 75 %, 100 %, 125 % y 150 % del caudal de aire nominal, o según lo acordado entre el usuario y el fabricante.
- Registrar la temperatura ambiente, la presión y la humedad relativa.
- Corregir la restricción y la presión diferencial para condiciones estándar de 20°C y 1013 hPa (1013 mbar). La resistencia, ΔP , del filtro de aire se puede representar mediante la siguiente expresión:

$$\Delta P = K_1 \mu q_v + K_2 \rho q_v^2 \quad \dots (2)$$

Donde:

- K_1, K_2 son constantes empíricas
 - μ es la viscosidad dinámica (mmPa.s)
 - ρ es la densidad del aire (kg/m³)
 - q_v es el flujo volumétrico (m³/min)
- Para determinar la caída de presión a través del filtro de aire, se debe tener en cuenta cualquier diferencia en el área de la sección transversal de los

conductos en los puntos de toma de presión aguas arriba y aguas abajo para determinar la presión diferencial a través del separador, viene dada por la fórmula:

$$\Delta P_1 = \Delta P_d - \left(\frac{\rho \cdot v_2^2}{2} - \frac{\rho \cdot v_1^2}{2} \right) \quad \dots (3)$$

Donde:

- ΔP_d es la presión diferencial medida
- ρ es la densidad del aire
- v_1 es la velocidad del aire en el ducto aguas arriba
- v_2 es la velocidad del aire en el ducto aguas abajo
- Graficar los resultados en una hoja milimetrada o equivalente de la restricción del flujo de aire o de la presión diferencial en KPa versus el caudal de aire en m³/min.

c) Ensayo de eficiencia de filtración

El propósito de esta prueba es determinar las capacidades de retención de polvo del filtro de aire bajo prueba. Este ensayo se puede realizar con flujo de aire constante o variable y con polvo grueso o polvo de prueba fino. Si se desea, las pruebas de eficiencia se pueden realizar simultáneamente con las pruebas de capacidad. La determinación de la eficiencia con un flujo de aire de prueba constante se puede realizar con el flujo de aire nominal o cualquier porcentaje de este, según lo acordado por el usuario y el fabricante. La determinación de la eficiencia con flujo de aire variable se puede realizar usando un ciclo de flujo de acuerdo con un Ensayo de Flujo de Aire Variable.

c.1) Tipos de ensayo de eficiencia

Se pueden realizar 3 tipos de ensayos de eficiencia:

- **Eficiencia de vida útil**, determinada cuando se alcanza la condición final, es decir, la presión diferencial final.
- **Eficiencia incremental**, determinada cuando, por ejemplo, se alcanza el 10 %, el 25 % y el 50 % de la presión diferencial final menos la presión diferencial inicial.

- **Eficiencia inicial**, determinada después de añadir 20g de contaminante o el número de gramos equivalente a 6 veces el flujo de aire en metros cúbicos por minuto, cualquiera que sea el de mayor valor.

c.2) Procedimiento de ensayo por método del Filtro Absoluto

- Basándose en el flujo de prueba, calcular la tasa de alimentación de polvo de prueba usando una concentración de polvo de $1,0 \text{ g/m}^3$ de aire; en casos especiales en filtros de aire para servicio liviano se pueden permitir $0,25 \text{ g/m}^3$ ó $0,5 \text{ g/m}^3$.
- Acondicionar la unidad de ensayo sellando todas las juntas para evitar fugas de aire al momento de conectar las tomas de presión, luego medir y registrar la masa del filtro elemento de aire antes de ensamblarlo.
- Pesar la almohadilla del filtro absoluto como se especifica en el punto 2.2.6 y registrar la masa antes de ensamblarlo dentro de la carcasa del filtro absoluto como se muestra en la figura 2.2.
- Instalar el banco de ensayo como se muestra en la Figura 2.2 para filtros elementos de aire. Sellar todas las juntas para evitar fugas de aire.
- Registrar la temperatura y la humedad relativa.
- Preparar el polvo de ensayo especificado de acuerdo con el punto 2.2.2 y pesar la cantidad requerida para la prueba en un recipiente adecuado. Para ensayos de eficiencia de vida completa (vida útil), la cantidad debe ser aproximadamente el 125 % de la capacidad estimada de retención del filtro de aire. Registrar la masa del recipiente y el polvo con una precisión de 0,1g.
- Iniciar el flujo de aire a través del banco de ensayo y estabilizar el caudal de prueba mediante una válvula de estrangulamiento. Registrar la presión diferencial entre los puntos de ingreso y salida en la carcasa del filtro de aire.
- Cargar el alimentador de polvo desde el contenedor y ajustar la tasa de alimentación para inyectar polvo a la concentración calculada (flujo de aire nominal multiplicado por concentración de polvo) en g/min. Volver a cargar el alimentador de polvo desde el contenedor durante la prueba según sea necesario.

- A intervalos de tiempo especificados (se recomienda un mínimo de cinco puntos), registrar la presión diferencial en el flujo de prueba y el tiempo de prueba transcurrido.
- Continuar la prueba hasta que se alcance la condición final especificada.
- Terminado el ensayo, registrar la temperatura y la humedad relativa en la condición final alcanzada.
- El polvo en las superficies exteriores que pueda haberse depositado en la cámara de prueba/conducto en el lado de entrada del filtro de prueba se debe recolectar con cuidado y transferir al contenedor de polvo, previamente pesado, junto con el polvo que quedase en el inyector.
- Volver a pesar el contenedor de polvo y restar el resultado de la masa registrada antes de comenzar el ensayo. La diferencia es la masa de polvo alimentada a la unidad de prueba (filtro de aire).
- Retirar cuidadosamente el filtro de aire sin perder nada de polvo. Tenga en cuenta cualquier evidencia de fugas en el sello o condiciones inusuales. Pesar el filtro, en gramos, dentro del 1 % del valor real. El aumento de masa será esta masa menos la masa determinada inicialmente. En la prueba de eficiencia de vida completa este aumento de masa es la capacidad de retención del polvo en el filtro de aire ensayado.
- Cepillar cualquier polvo observado en el lado aguas abajo del filtro de prueba sobre el filtro absoluto. Retirar con cuidado el filtro absoluto, registrar la masa final y determinar la diferencia de masa. Este es el aumento de masa del filtro absoluto.
- Calcular el balance de masa, B, del polvo de prueba. Para que el ensayo sea válido, este valor deberá estar dentro del rango de 0,98 a 1,02:

$$B = \frac{\Delta m_F + \Delta m_u}{m_D} \quad \dots (4)$$

Donde:

- Δm_F es el incremento de masa en el filtro absoluto.
- Δm_u es el incremento de masa de la unidad de prueba.
- m_D es la masa total del polvo alimentado.

- Finalmente, calcular la eficiencia de filtración, E, mediante la siguiente expresión:

$$E = \frac{\Delta m_u}{\Delta m_u + \Delta m_F} \times 100\% \quad \dots (5)$$

Donde los símbolos son mostrados como en la ecuación 4.

c.3) Procedimiento de ensayo por método del pesaje directo

El método del pesaje directo se puede utilizar para la determinación de la eficiencia acumulativa cuando la humedad se puede controlar con un margen de $\pm 1,0 \%$ y la precisión del aumento de masa del filtro se determina con un margen de error del $0,1 \%$.

Cuando se disponga de una balanza adecuada, grande y precisa, se permite utilizar un método de pesaje directo para evaluar el performance (rendimiento) de la unidad bajo prueba. En tales casos, el filtro de aire bajo prueba debe probarse de acuerdo con el procedimiento de ensayo por método del filtro absoluto, omitiendo las operaciones descritas sobre el registro del incremento de masa del filtro absoluto, el cálculo del balance de material y el resultado de la eficiencia de filtración. Como consecuencia, se procede a calcular la eficiencia, E, de la siguiente manera:

$$E = \frac{\Delta m_u}{m_D} \times 100\% \quad \dots (6)$$

Donde los símbolos son mostrados como en la ecuación 4. El informe de ensayo debe indicar el método de determinación de la eficiencia utilizado.

d) Ensayo de capacidad de retención

El propósito de este ensayo es determinar la ganancia de masa total en el filtro de prueba en la condición final. Este ensayo se puede realizar con un flujo de aire constante o variable y con un contaminante de polvo fino o grueso. Si se desea, la capacidad de retención se puede realizar simultáneamente con el ensayo de eficiencia de filtración.

- Acondicionar el sistema a la tasa de flujo de aire a la que se prueba el filtro durante al menos 15 min en condiciones de temperatura y humedad como se especificó anteriormente hasta que la masa se haya estabilizado,

luego ejecutar el ensayo según los procedimientos de ensayo descritos por el método del filtro absoluto o por el método de pesaje directo.

- Suponiendo una relación constante de tiempo transcurrido frente a la alimentación de polvo en el filtro de prueba, registrar los datos y trazar la curva de caída de presión versus la ganancia de masa retenida en el filtro, se recomienda un mínimo de cinco puntos para intervalos de tiempo especificados en la toma de datos de este ensayo.
- Determinar el valor de la ganancia de masa o capacidad de retención de polvo en el filtro de prueba tal como sigue:

$$\Delta m_t = \frac{t_1}{t_T} \times \Delta m_{UT} \quad \dots (7)$$

Donde:

- Δm_t es el incremento en masa al final de cada intervalo.
- t_1 es el tiempo total al final de cada intervalo.
- t_T es el tiempo total al final del ensayo.
- Δm_{UT} es el incremento total en masa del filtro al final del ensayo.

En el caso de que la condición final sea la caída de presión en el filtro, no incluye la retención de polvo añadida por el dispositivo de mezcla de polvo y la carcasa de prueba.

e) Ensayo de presión de colapso del elemento filtrante

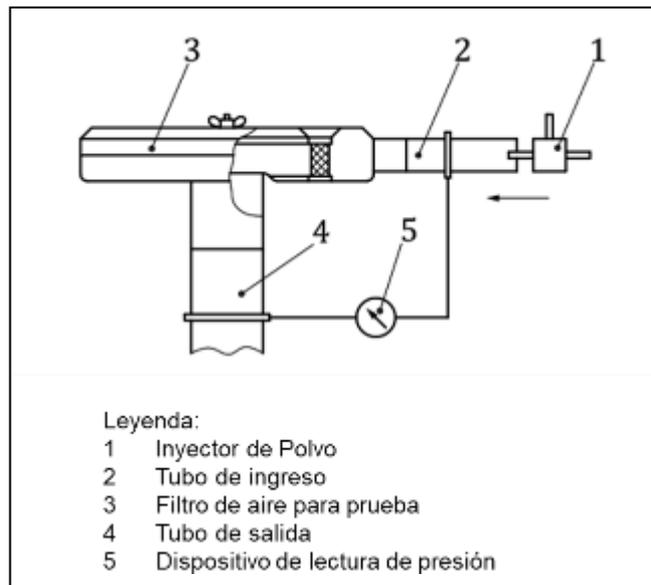
El propósito de esta prueba es determinar la capacidad de un filtro elemento de aire para soportar una presión diferencial específica y/o determinar la presión diferencial a la que se produce el colapso.

- Configurar el banco de ensayo para realizar la prueba básica de capacidad de retención de polvo de acuerdo con la Figura 2.4. Para este ensayo se puede utilizar el elemento de filtro de aire que se probó en un ensayo de capacidad, eficiencia anterior o un elemento nuevo.
- Aumentar el flujo de aire a través del sistema y, si es necesario, alimentar el polvo a cualquier velocidad conveniente hasta que se alcance la presión

diferencial especificada o hasta que el colapso del elemento sea indicado por una disminución en la presión diferencial o un aumento en el flujo de aire.

- Registrar la presión diferencial máxima alcanzada, la razón para terminar el ensayo y la condición del filtro elemento de aire después de la prueba

Figura 2.4. Configuración para ensayo de eficiencia y capacidad



Fuente: Estándar internacional ISO 5011:2014, 3era. edición.

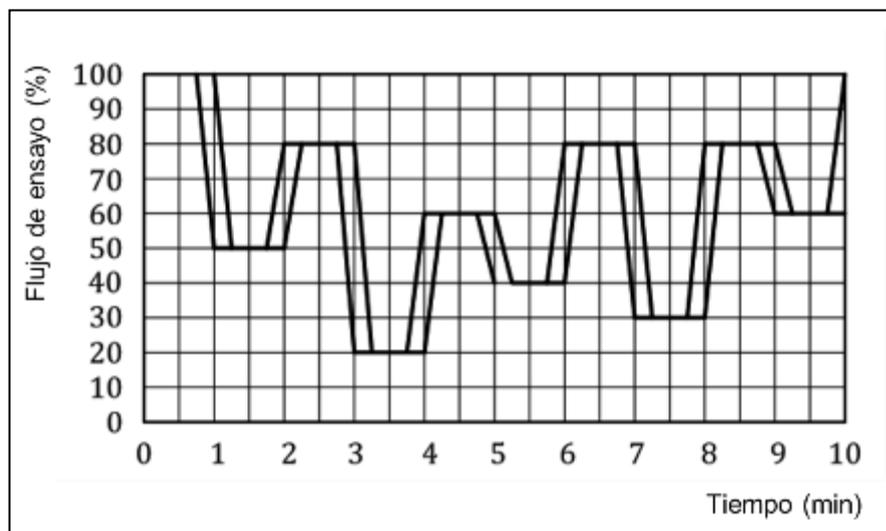
f) Ensayo de flujo de aire variable

Como opción alterna al ensayo de flujo de aire constante, se puede realizar un ensayo de flujo de aire variable usando un ciclo de flujo de aire variable similar al que se muestra en la Figura 2.5.

- En el caso de filtros de aire en baño de aceite y filtros de aire grandes (por ejemplo, con caudal mayor a $5\text{m}^3/\text{min}$), la duración de cada intervalo de flujo parcial puede ser de 5 min en lugar de 1 min.
- Con base en el flujo de prueba promedio para el ciclo que se está utilizando, se calcula la tasa de alimentación de polvo de prueba usando una concentración de polvo de $1,0\text{ g}/\text{m}^3$ de aire; en casos especiales en filtros de aire para servicio liviano se pueden permitir $0,25\text{ g}/\text{m}^3$ ó $0,5\text{ g}/\text{m}^3$. La tasa de alimentación de polvo debe permanecer constante.

- Todos los registros de caída de presión diferencial se realizarán con el flujo de aire máximo.
- Realizando las pruebas usando un flujo de aire variable en lugar del flujo de aire constante, se debe tener en cuenta los siguientes cambios: Después del final de cada ciclo, la presión diferencial se determinará en el caudal máximo; y la eficiencia se determinará al menos después de tres ciclos si la duración de la sección de flujo parcial es de 1 min y después de cada ciclo si la duración de la sección de flujo parcial es de 5 min, y después del final del ensayo.

Figura 2.5 Ciclo típico de flujo de aire variable (flujo promedio al 60%)



Fuente: Estándar internacional ISO 5011:2014, 3era. edición.

2.2.9. Ensayos de performance para aplicaciones industriales

Los ensayos de performance (rendimiento) se realizarán en un filtro de aire completo, incluido el prefiltro, el elemento primario y el elemento secundario, si se proporciona normalmente. Las pruebas consistirán en un ensayo de presión diferencial/restricción del flujo de aire, una prueba de eficiencia inicial y una prueba combinada de eficiencia y capacidad de retención de polvo.

Es difícil, si no es imposible, seleccionar una distribución y concentración de tamaño de polvo de prueba que sea representativa para todas las condiciones de servicio. Por lo tanto, basado en consideraciones prácticas, los diferentes tipos de filtros de aire se clasificaron según sus condiciones de servicio más

probables; por otro lado, el grado de polvo de prueba y la concentración se puede seleccionar de acuerdo con la Tabla 2.2.

Tabla 2.2. Tipo del polvo de ensayo y su concentración

Tipo de filtro de aire	Polvo de ensayo	Concentración
Única etapa	Grueso o fino	1 g/m ³
Multietapa	Grueso o fino	2 g/m ³

Fuente: Estándar internacional ISO 5011:2014, 3era. edición.

Nota:

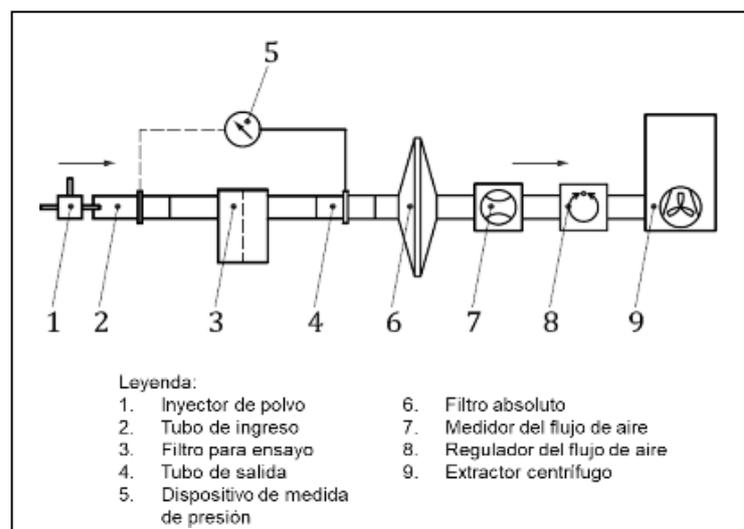
1. Polvo de ensayo de acuerdo con la norma ISO 12103-1.
2. Ver tabla 2.3 donde especifica la distribución del tamaño de partículas en micras por % de volumen del polvo de ensayo ISO 12103-1.

a) Equipo de ensayo

Los arreglos típicos del sistema de ensayo se muestran en la figura 2.6, el sistema de dosificación de polvo y el tubo de transferencia de polvo debe ser el mismo que se describe en 2.2.8.a, con respecto a la tasa de alimentación de polvo, consultar también en la Tabla 2.1.

Con respecto al tubo de entrada en el filtro de aire, el área de la sección transversal del tubo piezométrico aguas arriba debe ser la misma que la del tubo de entrada al filtro de aire, tal como se muestra en la Figura 2.3.

Figura 2.6. Disposición del banco para ensayo de eficiencia y capacidad



Fuente: Estándar internacional ISO 5011:2014, 3era. edición.

Para el ingreso tubular ya sea por cara abierta o rectangular, de igual manera que en el párrafo anterior excepto que la longitud total y la ubicación del tubo piezométrico deben ser 24 y 16 veces el radio hidráulico respectivamente (radio hidráulico = 4 veces el área dividida entre el perímetro de la sección).

Los prefiltros de tipo entrada de aire periférico o tipo chimenea deben probarse en una cámara que asegure la distribución uniforme y la entrega del polvo de prueba a la entrada de la unidad. Se debe tener cuidado en el diseño de la cámara para garantizar que todo el polvo de prueba se alimente al filtro. Si se produce una sedimentación de polvo, se pueden utilizar chorros de aire comprimido para volver a arrastrar el polvo de prueba. Cuando se utilice aire comprimido para volver a arrastrar el polvo de prueba. Cuando se utilice aire comprimido para agitar el polvo, debe tener cuidado de no expulsar el polvo de la cámara. Para garantizar que no se expulse polvo, se debe mantener una presión negativa entre el interior de la cámara y la atmósfera.

El tubo piezométrico de salida aguas abajo debe ser como se muestra en la figura 2.3. El diámetro interior del tubo piezométrico de salida aguas abajo debe ser el mismo que el del tubo de salida del filtro de aire. En el caso de condiciones de flujo no uniformes causadas por tubos de salida especiales, pueden ser necesarias precauciones especiales.

El filtro absoluto debe comprender el material especificado en 2.2.4, usar un sistema de medición de flujo de aire, un sistema de control de flujo de aire y un soplador/extractor como se muestra en la Figura 2.6. Se requiere conexión a tierra de todos los equipos de ensayo para reducir los efectos de las cargas estáticas y mejorar la consistencia de los resultados de la prueba. Se recomienda la conexión a tierra de superficies metálicas y no metálicas, carcasas, tubos de transporte de polvo, inyectoros de polvo y hardware asociado.

b) Ensayo de restricción del flujo y presión diferencial

El ensayo será ejecutado de acuerdo con el punto anterior 2.2.8.b.

c) Ensayo de eficiencia inicial: método del filtro absoluto

- Acondicionar la unidad al flujo de aire con el que se prueba el filtro durante al menos 15 minutos en las condiciones de temperatura y humedad especificadas en 2.2.7. Si se desea, la disposición de la almohadilla del filtro absoluto y el filtro de aire se puede realizar al mismo tiempo.

- Pese la almohadilla del filtro absoluto como se especifica en 2.2.6 y registre la masa antes del montaje en la carcasa del filtro absoluto.
- Preparar el polvo de prueba de acuerdo con 2.2.1 y pesar una cantidad igual a 11 g/m² del área del medio filtrante del elemento primario. Colocar el polvo previamente pesado en el alimentador de polvo.
- Si es posible, pesar la unidad de ensayo completa. Luego, pesar el sistema de alimentación junto con el polvo a dosificar y registrar la masa.
- Instalar el filtro de aire como se muestra en la figura 2.6, sellar todas las conexiones para evitar fugas de aire y mantener el flujo de aire en la tasa de flujo de ensayo.
- Iniciar el alimentador de polvo y ajustar la tasa de alimentación (feed rate) para mantener la inyección continua de la cantidad completa del polvo de prueba durante un período de 30 min. Registrar la temperatura y la humedad relativa.
- Cepillar cualquier polvo observado en el lado aguas debajo de la unidad de prueba sobre el filtro absoluto. Retirar con cuidado y volver a pesar la almohadilla del filtro absoluto. Calcular el aumento de masa en el filtro absoluto en comparación con la masa registrada anteriormente.
- Recoger todo el polvo que se haya depositado en la superficie exterior, el conducto de entrada o en la cámara de ensayo del filtro, incluso en el lado de entrada de la unidad de prueba. Luego, transferir este polvo al sistema de alimentación de polvo.
- Volver a pesar el sistema de alimentación de polvo con una precisión del 1% del valor real y calcule la masa de polvo inyectada en el filtro de prueba en comparación con la masa inicial del sistema de alimentación de polvo registrada anteriormente. Si es posible, volver a pesar la unidad completa de ensayo.
- Calcular la eficiencia inicial E_i , tal como sigue:

$$E_i = \frac{m_D - \Delta m_F}{m_D} \times 100\% \quad \dots (8)$$

Donde los símbolos son como se muestra en la ecuación 4.

- Si fuera factible volver a pesar la unidad de ensayo completa, la eficiencia puede calcularse a partir de la ecuación 5. La validación de la prueba debe realizarse de acuerdo con la ecuación 4.

d) Ensayo de eficiencia de vida útil y capacidad de retención

d.1) Capacidad de retención en el filtro de aire

La capacidad de retención de polvo es una función del tamaño del filtro de aire, la prueba de flujo de aire, la condición final y el grado de polvo de prueba empleado. Para permitir una comparación entre diferentes filtros de aire, la capacidad de polvo se determina, por lo tanto, en el flujo de aire de prueba a la condición final especificada con cuatro puntos intermedios. En ausencia de tal especificación, se debe usar una restricción de 6KPa (60mbar) como condición final. En el caso de que la condición final sea la restricción, no incluye la restricción añadida por el conducto de mezcla de polvo y la carcasa de prueba. La prueba se puede realizar con flujo de aire constante o variable de acuerdo el punto 2.2.8.f.

d.2) Procedimiento de ensayo: método del filtro absoluto

- Acondicione la unidad al flujo de aire al que se prueba la unidad durante al menos 15 minutos en condiciones de temperatura y humedad como se especifica en 2.2.7. Si lo desea, el acondicionamiento de la almohadilla del filtro absoluto y el filtro de aire se puede realizar al mismo tiempo.
- Pesar la almohadilla del filtro absoluto como se especifica en 2.2.6 y registrar la masa antes de implementarlo dentro de la carcasa del filtro absoluto.
- Preparar una cantidad suficiente de polvo de prueba según se indica en 2.2.1 del grado seleccionado y almacenar en un recipiente adecuado en el área de prueba para estabilizarlo a masa constante. La cantidad de polvo, calculada de acuerdo con la concentración pertinente especificada, debería ser más que suficiente para cubrir la duración prevista del ensayo. Después, se tiene que registrar la masa.

- Instalar el filtro de aire como se muestra en la figura 2.6, sellar todas las conexiones para evitar fugas de aire y mantener el flujo de aire en la tasa de flujo de ensayo.
- Cargar el alimentador de polvo desde el contenedor y ajustar la tasa de alimentación (feed rate) para que coincida con la concentración especificada en la tabla 2.2. Volver a cargar el alimentador de polvo desde el contenedor según sea necesario durante la prueba. Registrar la temperatura y la humedad relativa.
- Registrar al menos cuatro valores intermedios de la masa de polvo alimentada a la unidad de ensayo (feed rate x tiempo) y la restricción / presión diferencial correspondiente a intervalos de tiempo aproximadamente uniformes.
- Corregir los valores de restricción / presión diferencial / pérdida de presión a las condiciones estándar de acuerdo con la ecuación 2 y graficarlos versus el polvo alimentado al filtro de aire, colocando la ordenada como restricción, presión diferencial o pérdida de presión según sea apropiado.
- Continuar el ensayo hasta que se logre la condición final especificada. En el caso de filtros de aire que no tengan una capacidad límite de polvo, como por ejemplo en los filtros de aire tipo ciclón, la prueba no debe detenerse antes de que el filtro haya sido alimentado con una cantidad suficiente de polvo para determinar su eficiencia con la precisión requerida. La cantidad mínima será de 50g de polvo.
- Cepillar cualquier polvo observado en el lado aguas abajo de la unidad de prueba sobre el filtro absoluto. Retirar con cuidado y volver a pesar la almohadilla del filtro absoluto, determinando el aumento de masa en comparación con la masa registrada anteriormente.
- Recoger todo el polvo que se haya depositado en las superficies exteriores, los conductos, la cámara de prueba o el lado de entrada de la unidad de prueba y transferirlo al contenedor todo el polvo no utilizado en el dispositivo de alimentación, volver a pesar el contenedor y el polvo. Restando esta masa final con la registrada al inicio del ensayo, determinamos la masa total del polvo inyectado en la unidad de prueba.

- Calcular la capacidad de retención de retención, C , de la unidad de prueba con la siguiente expresión:

$$C = m_D - \Delta m_F \quad \dots (9)$$

Donde:

- m_D es la masa del polvo dosificado.
 - Δm_F es el incremento en masa del filtro absoluto.
- Calcular la eficiencia de vida útil o total del filtro, E_f , tal como sigue:

$$E_f = \frac{m_D - \Delta m_F}{m_D} \times 100\% \quad \dots (10)$$

Donde los símbolos son mostrados como en la ecuación 9.

- Si fuera factible volver a pesar la unidad de ensayo completa, la eficiencia puede calcularse a partir de la ecuación 5. La validación de la prueba debe realizarse de acuerdo con la ecuación 4.

d.3) Procedimiento de ensayo: método del pesaje directo

El método del pesaje directo se puede utilizar para determinar la eficiencia acumulativa cuando la humedad se puede controlar dentro del rango $\pm 1,0\%$ y la precisión del aumento de masa del filtro se determina con precisión del $0,1\%$.

Cuando se disponga de una balanza suficientemente grande y precisa, se permite utilizar un método de pesaje directo para evaluar la capacidad y la eficiencia acumulativa. En tales casos, el filtro de aire debe probarse de acuerdo con el procedimiento del método del filtro absoluto con los siguientes cambios:

- Pesar el filtro de aire antes y después del ensayo, registrar el aumento de masa de la unidad de prueba. Esta masa es la capacidad de retención del filtro de aire ensayado.
- Ignorar las operaciones relacionadas con el pesaje del filtro absoluto.
- Calcule la eficiencia de vida útil, E_f , tal como sigue:

$$E_f = \frac{\Delta m_U}{m_D} \times 100\% \quad \dots (11)$$

Donde:

- Δm_U es el incremento en masa de la unidad de prueba.
- m_D es la masa total del polvo alimentado.

El informe del ensayo debe indicar el método de determinación de la eficiencia utilizado en la prueba del filtro de aire.

2.3. Marco Conceptual

2.3.1. Filtración

Es un proceso físico-mecánico para la separación o remoción de sustancias contaminantes mediante el uso de un medio poroso, en muchos casos estas sustancias presentan diferentes tipos y tamaños de partículas en suspensión en un fluido (líquido o gas). Se requiere de una fuente de presión o vacío para llevar a cabo la filtración y esta fuerza crea un diferencial de presión a través del filtro (Sánchez, 2016, p. 3).

2.3.2. Medio Filtrante

Es el encargado de retener las impurezas presentes en el fluido, pueden ser de varios materiales entre ellos textiles, mallas metálicas, algodón, papel y pueden encontrarse humedecidos en líquidos. Cada tipo de material brinda una ventaja con respecto a los demás según especificaciones del fabricante en base al diseño y necesidades de cada industria (Carrera y Paredez, 2020, p. 12).

Principalmente, encontramos dos tipos de medios filtrantes aplicados en la industria automotriz o industrial:

a. Celulosa: Es un conjunto de fibras de origen natural derivados de la madera la cual posee fibras irregulares que presentan espacios de distintos tamaños, entre los cuales los menores espacios permiten poco paso del fluido lo cual reduce su eficiencia, al contrario, los mayores espacios permiten una gran capacidad de almacenamiento de impurezas y contaminantes (Carrera y Paredez, 2020, p. 12).

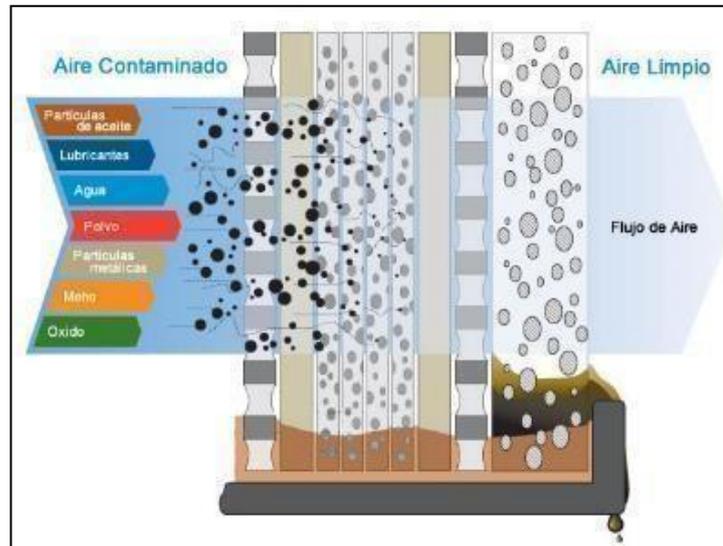
b. Sintéticas: A diferencia del medio filtrante de celulosa las fibras sintéticas tienen una uniformidad mayor en el espacio entre ellas lo que permite un mayor paso de aire sin comprometer su efectividad al momento de retener impurezas de menor tamaño. En muchos casos el uso de ambos medios filtrantes se utiliza para tener un mejor equilibrio en capacidad de almacenamiento y efectividad en retención de partículas (Carrera y Paredez, 2020, p. 13).

2.3.3. Mecanismos de filtración

Existen tres mecanismos convencionales que permiten filtrar las partículas a través de un medio poroso: Intercepción directa, impacto inercial e intercepción difusional. A cada mecanismo le corresponde la filtración de un determinado tamaño de partículas líquidas o en estado gaseoso.

- a. Intercepción Directa:** Es el mecanismo principal de filtración en líquidos, esencialmente un "tamizado" que retiene mecánicamente las partículas. Se puede entender como una malla simple que detiene a las partículas mayores al tamaño de sus poros (Sánchez, 2016, p.15).
- b. Impacto Inercial:** Ayuda a remover partículas más pequeñas que el tamaño del poro del medio filtrante. Las partículas arrastradas por el fluido poseen inercia debido a la masa y velocidad de éstas, por su inercia dichas partículas se desvían de las líneas de flujo impactándose contra el medio filtrante. Las partículas son retenidas ya sea mecánicamente o por absorción, siendo más efectivo en gases que en líquidos, por lo que es muy eficiente para partículas mayores a 0.5-1.0 micras (Sánchez, 2016, p. 19-20).
- c. Intercepción Difusional:** Las moléculas de gas (en movimiento aleatorio) golpean a gotas de aerosol o a partículas pequeñas suspendidas en el mismo. Las colisiones generan un movimiento Browniano, aumentando las posibilidades de que las partículas se impacten en el medio filtrante, puesto que los filtros para gases removerán contaminantes mucho más pequeños al tamaño de poro indicado, es muy eficiente para partículas pequeñas-finas menores a 0.1-0.3 micras (Sánchez, 2016, p. 22-23).

Figura 2.7. Mecanismos físicos de filtración



Fuente: <http://airecomprimidokaeser.com/wp-content/uploads/2016/05/filtration1.jpg>

2.3.4. Filtros para aire

La composición de filtros para aire ya sea para servicio liviano (cabina de vehículos y sistema de admisión de aire) y para servicio pesado (vehículos fuera de carretera y maquinaria industrial), consiste en tapas metálicas con frisa de caucho o tapas de poliuretano, una cubierta externa de malla metálica de acero expandido, medio filtrante plisado, tubo central de malla metálica de acero. En filtros para aire de servicio liviano tipo panel, son fabricados mediante un proceso de inyección de plástico para el marco que protege al medio filtrante, en otros casos son fabricados con marco de resina moldeada e incluso solamente estar hecho de fibras sintéticas non-woven (no tejidas).

“Muchos filtros de aire Donaldson contienen dos filtros. El filtro grande se conoce como filtro exterior o primario. Su función es eliminar contaminantes del aire que entra por el sistema de admisión a medida que pasa por el filtro de aire”. Además, hay un filtro más pequeño instalado dentro o después del filtro primario más grande conocido como filtro interior, filtro secundario o filtro de seguridad (Donaldson Company Inc., 2022, párr. 1-2).

El filtro de seguridad generalmente usa un tipo de medio filtrante distinta al del filtro primario. El medio filtrante es más abierto para tener una restricción menor y es menos eficiente, lo que significa que no se obstruirá con el hollín y

los gases del escape, pero detendrá las pequeñas partículas de polvo y suciedad que dañan el motor. Según el sistema de filtración para el cual está diseñado, el filtro de seguridad puede tener una construcción plisada similar a la del filtro primario (Donaldson Company Inc., 2022, párr. 5).

Figura 2.8. Filtros para aire de sello axial



Fuente: https://img.directindustry.es/images_di/photo-mg/16566-7843021.jpg

Figura 2.9. Filtro primario y filtro secundario para aire de sello radial



Fuente: <https://autopartes.pe/data/productos/filtro-de-aire-set-surefilter-sfa02731set-1431-m.jpg>

Figura 2.10. Filtro panel para aire con marco de plástico



Fuente: https://http2.mlstatic.com/D_NQ_NP_772667-MLM41515837575_042020-O.jpg

Figura 2.11. Filtro panel para aire con marco de resina



Fuente: https://http2.mlstatic.com/D_NQ_NP_686205-MLM31996615305_082019-O.jpg

Figura 2.12. Filtro panel para aire con fibras non-woven



Fuente: <https://sc04.alicdn.com/kf/Hc9acb20698174521918fc5f012ef8c51C.jpg>

2.3.5. Presión absoluta

La presión absoluta se aplica al valor de presión referido al cero absoluto o vacío, que prevalece en el espacio sin presión atmosférica. Para identificarla correctamente se utiliza la abreviación P_{abs} , que se deriva del latín "absolutus", es decir, indiferente, independiente. Una medición de presión absoluta mide la diferencia con el vacío ideal o absoluto, por eso esta medición es independiente de las influencias ambientales como el clima o la altitud (INSTRUMENTOS WIKA S.A.U., 2022, párr. 2).

2.3.6. Presión atmosférica

“La presión atmosférica P_{amb} [“amb” que se deriva del latín "ambiens", es decir, alrededor] se crea por el peso de la envoltura aérea que rodea a la Tierra hasta una altura de aprox. 500 km, en la que prevalece la presión absoluta $P_{abs}=\text{cero}$, a partir del cual la presión disminuye continuamente. Además, la presión atmosférica del aire está sujeta a fluctuaciones meteorológicas. A nivel del mar, el promedio de P_{amb} es de 1013.25 milibares (mbar), donde la presión atmosférica puede variar en un rango de hasta 5%” (INSTRUMENTOS WIKA S.A.U., 2022, párr. 6).

2.3.7. Presión diferencial

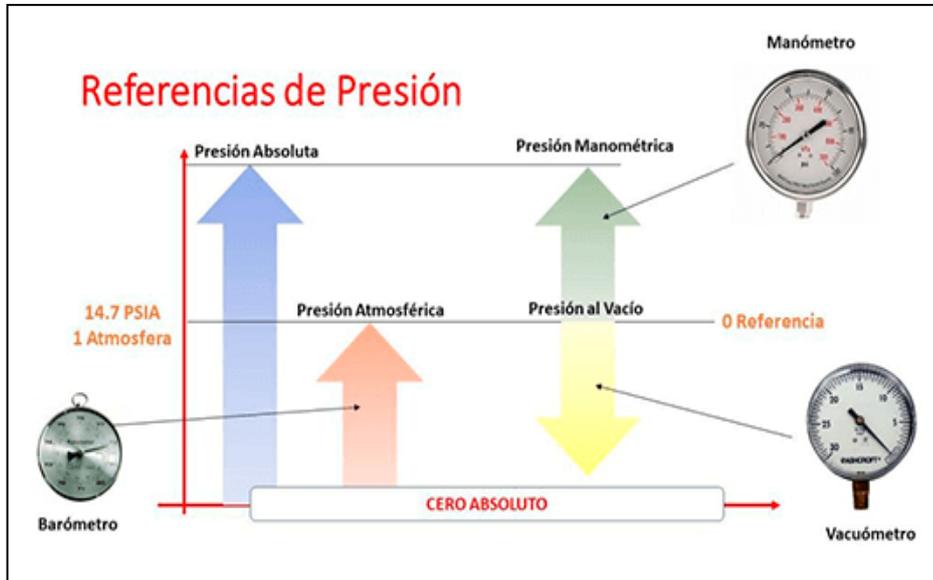
Es conocida como la diferencia entre dos presiones P_1 y P_2 , expresado simplemente como $\Delta P=P_1-P_2$. La diferencia de presión se produce por la pérdida de energía entre el lado de ingreso y el lado de salida, bajo alcance de todas las resistencias al flujo del fluido. Por lo general, incluye las pérdidas a través de todo el recorrido, en el caso particular de un filtro de aire se determina entre los orificios de la placa tubular, la resistencia del medio de filtración limpio y la resistencia del polvo recolectado en el medio de filtración (INSTRUMENTOS WIKA S.A.U., 2022, párr. 7).

2.3.8. Presión manométrica (relativa)

La presión manométrica o también conocida como relativa (P_{man}) es la diferencia entre la presión absoluta y la presión atmosférica ($P_{man} = P_{abs} - P_{amb}$). “Se aplica en aquellos casos cuando la presión es superior a la presión atmosférica. Cuando esta cantidad está por debajo de la presión atmosférica,

nos referimos a la presión negativa o presión de vacío” (INSTRUMENTOS WIKA S.A.U., 2022, párr. 8).

Figura 2.13. Niveles de referencia de presión.



Fuente: <https://controlautomaticoeducacion.com/wp-content/uploads/Presi%C3%B3n-1024x576.jpg>

2.3.9. Área de filtración

Según la norma ISO 29464, en la que se define la terminología de la filtración de aire, debe hacerse una distinción entre el área de filtración bruta y el área de filtración neta de un filtro de aire. El área de filtración bruta indica el área total del medio filtrante instalado en un filtro de aire; en cambio, el área de filtración neta o efectiva indica solamente el área del medio filtrante por la que pasa el aire y que está disponible efectivamente para la filtración de partículas, por lo tanto, las áreas cubiertas de adhesivo deben descontarse del área de filtración bruta. (EMW FILTERTECHNIK, 2022, párr. 2)

“El anexo A de la norma ISO 29461-1:2021 ofrece una definición similar. Según esta norma que regula la comprobación de filtros de entrada de aire para máquinas rotativas, el área de filtración efectiva es el área del medio filtrante que está disponible para la separación de partículas. La superficie de filtración efectiva suele considerarse una característica importante para la elección del filtro de aire apropiado. El motivo es que, dependiendo del tamaño de las

partículas, los mecanismos de filtración activos producen efectos distintos en función del área de filtración efectiva y de la velocidad de paso por el medio filtrante obtenida como resultado” (EMW FILTERTECHNIK, 2022, párr. 3-6).

2.3.10. Clasificación de los flujos

a) Flujo interno en comparación con el externo

“Un flujo de un fluido se clasifica como interno o externo, dependiendo de si a ese fluido se le obliga a fluir en un canal confinado o sobre una superficie. El flujo de un fluido no limitado sobre una superficie, como una placa, un alambre o un tubo, es flujo externo. El flujo en un tubo o ducto es flujo interno si el fluido queda por completo limitado por las superficies sólidas. Por ejemplo, el flujo de agua en un tubo es flujo interno y el flujo de aire sobre una pelota o alrededor de un tubo expuesto durante un día de viento constante es flujo externo. El flujo de líquidos en un ducto se conoce como flujo en canal abierto si ese ducto sólo está lleno en forma parcial con el líquido y se tiene una superficie libre. Los flujos de agua en los ríos y zanjas de irrigación son ejemplos de estos flujos. Los flujos internos están dominados por la influencia de la viscosidad en todo el campo de flujo. En los flujos externos, los efectos viscosos quedan limitados a la capa límite cercana a las superficies sólidas y a las regiones de la estela corriente abajo de los cuerpos” (Cengel y Cimbala, 2012, p. 10).

b) Flujo compresible en comparación con el incompresible

“Un flujo se clasifica como compresible o incompresible, dependiendo del nivel de variación de la densidad del fluido en ese flujo. La incompresibilidad es una aproximación y se dice que el flujo es incompresible si la densidad permanece aproximadamente constante a lo largo de todo el flujo. Por lo tanto, el volumen de todas las porciones del fluido permanece inalterado sobre el curso de su movimiento cuando el flujo se modela como es incompresible. En esencia, las densidades de los líquidos son constantes y, así, el flujo de ellos es típicamente incompresible. Por lo tanto, se suele decir que los líquidos son sustancias incompresibles. Por ejemplo, una presión de 210 atm hace que la densidad del agua líquida a 1 atm cambie en sólo 1%. Por otra parte, los gases son intensamente compresibles” (Cengel y Cimbala, 2012, p. 10).

“Los flujos de líquidos son incompresibles hasta un nivel alto de exactitud, pero el nivel de variación en la densidad en los flujos de gases y el nivel consecuente de aproximación que se hace cuando se modelan estos flujos como incompresibles depende del número de Mach. Con frecuencia, los flujos de gases se pueden aproximar como incompresibles si los cambios en la densidad se encuentran por debajo del 5%, lo cual suele ser el caso cuando $Ma < 0.3$. Por lo tanto, los efectos de la compresibilidad del aire se pueden despreciar a velocidad por debajo de alrededor de 100 m/s. Nótese que el flujo de un gas no es necesariamente uno compresible” (Cengel y Cimbala, 2012, p. 10).

c) Flujo laminar en comparación con el turbulento

“Algunos flujos son suaves y ordenados en tanto que otros son considerados caóticos. El movimiento intensamente ordenado de un fluido, caracterizado por capas no alteradas de éste se conoce como laminar. La palabra laminar proviene del movimiento de partículas juntas adyacentes del fluido, en “láminas”. El flujo de los fluidos intensamente viscosos, como los aceites a bajas velocidades, por lo general es laminar. El movimiento intensamente desordenado de un fluido, que es común se presente a velocidades altas y se caracteriza por fluctuaciones en la velocidad, se llama turbulento. El flujo de fluidos de baja viscosidad, como el aire, a velocidades altas es por lo común turbulento. El régimen de flujo influye significativamente en la potencia requerida para el bombeo. Un flujo que se alterna entre laminar y turbulento se conoce como de transición. Los experimentos conducidos por Osborn Reynolds en la década de 1880 dieron como resultado el establecimiento del número adimensional de Reynolds, Re , como el parámetro clave para determinar el régimen de flujo en los tubos” (Cengel y Cimbala, 2012, p. 11).

d) Flujo estacionario en comparación con el no estacionario

“Durante el flujo estacionario, las propiedades del fluido pueden cambiar de punto a punto dentro de un equipo, pero en cualquier punto fijo permanecen constantes. Por lo tanto, el volumen, la masa y la energía total de un equipo de flujo estacionario o sección de flujo permanecen constantes en la operación estacionaria. Las condiciones de flujo estacionario pueden lograr aproximarse en equipos cuyo propósito es la operación continua, como las turbinas, las bombas,

las calderas, los condensadores y los intercambiadores de calor de las plantas generadoras de energía o de los sistemas de refrigeración. Algunos equipos cíclicos, como los motores o compresores recíprocantes, no satisfacen las condiciones del flujo estacionario, ya que el flujo en las entradas y salidas es pulsante y no-estacionario. Sin embargo, las propiedades del fluido varían con el tiempo de una manera periódica y el flujo en estos equipos todavía se puede analizar como un proceso de flujo estacionario, utilizando los valores de las propiedades promediados respecto al tiempo” (Cengel y Cimbala, 2012, p. 12).

2.3.11. Ecuación de la conservación de la masa

“La masa que pasa por una parte del conducto, en régimen estacionario, es igual que la masa que pasa por otra parte del mismo conducto, siempre y cuando no entre ni salga fluido entre esos dos puntos. En régimen estacionario, entre dos secciones A_1 y A_2 de un conducto por el que circula un fluido y en el que no existen fuentes ni sumideros de materia, el flujo, gasto o caudal másico permanece constante ... La cantidad de masa que ingresa por unidad de tiempo en una parte del conducto pasa también por la salida” (SALAMARKESA, 2022, párr. 1-5).

“Entonces, para cada unidad de tiempo, el producto de la velocidad con la densidad por el área de la sección se mantiene constante, conocido como ecuación de continuidad ... Podemos expresarlo en función del flujo volumétrico, o de las áreas de las secciones A_1 y A_2 y de las velocidades medias en cada una de las mismas v_1 y v_2 ” (SALAMARKESA, 2022, párr. 12-15).

$$\rho_1 \cdot A_1 \cdot v_1 = \rho_2 \cdot A_2 \cdot v_2 \quad \dots (12)$$

“Para fluidos incompresibles, la densidad (ρ) es constante, en líquidos y gases donde en el transporte no se produce cambio de densidad considerando un flujo volumétrico constante. Como consecuencia de la ecuación de continuidad, al producirse un estrechamiento aumenta la velocidad manteniéndose el caudal” (SALAMARKESA, 2022, párr. 16-17).

2.3.12. Ecuación de la conservación de la energía

“La energía que lleva el fluido en estado estacionario es la misma en todos los puntos del conducto. Asumiendo que no hay pérdidas de energía por

rozamiento en condiciones ideales, para un fluido de densidad uniforme, tenemos que su energía mecánica viene dada por la siguiente expresión:

$$p \frac{m \cdot g}{\gamma} + \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 + m \cdot g \cdot z \quad \dots (13)$$

Esta es la energía mecánica total del fluido en un punto” (SALAMARKESA, 2022, párr. 2-6), el cual se conforma por la energía que lleva el fluido para poder transportarse, más su energía cinética debido al movimiento y más su energía potencial debida a las fuerzas gravitatorias. Entonces, entre dos puntos cualesquiera 1 y 2 de un conducto, se verifica que:

$$p_1 \frac{mg}{\gamma} + \frac{1}{2} mv_1^2 + mgz_1 = p_2 \frac{mg}{\gamma} + \frac{1}{2} mv_2^2 + mgz_2 \quad \dots (14)$$

“Ahora dividimos todo por el factor mg a ambos lados porque ambas variables permanecen constantes, pues ni la masa ni la gravedad cambian en los dos puntos, por lo tanto, nos quedamos con la ecuación del balance o de la conservación de la energía en condiciones ideales:

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 \quad \dots (15)$$

Sin embargo, en condiciones reales a su paso por el conducto, el fluido presenta una resistencia de fricción al flujo, caracterizada por su viscosidad, que da lugar a una pérdida de energía. Esta pérdida de energía por unidad de peso se denomina pérdida de carga (h_μ). Como consecuencia de esta pérdida de carga, se produce una disminución de la presión a lo largo del recorrido” (SALAMARKESA, 2022, párr. 11-15).

“Además, en el sistema pueden existir elementos activos que agregan o retiran energía del fluido (como bombas, ventiladores y turbinas). Esta energía, por unidad de peso, debemos incluirlos en la ecuación del balance de energía como energía aportada o energía retirada” (SALAMARKESA, 2022, párr. 16), por el cual la ecuación del balance de energía quedará tal como sigue.

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 + \sum_1 h_A - \sum_1 h_R = \sum_1 h_\mu + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 \quad \dots (16)$$

Donde:

- p/γ : Trabajo de flujo por unidad de peso de fluido
- $v^2/2g$: Energía cinética por unidad de peso de fluido
- z : Energía potencial por unidad de peso de fluido
- $\sum h_{\mu}$: Energía perdida por fricción entre los puntos 1 y 2
- $\sum h_A$: Energía aportada al fluido entre los puntos 1 y 2
- $\sum h_R$: Energía retirada del fluido entre los puntos 1 y 2

2.3.13. Efecto Venturi

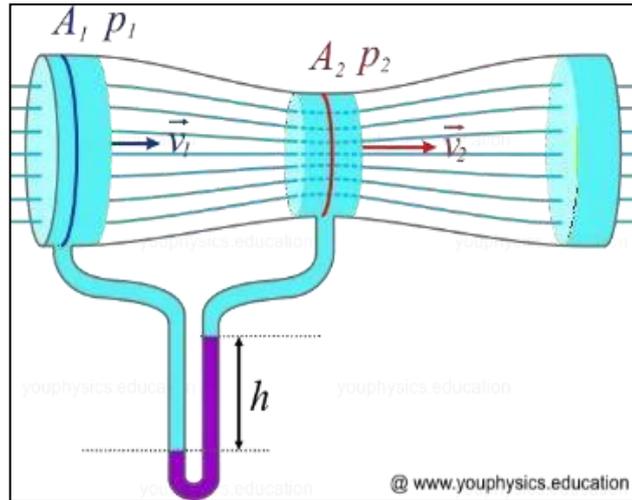
Para comprender el concepto, se tiene que analizar el flujo de un fluido dentro de un estrechamiento. La primera sección en el punto 1 (A_1) generalmente es mayor que la sección de salida en el punto 2 (A_2), por lo que la velocidad de salida será mayor según la ecuación de continuidad [ecuación 12] para un flujo incompresible. Es decir, que el fluido aumenta su velocidad al pasar por el estrechamiento (SALAMARKESA, 2022, párr. 1-4).

Se puede afirmar que el fluido tiene que ir más rápido para que pase más cantidad por el hueco más pequeño. Si no consideramos bombas ni turbinas ni otros elementos que retiren o aporten energía, en la ecuación del balance de energía [ecuación 16] solo consideraremos las energías mecánicas y las que se pierde por rozamiento (SALAMARKESA, 2022, párr. 5-7).

$$\frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} = h_{\mu} + \frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} \quad \dots (17)$$

Donde los símbolos son como se muestran en la ecuación 16. Observando la igualdad en la ecuación 17, podemos deducir que la velocidad en el punto dos es mayor, entonces la presión en el punto dos es menor. Por lo tanto, a este efecto de caída de presión en un estrechamiento se le conoce como el efecto Venturi. En la ingeniería aplicada, “para medir la velocidad de un fluido se realiza por la disminución de presión que se produce en el estrechamiento es proporcional a la velocidad media del fluido. La diferencia de presión se mide mediante un manómetro diferencial” (SALAMARKESA, 2022, párr. 12-13).

Figura 2.14. Efecto Venturi en una contracción gradual



Fuente: <https://www.youphysics.education/wp-content/uploads/Medidor-Venturi.webp>

2.3.14. Polvo de ensayo ISO 12103-1, A2 Fine

El polvo de ensayo (Test Dust) ISO 12103-1, A2 Fine es usado en muchas aplicaciones tales como los ensayos de performance en filtros para aire, filtros para aceite, filtros hidráulicos, etc. La siguiente tabla 2.3 nos indica la distribución del tamaño de partículas en micras por % de volumen de contenido en un recipiente del polvo de ensayo ISO 12103-1 para el grado A2 Fine (PTI POWDER TECHNOLOGY INC., 2022, párr. 1).

Tabla 2.3. Distribución del tamaño de partículas del polvo ISO 12103-1

Distribución del tamaño de partículas del polvo ISO 12103-1 por % de volumen	
Tamaño en micras	% Polvo de ensayo ISO 12103-1 A2 Fine, menos de
0.97	4.5 - 5.5
1.38	8.0 - 9.5
2.75	21.3 - 23.3
5.50	39.5 - 42.5
11.00	57.0 - 59.5
22.00	73.5 - 76.0
44.00	89.5 - 91.5
88.00	97.9 - 98.9
124.50	99.0 - 100.0
176.00	100.0

Fuente: <https://www.powdertechologyinc.com/>

2.3.15. Eficiencia del filtro de aire

La eficiencia de los filtros de aire se evalúa usando la norma ISO 5011 y su desempeño se expresa con un nivel de eficiencia. “Este nivel de eficiencia se determina suministrando aire que contiene una concentración conocida de polvo de prueba estándar a un filtro de aire hasta que el filtro alcanza el fin de su vida útil. Este fin de la vida útil es cuando la restricción llega a un nivel predeterminado. El uso de un polvo de prueba estándar garantiza la uniformidad y representa el rango de tamaño de las partículas de polvo que se encuentran en condiciones reales” (Donaldson Company Inc., 2022, párr. 4).

“Cuando el filtro llega al fin de su vida útil, el peso del polvo en el filtro se considera la capacidad del filtro. Cualquier partícula de polvo que pase por el filtro es capturada por un filtro absoluto aguas abajo del filtro de aire en el laboratorio de pruebas. El peso del polvo capturado por el filtro absoluto se compara con el peso del polvo suministrado al filtro de aire. La diferencia entre ambos es la eficiencia del filtro expresada como porcentaje. La eficiencia de un filtro de aire aumenta a medida que se acumula polvo en la superficie del filtro, hasta llegar al punto en que se debe reemplazar. Por eso, es importante dejar que el filtro de aire haga su trabajo adecuadamente y no cambiarlo antes de tiempo” (Donaldson Company Inc., 2022, párr. 5-7).

Figura 2.15. Filtro de aire nuevo comparado con uno usado



Fuente: <https://www.actualidadmotor.com/como-verificar-un-filtro-de-aire/>

2.4. Definición de términos básicos

De acuerdo con las normas ISO 5011:2014 y NTP 383.048:1984 (revisada el 2012), se hace referencia a las siguientes definiciones de términos básicos que dan soporte a la investigación.

- a) **Filtro de aire:** Dispositivo que remueve las partículas suspendidas en un volumen de aire a medida que ingresa en un motor de combustión interna.
- b) **Elemento filtrante:** Parte reemplazable del filtro de aire, que consiste en el medio filtrante, tapas pegadas en sus extremos y demás elementos de acuerdo con su diseño.
- c) **Medio filtrante:** Componente del filtro de aire, que consiste en un papel filtrante de características físicas especiales, impregnado con resinas fenólicas o con resinas sintéticas.
- d) **Filtro para servicio liviano:** Filtro que se monta directamente al sistema múltiple de admisión sin necesidad de un prefiltro. Se utiliza en motores que trabajan en zonas de baja concentración de polvo.
- e) **Filtro para servicio pesado:** Filtro que normalmente se monta alejado del motor y con un prefiltro interno o externo. Se utiliza en motores que operan en carreteras, trabajos agrícolas y mineros, con concentración moderada de polvo.
- f) **Prefiltro:** Dispositivo ubicado antes del filtro de aire que generalmente utiliza medios inerciales o centrífugos para retener partículas gruesas de polvo antes de que llegue al elemento filtrante.
- g) **Unidad de prueba:** Recipiente que actúa como carcasa de ensayo capaz de adaptarse a diferentes elementos filtrantes, manteniendo determinadas condiciones aerodinámicas.
- h) **Flujo de aire de prueba:** Caudal de aire aspirado a través de la salida de la unidad de prueba. El caudal se expresa en metros cúbicos por minuto corregido a condiciones estándar.
- i) **Flujo de aire nominal:** Caudal especificado por el usuario o el fabricante del motor para las condiciones de trabajo determinadas. Puede usarse como flujo de aire de prueba.

- j) **Presión estática:** Se refiere a la presión en un ducto, en un flujo de aire de prueba, medido con un manómetro a un agujero o agujeros perforados en la pared del ducto.
- k) **Restricción:** Presión estática medida inmediatamente aguas abajo de la unidad de prueba.
- l) **Presión diferencial:** Diferencia en la presión estática inmediatamente medida aguas arriba y aguas abajo en la unidad de prueba.
- m) **Resistencia al flujo:** Es la caída neta de presión que se obtiene en el elemento filtrante al circular el flujo nominal a través de éste.
- n) **Filtro absoluto:** Filtro hecho de fibra de vidrio, ubicado aguas abajo de la unidad de prueba para retener el contaminante que pasa por el ducto.
- o) **Polvo contaminante:** Material estándar con impurezas de características conocidas destinado a ensayos de laboratorio.
- p) **Eficiencia:** Capacidad del filtro de aire o de la unidad de prueba para evitar el paso de contaminantes en condiciones de ensayo especificadas.
- q) **Capacidad:** Cantidad de contaminante retenido por la unidad de prueba al producirse en condiciones finales especificadas.
- r) **Condición final del ensayo:** Condición relacionada con un filtro de aire, cuya ocurrencia significa el final del ensayo. Una condición final del ensayo puede ser, por ejemplo: la restricción, la presión diferencial o la eficiencia de eliminación de polvo que se alcanza un valor especificado.

III. HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1. Hipótesis (general y específicas)

a. Hipótesis general:

- Si se rediseña el filtro para aire de sello radial, se mejora su performance en motores de combustión interna de vehículos SCOOP Caterpillar.

b. Hipótesis específicas:

- Si se determina las características de las muestras de filtros, se evalúa la performance del filtro para aire de sello radial.
- Si se determina el método de simulación en laboratorio mediante la norma ISO 5011, se mejora la performance y vida útil del filtro para aire de sello radial.
- Si se obtiene la simulación del análisis de costos, se demuestra un ahorro económico por el rediseño del filtro para aire de sello radial.

3.1.1. Operacionalización de variable

Tabla 3.1. Operacionalización de variables

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍNDICE	MÉTODO	TÉCNICA
VI: Rediseño de un filtro para aire de sello radial	Lefever y Wood (1996) definen rediseño como un proceso de diseño aplicado a un producto existente, utilizando modelos, gráficos, diagramas, directrices, etc.	Evaluación cuantitativa del filtro, medido con balanza electrónica, manómetro de columna, tubo Venturi y data de software.	Características de las muestras	Peso de la muestra del filtro	gr	Método Sistémico	Recolección de datos por técnica empírica
				Área de filtración	m ²		
			Simulación en laboratorio	Restricción al flujo nominal de aire	KPa		
				Incrementos de masa de polvo	gr		
			Simulación de costos	Costo directo por material	\$		
				Costo total por fabricación	\$		
VD: Performance del filtro	La RAE (2022) define performance como la proporción entre el resultado obtenido y los medios utilizados.	Rendimiento del filtro en condiciones iniciales y finales, obtenido según norma ISO 5011.	Eficacia	Eficiencia total	%	Método Sistémico	Recolección de datos por técnica empírica
				Capacidad de retención de polvo	gr/m ²		
			Vida útil	Caída de presión	KPa		
				Tiempo de vida	h		

IV. METODOLOGÍA DEL PROYECTO

4.1. Diseño metodológico

4.1.1. Tipo y nivel de investigación

Según la naturaleza del problema, el **tipo de la investigación es tecnológica** porque tiene como propósito aplicar el conocimiento científico para solucionar los diferentes problemas que beneficien a la sociedad (Espinoza, 2014, p. 90), debido a que se emplearán los conocimientos de mecánica de fluidos y de la norma ISO 5011 para la evaluación del medio filtrante mediante ensayos de performance, que permita rediseñar el filtro para aire de sello radial, logrando una mejora de la eficiencia de filtración y vida útil.

Según la profundización del problema, el **nivel de la investigación es aplicada** pues tiene como propósito aplicar los resultados de la investigación experimental para diseñar tecnologías de aplicación inmediata en la solución de los problemas de la sociedad, buscando eficiencia y productividad (Espinoza, 2014, p. 92). En este caso, la investigación aplicada parte de los datos empíricos obtenidos en los ensayos con el objetivo de rediseñar el filtro para aire de sello radial que permita lograr una mejora de su performance en motores de combustión interna (MCI) de vehículos cargueros de bajo perfil (SCOOP) marca Caterpillar utilizados en minería subterránea.

4.1.2. Diseño de la investigación

La tesis corresponde a ser un **diseño cuasi-experimental** porque se conoce la existencia de variables extrañas, se sabe cuáles son, pero no es posible controlar su influencia en la variable dependiente. “Con estos diseños, el investigador no puede delegar la recogida de datos, ya que debe registrar las variaciones que presenta la variable dependiente e identificar las variables extrañas que pudieran estar influyendo en esta variación. En la interpretación, debe tomarse en cuenta la influencia de las variables extrañas, por lo cual también debe registrarse los datos” (Espinoza, 2014, p. 99).

Por lo tanto, se analizará el comportamiento simulado de la performance del filtro para aire en un banco de ensayo por medio de una recogida de datos luego de cada post-prueba, con resultados que permitirán mejorar el desempeño del filtro para aire de sello radial en su aplicación tecnológica de motores

Caterpillar para vehículos fuera de carretera tipo SCOOP, gracias a la evaluación experimental de 5 muestras de filtros, de los cuales se determinará cuál medio filtrante cumple con los requisitos de filtración y vida útil estimada.

4.2. Método de investigación

En esta tesis, se determinó que el **método de investigación es sistémico** porque su propósito es estudiar el objeto mediante la determinación de sus elementos, sus relaciones y límites para observar su estructura y la dinámica de su funcionamiento. “El enfoque sistémico enfrenta el problema en su complejidad a través de un pensamiento basada en la totalidad, en el estudio de la relación entre las partes y de las propiedades emergentes resultantes” (Espinoza, 2014, p. 91).

Como primera etapa, se solicitaron 5 muestras de filtros de aire de sello axial ensamblados cada una con medios filtrantes diferentes seleccionados por criterio, en conjunto con un equipo de especialistas en ingeniería de filtración, de las cuales estas muestras son posibles alternativas al rediseño del filtro para determinar el comportamiento simulado de su performance.

En la segunda etapa, se determinan las condiciones iniciales del ensayo de laboratorio en el Banco de Pruebas para filtros de aire, por el cual se preparan los suministros y equipos de ensayo para las evaluaciones. Hay que recordar que cada ensayo dura aproximadamente 3 horas continuas donde se tiene que inspeccionar y controlar el proceso automático que realiza el banco.

En la tercera etapa, se registran los datos de las condiciones finales del ensayo para cada una de las muestras ensayadas a modo de comparar la performance simulada de cada muestra, de esa manera determinar los valores que se aplicará al rediseño del filtro para aire de sello radial.

Por último, se explicará el impacto económico en el costo económico que se produce por cambio de material y variación en el costo total de fabricación debido a una mejora del diseño del filtro para aire de sello radial.

4.3. Población y muestra

Se define población, también llamado universo, como el conjunto de todos los casos que concuerdan con determinadas especificaciones; mientras que, la muestra es un subconjunto de elementos que pertenecen a ese conjunto definido

en sus características al que llamamos población (Hernández, Fernández y Baptista, 2014, p. 174-175).

Según el tipo, nivel y diseño de investigación en estudio, el tipo de las **muestras son no probabilísticas** porque la elección de los elementos no depende de la probabilidad, sino de causas relacionadas con las características de la investigación o los propósitos del investigador; para lo cual el procedimiento no es mecánico ni se basa en fórmulas de probabilidad, sino que depende del proceso de toma de decisiones de un investigador o de un grupo de investigadores y, desde luego, las muestras seleccionadas obedecen a otros criterios de investigación (Hernández, Fernández y Baptista, 2014, p. 176).

En consecuencia, de una población de 183 medios filtrantes [según los registros del Software Informático Integrado ERP, en el módulo Control de Calidad] que cuenta la compañía, se seleccionará una muestra de tipo no probabilística que consta de 5 medios filtrantes a evaluar, seleccionados a criterio para un nivel de protección de 40 micras y que cumplan con las características físicas del diseño original, de acuerdo con las indicaciones del jefe de Laboratorio de la empresa.

4.4. Lugar de estudio y periodo desarrollado

El lugar de estudio donde se realizó la investigación fue en un laboratorio de filtros para la rama de ingeniería mecánica perteneciente a una compañía manufacturera, en la ciudad metropolitana de Lima. El periodo de la investigación sucedió durante los meses de enero, febrero y marzo del 2022, desarrollándose el surgimiento del problema, formulación del problema, recolección de información y metodología utilizada, finalizando con la validación del rediseño del filtro para aire de sello radial.

4.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de la información

“Las técnicas de recolección de datos organizan la investigación para obtener el nuevo conocimiento. Existen dos técnicas generales de recolección de datos: técnica documental y técnica empírica “(Espinoza, 2014, p. 107).

“La **técnica documental** permite la recopilación de evidencias para demostrar las hipótesis de investigación. Está formada por documentos de diferente tipo: revistas, memorias, actas, registros, datos e información

estadísticas y cualquier documento de instituciones y empresas que registran datos de su funcionamiento” (Espinoza, 2014, p. 107).

Para determinar las características de las muestras y el cálculo de la eficiencia de filtración por medio de ensayos experimentales, “la **técnica empírica** permite la observación en contacto directo con el objeto de estudio, y el acopio de testimonios que permitan confrontar la teoría con la práctica en la búsqueda de la verdad” (Espinoza, 2014, p. 108).

Los documentos recopilados fueron: libros impresos, artículos de revistas científicas, boletines informativos, diagramas, normas técnicas y datos almacenados en el módulo de Producción y Costeo perteneciente al Sistema Informático Integrado (Software ERP) de la compañía; mientras que, la técnica empírica utilizada fue el método del Filtro Absoluto para la recolección y manipulación de datos obtenidos en el banco de ensayo.

Un **instrumento de medición** se define como el recurso que utiliza el investigador para registrar información o datos observables que representan los conceptos o variables que el investigador tiene en mente (Hernández, Fernández y Baptista, 2014, p. 199).

Los instrumentos utilizados son fichas de reporte apoyado del uso de hojas de papel y lapicero para registro manual de datos, software Microsoft Excel para manipulación de datos en una PC, manómetro de columna líquida inclinada [0 a 10 pulg H₂O] para medición del flujo nominal, manómetro de columna líquida [0 a 36 pulg H₂O] para lectura de la caída de presión en el filtro unidad de prueba, balanza electrónica [0 a 15 Kg] para obtener el peso directo de las muestras en condiciones iniciales y finales del ensayo, y una balanza electrónica [0 a 2000 g] para el registro de la masa alimentada del polvo contaminante ISO hacia el porta-filtro de la unidad de prueba. La validez de los instrumentos se detalla en los anexos 2, 3, 5, 6, 7 y 8.

4.6. Análisis y procesamiento de datos

De acuerdo con el procedimiento de ensayo con filtros de aire para aplicaciones industriales según la norma ISO 5011:2014, se sustenta la ingeniería de detalle mediante los ensayos de restricción al flujo de aire, capacidad de retención y eficiencia de filtración para determinar el medio filtrante que mejore la performance y por consiguiente un impacto económico positivo.

4.6.1. Características de las muestras

Para dar comienzo con los ensayos de performance para determinar el comportamiento simulado del medio filtrante para nuestro objeto de estudio, primero necesitamos describir las características de las muestras de los medios filtrantes que se emplearán en cada uno de los ensayos. El medio filtrante del filtro estándar muestra tiene un ancho habilitado de 271mm, altura de cresta de 17mm y 130 pliegues con muesca distribuidos uniformemente alrededor de la estructura central, por lo tanto, el área de filtración bruta se determina de la siguiente manera según la ecuación 18.

$$A_{fil} = 2 \cdot B \cdot h \cdot p \quad \dots (18)$$

Donde:

- A_{fil} : Área de filtración, en m^2 .
- B: Ancho habilitado, en m.
- h: Altura de la cresta, en m.
- p: Número de pliegues.

Por lo tanto,

$$A_{fil} = 2 \cdot B \cdot h \cdot p = 2 * 0.271m * 0.017m * 130$$
$$A_{fil} = 1.198 m^2$$

Por otro lado, el peso de las muestras estándar se determinará mediante el uso de la balanza electrónica con capacidad de 15Kg; cada muestra de filtro difiere uno del otro debido a que, durante su fabricación, el proceso de dosificación de resina es manual lo que resulta variable el peso de la resina en las tapas metálicas. Por consiguiente, de acuerdo con el criterio del encargado

de Laboratorio con mayor experiencia y conocimiento en medios filtrantes, se le solicitó la selección de las muestras de medios filtrantes como alternativas posibles, describiéndose a manera de codificación correlativa en la tabla 4.1.

Tabla 4.1. Características de las muestras de filtros estándar

MEDIO FILTRANTE			FILTRO MUESTRA	
MEDIO FILTRANTE	TIPO	TAMAÑO DE PORO (µm)	PESO DE LA MUESTRA (g)	AREA FILTRANTE (m ²)
MF-1	Celulosa	40 - 55	582.0	1.198
MF-2	Celulosa	40 - 55	596.1	1.198
MF-3	Celulosa	34 - 45	575.7	1.198
MF-4	Celulosa	34 - 50	573.5	1.198
MF-5	Semisintético	45 - 65	583.1	1.198

Es importante resaltar que, en operaciones mineras con maquinaria pesada y construcción, existen concentraciones moderadas y extremas de polvo, por lo que el tamaño de material particulado suele variar entre 0,5 a 40 micras. El tipo y tamaño de poro máximo para cada muestra se registró en la tabla 4.1 proveniente de los documentos “hojas de especificaciones de material” de cada uno de los medios filtrantes seleccionados (ver anexos 13, 14, 15, 16 y 17).

4.6.2. Ensayos de Restricción al Flujo de Aire

a. Preparación del equipo:

Como primer paso, verificamos que cada muestra estándar ensamblada no presente abolladuras ni espacios vacíos en las tapas metálicas debido a la dosificación de resina. Instalamos la primera muestra estándar del filtro para aire en la carcasa a modo de simular el porta-filtro de un vehículo pesado.

Al momento del montaje, se verifica la presencia de fugas entre la unidad de prueba y la carcasa (porta filtro) a fin de evitar las pérdidas de carga. Conectamos las tomas de presión en los puntos de cada tubo piezométrico de mayor presión (ingreso) y de menor presión (salida), tal como se muestra en la imagen 4.1 a causa del flujo de succión provocado por el extractor centrífugo del banco de ensayo.

Imagen 4.1. Puntos de toma de presión al ingreso y salida



Imagen 4.2. Carcasa porta-filtro para ensayos de performance



Calculamos el flujo de aire nominal requerido según la aplicación tecnológica del filtro muestra estándar, la ecuación 19¹ nos permite obtener el caudal de aire que ingresa a un motor de combustión interna de 4 tiempos.

¹ Ecuación (6) referida en la pág. 9 del informe de Tesis “ESTUDIO COMPARATIVO DEL CAUDAL DE FLUJO DE AIRE EN EL SISTEMA DE ADMISIÓN DE UN VEHÍCULO A GASOLINA A TRAVÉS DE UN FLUJÓMETRO”, del autor Juan Fernando Villagómez Oña, para obtener el título profesional de Ing. Automotriz en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería e Industrias de la Universidad Tecnológica Equinoccial; en la ciudad de Quito, Ecuador, marzo de 2017.

$$Q = \frac{CID * RPM * n_v}{3456} \quad \dots (19)$$

Donde:

- Q: Caudal de aire de admisión, en pie³/min o CFM.
- CID: Cilindrada o desplazamiento cúbico, en pulg³.
- RPM: Las revoluciones por minuto del motor.
- n_v: Rendimiento volumétrico (teórico de 0.90)

Según el catálogo del filtro estándar utilizado en los ensayos, se tiene como aplicación automotriz para un motor Toyota modelo 5L con las siguientes especificaciones técnicas que se muestran en la tabla 4.2, para mayor detalle ver el anexo N°12 “Especificaciones Técnicas del motor Toyota 5L”.

Tabla 4.2. Especificaciones técnicas del motor Toyota 5L

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL MOTOR TOYOTA 5L	
Código del motor	5L
Diseño	4 cilindros en línea, vertical
Tipo de combustible	Diesel, aspiración natural
Desplazamiento	Teórico: 3L, Real: 2986 cc
Bomba de inyección	Mecánico
Diámetro del cilindro	99.5 mm (3.92 in)
Carrera del pistón	96.0 mm (3.78 in)
Relación de compresión	22.3 : 1
Sumador de poder	Ninguno
Potencia	90 HP @ 4000 RPM
Torque máximo	191 N.m @ 2400 RPM
Orden de disparo (inyección)	1-3-4-2

Fuente: <https://www.ventos.site/especificaciones/especificaciones-y-revision-datos-de-servicio-toyota-5l/>

De la tabla 4.2, nos indica la cilindrada, los RPM mínimo y RPM máximo para ser reemplazados en la ecuación 18, por lo que, el flujo de aire nominal requerido para el ensayo será el promedio del valor mínimo y máximo.

$$CID = 2986 \text{ cm}^3 \times \left(\frac{1 \text{ pulg}}{2.54 \text{ cm}} \right)^3 = 182.22 \text{ pulg}^3$$

$$Q_{min} = \frac{CID * RPM_{min} * n_v}{3456} = \frac{182.22 \times 2400 \times 0.9}{3456} = 113.89 \text{ CFM}$$

$$Q_{max} = \frac{CID * RPM_{max} * n}{3456} = \frac{182.22 \times 4000 \times 0.9}{3456} = 189.81 \text{ CFM}$$

Por lo tanto, el flujo nominal promedio que ingresa al motor será:

$$Q_{nom} = \frac{Q_{min} + Q_{max} \cdot 2}{2} = \frac{113.89 + 189.81}{2} = 151.85 \text{ CFM}$$

$$Q_{nom} = 151.85 \frac{\text{pie}^3}{\text{min}} \times \left(\frac{0.3048 \text{ m}^3}{1 \text{ pie}} \right)^3 = 4.3 \cong 4 \text{ m}^3/\text{min}$$

Imagen 4.3. Muestras estándar de filtros para aire de sello axial



b. Ejecución del ensayo:

Empezamos el ensayo encendiendo el banco de pruebas, luego fijamos el flujo de aire en la posición inicial del manómetro de columna líquida inclinada (0 a 10 pulg H₂O) marca Dwyer mediante la manipulación de la válvula reguladora del banco. De ser el caso, se ajusta a la posición inicial "0" girando manualmente el perillero del manómetro.

Imagen 4.4. Manómetro de columna líquida inclinada



Después, se debe llevar el flujo de aire hasta su valor nominal calculado anteriormente, haciendo uso del diagrama del medidor de flujo por efecto Venturi, ver anexo 8. Durante un tiempo de 3 minutos, verificamos que se mantenga el diferencial de presión al observar el manómetro de columna líquida inclinada.

Luego, tomamos la siguiente lectura del flujo nominal al 50% de su valor nominal, registrándose una nueva caída de presión en el filtro estándar, observado en el manómetro diferencial de columna líquida (0 a 36 pulg H₂O).

Imagen 4.5. Manómetro diferencial de columna líquida



De igual manera, registramos como mínimo la caída de presión para rangos de flujos de aire al 75%, 125% y 150% del flujo nominal requerido para el filtro ensayado, haciendo uso del anexo 8 “diagrama del medidor de flujo en el tubo Venturi” que indica la caída de presión entre los puntos de entrada y salida del tubo Venturi para cada valor del flujo de aire en el banco de prueba, obtenidos de manera empírica. De esta manera, llevaremos el ensayo desde 0 a 6 m³/min regulando la válvula de apertura para cada valor parcial del flujo nominal de aire y tomamos lectura de la caída de presión en pulg H₂O.

c. Finalización del ensayo:

De acuerdo con los 5 ensayos de resistencia al flujo realizados, se muestran los valores registrados de caída de presión (KPa) con relación a las variaciones del flujo nominal (m³/min), así como las gráficas que describen el comportamiento no lineal en cada filtro estándar de prueba.

Tabla 4.3. Resistencia al Flujo de Aire con MF-1

RESISTENCIA AL FLUJO DE AIRE CON MF-1				
ITEM	Flujo (m ³ /min)	ΔP venturi (pulgH ₂ O)	ΔP filtro (pulgH ₂ O)	ΔP filtro (KPa)
1	0.00	0.00	0.00	0.00
2	1.00	0.04	0.60	0.15
3	2.00	0.08	0.85	0.21
4	3.00	0.12	1.15	0.29
5	3.45	0.18	1.50	0.37
6	4.00	0.24	1.90	0.47
7	4.50	0.31	2.30	0.57
8	5.00	0.37	2.70	0.67
9	5.40	0.42	3.00	0.75
10	6.00	0.58	4.00	1.00

Gráfico 4.1. Caída de presión (KPa) vs. flujo (m³/min) con MF-1

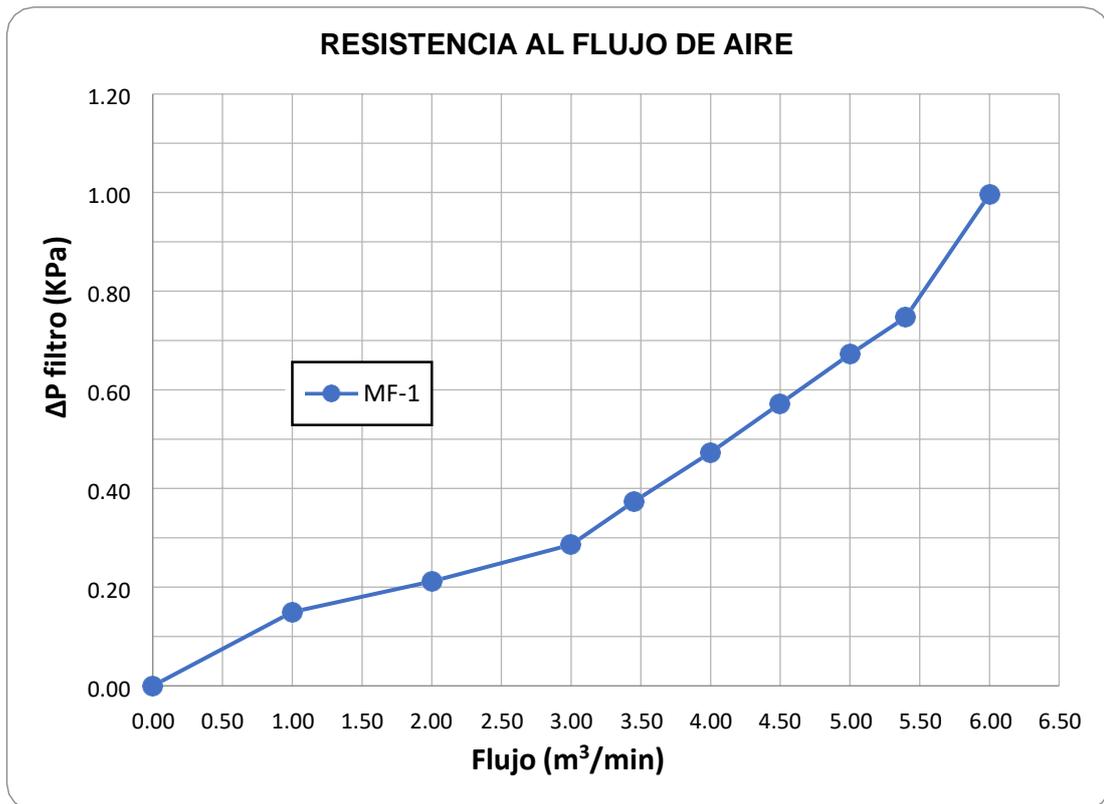


Tabla 4.4. Resistencia al Flujo de Aire con MF-2

RESISTENCIA AL FLUJO DE AIRE CON MF-2				
ITEM	Flujo (m ³ /min)	ΔP venturi (pulgH ₂ O)	ΔP filtro (pulgH ₂ O)	ΔP filtro (KPa)
1	0.00	0.00	0.00	0.00
2	1.00	0.04	0.55	0.14
3	2.00	0.08	0.80	0.20
4	3.00	0.12	1.00	0.25
5	3.45	0.18	1.30	0.32
6	4.00	0.24	1.70	0.42
7	4.50	0.31	2.15	0.54
8	5.00	0.37	2.45	0.61
9	5.40	0.42	2.70	0.67
10	6.00	0.58	3.60	0.90

Gráfico 4.2. Caída de presión (KPa) vs. flujo (m³/min) con MF-2

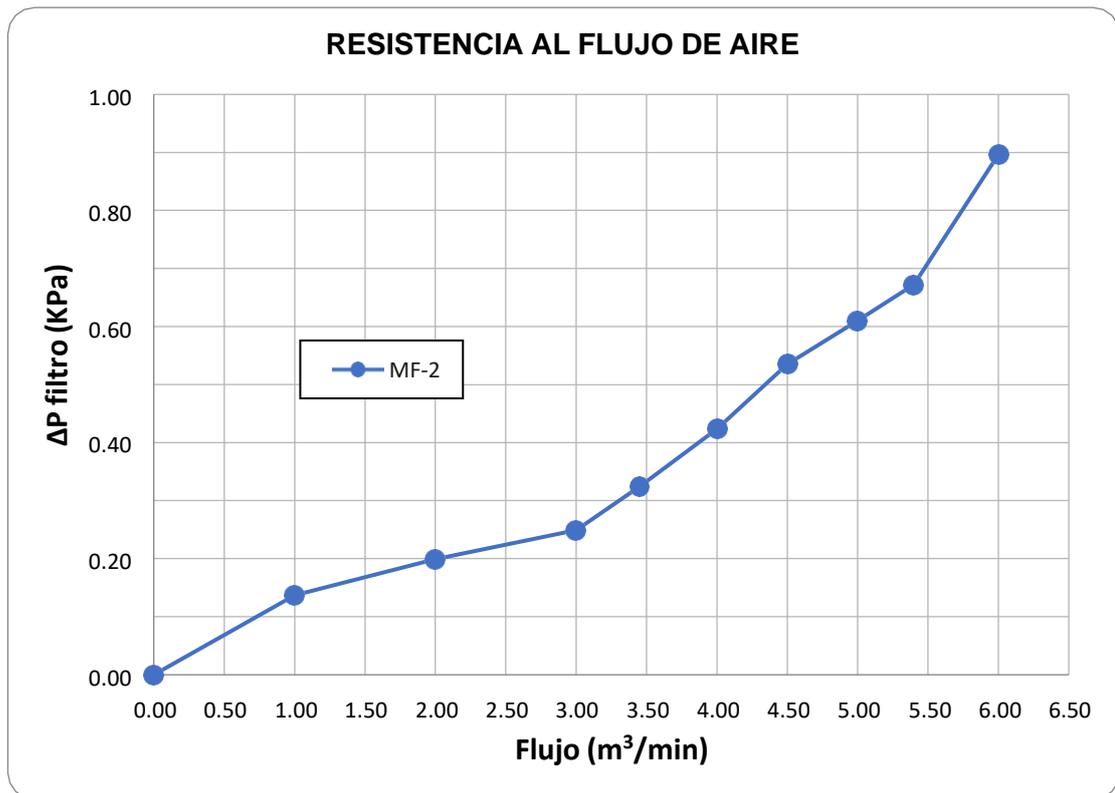


Tabla 4.5. Resistencia al Flujo de Aire con MF-3

RESISTENCIA AL FLUJO DE AIRE CON MF-3				
ITEM	Flujo (m³/min)	ΔP venturi (pulgH₂O)	ΔP filtro (pulgH₂O)	ΔP filtro (KPa)
1	0.00	0.00	0.00	0.00
2	1.00	0.04	0.50	0.12
3	2.00	0.08	0.70	0.17
4	3.00	0.12	1.00	0.25
5	3.45	0.18	1.35	0.34
6	4.00	0.24	1.70	0.42
7	4.50	0.31	2.10	0.52
8	5.00	0.37	2.50	0.62
9	5.40	0.42	2.80	0.70
10	6.00	0.58	3.75	0.93

Gráfico 4.3. Caída de presión (KPa) vs. flujo (m³/min) con MF-3

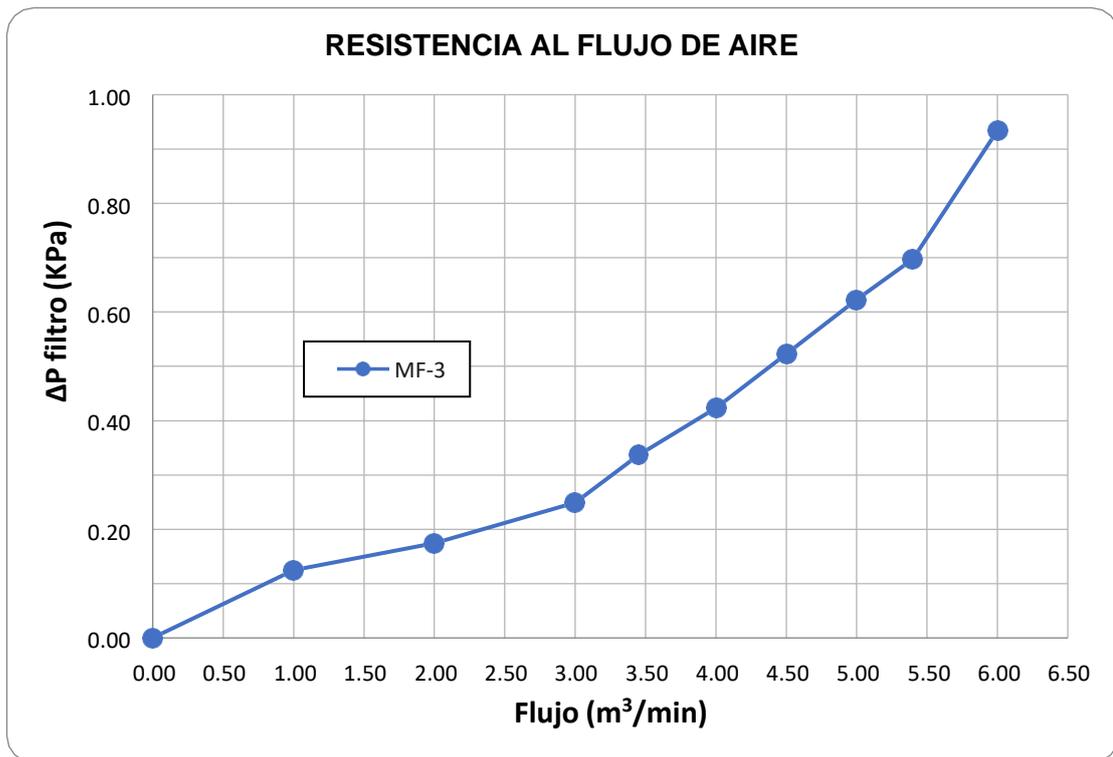


Tabla 4.6. Resistencia al Flujo de Aire con MF-4

RESISTENCIA AL FLUJO DE AIRE CON MF-4				
ITEM	Flujo (m ³ /min)	ΔP venturi (pulgH ₂ O)	ΔP filtro (pulgH ₂ O)	ΔP filtro (KPa)
1	0.00	0.00	0.00	0.00
2	1.00	0.04	0.50	0.12
3	2.00	0.08	0.80	0.20
4	3.00	0.12	0.95	0.24
5	3.45	0.18	1.30	0.32
6	4.00	0.24	1.60	0.40
7	4.50	0.31	1.90	0.47
8	5.00	0.37	2.40	0.60
9	5.40	0.42	2.60	0.65
10	6.00	0.58	3.40	0.85

Gráfico 4.4. Caída de presión (KPa) vs. flujo (m³/min) con MF-4

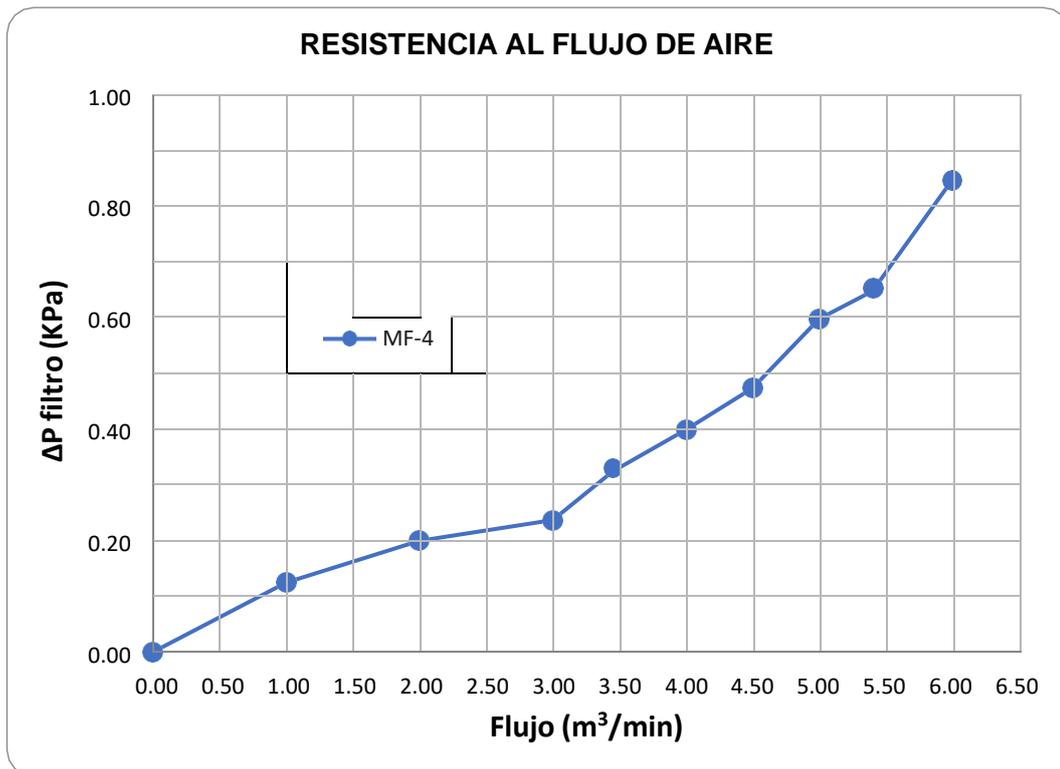
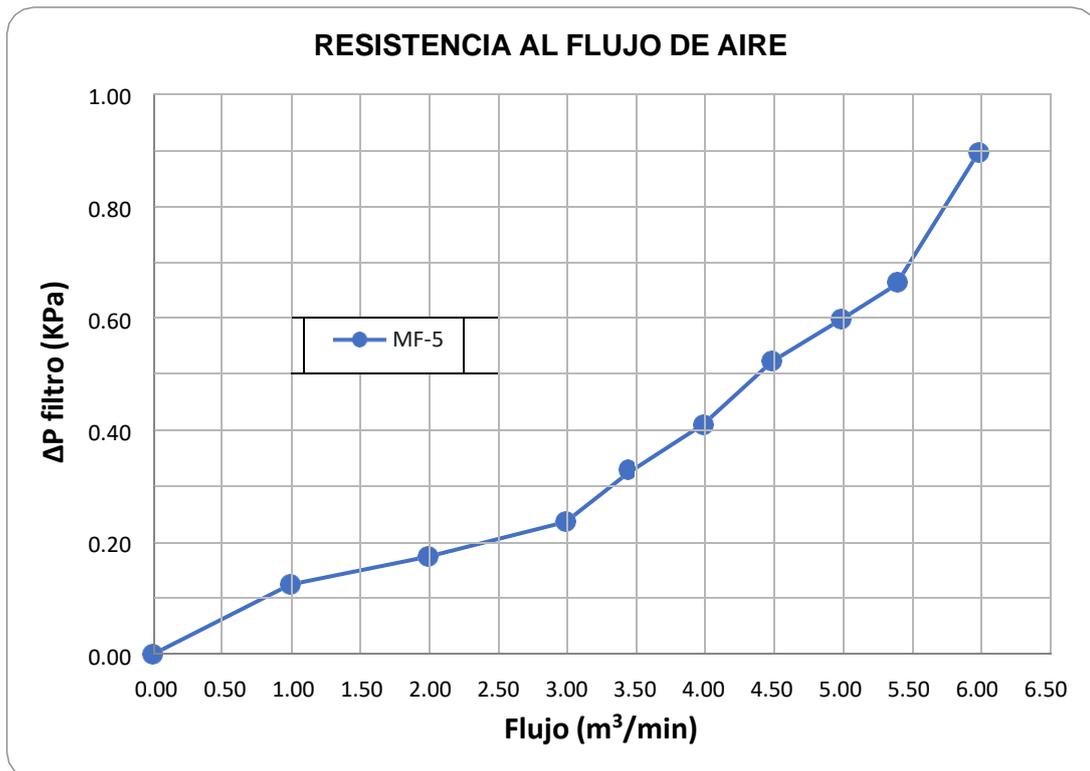


Tabla 4.7. Resistencia al Flujo de Aire con MF-5

RESISTENCIA AL FLUJO DE AIRE CON MF-5				
ITEM	Flujo (m ³ /min)	ΔP venturi (pulgH ₂ O)	ΔP filtro (pulgH ₂ O)	ΔP filtro (KPa)
1	0.00	0.00	0.00	0.00
2	1.00	0.04	0.50	0.12
3	2.00	0.08	0.70	0.17
4	3.00	0.12	0.95	0.24
5	3.45	0.18	1.30	0.32
6	4.00	0.24	1.65	0.41
7	4.50	0.31	2.10	0.52
8	5.00	0.37	2.40	0.60
9	5.40	0.42	2.65	0.66
10	6.00	0.58	3.60	0.90

Gráfico 4.5. Caída de presión (KPa) vs. flujo (m³/min) con MF-5



4.6.3. Ensayos de presión diferencial y eficiencia de filtración

a. Preparación del equipo:

Previo a la preparación del banco de ensayo, debemos colocar una almohadilla (tándem) de 1m² del filtro absoluto en el interior del equipo cámara de alta temperatura, para su secado a una temperatura que oscile entre 105°C a 110°C durante un tiempo de exposición entre 30 a 40 minutos.

Imagen 4.6. Secado del filtro absoluto en cámara de alta temperatura



Una vez secado el filtro absoluto, hay que secar también el polvo contaminante ISO 12103-1 A2 Fine en la cantidad requerida para el ensayo, a las mismas condiciones de secado del filtro absoluto. Es importante que este polvo ISO no presente humedad provocado por las condiciones de la calidad del aire interior en el laboratorio.

Para comenzar con el ensayo, es necesario asegurarse que la carcasa donde se instalará el filtro de prueba se encuentre limpia del polvo contaminante, de igual forma en los accesorios del sistema alimentador de polvo (inyector, manguera, embudo).

Registramos el peso inicial del filtro absoluto, después de estabilizar la plataforma de la balanza electrónica de 0 a 15Kg para una lectura exacta del peso del filtro absoluto con precisión de 0,1 g.

Imagen 4.7. Balanza electrónica de 0 a 15 Kg



Registramos en la misma balanza que se muestra en la imagen 4.7, el peso inicial de la carcasa vacía sin la tapa y del filtro de aire a probar con una aproximación de 0,1gr.

De acuerdo con las indicaciones del jefe de laboratorio, se tiene que sellar herméticamente el filtro absoluto y el filtro de prueba cada uno en su carcasa respectivamente, tal como indica en el esquema de la figura 2.6 en la posición correcta según la dirección del flujo de succión. Inspeccionamos la sellabilidad en los tubos piezométricos para el punto de toma de presión manométrica tanto en el ingreso como en la salida de la carcasa porta-filtro de la unidad de prueba, para cada filtro ensayado.

Para este ensayo, debemos mantener constante el flujo de aire nominal calculado del filtro estándar a ensayar, por lo que debemos controlar manualmente la caída de presión en el tubo Venturi. Para determinar la tasa de dosificación de polvo, el filtro de prueba no deberá romperse o deformarse al ser sometido al ensayo (NTP 383.048:1984, 2012).

Para lo cual, consideramos la tasa promedio de dosificación de polvo (AVG RATE), según valores de la tabla 4.8, una caída de presión máxima permisible de 30 pulgH₂O y una concentración de 1 g/m³ del polvo contaminante alimentado para servicio pesado.

Tabla 4.8. Condiciones del ensayo de eficiencia de filtración

FILTRO PARA AIRE	LIVIANO	PESADO
Caída de presión máxima para el ensayo	10 pulg H ₂ O	30 pulg H ₂ O
Concentración de alimentación del polvo	0,5 g/m ³	1,0 g/m ³
Tasa de dosificación de polvo (AVG RATE)¹	0,5*Q g/min	1,0*Q g/min

Fuente: Norma Técnica Peruana NTP 383.048

Notas:

1. “Q” es el flujo nominal en m³/min

Por lo tanto, obtenemos que el AVG RATE a programar en el PLC se obtiene como el producto de $Q_{nom} \times C_{feed} = 4\text{m}^3/\text{min} \times 1\text{ g/m}^3 = 4\text{g}/\text{min}$.

b. Ejecución del ensayo:

Empezamos el ensayo de eficiencia total, llevando y manteniendo constante el flujo nominal de $4\text{ m}^3/\text{min} \pm 2\%$ durante todo el ensayo de manera manual. Registramos la presión diferencial inicial en el filtro de prueba por medio del manómetro diferencial de columna líquida en valores de pulgH₂O y lo convertimos a KPa ($1\text{pulgH}_2\text{O} = 0.249\text{KPa}$).

Cargamos la tolva del dosificador del polvo contaminante ISO 12103-1 A2 Fine, previamente secado, con la cantidad aproximada que no sobrepase las $\frac{3}{4}$ partes de la tolva, en la imagen 4.8 se observa el sistema de transporte electromecánico accionado con PLC.

Imagen 4.8. Sistema electromecánico alimentador del polvo contaminante

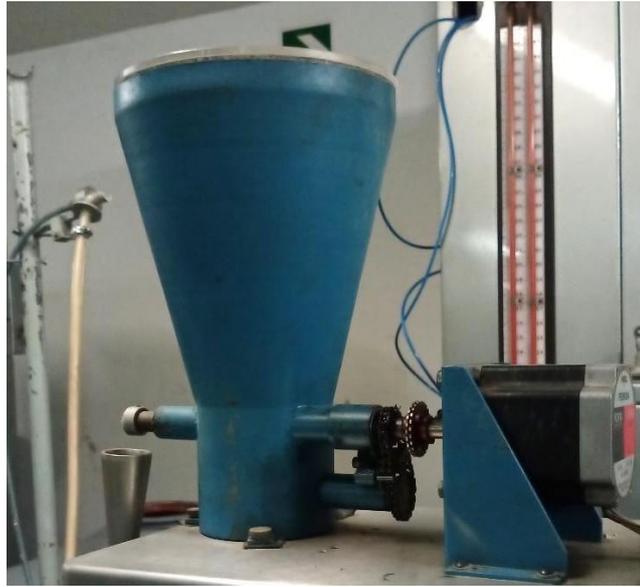
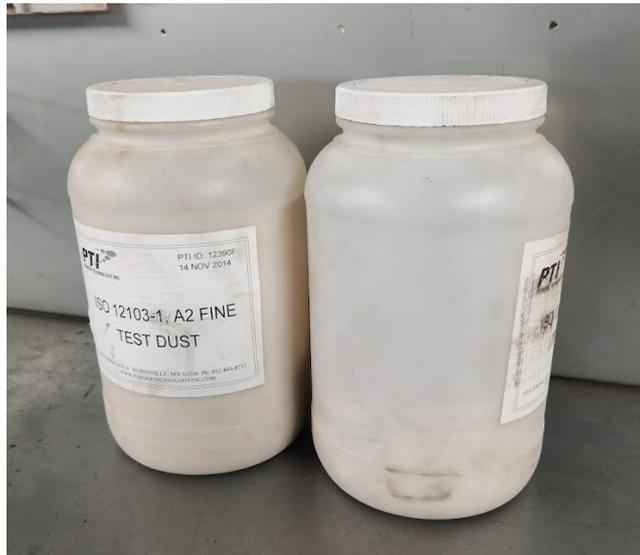
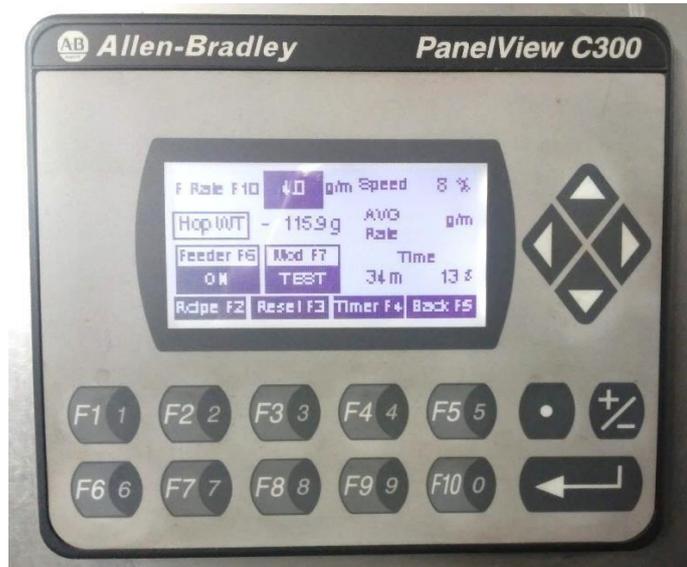


Imagen 4.9. Frascos de 3.5Kg del polvo contaminante ISO 12103-1 A2 Fine



Realizamos la programación en el PLC Allen-Bradley para la puesta en marcha al ingresar los parámetros de AVG RATE, tiempo máximo del ensayo y % de velocidad RPM del motor eléctrico del sistema alimentador de polvo, tal como se muestra en la imagen 4.10.

Imagen 4.10. Puesta en marcha en el PLC Allen-Bradley C300



Activamos la marcha del equipo dosificador de contaminante al pulsar la tecla “F6” del tablero del PLC, previa disposición del inyector de polvo al ingreso de la carcasa del filtro de prueba, conectado a una manguera de aire comprimido regulado a 35 psi, como se muestra en la imagen 4.11.

Imagen 4.11. Disposición del inyector de polvo contaminante



Comenzamos con la alimentación del polvo contaminante bajo las condiciones de operación del flujo nominal ($4\text{m}^3/\text{min}$) y caída de presión inicial (KPa) determinadas en el ensayo de resistencia al flujo de aire para cada filtro estándar de prueba. Registramos la masa del contaminante dosificado en la

balanza electrónica de 2000g, que se muestra en la imagen 4.12, a intervalos de tiempo regulares dependiendo de la capacidad y tamaño del filtro. Se recomienda por lo menos cinco lecturas de la masa de polvo retenida por el filtro de prueba durante el ensayo.

Seguir con la alimentación de polvo, registrando la presión diferencial por cada intervalo de polvo entregado a la unidad de prueba. El ensayo estará finalizando cuando ocurra uno de los siguientes eventos: Variación súbita de presión o aumento de la presión diferencial especificada. En nuestro caso, el ensayo finalizó por variación súbita de presión debido a la saturación del filtro.

Imagen 4.12. Balanza electrónica de 0 a 2000g



Imagen 4.13. Tolva para carga del polvo contaminante ISO 12103-1



Luego de apagar el banco, retiramos cuidadosamente de la carcasa cada filtro muestra ensayado, para registrar su peso final por separado en la balanza electrónica de 15Kg. De igual manera, proceder con el filtro absoluto al desmontarlo de su carcasa, tal como se muestra en la imagen 4.14.

Es importante mencionar que debemos tener cuidado de no eliminar el polvo contaminante adherido a la estructura del filtro muestra y a las paredes del porta-filtro, así como en los demás accesorios (tuercas, arandelas, empaquetaduras y tapa de la carcasa). Luego del pesaje de cada muestra, se procede con la limpieza de la carcasa y accesorios y con la disposición en tachos de color rojo de residuos sólidos peligrosos del filtro absoluto y en un receptáculo de color amarillo para los filtros muestra usados.

Imagen 4.14. Filtro absoluto en condiciones finales de ensayo



Imagen 4.15. Filtro muestra estándar en condiciones finales de ensayo



c. Finalización del ensayo:

Luego de la ejecución del ensayo, los cálculos del balance de masa, incrementos de masa, eficiencia del elemento filtrante, eficiencia total del filtro y capacidad de retención en función a los registros de masa iniciales y finales, son realizados en base a las ecuaciones 4, 5, 9 y 10 del marco teórico.

➤ Cálculo del balance de masa del polvo dosificado:

$$B_1 = \frac{\Delta m_F + \Delta m_u}{m_D}$$

Donde:

- Δm_F es el incremento de masa en el filtro absoluto.
- Δm_u es el incremento de masa de la unidad de prueba.
- m_D es la masa total del polvo alimentado.

$$B_1 = \frac{(64.4 - 55.8) + (1224.1 + 4932.1 - 582.0 - 4592.6)}{980}$$

$$B_1 = 1.01$$

$$B_2 = \frac{(64.6 - 53.2) + (1219.8 + 4927.2 - 596.1 - 4591.9)}{980}$$

$$B_2 = 0.99$$

$$B_3 = \frac{(54.6 - 53.3) + (1216.2 + 4921.6 - 575.7 - 4593.3)}{980}$$

$$B_3 = 0.99$$

$$B_4 = \frac{(65.0 - 61.3) + (1305.9 + 4815.9 - 573.5 - 4590.5)}{980}$$

$$B_4 = 0.98$$

$$B_5 = \frac{(62.2 - 61.8) + (1359.3 + 4790.0 - 583.1 - 4591.5)}{980}$$

$$B_5 = 1.00$$

Según la norma ISO 5011, cuando el valor del balance de masa está comprendido en un rango entre 0.98 y 1.02, el ensayo es válido. Por lo tanto, cada uno de los 5 ensayos realizados es conforme pues el balance de masa calculado cumple con permanecer dentro del rango.

➤ Cálculo de la eficiencia del elemento filtrante:

$$E_1 = \frac{\Delta m_u}{\Delta m_u + \Delta m_F} \times 100\%$$

Donde:

- Δm_F es el incremento de masa en el filtro absoluto.
- Δm_u es el incremento de masa de la unidad de prueba.

$$E_1 = \frac{1224.1 - 582.0}{(1224.1 - 582.0) + (64.4 - 55.8)} \times 100\%$$

$$E_1 = 98.68 \%$$

$$E_2 = \frac{1219.8 - 596.1}{(1219.8 - 596.1) + (64.6 - 53.2)} \times 100\%$$

$$E_2 = 98.21 \%$$

$$E_3 = \frac{1216.2 - 575.7}{(1216.2 - 575.7) + (54.6 - 53.3)} \times 100\%$$

$$E_3 = 99.80 \%$$

$$E_4 = \frac{1305.9 - 573.5}{(1305.9 - 573.5) + (65.0 - 61.3)} \times 100\%$$

$$E_4 = 99.50 \%$$

$$E_5 = \frac{1359.3 - 583.1}{(1359.3 - 583.1) + (62.2 - 61.8)} \times 100\%$$

$$E_5 = 99.95 \%$$

➤ Cálculo de la capacidad de retención en el filtro por unidad de área:

$$C_1 = \frac{m_D - \Delta m_F}{A_{fil}}$$

Donde:

- m_D es la masa del polvo dosificado.
- Δm_F es el incremento en masa del filtro absoluto.
- A_{fil} es el área de filtración, calculado anteriormente en la ecuación 18.

$$C_1 = \frac{990.2 - 8.6}{1.198} = \frac{981.6}{1.198}$$

$$C_1 = 819.49 \text{ g/m}^2$$

$$C_2 = \frac{970.4 - 11.4}{1.198} = \frac{959.0}{1.198}$$

$$C_2 = 800.62 \text{ g/m}^2$$

$$C_3 = \frac{970.1 - 1.3}{1.198} = \frac{968.8}{1.198}$$

$$C_3 = 808.80 \text{ g/m}^2$$

$$C_4 = \frac{961.5 - 3.7}{1.198} = \frac{957.8}{1.198}$$

$$C_4 = 799.62 \text{ g/m}^2$$

$$C_5 = \frac{975.1 - 0.4}{1.198} = \frac{974.7}{1.198}$$

$$C_5 = 813.73 \text{ g/m}^2$$

➤ Cálculo de la eficiencia total del filtro para aire:

$$E_{f1} = \frac{\frac{m_D - \Delta m_F}{\Delta m_F}}{m_D} \times 100\% = \left(1 - \frac{\Delta m_F}{m_D}\right) \times 100\%$$

Donde:

- m_D es la masa del polvo dosificado.
- Δm_F es el incremento en masa del filtro absoluto.

$$E_{f1} = \left(1 - \frac{8.6}{990.2}\right) \times 100\%$$

$$E_{f1} = 99.13\%$$

$$E_{f2} = \left(1 - \frac{11.4}{970.4}\right) \times 100\%$$

$$E_{f2} = 98.83\%$$

$$E_{f3} = \left(1 - \frac{1.3}{970.1}\right) \times 100\%$$

$$E_{f3} = 99.87\%$$

$$E_{f4} = \left(1 - \frac{3.7}{961.5}\right) \times 100\%$$

$$E_{f4} = 99.62\%$$

$$E_{f5} = \left(1 - \frac{0.4}{975.1}\right) \times 100\%$$

$$E_{f5} = 99.96\%$$

Asimismo, los formatos de registro denominados “Fichas de Reporte”, de acuerdo con la norma ISO 5011:2014, para el cálculo en los ensayos de eficiencia de filtración se resumen en las tablas 4.9, 4.11, 4.12 y 4.13 que detalla los pesos iniciales, pesos finales y cada valor obtenido según el anexo 2 para aplicaciones automotriz. Mientras que, los datos recolectados de los ensayos de capacidad de retención para cada uno de los 5 filtros de prueba se representan en las tablas 4.14, 4.15, 4.16, 4.17 y 4.18 y en los gráficos 4.6, 4.7, 4.8, 4.9 y 4.10, respectivamente para cada muestra.

Tabla 4.9. Ensayo de eficiencia de filtración con MF-1

	Masa (g)			Medio filtrante	
	Antes	Después	Diferencial		
Filtro absoluto	55.800	64.400	8.60	Ancho total (mm)	271.00
Elemento	582.00	1224.10	642.10	Cresta (mm)	17.00
Carcasa	4592.60	4932.10	339.50	Pliegues	130.00
Dosificador	0.00	980.00	990.20	Denominación	MF-1
Resultados del ensayo de eficiencia de filtración					
Balance del polvo ISO (0.98-1.02)			1.01	Área filtrante (m²)	1.198
Eficiencia total del filtro (%)			99.13%	Área filtrante (cm²)	11978.20
Eficiencia del elemento (%)			98.68%	Cap. de retención del filtro (gr/m²)	819.49
Capacidad de Retención del filtro (gr)			981.60		
Capacidad de Retención del elemento (gr)			642.10		

Tabla 4.10. Ensayo de eficiencia de filtración con MF-2

	Masa (g)			Medio filtrante	
	Antes	Después	Diferencial		
Filtro absoluto	53.200	64.600	11.40	Ancho total (mm)	271.00
Elemento	596.10	1219.80	623.70	Cresta (mm)	17.00
Carcasa	4591.90	4927.20	335.30	Pliegues	130.00
Dosificador	0.00	980.00	970.40	Denominación	MF-2
Resultados del ensayo de eficiencia de filtración					
Balance del polvo ISO (0.98-1.02)			0.99	Área filtrante (m²)	1.198
Eficiencia total del filtro (%)			98.83%	Área filtrante (cm²)	11978.20
Eficiencia del elemento (%)			98.21%	Cap. de retención del filtro (gr/m²)	800.62
Capacidad de Retención del filtro (gr)			959.00		
Capacidad de Retención del elemento (gr)			623.70		

Tabla 4.11. Ensayo de eficiencia de filtración con MF-3

	Masa (g)			Medio filtrante	
	Antes	Después	Diferencial		
Filtro absoluto	53.300	54.600	1.30	Ancho total (mm)	271.00
Elemento	575.70	1216.20	640.50	Cresta (mm)	17.00
Carcasa	4593.30	4921.60	328.30	Pliegues	130.00
Dosificador	0.00	980.00	970.10	Denominación	MF-3
Resultados del ensayo de eficiencia de filtración					
Balance del polvo ISO (0.98-1.02)			0.99	Área filtrante (m²)	1.198
Eficiencia total del filtro (%)			99.87%	Área filtrante (cm²)	11978.20
Eficiencia del elemento (%)			99.80%	Cap. de retención del filtro (gr/m²)	808.80
Capacidad de Retención del filtro (gr)			968.80		
Capacidad de Retención del elemento (gr)			640.50		

Tabla 4.12. Ensayo de eficiencia de filtración con MF-4

	Masa (g)			Medio filtrante	
	Antes	Después	Diferencial		
Filtro absoluto	61.300	65.000	3.70	Ancho total (mm)	271.00
Elemento	573.50	1305.90	732.40	Cresta (mm)	17.00
Carcasa	4590.50	4815.90	225.40	Pliegues	130.00
Dosificador	0.00	980.00	961.50	Denominación	MF-4
Resultados del ensayo de eficiencia de filtración					
Balance del polvo ISO (0.98-1.02)			0.98	Área filtrante (m²)	1.198
Eficiencia total del filtro (%)			99.62%	Área filtrante (cm²)	11978.20
Eficiencia del elemento (%)			99.50%	Cap. de retención del filtro (gr/m²)	799.62
Capacidad de Retención del filtro (gr)			957.80		
Capacidad de Retención del elemento (gr)			732.40		

Tabla 4.13. Ensayo de eficiencia de filtración con MF-5

	Masa (g)			Medio filtrante	
	Antes	Después	Diferencial		
Filtro absoluto	61.800	62.200	0.40	Ancho total (mm)	271.00
Elemento	583.10	1359.30	776.20	Cresta (mm)	17.00
Carcasa	4591.50	4790.00	198.50	Pliegues	130.00
Dosificador	0.00	980.00	975.10	Denominación	MF-5
Resultados del ensayo de eficiencia de filtración					
Balance del polvo ISO (0.98-1.02)			1.00	Área filtrante (m²)	1.198
Eficiencia total del filtro (%)			99.96%	Área filtrante (cm²)	11978.20
Eficiencia del elemento (%)			99.95%	Cap. de retención del filtro (gr/m²)	813.73
Capacidad de Retención del filtro (gr)			974.70		
Capacidad de Retención del elemento (gr)			776.20		

Tabla 4.14. Datos de presión diferencial con MF-1

PRESION DIFERENCIAL CON MF-1					
Tiempo (min.)	W (gr)	AVG RATE (gr/min)	Flujo (m³/min)	ΔP filtro (pulgH₂O)	ΔP filtro (KPa)
0.0	0	4.00	4.00	2.70	0.67
5.0	20	4.00	4.00	3.10	0.77
20.0	80	4.00	4.00	6.90	1.72
35.0	140	4.00	4.00	9.50	2.37
50.0	200	4.00	4.00	11.20	2.79
65.0	260	4.00	4.00	12.70	3.16
80.0	320	4.00	4.00	14.00	3.49
95.0	380	4.00	4.00	15.20	3.78
110.0	440	4.00	4.00	16.20	4.03
125.0	500	4.00	4.00	17.00	4.23
140.0	560	4.00	4.00	17.80	4.43
150.0	600	4.00	4.00	18.40	4.58
162.5	650	4.00	4.00	19.00	4.73
182.5	730	4.00	4.00	19.80	4.93
205.0	820	4.00	4.00	20.60	5.13
225.0	900	4.00	4.00	21.40	5.33
245.0	980	4.00	4.00	22.10	5.50
Prom. polvo dosificado (gr/min)		4.00	Variación de presión	19,40	4,83

Gráfico 4.6. Caída de presión (KPa) vs. cap. retención (g) con MF-1

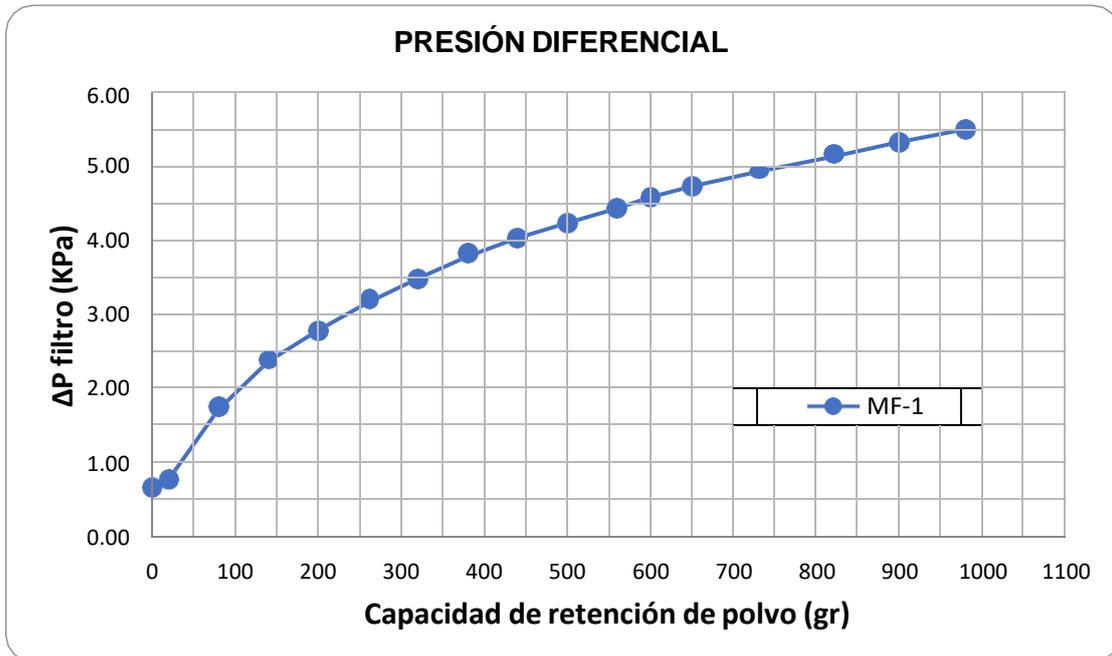


Tabla 4.15. Datos de presión diferencial con MF-2

PRESION DIFERENCIAL CON MF-2					
Tiempo (min.)	W (gr)	AVG RATE (gr/min)	Flujo (m ³ /min)	ΔP filtro (pulgH ₂ O)	ΔP filtro (KPa)
0.0	0	4.00	4.00	2.45	0.61
5.0	20	4.00	4.00	3.70	0.92
20.0	80	4.00	4.00	7.90	1.97
35.0	140	4.00	4.00	10.20	2.54
50.0	200	4.00	4.00	11.85	2.95
65.0	260	4.00	4.00	13.40	3.34
80.0	320	4.00	4.00	14.90	3.71
95.0	380	4.00	4.00	16.10	4.01
110.0	440	4.00	4.00	17.30	4.31
125.0	500	4.00	4.00	17.80	4.43
140.0	560	4.00	4.00	18.80	4.68
150.0	600	4.00	4.00	19.90	4.96
162.5	650	4.00	4.00	20.35	5.07
182.5	730	4.00	4.00	21.70	5.40
205.0	820	4.00	4.00	22.80	5.68
225.0	900	4.00	4.00	23.60	5.88
245.0	980	4.00	4.00	24.40	6.08
Prom. polvo dosificado (gr/min)		4.00	Variación de presión	21,95	5,47

Gráfico 4.7. Caída de presión (KPa) vs. cap. retención (g) con MF-2

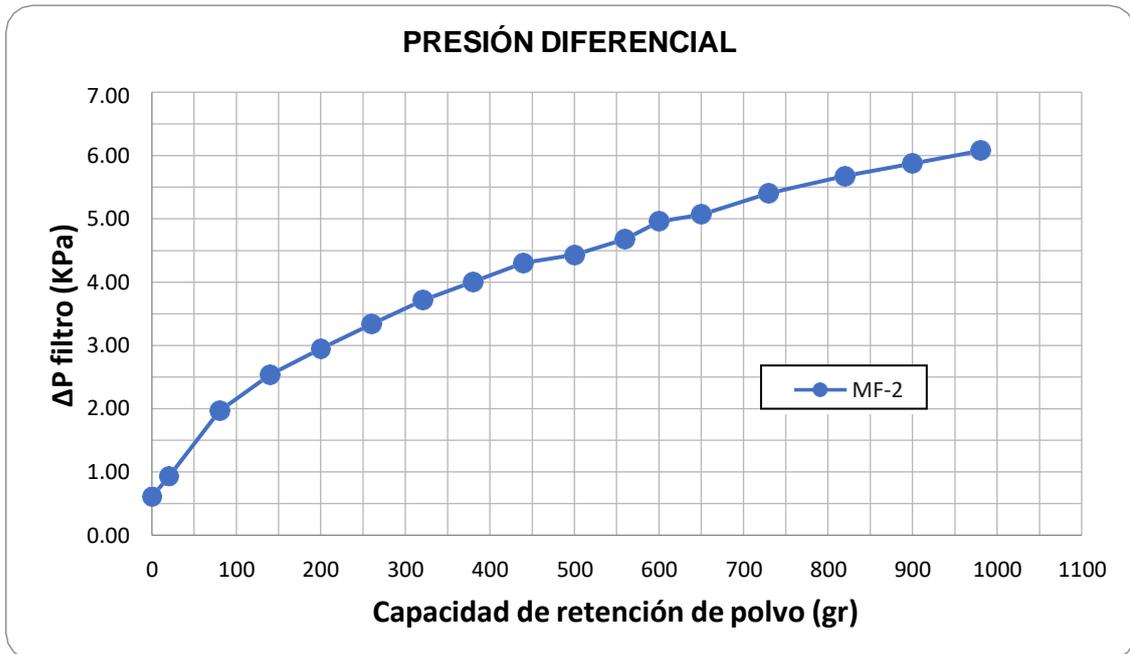


Tabla 4.16. Datos de presión diferencial con MF-3

PRESION DIFERENCIAL CON MF-3					
Tiempo (min.)	W (gr)	AVG RATE (gr/min)	Flujo (m ³ /min)	ΔP filtro (pulgH ₂ O)	ΔP filtro (KPa)
0.0	0	4.00	4.00	2.50	0.62
5.0	20	4.00	4.00	3.30	0.82
20.0	80	4.00	4.00	6.90	1.72
35.0	140	4.00	4.00	9.10	2.27
50.0	200	4.00	4.00	10.80	2.69
65.0	260	4.00	4.00	12.50	3.11
80.0	320	4.00	4.00	14.05	3.50
95.0	380	4.00	4.00	15.50	3.86
110.0	440	4.00	4.00	16.60	4.13
125.0	500	4.00	4.00	17.70	4.41
140.0	560	4.00	4.00	18.40	4.58
150.0	600	4.00	4.00	18.90	4.71
162.5	650	4.00	4.00	19.30	4.81
182.5	730	4.00	4.00	19.90	4.96
205.0	820	4.00	4.00	20.40	5.08
225.0	900	4.00	4.00	21.00	5.23
245.0	980	4.00	4.00	22.00	5.48
Prom. polvo dosificado (gr/min)		4.00	Variación de presión	19,50	4,86

Gráfico 4.8. Caída de presión (KPa) vs. cap. retención (g) con MF-3

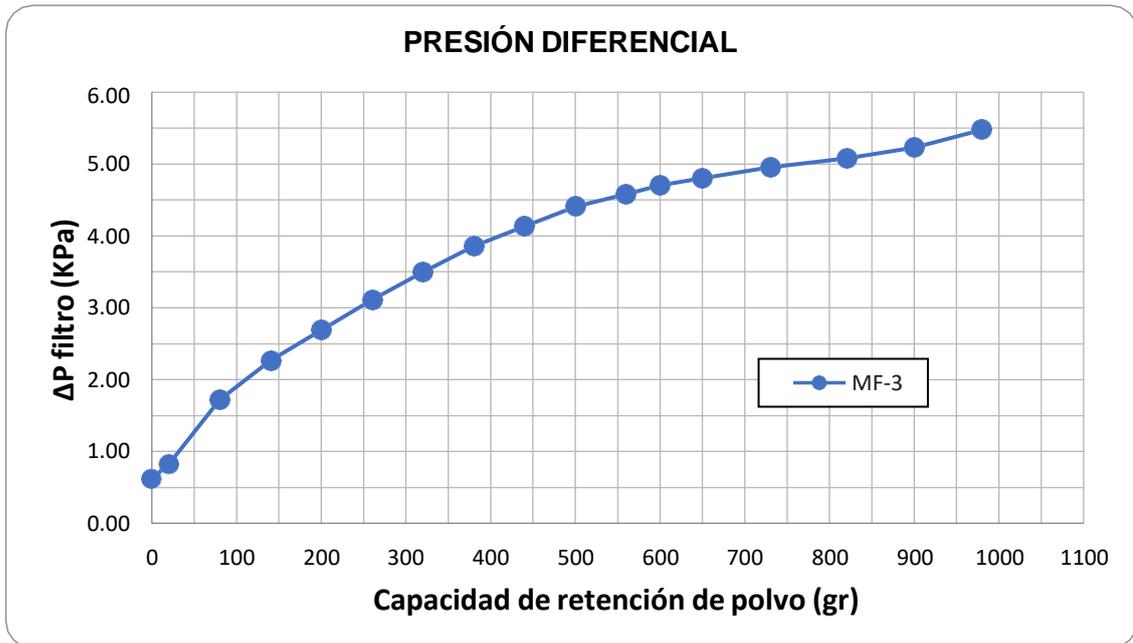


Tabla 4.17. Datos de presión diferencial con MF-4

PRESION DIFERENCIAL CON MF-4					
Tiempo (min.)	W (gr)	AVG RATE (gr/min)	Flujo (m³/min)	ΔP filtro (pulgH₂O)	ΔP filtro (KPa)
0.0	0	4.00	4.00	2.40	0.60
5.0	20	4.00	4.00	3.10	0.77
20.0	80	4.00	4.00	8.20	2.04
35.0	140	4.00	4.00	10.70	2.66
50.0	200	4.00	4.00	12.40	3.09
65.0	260	4.00	4.00	14.20	3.54
80.0	320	4.00	4.00	15.70	3.91
95.0	380	4.00	4.00	16.70	4.16
110.0	440	4.00	4.00	17.90	4.46
125.0	500	4.00	4.00	18.80	4.68
140.0	560	4.00	4.00	19.70	4.91
150.0	600	4.00	4.00	20.70	5.15
162.5	650	4.00	4.00	21.35	5.32
182.5	730	4.00	4.00	21.95	5.47
205.0	820	4.00	4.00	22.60	5.63
225.0	900	4.00	4.00	23.10	5.75
245.0	980	4.00	4.00	24.00	5.98
Prom. polvo dosificado (gr/min)		4.00	Variación de presión	21,60	5,38

Gráfico 4.9. Caída de presión (KPa) vs. cap. retención (g) con MF-4

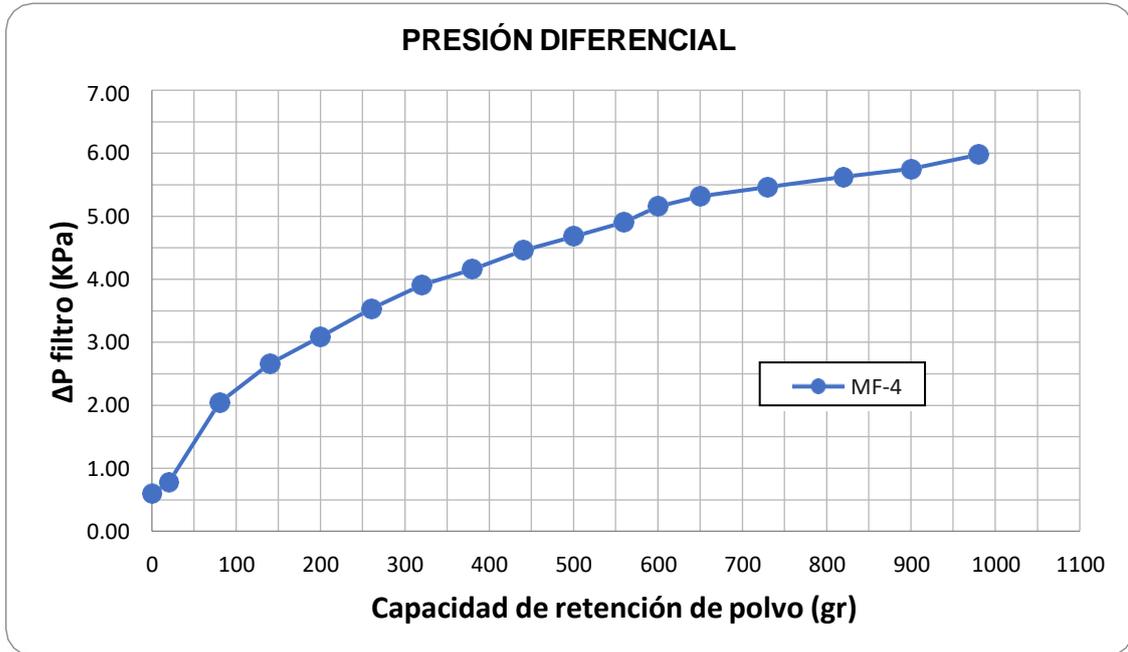
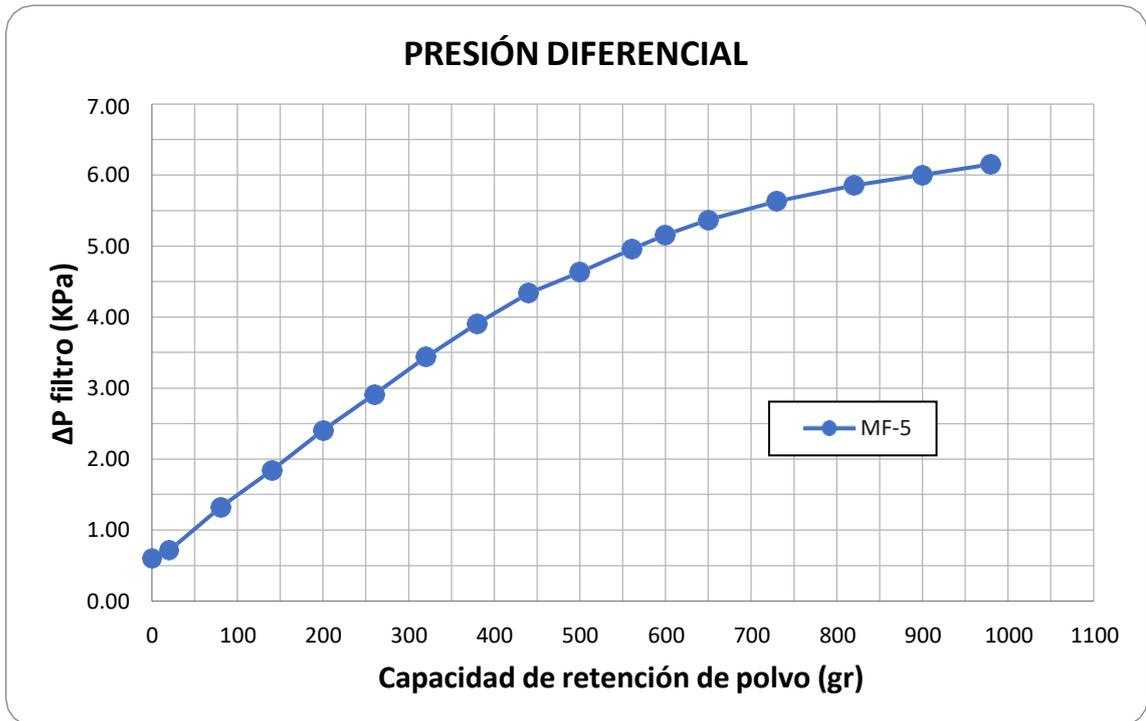


Tabla 4.18. Datos de presión diferencial con MF-5

PRESION DIFERENCIAL CON MF-5					
Tiempo (min.)	W (gr)	AVG RATE (gr/min)	Flujo (m ³ /min)	ΔP filtro (pulgH ₂ O)	ΔP filtro (KPa)
0.0	0	4.00	4.00	2.40	0.60
5.0	20	4.00	4.00	2.85	0.71
20.0	80	4.00	4.00	5.30	1.32
35.0	140	4.00	4.00	7.40	1.84
50.0	200	4.00	4.00	9.65	2.40
65.0	260	4.00	4.00	11.70	2.91
80.0	320	4.00	4.00	13.80	3.44
95.0	380	4.00	4.00	15.70	3.91
110.0	440	4.00	4.00	17.40	4.33
125.0	500	4.00	4.00	18.60	4.63
140.0	560	4.00	4.00	19.90	4.96
150.0	600	4.00	4.00	20.70	5.15
162.5	650	4.00	4.00	21.55	5.37
182.5	730	4.00	4.00	22.60	5.63
205.0	820	4.00	4.00	23.50	5.85
225.0	900	4.00	4.00	24.10	6.00
245.0	980	4.00	4.00	24.70	6.15
Prom. polvo dosificado (gr/min)		4.00	Variación de presión	22,30	5,55

Gráfico 4.10. Caída de presión (KPa) vs. cap. retención (g) con MF-5



4.6.4. Cálculo de la vida útil estimada

En base a los resultados de presión diferencial descritos en las tablas 4.14, 4.15, 4.16, 4.17 y 4.18, se expresan las siguientes gráficas que muestran el comportamiento simulado de la curva de vida útil con los datos de caída de presión (KPa) vs. tiempo de vida (min) para cada una de las 5 muestras estándar a modo de comparativa para predecir el mayor tiempo de vida.

Esta comparativa se llevó a cabo mediante una extrapolación del ajuste de tendencia lineal en el software Microsoft Excel, estimando un punto de la curva para una caída de presión final teórica de 30 pulg H₂O con aplicación para servicio pesado, según indica la norma NTP 383.048:1984 (revisada el 2012) en la página 5 para el requisito 6.4 “Resistencia a la Presión Diferencial”.

Gráfico 4.11. Caída de presión (KPa) vs. tiempo de vida (min) con MF-1

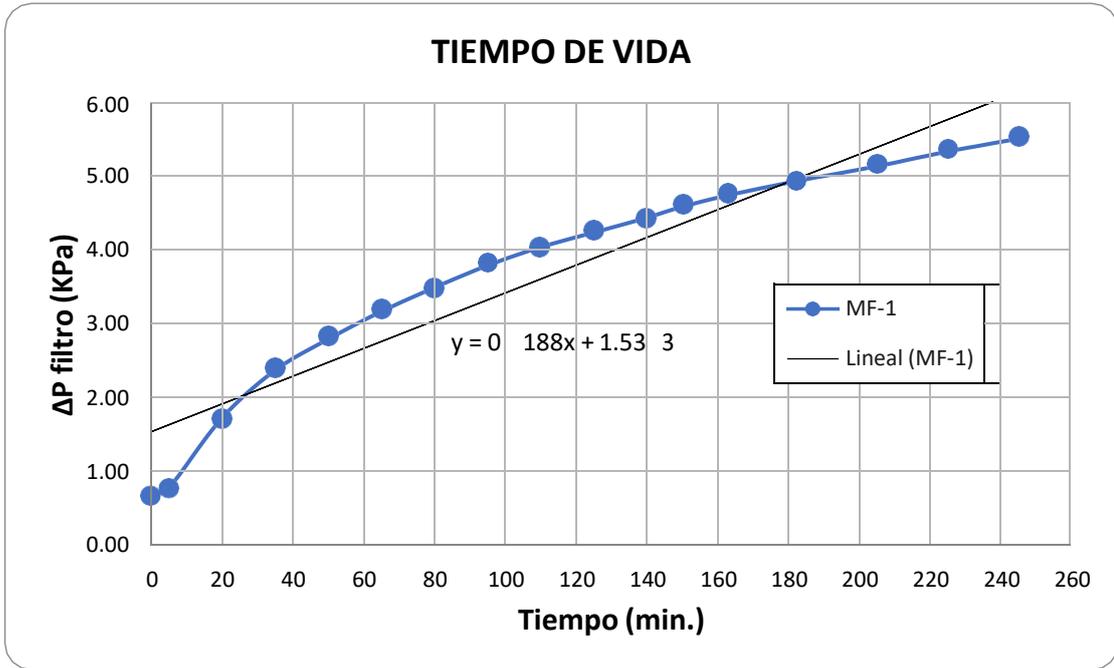


Gráfico 4.12. Caída de presión (KPa) vs. tiempo de vida (min) con MF-2

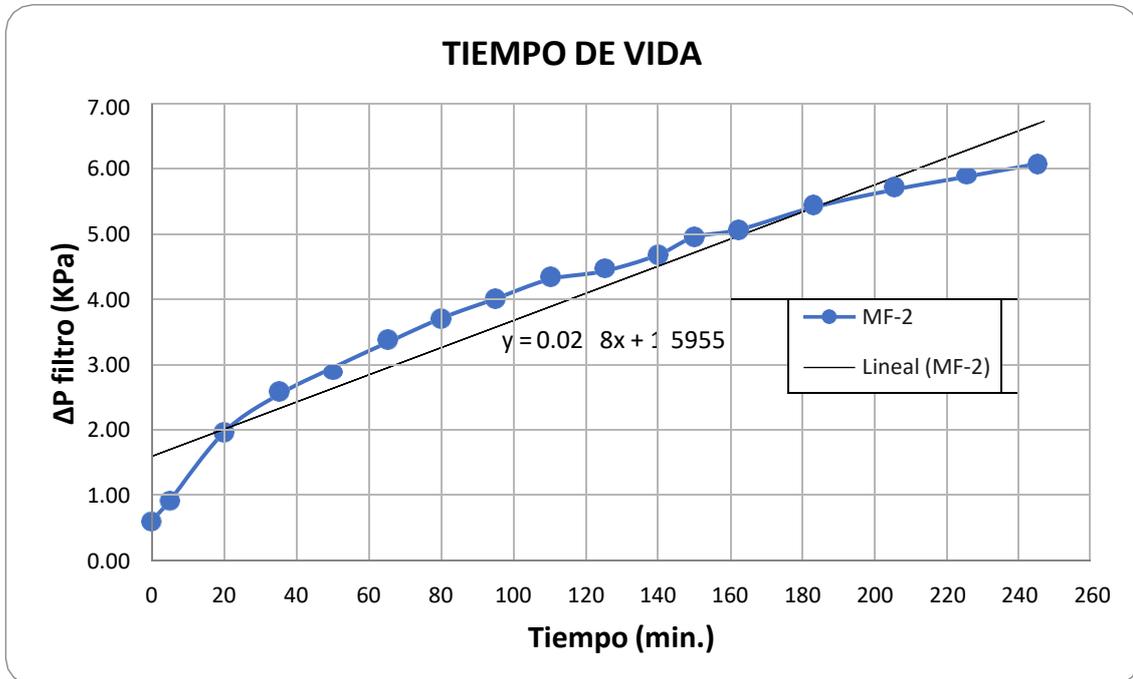


Gráfico 4.13. Caída de presión (KPa) vs. tiempo de vida (min) con MF-3

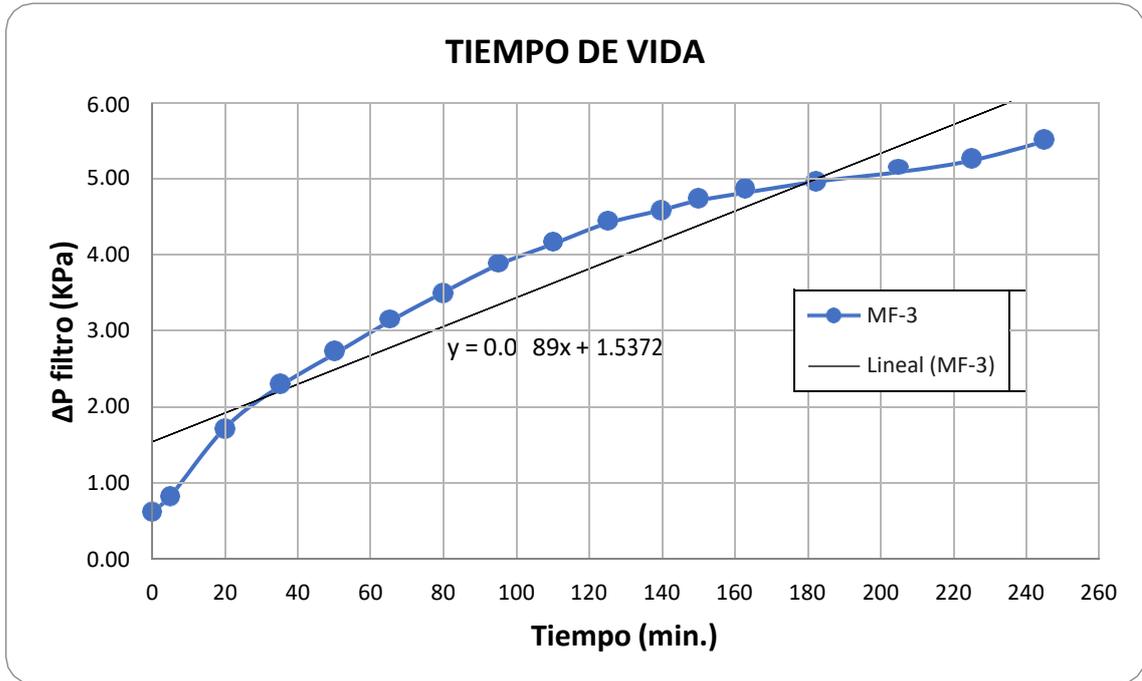


Gráfico 4.14. Caída de presión (KPa) vs. tiempo de vida (min) con MF-4

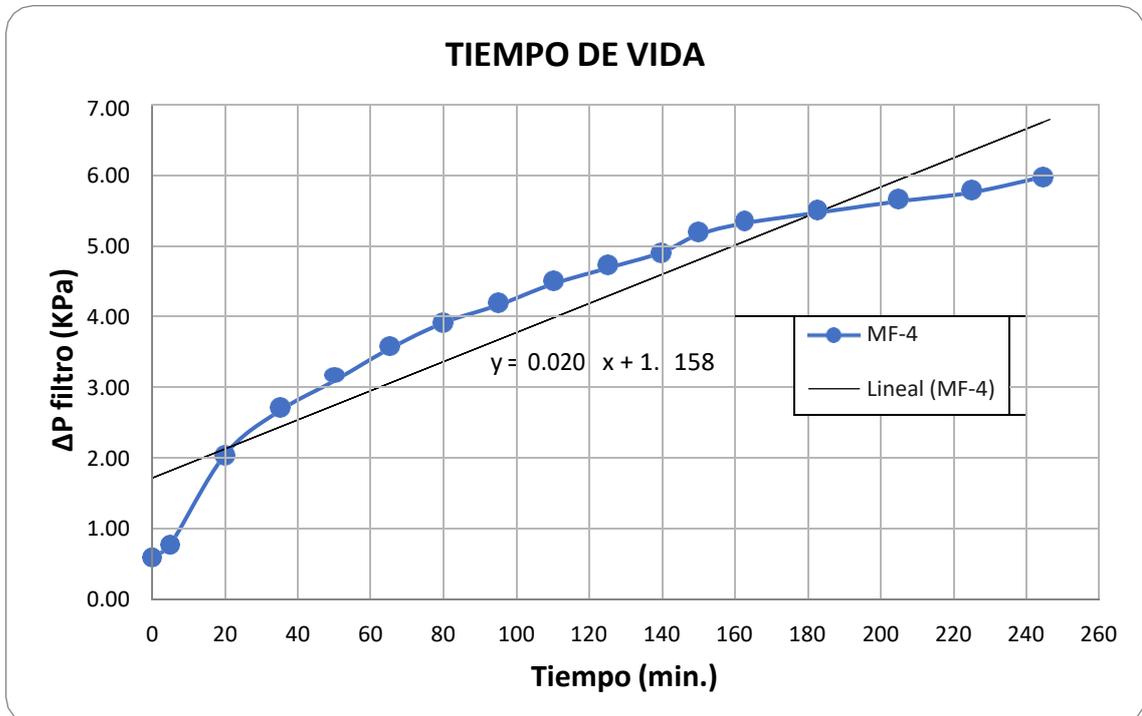
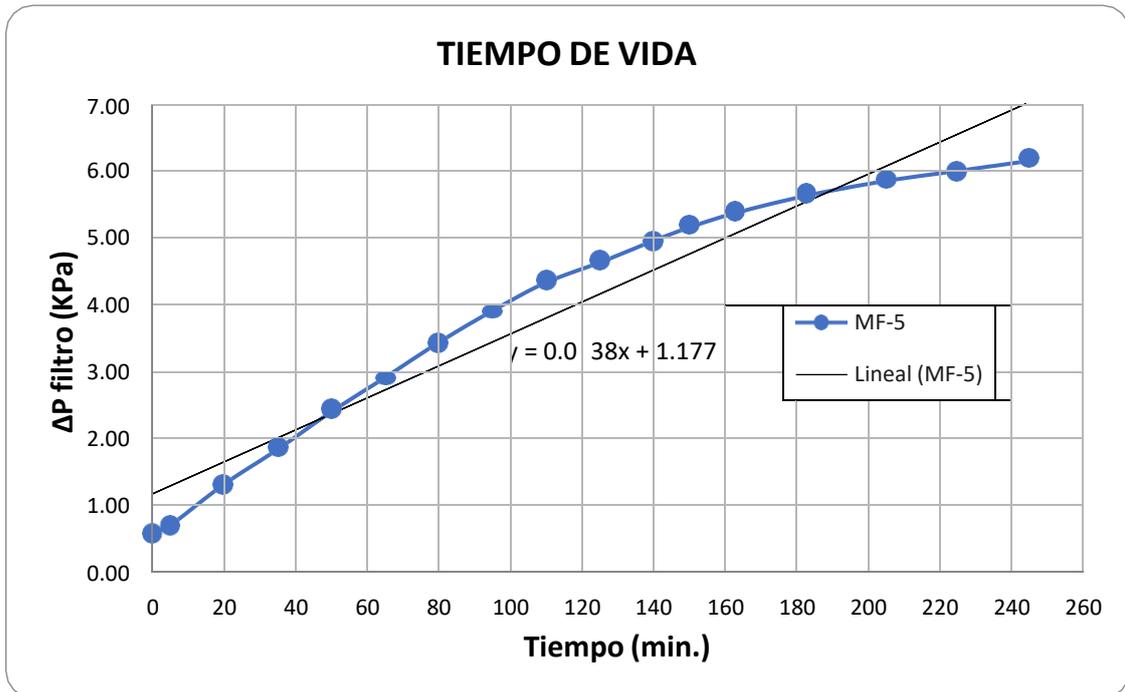


Gráfico 4.15. Caída de presión (KPa) vs. tiempo de vida (min) con MF-5



Según indica la tendencia del ajuste lineal para cada uno de los gráficos 4.11, 4.12, 4.13, 4.14 y 4.15, se estima el tiempo de vida útil para un punto de la curva en que la caída de presión final sea 30 pulg H₂O, momento en que el elemento filtrante se deformará o romperá al alcanzar la máxima resistencia final del filtro para aire de sello radial. Los cálculos son dados en base a las siguientes ecuaciones de recta de la caída de presión, en KPa, en función del tiempo, en minutos, obtenidas por extrapolación en Excel.

$$\Delta P_{MF-1} = 0.0188 * t_1 + 1.5333 \quad \dots (20)$$

$$\Delta P_{MF-2} = 0.0208 * t_2 + 1.5955 \quad \dots (21)$$

$$\Delta P_{MF-3} = 0.0189 * t_3 + 1.5372 \quad \dots (22)$$

$$\Delta P_{MF-4} = 0.0205 * t_4 + 1.7158 \quad \dots (23)$$

$$\Delta P_{MF-5} = 0.0238 * t_5 + 1.1770 \quad \dots (24)$$

Reordenando y reemplazando en cada una de las ecuaciones 20, 21, 22, 23 y 24 el valor de la máxima caída de presión de 30 pulg H₂O, convertido a KPa,

obtenemos los datos comparativos del tiempo de vida en minutos, que convertido en horas se encontrarían en el punto de inflexión de su curva que indicará el reemplazo por otro filtro nuevo por aumento súbito de la presión diferencial.

$$t_1 = \frac{\Delta P_{MF-1} - 1.5333}{0.0188} = \frac{30 \text{ inH } O * \left(\frac{1 \text{ KPa}}{4.0146 \text{ pulgH}_2O}\right) - 1.5333}{0.0188}$$

$$t_1 = 315.93 \text{ minutos} * \left(\frac{1 \text{ hora}}{60 \text{ minutos}}\right) \cong 5.3 \text{ horas}$$

$$t_2 = \frac{\Delta P_{MF-2} - 1.5955}{0.0208} = \frac{30 \text{ inH } O * \left(\frac{1 \text{ KPa}}{4.0146 \text{ pulgH}_2O}\right) - 1.5955}{0.0208}$$

$$t_2 = 282.56 \text{ minutos} * \left(\frac{1 \text{ hora}}{60 \text{ minutos}}\right) \cong 4.7 \text{ horas}$$

$$t_3 = \frac{\Delta P_{MF-3} - 1.5372}{0.0189} = \frac{30 \text{ inH } O * \left(\frac{1 \text{ KPa}}{4.0146 \text{ pulgH}_2O}\right) - 1.5372}{0.0189}$$

$$t_3 = 314.05 \text{ minutos} * \left(\frac{1 \text{ hora}}{60 \text{ minutos}}\right) \cong 5.2 \text{ horas}$$

$$t_4 = \frac{\Delta P_{MF-4} - 1.7158}{0.0205} = \frac{30 \text{ inH } O * \left(\frac{1 \text{ KPa}}{4.0146 \text{ pulgH}_2O}\right) - 1.7158}{0.0205}$$

$$t_4 = 280.83 \text{ minutos} * \left(\frac{1 \text{ hora}}{60 \text{ minutos}}\right) \cong 4.7 \text{ horas}$$

$$t_5 = \frac{\Delta P_{MF-5} - 1.1770}{0.0238} = \frac{30 \text{ inH } O * \left(\frac{1 \text{ KPa}}{4.0146 \text{ pulgH}_2O}\right) - 1.1770}{0.0238}$$

$$t_5 = 264.53 \text{ minutos} * \left(\frac{1 \text{ hora}}{60 \text{ minutos}}\right) \cong 4.4 \text{ horas}$$

4.7. Aspectos Éticos en Investigación

Desde el punto de vista profesional, se mencionan algunos aspectos éticos en la investigación científica que están dirigidos a prevalecer los ideales éticos en el desarrollo de este proyecto de investigación.

a. Según la propia investigación:

- **Diseño adecuado de la investigación**, considerando la directiva vigente N°004-2022-R Directiva para la Elaboración de Proyecto e Informe Final de Investigación de Pregrado, Posgrado, Equipos, Centros e Institutos de Investigación (Aprobado por Resolución N°319-2022-R del 22 de abril de 2022).
- **Buen uso de los recursos económicos**, teniendo como propósito primordial el financiamiento, tanto individual como privado por parte de la empresa, para el que será destinado el desarrollo de la investigación, evitando intereses particulares.
- **Relación con los colaboradores**, donde se determinó las competencias calificadas del personal analista de laboratorio para la veracidad y confiabilidad de los datos en estudio de investigación.

b. Según los participantes en la investigación:

- **La confidencialidad**, por el cual se mantiene total anonimato de la información documental, información empírica y fotografías presentadas en este trabajo de investigación que fueron recopilados por el personal que colaboró con las pruebas empíricas.
- **La no coacción**, en este caso no se obligó al personal de la empresa a participar del estudio de investigación como parte de sus obligaciones laborales, si no que fueron informados del propósito general solicitándoles su colaboración contando con su libre consentimiento.
- **Protección contra daños**, evitando que el personal expuesto a los riesgos laborales en el lugar de estudio sea perjudicado, para lo cual se consideró las medidas preventivas de SST como el uso obligatorio de protector auditivo, lentes de seguridad y mascarilla antipolvo.

c. Según los datos de la investigación:

- **Transparencia de la información**, haciendo énfasis en la conducta del investigador para el manejo responsable y honesto de la información recopilada, evitando su manipulación y falsificación en la investigación científica para el logro de resultados.
- **Comunicación de resultados**, por el cual se hará público la investigación desarrollada en el repositorio web institucional de la UNAC, mostrando los procedimientos cuantitativos utilizados.
- **Citas y fuentes bibliográficas**, siguiendo la directiva vigente que indica la redacción de citas y fuentes bibliográficas de acuerdo con la ISO 690, con el fin de evitar el plagio y autoplagio respetando la propiedad intelectual de la información documental recopilada.

V. RESULTADOS

5.1. Resultados inferenciales

En base a los ensayos comparativos, los resultados indican que el medio filtrante a seleccionar es el MF-1 por presentar una eficiencia total de filtración mayor al 99% con una mayor capacidad de retención en el filtro estándar de 981.60g y por presentar mayor tiempo de vida útil de 5.3 horas, como se muestra en la tabla 5.1; incluso, el MF-5 también se observa que es mayor al 99.9% debido a que es de alta eficiencia pero con una menor capacidad de retención de 974.7g y un menor tiempo de vida útil de 4.4 horas.

Tabla 5.1. Resultados de ensayos de performance

ENSAYOS DE PERFORMANCE PARA LOS FILTROS MUESTRA					
VARIABLES DEL ENSAYO	MF-1	MF-2	MF-3	MF-4	MF-5
Eficiencia total del filtro (%)	99.13%	98.83%	99.87%	99.62%	99.96%
Capacidad de Retención del filtro (gr)	981.60	959.00	968.80	957.80	974.70
Peso del filtro elemento (gr)	582.00	596.10	575.70	573.50	583.10
Número de pliegues	130.00	130.00	130.00	130.00	130.00
Altura de cresta (mm)	17.00	17.00	17.00	17.00	17.00
Área total filtrante (m ²)	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
Capacidad de retención de polvo (g/m ²)	819.49	800.62	808.80	799.62	813.73
Restricción al flujo nominal de aire de 4 m ³ /min (KPa)	0.47	0.42	0.42	0.40	0.41
Caída de presión inicial (KPa)	0.67	0.61	0.62	0.60	0.60
Caída de presión final (KPa)	5.50	6.08	5.48	5.98	6.15
Vida útil del filtro (horas)	5.30	4.70	5.20	4.70	4.40

Las gráficas comparativas de los resultados de ensayos de performance con los filtros estándar para cada muestra de medio filtrante se muestran a continuación, donde se observa que el MF-1 ofrece mayor restricción al flujo de aire y menor caída de presión final a comparación del MF-5 que se comporta de manera inversa, lo que se interpreta para el MF-1 como mayor resistencia al colapso de la estructura del elemento filtrante, mayor capacidad de retención de polvo y mayor tiempo de vida útil antes de alcanzar la máxima resistencia final,

a manera de simulación cuando se produzca el rediseño del filtro para aire de sello radial con el reemplazo por la muestra de medio filtrante MF-1.

Gráfico 5.1. Comparativo de datos de resistencia al flujo de aire

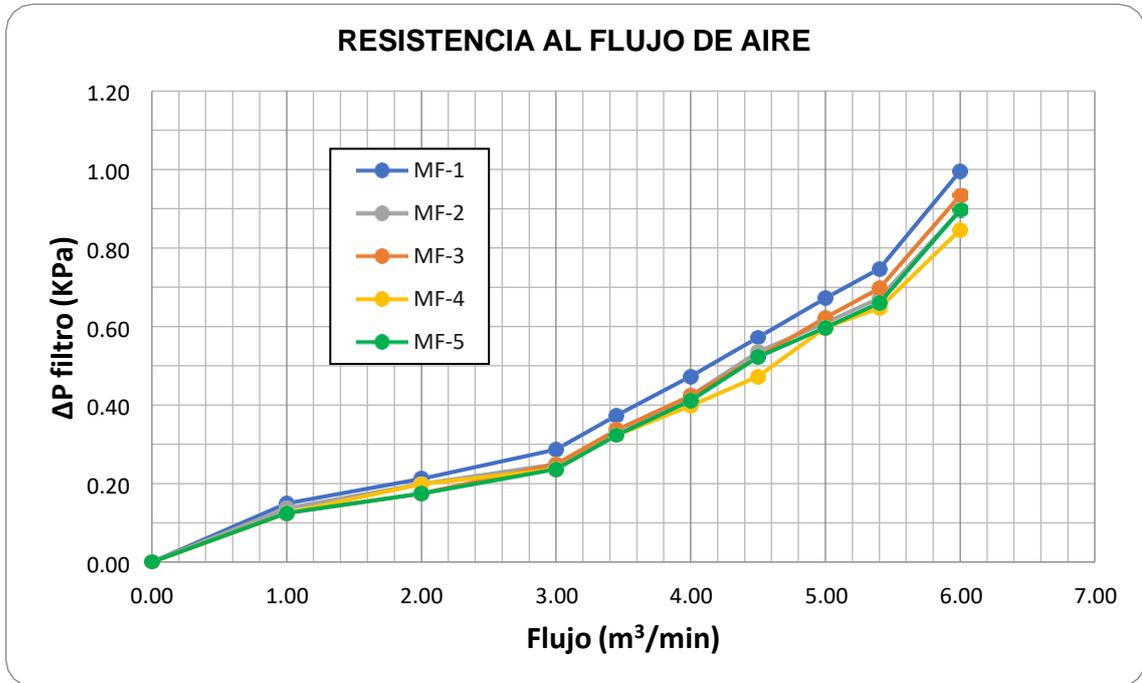


Gráfico 5.2. Comparativo de datos de presión diferencial

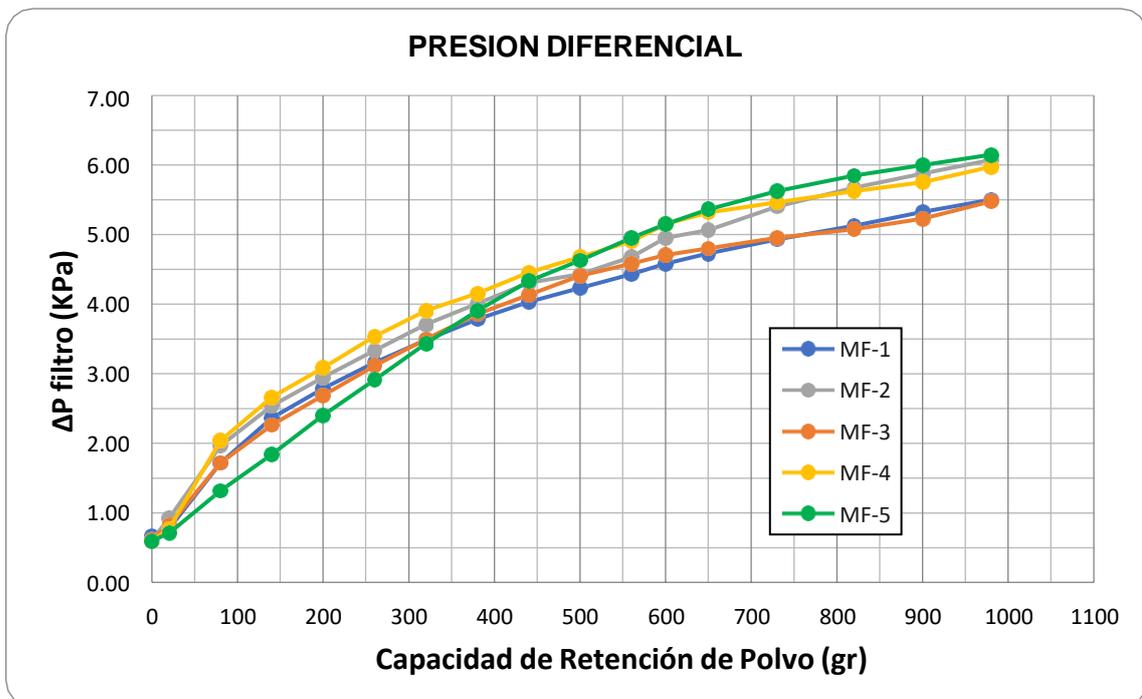
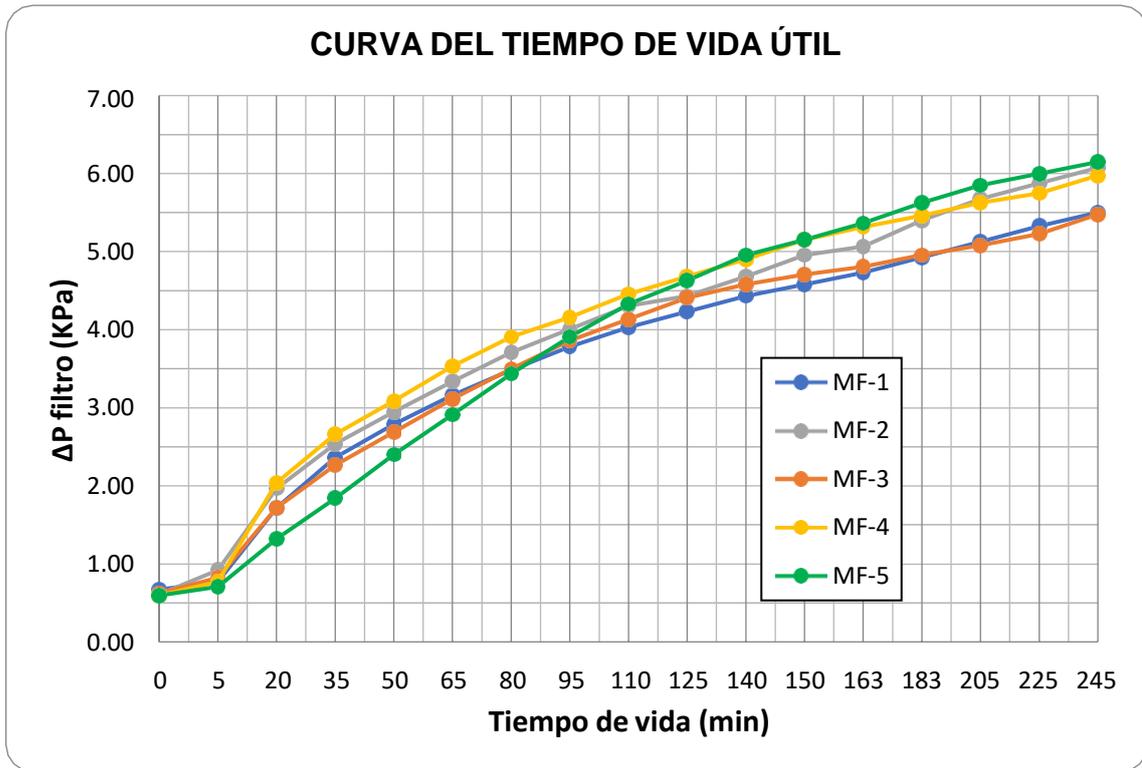


Gráfico 5.3. Comparativo de datos del tiempo de vida útil



Por lo tanto, se propone reemplazar al medio filtrante del diseño original por la muestra evaluada del medio filtrante MF-1, descrito en el documento hoja de despiece del filtro para aire de sello radial, lo que ayudará a mejorar la performance (eficiencia de filtración y vida útil) cuando se instalen en los motores de combustión interna de vehículos cargueros de bajo perfil (SCOOP) en la minería subterránea.

De acuerdo con sus características, el MF-1 ofrece un medio poroso más abierto entre 40 – 55 micras a diferencia del MF-3 que cuenta con un rango de micronaje entre 34 – 45 micras, lo que se interpreta en que el MF-1 es más abierto entre sus fibras de celulosa permitiendo retener tamaño de partículas de hasta 40 micras por más tiempo con una eficiencia mínima del 99%.

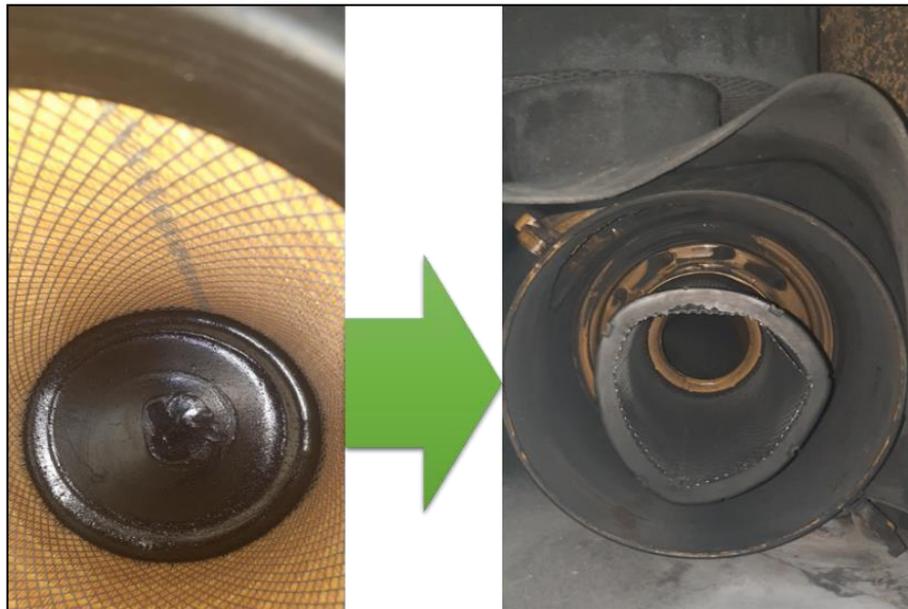
Si queremos determinar el valor real del tiempo de vida útil, sería casi imposible predecir cuánto puede durar los filtros de aire en general, pues existen diversos factores presentes en las condiciones de trabajo como por ejemplo la concentración de partículas, horas de uso, variación del caudal por la frecuencia de rotación del motor de combustión, época del año, etc. Por lo tanto, la

durabilidad de un filtro se establece en función de la pérdida de carga al representarse en un gráfico en función de la retención de partículas, para determinar el punto óptimo de cambio por otro filtro nuevo. Si deseamos prolongar la vida útil de un filtro de aire, solo tendríamos que aumentar el área filtrante para disminuir la pérdida de carga a costa de aumentar el costo total del producto, considerando para ello un estudio de factibilidad.

En base a estos resultados inferenciales, la empresa decidió enviar una muestra fabricada del filtro original, un filtro importado marca SAKURA y otra muestra del filtro rediseñado ensamblado con el medio filtrante MF-1 para contrastar lo predicho. Posteriormente, el asesor técnico comercial de la compañía comunica vía correo electrónico que los resultados marcados por el horómetro en campo fueron de 60 horas con el filtro de diseño original; en cambio con el MF-1, cumplió con 86 horas de tiempo de vida útil en iguales condiciones con la otra muestra de su equivalente en marca SAKURA (papel blanco) que también cumplió con 86 horas, lo que demuestra un aumento de la performance en 43.3% con respecto al filtro de diseño original.

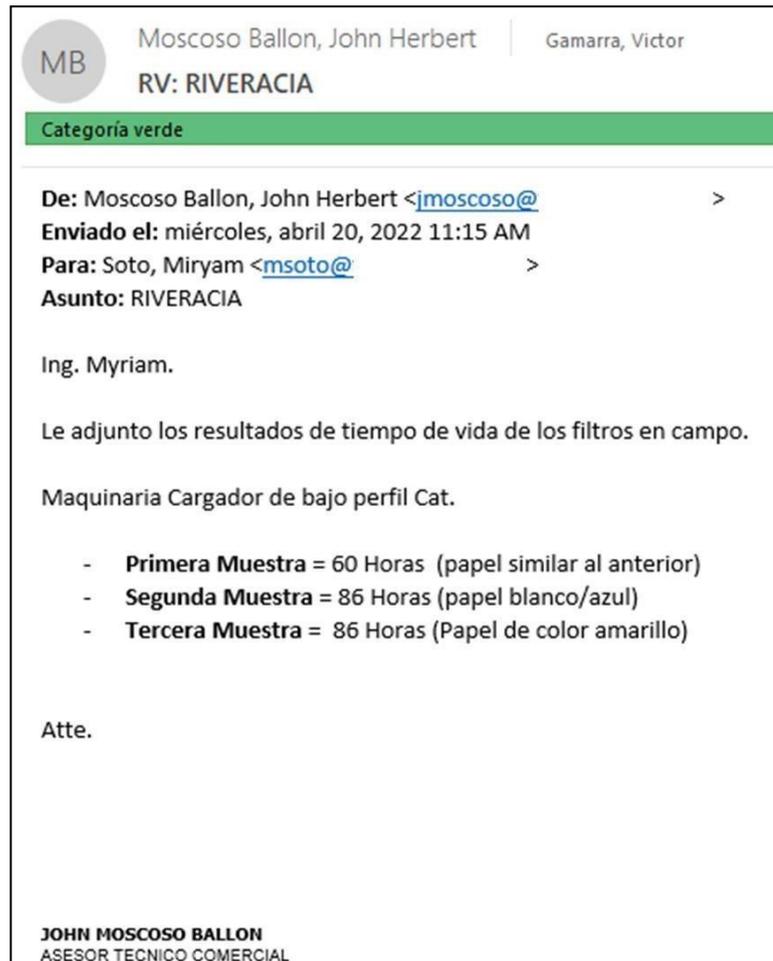
$$\% \text{ Variación del performance} = \frac{86 - 60}{60} * 100\% = 43.3\%$$

Imagen 5.1. Filtro de aire rediseñado a instalarse en porta-filtro



Fuente: Fotografías tomadas por el usuario final

Imagen 5.2. Conformidad de la vida útil del filtro rediseñado



Fuente: Correo electrónico

5.2. Resultados descriptivos

5.2.1. Simulación del Análisis de Costos

De acuerdo con los resultados obtenidos de manera empírica, podemos afirmar que para el rediseño del filtro para aire de sello radial se usaría el medio filtrante denominado MF-1. Como resultados descriptivos, se obtendrá el ahorro económico del producto mediante la simulación del análisis de costos del filtro para aire rediseñado en el Software Informático Integrado de la empresa, a procesarse en el módulo de Control de Calidad.

En primer lugar, tal como se muestra en la imagen 5.3, se generó una solicitud por cambio de especificación por concepto de mejora del diseño de acuerdo con los resultados favorables de ensayos de laboratorio y de prueba de campo con el filtro rediseñado.

Imagen 5.3. Solicitud N°6411 por cambio de especificación

Solicitud de Cambio de Especificación - Ver

SOLICITUD DE CAMBIO DE ESPECIFICACIÓN

Compañía : Numero: Estado:
 Solicitado por: MEZA FLORES CRISTHIAN KEVIN Fecha de Sol.
 Título:
 Modificación:
 Motivo: Obviar Despiece
 De acuerdo con la prueba de campo el filtro con MF-1 tuvo mejor desempeño.

Fuente: Software integrado de gestión ERP

Luego de ser aprobada la solicitud, pasa su atención al simulador de análisis de costos para la valorización del costo de materia prima en moneda extranjera (\$). En cualquier solicitud de este tipo, es necesario ingresar el nuevo despiece de componente simulado para obtener el % de variación del costo por reemplazo del material, por ello en la imagen 5.4 se muestra el ingreso manual del peso bruto y el peso neto calculado con el medio filtrante MF-1 seleccionado.

Imagen 5.4. Despiece simulado por cambio de medio filtrante

Despiece - Ver

DESPIECE

Item
 Cantidad Peso Unid. Equiv. Factor
 Costo Fab. Actual: Costo Fab Nuevo:
 Costo Dir Actual: Costo Dir Nuevo:

Codigo	U.M.	Descripción	Orden	Cantidad	Peso bruto	Peso neto	Acabados	Agrupamiento	Estado	Act.	Ultim
0000000081	KL	MF-1	1	1.000000	1.433565	1.311188			Activo	Si	CMEZA

Fuente: Software integrado de gestión ERP

Luego de procesar la valorización, se observa en la imagen 5.5 que el costo directo nuevo es de \$5.518 y el costo directo actual de \$6.481, por lo tanto, se demuestra la siguiente variación del costo por materia prima (CMP).

$$\%Variacion\ CMP = \frac{5.518 - 6.481}{6.481} * 100\% = -14.86\%$$

Obteniéndose como resultado un ahorro de -14.86% por el cambio del medio filtrante en beneficio de ofrecer una eficiencia nominal mayor al 99%. De igual manera, también observamos en la imagen 5.5 que se produjo una variación del costo total por fabricación (CTF).

$$\%Variacion\ CTF = \frac{11.058 - 12.021}{12.021} * 100\% = -8.01\%$$

Obteniéndose como resultado un ahorro de -8.01% por el rediseño del filtro primario para aire de sello radial en beneficio de incrementar la vida útil.

Imagen 5.5. Valorización por cambio del medio filtrante

Fecha Apr.	Item	Variación	Costo Primo Actual \$	Costo Primo Nuevo \$	Costo Fab Actual	Co
16/05/2022 13	0000009194 - 00	-14.85%	6.481170	5.518790	0.000000	0.00
12/05/2022 10	- 100	-8.01%	12.012941	11.050561	0.000000	0.00
30/04/2022 09						
30/04/2022 09						
24/03/2022 16						
15/03/2022 16						
09/03/2022 12						
30/04/2022 08	- 100	-6.34%	15.184110	14.221730	0.000000	
30/04/2022 08		-8.01%	12.020713	11.058333	0.000000	
30/04/2022 08						
10/02/2022 15		-8.01%	12.012941	11.050561	0.000000	
15/02/2022 09						
15/02/2022 09						

Fuente: Software integrado de gestión ERP

VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1. Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados

En contraste con la hipótesis general, se concluye que el rediseño del filtro para aire de sello radial permitió mejorar su performance en un 43.3% en términos de su vida útil. Además, en contraste con la 1ª. hipótesis específica, se determinó las características de cada una de las muestras de filtros: tipo de medio filtrante, tamaño del poro máximo, peso de la muestra y área de filtración; que permitieron evaluar la performance del filtro para aire de sello radial. En contraste con la 2ª. hipótesis específica, se determinó el método del filtro absoluto basado en la norma ISO 5011 que permitió seleccionar el medio filtrante adecuado para mejorar su performance y vida útil para su aplicación en el filtro para aire de sello radial. Así mismo, en contraste con la 3ª. hipótesis específica, se demostró el ahorro económico por el rediseño del filtro para aire de sello radial referido al cambio del medio filtrante y al costo total del producto para su fabricación. Por lo tanto, se demuestra que las hipótesis planteadas son válidas para su aplicación en porta-filtros de aire para motores de combustión interna en vehículos tipo Scoop de bajo perfil.

6.2. Contrastación de los resultados con otros estudios similares

En contraste con Guevara, Erick; quien diseñó un filtro de aire bañado en aceite, logró incrementar la filtración de aire al aplicarlo en un sistema de admisión de una cargadora frontal, mediante los análisis de las muestras de aceite del filtro de aire bañado en aceite, permitiendo mantener limpio el motor, reduciendo gastos de mantenimiento y aumentando considerablemente la vida útil del filtro seco, coincidiendo a su vez con los resultados obtenidos en esta tesis cuando se determinó la vida útil del filtro de aire rediseñado.

En contraste con Ordoñez, Kevin y Salamea, Henry; quienes determinaron que la calidad de papel filtrante en filtros de aire primario y secundario con marca Donsson y Donaldson es mejor en comparación con sus equivalentes en marca Sakura, permitiendo prolongar la vida útil del aceite lubricante del motor por medio de un análisis de conteo de partículas, lo que

corroborar los resultados obtenidos en esta tesis cuando se determinó el performance del filtro para aire rediseñado.

En contraste con Carrera, David y Paredez, Andrés; quienes diseñaron e implementaron un banco de pruebas para ensayos comparativos de filtros de aire, notaron una diferencia relevante de la eficiencia entre filtros de aire originales y alternos, sin embargo, esta diferencia comparativa de eficiencia disminuye a medida que llegan al término de su vida útil, lo cual coincide con los resultados obtenidos en esta tesis cuando se obtuvo la eficiencia de filtración en las 5 muestras de medios filtrantes.

En contraste con Alcántara, Luis; quien rediseñó el porta-filtro de aire original de un motor Toyota 14B, logró que la variación de la caída de presión en el porta-filtro de aire original en comparación con la caída de presión en la cámara de combustión disminuya a medida que aumenta la frecuencia de rotación del motor para mantener el performance del motor en condiciones críticas de contaminación por el polvo, lo que corrobora los resultados obtenidos en esta tesis cuando se determinó el comportamiento simulado de la presión diferencial en el filtro de aire muestra a medida que se entrega el polvo contaminante hacia el porta-filtro estándar de prueba.

En contraste con Ticse, Yoel; quien presentó una propuesta de implementación de filtros de aire Fleetguard con tecnología Nanoforce en el medio filtrante, demostró que la implementación de filtros de aire Fleetguard en el plan de mantenimiento preventivo de camiones mineros Komatsu para un tiempo estimado de 8 meses, llegó a alcanzar mayor número de horas de vida útil en comparación con filtros de aire Donaldson instalados en otro camión, lo que coincide con los resultados obtenidos en esta tesis cuando se determinó la vida útil del filtro de aire rediseñado con un medio filtrante de mejor calidad.

En contraste con Ramírez, Mike; quien empleó la tecnología de impresión 3D para reducir el tiempo de fabricación de las tapas de poliuretano en prototipos de filtros de aire con sello radial y en consecuencia a la reducción del costo total por fabricación del producto con relación a los costos indirectos, coincidiendo con los resultados obtenidos en esta tesis cuando se determinó el ahorro del

costo total por rediseño del filtro para aire de sello radial por cambio del medio filtrante relacionado al costo directo.

6.3. Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes

Se describe a continuación las responsabilidades éticas del investigador sobre la manipulación de la información y comunicación de los resultados en relación con la presente tesis de investigación:

- Conservar la estructura del contenido de la tesis, según la directiva vigente N° 004-2022-R “DIRECTIVA PARA LA ELABORACIÓN DE PROYECTO E INFORME FINAL DE INVESTIGACIÓN DE PREGRADO, POSGRADO, EQUIPOS, CENTROS E INSTITUTOS DE INVESTIGACIÓN DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO”, aprobada según resolución rectoral N° 319-2022-R.
- Citar e indicar las referencias bibliográficas según norma ISO 690 de la información recopilada en fuentes primarias y sitios web.
- Autorizar abiertamente al público la comunicación de la tesis de investigación en el repositorio institucional de la UNAC.
- Mantener en reserva la propiedad intelectual de los equipos e instrumentos utilizados para la recolección de datos, según la ley N° 29733 “Ley de Protección de Datos Personales”.
- Proteger la integridad física del personal en materia de seguridad y salud en el trabajo en las actividades operativas del banco de ensayo, según el Decreto Supremo N° 42-F “Reglamento de Seguridad Industrial”.
- Evitar cualquier acto de plagio o autoplagio en el presente informe final de investigación que pueda ocasionar una pena privativa de la libertad no menor de cuatro ni mayor de ocho años, de acuerdo con el artículo N° 219 del Código Penal “Plagio”.
- Evitar cualquier actividad ilícita de falsificar documentos en la presente tesis que conlleve a desprestigiar la investigación realizada en el lugar de estudio, de acuerdo con el artículo N° 427 del Código Penal “Falsificación de Documentos”.

VII. CONCLUSIONES

- Se mejoró la performance del filtro para aire de sello radial en un 43.3%, al aplicarse los resultados obtenidos de los ensayos de performance en el rediseño con el cambio del medio filtrante original por el MF-1, a instalarse en porta-filtros de aire en motores de combustión interna de vehículos Caterpillar tipo SCOOP de bajo perfil, utilizados en minería subterránea.
- Se determinó las características de las muestras de filtros: tipo del medio filtrante, tamaño del poro máximo, pesos de las muestras y sus áreas de filtración; con ello se registraron las condiciones iniciales de ensayo para evaluar la performance del filtro para aire de sello radial.
- Se determinó el método del filtro absoluto, de acuerdo con la norma ISO 5011:2014, para la simulación en laboratorio de las muestras de medios filtrantes, obteniéndose para la muestra MF-1 una eficiencia de filtración total de 99.13% y mayor capacidad de retención de polvo de 819.49 g/m², mayor restricción al flujo de aire con 0.47 KPa, menor caída de presión final de 5.50 KPa y un tiempo de vida útil mayor simulado de 5.3 horas para un flujo nominal de 4m³/min, lo que se traduce como mayor resistencia al colapso en la estructura del elemento filtrante.
- Se obtuvo la simulación del análisis de costos mediante el software ERP de la empresa, que demostró una variación relativa en el costo por material de -14.86% por cambio del medio filtrante, lo que representa un ahorro del costo directo en el despiece del producto; mientras que, la variación relativa en el costo total del filtro para aire de sello radial es de -8.01%, lográndose un ahorro económico para su producción en lotes.

VIII. RECOMENDACIONES

- Durante el ensayo de eficiencia de filtración y capacidad de retención, se recomienda inspeccionar y controlar el flujo nominal de aire por cada toma del peso registrado para que permanezca constante durante todo el ensayo, debido a que el polvo dosificado provoca subidas de presión relativas que podrían provocar resultados erróneos.
- Durante el ensayo de eficiencia y capacidad de retención, se recomienda mantener el polvo ISO 12103-1 A2 Fine libre de humedad para evitar obstrucciones en la dosificación del polvo antes de ingresar a la unidad de prueba, de tal manera que se distribuya uniformemente el polvo en toda el área de filtración y el pesaje final sea considerado válido según el cálculo del balance de masa al término del ensayo.
- Se recomienda indicar en la hoja técnica del filtro para aire primario de sello radial, la resistencia final teórica de 30 pulg H₂O con el MF-1, de esa manera el cliente o usuario final pueda validar esta caída de presión final con un medidor de restricción en el motor además del uso convencional de un horómetro en el porta-filtro para el tiempo de vida, durante las paradas programadas de mantenimiento preventivo.
- Se recomienda mantener actualizado el maestro de base de datos de cualquier software ERP, con el fin de que los reportes, análisis, simulaciones y ejecuciones de trabajo de una organización sean confiables.
- Se recomienda mantener las medidas preventivas de control en materia de Seguridad Industrial, pues un banco de ensayo para filtros de aire supera una intensidad sonora de 85 dB y expulsa una porción del polvo contaminante ISO 12103-1 al término del ensayo, para ello se tiene que utilizar EPPS básicos como mascarilla antipolvo y protector auditivo (orejeras o tapones) con el fin de evitar riesgos a la salud por pérdida auditiva y ahogamiento con agentes químicos.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALCÁNTARA YNTO, Luis Rolando. *Rediseño del Porta Filtro de Aire Para Mantener la Performance del Motor Toyota 14B en Condiciones Críticas de Explotación*. Tesis [Ingeniero Mecánico] Facultad de Ingeniería. Lima: Universidad Tecnológica del Perú, 2020. [Fecha de consulta: 24 de mayo de 2022]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12867/3010>
- CARRERA ÁLVAREZ, David y PAREDEZ NARANJO, Andrés David. *Diseño y construcción de un banco de pruebas para filtros de aire de distintas marcas de vehiculos*. Tesis [Ingeniero en Mecánica Automotriz]. Quito: Escuela de Ingeniería Automotriz, Universidad Internacional del Ecuador, 2020. [Fecha de consulta: 24 de mayo de 2022]. Disponible en: <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/4349>
- CENGEL, Yunus A. y CIMBALA, John M. *Mecánica de fluidos, fundamentos y aplicaciones*. 2ª. ed. México D.F.: McGraw-Hill, 2012. pp. 9-13. ISBN 978-607-15-0779-2.
- DONALDSON COMPANY INC. Eficiencia del filtro de aire: ¿qué es y cómo se mide? [en línea]. En: Boletín informativo *Donaldson Filtration Solutions* (2022, Mexico) [fecha de consulta: 16 de marzo de 2022]. Disponible en: <https://www.donaldson.com/es-mx/engine/filters/technical-articles/air-filter-efficiency/>
- DONALDSON COMPANY INC. Las mejoras de los filtros de aire fraccionados completan su flota [en línea]. En: boletín informativo *Donaldson Filtration Solutions* (2022, Mexico) [fecha de consulta: 16 de marzo de 2022]. Disponible en: <https://www.donaldson.com/es-mx/engine/filters/technical-articles/fractional-air-filter-improvements-make-fleet-whole/>
- EMW FILTERTECHNIK. Superficie de filtración efectiva [en línea]. En: boletín informativo *Filter-Campus* (2022, Alemania) [fecha de consulta: 9 de mayo de 2022]. Disponible en: <https://www.emw.de/es/filtros-campus-translations-pending/effective-filter-media-area.html>
- ESPINOZA, Ciro. *Metodología de Investigación Tecnológica*. 2ª. ed. Huancayo: Ciro Espinoza, 2014. pp. 90-108. ISBN: 978-612-00-1667-1.

- GUEVARA DE LA CRUZ, Erick Bryan. *Diseño e implementación de un filtro de aire de baño de aceite para equipo pesado*. Tesis [Ingeniero Automotriz]. Quito: Facultad de Ciencias de la Ingeniería e Industrias, Universidad Tecnológica Equinoccial, 2018. [Fecha de consulta: 24 de mayo de 2022]. Disponible en: <http://repositorio.ute.edu.ec/handle/123456789/16597>.
- HERNÁNDEZ, Roberto; FERNÁNDEZ, Carlos y BAPTISTA, Pilar. *Metodología de la Investigación*. 6ª. ed. México D.F.: Mc Graw Hill, 2014. pp. 174-199. ISBN 978-1-4562-2396-0.
- INSTRUMENTOS WIKA S.A.U. Tipos de presión: presión absoluta, presión relativa, presión diferencial [en línea]. En: Website *Productos* (2022, Barcelona) [fecha de consulta: 11 de abril de 2022]. Disponible en: https://www.wika.es/landingpage_differential_pressure_es_es.WIKA
- ISO 5011. Inlet air cleaning equipment for internal combustion engines and compressors - Performance testing. 3ª. ed. Suiza : 2014. pp. 4-17. ICS 43.060.20.
- DETROIT DIESEL MTU PERÚ. Logística: Clave de la Minería Moderna. Revista *Rumbo Minero* [en línea]. Abril, 2019, (117), pp. 153 [fecha de consulta: 19 de mayo de 2022]. Disponible en: https://www.rumbominero.com/ED117/Rumbo_Minero_Ed117.pdf
- LOPEZ, Miguel. Equipos LHD en minería subterránea. Revista *Tiempo Minero* [en línea]. Noviembre, 2020, párr. 4-6 [fecha de consulta: 19 de mayo de 2022]. Disponible en: <https://camiper.com/tiempominero-noticias-en-mineria-para-el-peru-y-el-mundo/equipos-lhd-en-mineria-subterranea/>
- INDECOPI. FILTROS PARA AIRE. Elemento filtrante para uso en motores de combustión interna. Requisitos y métodos de ensayo. NTP 383.048:1984 (revisada el 2012). Lima: 2012. pp. 2-3. ICS 43.060.30.
- ORDOÑEZ CRIOLLO, Kevin Oswaldo y SALAMEA QUINTEROS, Henry Miguel. *Análisis de la influencia que tiene la calidad del filtro de aire en la contaminación del aceite de un motor a diesel por material particulado*. Tesis [Ingeniero Mecánico Automotriz]. Cuenca: Universidad Politécnica

- Salesiana (Sede Cuenca), 2020. [Fecha de consulta: 24 de mayo de 2022]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/18783>
- PROTECHNIK. Teoría de la filtración de partículas [en línea]. En: Website *Filtración 101* (2022, Lima) [fecha de consulta: 6 de Abril de 2022]. Disponible en: <https://protechnik.com.pe/recursos/la-filtracion/>
 - PTI POWDER TECHNOLOGY INC. ISO 12103-1, A2 fine test dust [en línea]. En: Website *Iso Test Dust and Test Contaminant Materials* (2022, Minnesota) [fecha de consulta: 24 de Marzo de 2022]. Disponible en: <https://www.powdertechologyinc.com/product/iso-12103-1-a2-fine-test-dust/>
 - RAMIREZ BRONCANO, Mike Weslee Kevin. *Fabricación de moldes para poliuretano en impresión 3D para reducir el tiempo de fabricación de las matrices de prototipos de filtros de aire con sello radial*. Tesis [Ingeniero Mecánico]. Callao: Facultad de Ingeniería Mecánica y de Energía, Universidad Nacional del Callao, 2019. [Fecha de consulta: 24 de mayo de 2022]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12952/6355>
 - SALAMARKESA. Conservación de la masa [en línea]. En: Website *Mecánica de Fluidos* (2022) [fecha de consulta: 14 de abril de 2022]. Disponible en: <https://www.salamarkesa.com/dinamica-fluidos-conservacion-masa/>
 - SALAMARKESA. Balance de energía [en línea]. En: Website *Mecánica de Fluidos* (2022) [fecha de consulta: 14 de abril de 2022]. Disponible en: <https://www.salamarkesa.com/mecanica-fluidos-ecuacion-balance-energia/>
 - SALAMARKESA. Efecto Venturi [en línea]. En: Website *Mecánica de Fluidos* (2022) [fecha de consulta: 14 de abril de 2022]. Disponible en: <https://www.salamarkesa.com/efecto-venturi-explicacion-con-ejemplo/>
 - SÁNCHEZ, Dionisio. Conceptos básicos de filtración [en línea]. En: Compañía *Sartorius Stedim Biotech* (2016, Francia). Material de capacitación [fecha de consulta: 25 de abril de 2022]. Disponible en: http://www.bdcint.com.do/wp-content/uploads/2017/06/Conceptos-basicos-de-filtracion_Pharm_vDS_Junio-2016.pdf.

- TICSE CIPRIANO, Yoel Francisco. *Propuesta de implementación de filtros de aire Fleetguard de tecnología nanoforce, para reducir costos en los mantenimientos preventivos del motor cummins K2000*. Tesis [Ingeniero Industrial]. Lima: Facultad de Ingeniería, Universidad Privada del Norte. Lima, 2018. [Fecha de consulta: 24 de mayo de 2022]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/11537/15233>.
- WIDMAN, Richard. El secreto del filtro de aire. Boletín Informativo *Yumpu* [en línea]. 2021 (70), pp. 6 [fecha de consulta: 19 de mayo de 2022]. Disponible en: <https://www.yumpu.com/es/document/read/14661494/el-secreto-del-filtro-de-aire-mantenimiento-mundial>

ANEXOS

A1. Matriz de Consistencia

“REDISEÑO DE UN FILTRO PARA AIRE DE SELLO RADIAL PARA MEJORAR SU PERFORMANCE EN MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA DE VEHÍCULOS SCOOP CATERPILLAR”

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES (ÍNDICE)	METODOLOGÍA
GENERAL	GENERAL	GENERAL				
¿Cómo rediseñar el filtro para aire de sello radial para mejorar su performance en motores de combustión interna de vehículos SCOOP Caterpillar?	Rediseñar el filtro para aire de sello radial para mejorar su performance en motores de combustión interna de vehículos SCOOP Caterpillar.	Si se rediseña el filtro para aire de sello radial, se mejora su performance en motores de combustión interna de vehículos SCOOP Caterpillar.	V.I: Rediseño de un filtro para aire de sello radial	Características de las muestras	Peso de la muestra del filtro (gr) Área de filtración (m ²)	Tipo: Tecnológica Nivel: Aplicado Diseño: Cuasi-experimental
ESPECÍFICOS	ESPECÍFICOS	ESPECÍFICAS				
¿Cómo determinar las características de las muestras de filtros que permita evaluar la performance del filtro para aire de sello radial?	Determinar las características de las muestras de filtros que permita evaluar la performance del filtro para aire de sello radial.	Si se determina las características de las muestras de filtros, se evalúa la performance del filtro para aire de sello radial.		Simulación en laboratorio	Restricción al flujo nominal de aire (KPa) Incrementos de masa de polvo (gr)	Método: Sistémico Población: 183 medios filtrantes
¿Cómo determinar el método de simulación en laboratorio mediante la norma ISO 5011 que permita mejorar la performance y vida útil del filtro para aire de sello radial?	Determinar el método de simulación en laboratorio mediante la norma ISO 5011 que permita mejorar la performance y vida útil del filtro para aire de sello radial.	Si se determina el método de simulación en laboratorio mediante la norma ISO 5011, se mejora la performance y vida útil del filtro para aire de sello radial.		Simulación de costos	Costo directo por material (\$) Costo total por fabricación (\$)	Muestra: 5 medios filtrantes (no probabilística) Técnicas: Documental y empírica
¿Cómo obtener la simulación del análisis de costos que permita demostrar un ahorro económico por el rediseño del filtro para aire de sello radial?	Obtener la simulación del análisis de costos que permita demostrar un ahorro económico por el rediseño del filtro para aire de sello radial.	Si se obtiene la simulación del análisis de costos, se demuestra un ahorro económico por rediseño del filtro para aire de sello radial.	V.D: Performance del filtro	Eficacia	Eficiencia total (%) Capacidad de retención de polvo (gr/m ²) Caída de presión (KPa)	Instrumentos: Fichas de reporte, diagramas, normas técnicas, software MS Excel, manómetros de columna líquida y balanzas electrónicas
				Vida útil	Tiempo de vida (h)	

A2. Ficha de reporte: Ensayo de performance (aplicación automotriz)

ISO 5011:2014(E)

Annex C (informative)

Report sheet on performance testing of air cleaner equipment according to ISO 5011 — Automotive application

1 Test unit: Model/Type No.:	
Manufacturer:	
Assembly:	
Pre-cleaner:	
Filter element:	
Dust cup <input type="checkbox"/>	/Unloader valve :
Tubular inlet <input type="checkbox"/>	/Non-tubular Inlet <input type="checkbox"/>
Outlet:	
2 Test conditions	
Test dust: fine <input type="checkbox"/> / coarse <input type="checkbox"/> Batch No.:	
Barometric pressure	
— before test:	kPa ¹⁾ , after test:
kPa ¹⁾	
Temperature	
— before test:	°C, after test:
°C	
Relative humidity	
— before test:	%, after test:
%	
Rated air flow:	
m ³ /min	
Test air flow: steady <input type="checkbox"/> / variable <input type="checkbox"/>	
m ³ /min	
Applied method: Direct weighting method <input type="checkbox"/> Absolute filter method <input type="checkbox"/>	
Test terminal condition:	
Dust concentration:	
g/m ³	
Air feed pressure:	
kPa ¹⁾	
Number of used dust injectors:	
3 Test results Diagrams - see:	
Restriction (at test air flow):	
kPa ¹⁾	
Differential pressure (at test air flow):	
kPa ¹⁾	
Pressure loss (at test air flow):	
kPa ¹⁾	
Initial efficiency (after dust fed):	
g %	
Incremental efficiency: at 10 % pressure diff. rise:	
%	
at 25 % pressure diff. rise:	
%	
at 50 % pressure diff. rise:	
%	
Full-life efficiency:	
%	
Pre-cleaner efficiency:	
%	
Capacity (at test terminal condition) :	
g	
4 General comments	
.....	
.....	
.....	
Date:	
Test conducted by:	

¹⁾ 1 kPa = 1 000 Pa = 0,01 bar = 10 mbar

A3. Ficha de reporte: Ensayo de performance (aplicación industrial)

ISO 5011:2014(E)

Annex D (informative)

Report sheet on performance testing of air cleaner equipment according to ISO 5011 — Industrial application

1 Test unit Model/Type No:	
Manufacturer:	
Assembly:	
Pre-cleaner:	
Primary element:	
Secondary element:	
Dust cup <input type="checkbox"/> :	Unloader valve <input type="checkbox"/> :
Tubular inlet <input type="checkbox"/> :	Non-tubular inlet <input type="checkbox"/> :
Outlet:	
2 Test conditions	
Test dust: fine <input type="checkbox"/> / coarse <input type="checkbox"/> Batch No.:	
Test oil:	
Barometric pressure	
— before test:	kPa ¹⁾ , after test
kPa ¹⁾	
Temperature	
— before test:	°C, after test
°C	
Relative humidity	
— before test:	%, after test
%	
Applied method: Direct weighing method <input checked="" type="checkbox"/> Absolute filter method <input type="checkbox"/>	
Rated air flow:	
m ³ /min	
Test air flow: steady <input type="checkbox"/> / variable <input type="checkbox"/> :	
m ³ /min	
Scavenge air flow:	
m ³ /min	
Test terminal condition:	
ISO Dust injector: <input type="checkbox"/> ISO Heavy Duty Dust injector: <input type="checkbox"/>	
Dust concentration:	
g/m ³	
Air feed pressure:	
kPa ¹⁾	
Number of used dust injectors:	
3 Test results	Diagrams - see:
Restriction (at test air flow):	
kPa ¹⁾	
Differential pressure (at test air flow):	
kPa ¹⁾	
Pressure loss (at test air flow):	
kPa ¹⁾	
Initial efficiency (after dust fed):	
g	
%	
Full-life efficiency:	
%	
Pre-cleaner efficiency:	
%	
Capacity (at test terminal condition):	
g	
Dust cup served:	
times	
Oil carry-over: yes <input type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> at single flow rate:	
m ³ /min	
Oil carry-over (increasing flow rates) at flow rate:	
m ³ /min	
4 General comments	
.....	
.....	
.....	
.....	
Date	Test conducted by:

¹⁾ 1 kPa = 1 000 Pa = 0,01 bar = 10 mbar

A4. Certificado de calibración: Man. columna líquida inclinada de 10 pulg H₂O



**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
LFP - 0377 - 2021**

Nº de Proforma : P0812-2021
Expediente : E0417

Página : 1 de 3

1. SOLICITANTE :
DIRECCIÓN :

2. INSTRUMENTO DE MEDICIÓN : MANÓMETRO DE COLUMNA LIQUIDA INCLINADA

MARCA : DWYER

MODELO : 424

NÚMERO DE SERIE : NO INDICA

ALCANCE DE ESCALA : 0 inH₂O a 10 inH₂O

DIVISIÓN DE ESCALA : 0,01 inH₂O / 0,1 inH₂O

PROCEDENCIA : USA

IDENTIFICACIÓN : 083 - MA - LAB (*)

UBICACIÓN : LABORATORIO

FECHA DE CALIBRACIÓN : 2021-11-08

3. LUGAR DE CALIBRACIÓN

Laboratorio de Calibraciones de PESAS Y BALANZAS S.A.C.

4. MÉTODO DE CALIBRACIÓN

La calibración se realizó por comparación directa, tomando como referencia el PC-004 "Procedimiento para la calibración de instrumentos de medición de presión relativa con clase de exactitud igual o mayor a 0,05 % f.s. 2ed. Octubre - 2017" de SNM - INDECOPI.

5. CONDICIONES AMBIENTALES

MAGNITUD	INICIAL	FINAL
TEMPERATURA	20,5	20,4
HUMEDAD RELATIVA	68%	68%

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura k=2. La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la Expresión de la incertidumbre en la medición". Generalmente, el valor de la magnitud está dentro del intervalo de los valores determinados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente 95 %.

Los resultados sólo están relacionados con los items calibrados y son válidos en el momento y en las condiciones de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

PESAS Y BALANZAS S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

El certificado de calibración no es válido sin la firma del Gerente Técnico de PESAS Y BALANZAS S.A.C.



Daniel Mamani Maldonado
Gerencia Técnica

Fecha de Emisión

Daniel Mamani Maldonado	Firmado digitalmente por Daniel Mamani Maldonado Fecha: 2021.11.12 16:14:14 -05'00'
--------------------------------	--

A5. Certificado de calibración: Manómetro de columna líquida de 36 pulg H₂O



**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
LFP - 0378 - 2021**

Nº de Proforma : P0812-2021
Expediente : E0417

Página : 1 de 3

1. SOLICITANTE :

DIRECCIÓN :

2. INSTRUMENTO DE MEDICIÓN :

MANÓMETRO DE COLUMNA LIQUIDA

MARCA : DWYER

MODELO : NO INDICA

NÚMERO DE SERIE : NO INDICA

ALCANCE DE ESCALA : 0 inH₂O a 36 inH₂O

DIVISIÓN DE ESCALA : 0,1 inH₂O

PROCEDENCIA : USA

IDENTIFICACIÓN : 124 - MA - LAB (*)

UBICACIÓN : LABORATORIO

FECHA DE CALIBRACIÓN : 2021-11-08

3. LUGAR DE CALIBRACIÓN

Laboratorio de Calibraciones de PESAS Y BALANZAS S.A.C.

4. MÉTODO DE CALIBRACIÓN

La calibración se realizó por comparación directa, tomando como referencia el PC-004 "Procedimiento para la calibración de instrumentos de medición de presión relativa con clase de exactitud igual o mayor a 0,05 % f.s. 2ed. Octubre - 2017" de SNM - INDECOPI.

5. CONDICIONES AMBIENTALES

MAGNITUD	INICIAL	FINAL
TEMPERATURA	20,5	20,4
HUMEDAD RELATIVA	68%	68%

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura k=2. La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la Expresión de la incertidumbre en la medición". Generalmente, el valor de la magnitud está dentro del intervalo de los valores determinados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente 95 %.

Los resultados sólo están relacionados con los ítems calibrados y son válidos en el momento y en las condiciones de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

PESAS Y BALANZAS S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

El certificado de calibración no es válido sin la firma del Gerente Técnico de PESAS Y BALANZAS S.A.C.



Daniel Mamani

Daniel Mamani Maldonado
Gerencia Técnica

Fecha de Emisión

Firmado digitalmente por Daniel Mamani Maldonado
Fecha: 2021.11.12 15:35:23 -05'00'

A6. Certificado de calibración: Balanza electrónica de 15Kg



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN LM-0759-2021

Página 1 de 3

N° de Proforma : P0812-2021
Expediente : E0417

1. SOLICITANTE :

DIRECCIÓN :

2. INSTRUMENTO DE MEDICIÓN : **BALANZA**

MARCA : PRECIX WEIGHT

MODELO : ACS 15A

NÚMERO DE SERIE : 141583

ALCANCE DE INDICACIÓN : 15 kg

DIVISIÓN DE ESCALA REAL (d) : 0,002 kg

DIVISIÓN DE ESCALA DE VERIFICACIÓN (e) : 0,002 kg

PROCEDENCIA : NO INDICA

IDENTIFICACIÓN : 790-BA-ING (*)

TIPO : ELECTRÓNICA

UBICACIÓN : INGENIERIA

FECHA DE CALIBRACIÓN : 2021-10-19

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura $k=2$. La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la Expresión de la incertidumbre en la medición". Generalmente, el valor de la magnitud está dentro del intervalo de los valores determinados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente 95 %.

Los resultados sólo están relacionados con los items calibrados y son válidos en el momento y en las condiciones de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

PESAS Y BALANZAS S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados. vigentes.

El certificado de calibración no es válido sin la firma del Gerente Técnico de PESAS Y BALANZAS S.A.C.

Los resultados de este certificado de calibración no debe ser utilizado como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

3. PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN

Procedimiento para la Calibración de Balanzas de Funcionamiento no Automático Clase III y IIII: PC - 001 del SNM-INDECOPI, 4ta edición mayo 2019.

4. LUGAR DE CALIBRACIÓN

INSTALACIONES de

Sello



Jorge Luis Broncano Aguilar
Gerente Técnico

Fecha de Emisión

Firmado digitalmente por
Jorge Luis Broncano Aguilar
Fecha: 2021.11.02
12:40:26 -05'00'

PSG-18-reg03 Rev.04

Revisado: JLBA Aprobado: LARP

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN DE PESAS Y BALANZAS S.A.C.
Jr. Luis Agurto N° 247-Urb. Elío - Cercado de Lima - Teléfonos: 564 5391 / 564 6891 / RPM: 999753131 Claro 967791832
Correos: informes@pesabalsac.com / comercial@pesabalsac.com / Web: www.pesabalsac.com

A7. Certificado de calibración: Balanza electrónica de 2000g



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN LM-0828-2021

Página 1 de 3

N° de Proforma : P0812-2021
Expediente : E0417

1. SOLICITANTE :

DIRECCIÓN :

2. INSTRUMENTO DE MEDICIÓN : **BALANZA**

MARCA : OHAUS

MODELO : E0K210

NÚMERO DE SERIE : 1119031093

ALCANCE DE INDICACIÓN : 2 000 g

DIVISIÓN DE ESCALA REAL (d) : 0,1 g

PROCEDENCIA : SWITZERLAND

IDENTIFICACIÓN : 082-BA-LAB (*)

TIPO : ELECTRÓNICA

UBICACIÓN : LABORATORIO

FECHA DE CALIBRACIÓN : 2021-11-04

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura $k=2$. La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la Expresión de la incertidumbre en la medición". Generalmente, el valor de la magnitud está dentro del intervalo de los valores determinados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente 95 %.

Los resultados sólo están relacionados con los ítems calibrados y son válidos en el momento y en las condiciones de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

PESAS Y BALANZAS S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados vigentes.

El certificado de calibración no es válido sin la firma del Gerente Técnico de

Los resultados de este certificado de calibración no debe ser utilizado como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

3. PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN

Procedimiento para la Calibración de Balanzas de Funcionamiento no Automático Clase I y II: PC - 011 del SNM-INDECOPI, 4ta edición abril 2010.

4. LUGAR DE CALIBRACIÓN INSTALACIONES de

Sello

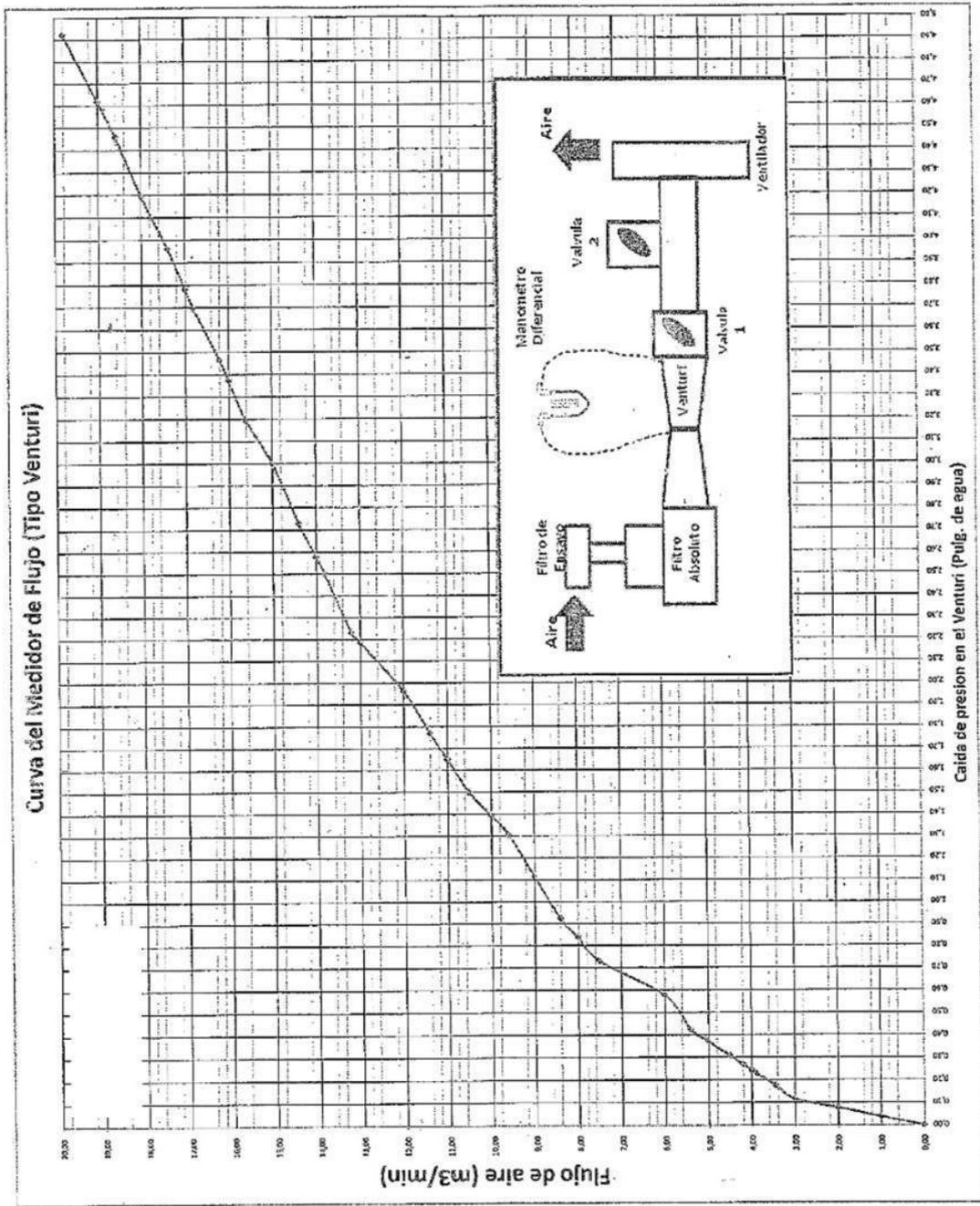



Jorge Luis Broncano Aguilar
Gerente Técnico

Fecha de Emisión

Firmado digitalmente por
Jorge Luis Broncano Aguilar
Fecha: 2021.11.12 12:46:28 -05'00'

A8. Diagrama del medidor de flujo en el tubo Venturi



A9. Estándares de ensayos de filtración con polvo ISO 12103-1

ESTÁNDARES INTERNACIONALES: PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE FILTRACIÓN	CONTAMINANTES REQUERIDOS
ANSI B93.31: Multipass Method for Evaluating Filtration performance of a Fine Hydraulic Fluid Power Element	ISO 12103-1, A2 Fine Test Dust (AC Fine Test Dust per standard is obsolete)
ISO 2941: Hydraulic fluid power-filter elements-verification of collapse/burst pressure rating	ISO 12103-1, A2 Fine Test Dust and A3 Medium Test Dust
ISO 4020: Road Vehicles - Fuel Filters for Diesel Engines	ISO 12103-2, M1 and M2 Aluminum Oxide Test Dusts
ISO 4548-4: Initial Particle Retention Efficiency, Life & Cumulative Efficiency (gravimetric method)	ISO 12103-1, A2 Fine Test Dust ISO 12103-2, M2, M3, M4 and M5 Aluminum Oxide Test Dust
ISO 4548-3: Resistance to High Differential Pressure and Elevated Temperature. Section 10.1: Test for ability to withstand High Differential Pressure.	ISO 12103-1, A2 Fine Test Dust
ISO 4548-12: Filtration Efficiency using Particle Counting, & Contaminant Retention Capacity	ISO 12103-1, A3 Medium Test Dust
ISO 4572: Hydraulic Fluid Power-Filters - Multipass Method	ISO 12103-1, A2 Fine Test Dust (AC Fine Test Dust per std. is obsolete)
ISO 5011: Inlet Air Cleaning Equipment for Internal Combustion Engines & Compressors	ISO 12103-1, A2 Fine Test Dust and A4 Coarse Dust
ISO/TS 11155-1: Road Vehicles - Air Filters for Passenger Compartments Part 1: Test for Particulate Filtration	ISO 12103-1, A2 Fine Test Dust
ISO/TS 13353: Diesel Fuel & Petrol Filters for Internal Combustion Engines - Initial Efficiency by Particle Counting	ISO 12103-1, A3 Medium Test Dust
ISO 16889: Hydraulic Fluid Power Filters - Multipass Method for Evaluating Filtration Performance of a Filter Element.	ISO 12103-1, A3 Medium Test Dust
ISO/PWI 23369: Hydraulic Fluid Power - Multipass Method of Evaluating Filtration Performance of a Filter Element under Cyclic Flow Conditions.	ISO 12103-1, A2 Fine Test Dust
ISO 19438: Diesel Fuel & Petrol Filters for Internal Combustion Engines - Filtration Efficiency using Particle Counting & Contaminant Retention Capacity	ISO 12103-1, A3 Medium Test Dust

ISO/TS 19713-1: Inlet Air Cleaning Equipment for Internal Combustion Engines & Compressors -Fractional Efficiency Testing with Fine Particles	ISO 12103-1, A2 Fine Test Dust and A4 Coarse Test Dust
ISO/TS 19713-2: Inlet Air Cleaning Equipment for Internal Combustion Engines & Compressors - Fractional Efficiency Testing with Coarse Particles	ISO 12103-1, A2 Fine Test Dust and A4 Coarse Test Dust
NFPA T3.10.8.8: Hydraulic Fluid Power-Filters – Multipass Method for Evaluating Filtration Performance	ISO 12103-1, A2 Fine Test Dust (AC Fine Test Dust per standard is obsolete)
SAE J 726: Air Cleaner Test Code	ISO 12103-1, A2 Fine Test Dust and A4 Coarse Test Dust
SAE HS-806: Oil Filter Test Procedure Section 6: Filter Capacity & Contaminant Removal Characteristics of Full-Flow Oil Filters	ISO 12103-1, A2 Fine Test Dust SOFTC 2A
SAE HS-806: Oil Filter Test Procedure Section 7: Single Pass Particle Retention Capability Test	Broad Range within 29-470 µm of glass beads.Narrow Range in 10 µm fractions of glass beads. Natural Contaminant: ISO 12103-1, A4 Coarse Test Dust in full range or fractions thereof.
SAE HS-806: Oil Filter Test Procedure Section 9: Collapse Test for Lube Oil Elements	ISO 12103-1, A2 Fine Test Dust
SAE J 905: Fuel Filter Test Methods Section 4: Filter capacity & contaminant removal characteristics.	ISO 12103-1, A2 Fine Test Dust
SAE J 905: Fuel Filter Test Methods Section 6: Collapse test for fuel filter elements	ISO 12103-1, A1, A2, A3, A4 Test Dusts
SAE J 1669-1: Passenger Compartment Air Filter Test Code - Particulate Filtration	ISO 12103-1, A2 Fine Test Dust
SAE J 1858: Full-Flow Lubricating Oil Filters Multipass Method for Evaluating Filtration Performance	ISO 12103-1, A3 Medium Test Dust
SAE J 1985: Fuel Filters - Initial Single Pass Efficiency Test Method	ISO 12103-1, A2 Fine Test Dust
SAE J 2709: Coolant Filter Test Procedure - Section 7: Filter Collapse Test	ISO 12103-1, A1, A2, A3, A4 Test Dust
SAE J 2793: Fuel dispensing filter test methods	ISO 12103-1, Arizona Test Dust A3 Medium Test Dust

A10. Características técnicas y costos del polvo ISO 12103-1



Jet Milling, ACM Milling, Air Classification,
Pulverization, Blending and Screening Services

ISO 12103-1 ARIZONA TEST DUST CONTAMINANTS A2 FINE AND A4 COARSE GRADES

TYPICAL CHEMICAL ANALYSIS

Chemical	% Of Weight	Chemical	% Of Weight
Silicon	69.0 - 77.0	Calcium	2.5 - 5.5
Aluminum	8.0 - 14.0	Magnesium	1.0 - 2.0
Iron	4.0 - 7.0	Titanium	0.0 - 1.0
Sodium	1.0 - 4.0	Potassium	2.0 - 5.0

*Loss on Ignition 2 – 5%

ISO TEST DUST PARTICLE SIZE DISTRIBUTIONS BY VOLUME %

SIZE (µm)	ISO 12103-1, A2 Fine (% less than)	ISO 12103-1, A4 Coarse (% less than)
0.97	4.5 – 5.5	0.74 – 0.83
1.38	8.0 – 9.5	1.8 – 2.1
2.75	21.3 – 23.3	5.5 – 6.3
5.50	39.5 – 42.5	11.5 – 12.5
11.00	57.0 – 59.5	21.0 – 23.0
22.00	73.5 – 76.0	36.0 – 38.5
44.00	89.5 – 91.5	58.0 – 60.0
88.00	97.9 – 98.9	85.0 – 86.5
124.50	99.0 – 100.0	93.0 – 94.0
176.00	100.0	97.2 – 98.2
248.90	-	99.0 – 100.0
352.00	-	100.0

PACKAGING OPTIONS AND COST

Container	ISO Fine (3.5 kg/jar) \$/Container	ISO Coarse (4.5 kg/jar) \$/Container
4 Liter Jar, 1 - 5 jars	\$58.00	\$58.00
4 Liter Jar, 6 - 23 jars	\$52.00	\$52.00
4 Liter Jar, 24 - 51 jars	\$47.00	\$47.00
4 Liter Jar, 52 - 199 jars	\$44.00	\$44.00
4 Liter Jar, 200+ jars	\$42.00	\$42.00
30 Gallon Drum (113.6 Liters)	\$1230.00(105 kg.)	\$1230.00(135 kg.)
55 Gallon Drum (208.2 Liters)	\$2150.00(192.5 kg.)	\$2150.00(247.5 kg.)

Notes:

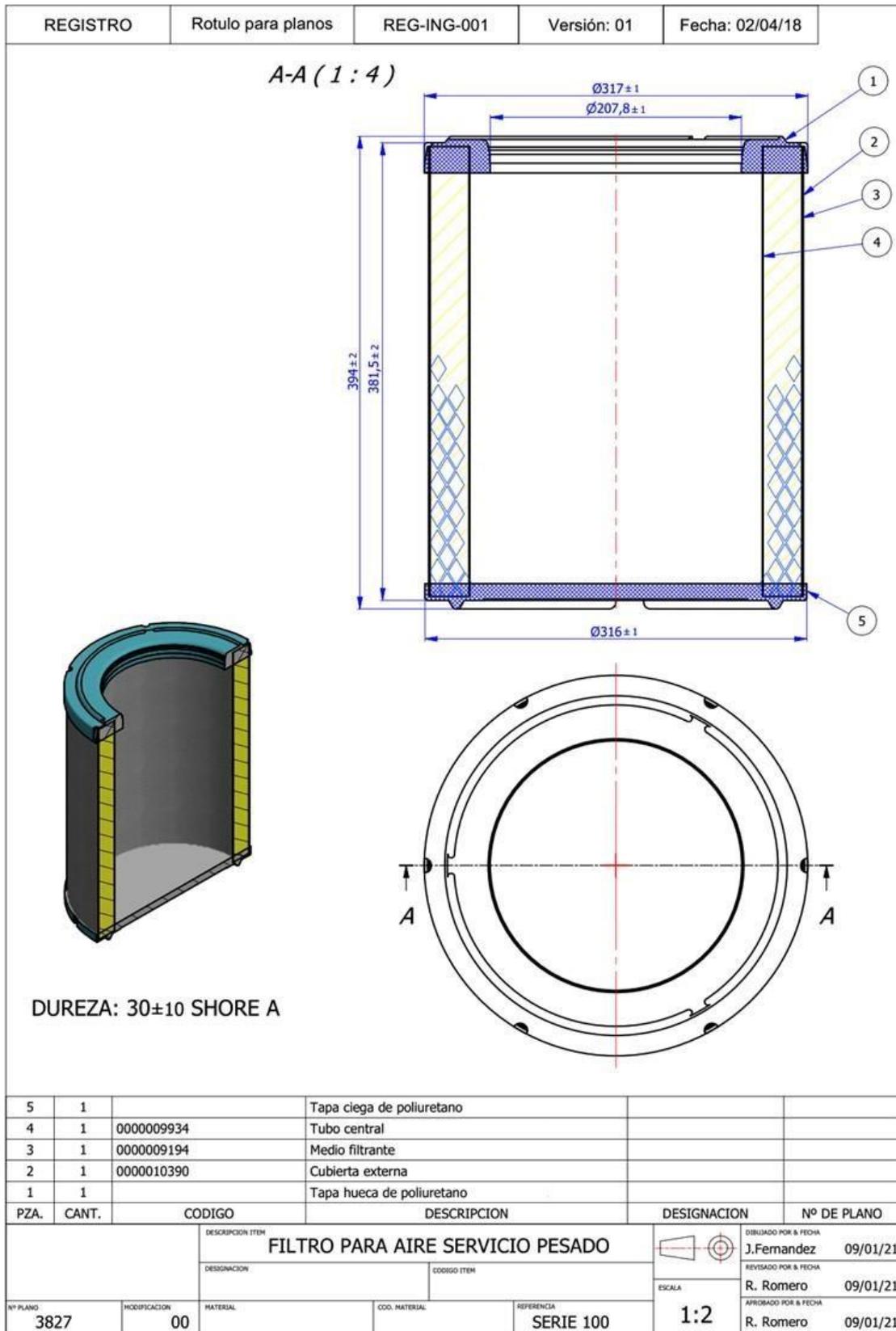
1. Orders less than \$200.00 are subject to a \$20.00 handling fee
2. Prices are in U.S. Dollars
3. Each shipment will contain a minimum number of batches. Typical batch size is 3000 pounds
4. Each batch is shipped with particle size distribution
5. F.O.B. – Shipping Point
6. Prices are subject to change without notice.
7. PTI has a no return policy on all products.
8. Price list effective as of 1 April 2021

1300 Grey Fox Road | Arden Hills, MN 55112 | Ph: 952-894-8737 | www.powdertechologyinc.com

ISO 9001:2015 Registered



A11. Plano del filtro para aire de sello radial rediseñado



A12. Hoja de especificaciones técnicas del motor Toyota modelo 5L

 <p>ENGINE Australia The Diesel Parts Specialists</p>	<p>ENGINE SPECIFICATIONS January 2001 ES-TOY08R</p>
---	--

General

Manufacturer	TOYOTA		
Model/Year	5L	8/1997 -	
L/(CID)	2,986cc DIESEL	No. of Cylinders	4
Bore & Stroke	99.5mm X 96.0mm		
Firing Order	1 - 3 - 4 - 2		
Compression Ratio	22.3 : 1	Idle Speed	750 - 850 rpm
Comp. Pressure @ RPM	3.2 MPa @ 250 rpm	2.0 MPa min.	<490 kPa diff.
Oil Pressure	29 kPa min at idle	Oil Capacity & Grade	6.5 ltr dry CD/E/F
Injection Timing	Dial indicator and plunger stroke.		

Block

Bore Diameter Standard	99.500 – 99.530 mm
Maximum Overbore	0.50 mm
Liner Flange Height & Fit	N/A Repair sleeves are available.
Crankshaft Housing Bore	66.000 – 66.020 mm
Camshaft Housing Bore	No. 1: 38.015 – 38.027 mm Nos. 2 – 5: 31.015 – 31.027 mm
Block Deck Height	0.20 mm warp limit

Pistons & Rings

Piston to Bore Clearance	0.04 – 0.06 mm @ 61.27 – 61.33 mm from crown.
Piston Protrusion	0.68 – 0.97 mm (Graded head gaskets – refer notes.)
Gudgeon Pin Diameter	29.000 – 29.012 mm
Gudgeon Pin Clearance	0.004 – 0.012 mm Limit: 0.05 mm
Ring Equipment	Top: 2.0 mm (½K), 2 nd : 1.5 mm; Oil: 4.0 mm.
Piston Ring End Gap	Top: 0.35 – 0.59 mm; 2 nd : 0.47 – 0.72 mm; Oil: 0.20 – 0.52 mm.
Ring to Groove Clearance	Top: 0.057 – 0.101 mm; 2 nd : 0.06 – 0.10 mm; Oil: 0.03 – 0.07 mm.

Connecting Rods

Big End Bore	58.004 – 58.024 mm
Pin End Bore	32.000 – 32.030 mm
Centre to Centre	147 mm
Big End Width	
Bush ID Finished	29.008 – 29.020 mm
Rod Side Clearance	0.080 – 0.300 mm Limit: 0.35 mm
Bend/Twist	0.05 mm/100mm bend 0.15 mm/100 mm twist

Camshaft

Journal Diameters	1: 34.969 – 34.985 mm 2 – 5: 27.969 – 27.985 mm
End Play	0.08 – 0.28 mm Limit: 0.35 mm
Oil Clearance	0.022 – 0.074 mm Limit: 0.10 mm
Minimum Lobe Height	Inlet 54.30 mm Exhaust 55.00 mm Limit In 53.8 mm & Ex 54.5 mm
Bend Limit	0.10 mm circle runout

Crankshaft

Main Journal Standard	61.985 – 62.000 mm	
Conrod Journal Standard	54.988 – 55.000 mm	
Harmonic Balancer Diam.		
Crank Gear Diameter		
Seal Diameter		
Thrust Thickness	2.430 – 2.480 mm	
Main Bearing Clearance	0.034 – 0.065 mm std. Limit: 0.10 mm	
Conrod Bearing Clearance	0.036 – 0.064 mm std. Limit: 0.10 mm	
Crankshaft End Play	0.040 – 0.250 mm Limit: 0.30 mm	
Journal Radius	Main	Conrod

Cylinder Head

Tappet Clearance	Inlet	0.20 – 0.30 mm Cold	Exhaust	0.40 – 0.50 mm Cold
Head Height	New		Limit	
Warp Limit		0.2 mm		
Valve Seat Angle	Inlet	45°	Exhaust	45°
Valve Seat Width	Inlet	1.5 – 1.9 mm	Exhaust	1.8 – 2.2 mm
Valve Head Margin	Inlet	1.1 mm min.	Exhaust	1.2 mm min.
Valve Face Angle	Inlet	44.5°	Exhaust	44.5°
Valve Length	Inlet	104.10 – 104.50 mm	Exhaust	103.95 – 104.35 mm
Valve Stem Diameter	Inlet	7.975 – 7.990 mm	Exhaust	7.960 – 7.975 mm
Valve Guide Height	Inlet	10.8 – 11.2 mm	Exhaust	10.8 – 11.2 mm
Valve Guide Clear. Std.	Inlet	0.020 – 0.055 mm	Exhaust	0.035 – 0.070 mm
Valve Guide Clear. Limit	Inlet	0.08 mm	Exhaust	0.10 mm
Valve Spring Pressure	Type A	30.7 – 33.9 kg	Type B	30.7 – 33.9 kg
Valve Spring Free Length	Type A	46.20 mm	Type B	48.54 mm
Valve Spring Install. Height	Type A	37.0 mm	Type B	37.0 mm
Precom. Chamber Protrus.		-0.03 - +0.03 mm		

Torque Specifications

Main Bolts	10.5 kgf.m OILED	
Conrod Bolts	5.5 kgf.m + 90° OILED	
Head Bolts	8.0 kgf.m + 90° + 90° OILED	
Cam Cap Bolts	2.55 kgf.m OILED	
Manifold Bolts	Inlet 2.4 kgf.m	Exhaust 5.3 kgf.m
Flywheel Bolts	12.5 kgf.m OILED	
Harmonic Balancer	24.0 kgf.m	

Torque Sequences

17y 11x 9y 3x 1y 5x 7y 13x 15y
16y 14y 8y 6y 2y 4y 10y 12y 18y

7 3 1 5 9
8 4 2 6 10

8 4 2 6 10
7 3 1 5 9

X bolts – 107 mm long Y bolts – 127 mm long	<p style="text-align: center;">Head Gasket Selection from Piston Protrusion</p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="border: none;">Piston Protrusion</td> <td style="border: none;">Gasket Size</td> </tr> <tr> <td style="border: none;">0.68 – 0.77 mm</td> <td style="border: none;">Grade B 1.40 – 1.50 mm</td> </tr> <tr> <td style="border: none;">0.78 – 0.87 mm</td> <td style="border: none;">Grade D 1.50 – 1.60 mm</td> </tr> <tr> <td style="border: none;">0.88 – 0.97 mm</td> <td style="border: none;">Grade F 1.60 – 1.70 mm</td> </tr> </table>	Piston Protrusion	Gasket Size	0.68 – 0.77 mm	Grade B 1.40 – 1.50 mm	0.78 – 0.87 mm	Grade D 1.50 – 1.60 mm	0.88 – 0.97 mm	Grade F 1.60 – 1.70 mm
Piston Protrusion	Gasket Size								
0.68 – 0.77 mm	Grade B 1.40 – 1.50 mm								
0.78 – 0.87 mm	Grade D 1.50 – 1.60 mm								
0.88 – 0.97 mm	Grade F 1.60 – 1.70 mm								

A13. Hoja de especificaciones de material del medio filtrante MF-1

		ESPECIFICACION		Código:	ESP-LAB-037			
		MATERIA PRIMA		Aprobación	02/04/2018			
				Versión:	07			
				Página	1 / 1			
Material :				Código de Material:	0000000081 - 00			
Unidad de Manejo :	kg	Unidad Compra:	kg	Factor :	1			
Referencia:								
Aplicación: FILTROS PARA PETROLEO - FILTRACION RADIAL								
Descripción: (Ancho 820MM)								
Apariencia: PAPEL FILTRANTE CORRUGADO								
Presentación del Material :								
Forma de Presentación: BOBINA CON ENROLLAMIENTO DE AJUSTE UNIFORME								
Capacidad: Peso de bobina: Máx. 180 kg								
Información del Rotulado: PROVEEDOR, IDENTIFICACION, O/C, LOTE, PESO NETO								
Identificación:								
Embalaje: BOBINA SELLADA CON STRECH FILM, NO DEBE PRESENTAR ROTURAS, CORTES, ABOLLADURAS								
Características			Requisitos					
	UND	MIN	STD	MAX	Criticidad	Evaluacion	Frecuencia	Cualidad
PESO BASICO	g/m ²	105.000		135.000	No critico	Evaluación de Laboratorio	Recepcion	
RESISTENCIA MULLEN	kg/cm ²	2.500			No critico	Certificado de proveedor	Semestral	
PORO MAXIMO	µm	40.000		55.000	Critico	Evaluación de Laboratorio	Recepcion	
CONTENIDO DE RESINA	%	12.000		22.000	No critico	Certificado de proveedor	Semestral	
FLUJO DE AIRE	LT/SEG.M2	85.000		160.000	No critico	Certificado de proveedor	Semestral	
ESPESOR	mm	0.250		0.400	No critico	Certificado de proveedor	Semestral	
ANCHO DE BOBINA	mm	818.000	820.000	822.000	No critico	Evaluación de C.Calidad	Recepcion	
COLOR	-----				Critico	Evaluación de C.Calidad	Recepcion	Según patrón
IDENTIFICACIÓN	-----				Critico	Evaluación de C.Calidad	Recepcion	
EMBALAJE	-----				Critico	Evaluación de C.Calidad	Recepcion	Bobina sellada
MICRONAJE	µ						X	16 micras 99%
Niveles de Inspección y Muestreo								
Norma Técnica de Referencia:		UNE-ISO 2859-1						
Tipo de Inspección:		NORMAL						
Nivel de Inspección:		S2						
AQL (%):		4						
Aceptación de Producto :								
Inspección de Recepcion:		<input checked="" type="checkbox"/>						
Inspección en Planta:		<input type="checkbox"/>						
Certificado de conformidad por lote		<input checked="" type="checkbox"/>						
Certificado ISO 9000:		<input type="checkbox"/>						
Observaciones								
Diámetro Interno de cono : 3 pulg - Enrollamiento de papel debe ser con líneas impresas (lado de salida del fluido) hacia la parte externa de la bobina. La bobina no debe presentar empalmes del papel en su interior.								
Elaborado y aprobado por :								
SOTO RIVADENEIRA, MYRIAN EDITH LABORATORIO								

A14. Hoja de especificaciones de material del medio filtrante MF-2

		ESPECIFICACION		Código:	ESP-LAB-495			
		MATERIA PRIMA		Aprobación	15/10/2019			
				Versión:	01			
				Página	1 / 1			
Material :		Unidad de Manejo : kg		Unidad Compra: kg	Código de Material: 0000018938 - 00			
				Factor : 1				
Referencia: CODIGO DEL PROVEEDOR CHENTAI CR-F1130-Y31-C								
Aplicación: FILTROS PARA PETROLEO - FILTRACION RADIAL								
Descripción: - ancho 910mm								
Apariencia: PAPEL FILTRANTE CORRUGADO								
Presentación del Material :								
Forma de Presentación: BOBINA CON ENROLLAMIENTO DE AJUSTE UNIFORME								
Capacidad: Peso de bobina: Máx. 180 kg								
Información del Rotulado: PROVEEDOR, IDENTIFICACION, O/C, LOTE, PESO NETO								
Identificación:								
Embalaje: BOBINA SELLADA CON STRECH FILM, NO DEBE PRESENTAR ROTURAS, CORTES, ABOLLADURAS								
Características			Requisitos					
	UND	MIN	STD	MAX	Criticidad	Evaluacion	Frecuencia	Cualidad
PESO BASICO	g/m ²	125.000		135.000	No critico	Evaluación de Laboratorio	Recepcion	
RESISTENCIA MULLEN	kg/cm ²	1.500			No critico	Certificado de proveedor	Semestral	
PORO MAXIMO	μ	40.000		55.000	Critico	Evaluación de Laboratorio	Recepcion	
ANCHO DE BOBINA 1	mm	908.000	910.000	912.000	No critico	Evaluación de C.Calidad	Recepcion	
FLUJO DE AIRE	LT/SEG.M2	85.000		160.000	No critico	Certificado de proveedor	Semestral	
ESPESOR	mm	0.300	.400	0.450	No critico	Certificado de proveedor	Semestral	
IDENTIFICACIÓN	-----				Critico	Evaluación de C.Calidad	Recepcion	
COLOR	-----				Critico	Evaluación de C.Calidad	Recepcion	Según patrón
EMBALAJE	-----				Critico	Evaluación de C.Calidad	Recepcion	Bobina sellada
MICRONAJE	μ				No critico		X	16 micras 99%
Niveles de Inspección y Muestreo								
Norma Técnica de Referencia: UNE-ISO 2859-1								
Tipo de Inspección: NORMAL								
Nivel de Inspección: S2								
AQL(%): 4								
Aceptación de Producto :								
Inspección de Recepcion:			<input checked="" type="checkbox"/>					
Inspección en Planta:			<input type="checkbox"/>					
Certificado de conformidad por lote			<input checked="" type="checkbox"/>					
Certificado ISO 9000:			<input type="checkbox"/>					
Observaciones								
Diámetro interno de cono : 3 pulg - Enrollamiento de papel debe ser con líneas impresas (lado de salida del fluido) hacia la parte externa de la bobina. La bobina no debe presentar empalmes del papel en su interior.								
Elaborado y aprobado por :								
SOTO RIVADENEIRA, MYRIAN EDITH LABORATORIO								

A15. Hoja de especificaciones de material del medio filtrante MF-3

		ESPECIFICACION		Código:	ESP-LAB-125			
		MATERIA PRIMA		Aprobación	02/04/2018			
				Versión:	07			
				Página	1/1			
Material : :		Unidad de Manejo : kg		Unidad Compra: kg	Código de Material: 0000014445 - 00			
Referencia:		Factor : 1						
Aplicación:		FILTROS PARA AIRE SERVICIO PESADO						
Descripción:		(Ancho 820mm)						
Apariencia:		PAPEL FILTRANTE CORRUGADO						
Presentación del Material :								
Forma de Presentación: BOBINA CON ENROLLAMIENTO DE AJUSTE UNIFORME								
Capacidad: Peso de bobina: Max.160 kg								
Información del Rotulado: PROVEEDOR, IDENTIFICACION, O/C, LOTE, PESO NETO								
Identificación:								
Embalaje: BOBINA SELLADA CON STRECH FILM, NO DEBE PRESENTAR ROTURAS, CORTES, ABOLLADURAS								
Características			Requisitos					
	UND	MIN	STD	MAX	Criticidad	Evaluación	Frecuencia	Cualidad
PESO BASICO	g/m ²	105.000		125.000	No critico	Evaluación de Laboratorio	Recepcion	
RESISTENCIA MULLEN	kg/cm ²	2.300			No critico	Certificado de proveedor	Semestral	
PORO MAXIMO	µm	34.000		45.000	Critico	Evaluación de Laboratorio	Recepcion	
CONTENIDO DE RESINA	%	18.000		25.000	No critico	Certificado de proveedor	Semestral	
FLUJO DE AIRE	LT/SEG.M2	65.000		120.000	No critico	Certificado de proveedor	Semestral	
ESPESOR	mm	0.300		0.450	No critico	Certificado de proveedor	Semestral	
MICRONAJE	µm						X	>99%
ANCHO DE BOBINA	mm	818.000	820.000	822.000	No critico	Evaluación C.Calidad	Recepcion	
IDENTIFICACIÓN	----				Critico	Evaluación C.Calidad	Recepcion	
EMBALAJE	----				Critico	Evaluación C.Calidad	Recepcion	Bobina sellada
COLOR	----				Critico	Evaluación C.Calidad	Recepcion	Según patrón
Niveles de Inspección y Muestreo								
Norma Técnica de Referencia:		UNE-ISO 2859-1						
Tipo de Inspección:		NORMAL						
Nivel de Inspección:		S2						
AQL(%):		4						
Aceptación de Producto :								
Inspección de Recepcion:		<input checked="" type="checkbox"/>						
Inspección en Planta:		<input type="checkbox"/>						
Certificado de conformidad por lote		<input checked="" type="checkbox"/>						
Certificado ISO 9000:		<input type="checkbox"/>						
Observaciones								
Diámetro Interno de cono: 3 pulg - Enrollamiento de papel debe ser con líneas impresas (lado de salida del fluido) hacia la parte externa de la bobina. La bobina no debe presentar empalmes del papel en su interior.								
Elaborado y aprobado por :								
SOTO RIVADENEIRA, MYRIAN EDITH LABORATORIO								

A16. Hoja de especificaciones de material del medio filtrante MF-4

		ESPECIFICACION		Código:	ESP-LAB-341			
		MATERIA PRIMA		Aprobación	18/10/2019			
				Versión:	03			
				Página	1 / 1			
Material :				Código de Material:	0000019546 - 00			
Unidad de Manejo :	kg	Unidad Compra:	kg	Factor :	1			
Referencia:	El codigo del proveedor CHENTAI es CT-7171 Bobina no debe presentar empalmes en su interior							
Aplicación:	FILTROS PARA AIRE SERVICIO PESADO							
Descripción:	, ANCHO DE BOBINA 800mm.							
Apariencia:	PAPEL FILTRANTE CORRUGADO							
Presentación del Material :								
Forma de Presentación:	BOBINA CON ENROLLAMIENTO DE AJUSTE UNIFORME							
Capacidad:	Peso de bobina: Máx. 160 kg							
Información del Rotulado:	PROVEEDOR, IDENTIFICACION, O/C, LOTE, PESO NETO							
Identificación:								
Embalaje:	BOBINA SELLADA CON STRECH FILM, NO DEBE PRESENTAR ROTURAS, CORTES, ABOLLADURAS							
Características			Requisitos					
	UND	MIN	STD	MAX	Criticidad	Evaluacion	Frecuencia	Cualidad
PESO BASICO	g/m ²	105.000		125.000	No critico	Evaluación de Laboratorio	Recepcion	
RESISTENCIA MULLEN	kg/cm ²	2.300			No critico	Certificado de proveedor	Semestral	
PORO MAXIMO	μ	34.000		50.000	Critico	Evaluación de Laboratorio	Recepcion	
FLUJO DE AIRE	LT/SEG.M2	120.000	150.000	180.000	No critico	Certificado de proveedor	Semestral	
ESPESOR	mm	0.300		0.450	No critico	Certificado de proveedor	Semestral	
MICRONAJE	μm						X	>99%
ANCHO DE BOBINA	mm	798.000	800.000	802.000	No critico	Evaluación de C.Calidad	Recepcion	
IDENTIFICACIÓN	----				Critico	Evaluación de C.Calidad	Recepcion	
EMBALAJE	----				Critico	Evaluación de C.Calidad	Recepcion	Bobina sellada
COLOR	----				Critico	Evaluación de C.Calidad	Recepcion	Según patrón
Niveles de Inspección y Muestreo								
Norma Técnica de Referencia:	UNE-ISO 2859-1							
Tipo de Inspección:	NORMAL							
Nivel de Inspección:	S2							
AQL(%):	4							
Aceptación de Producto :								
Inspección de Recepcion:	<input checked="" type="checkbox"/>							
Inspección en Planta:	<input type="checkbox"/>							
Certificado de conformidad por lote	<input checked="" type="checkbox"/>							
Certificado ISO 9000:	<input type="checkbox"/>							
Observaciones								
Diámetro interno de cono: 3". Enrollamiento debe ser con líneas impresas hacia la parte externa de la bobina								
Elaborado y aprobado por :								
SOTO RIVADENEIRA, MYRIAN EDITH LABORATORIO								

A17. Hoja de especificaciones de material del medio filtrante MF-5

		ESPECIFICACION		Código:	ESP-LAB-162			
		MATERIA PRIMA		Aprobación	02/04/2018			
				Versión:	03			
				Página	1 / 1			
Material :		Unidad de Manejo : kg		Unidad Compra: kg	Código de Material: 0000015484 - 00			
Referencia:		Factor : 1						
Aplicación: FILTROS PARA TURBINA								
Descripción: 53/40 (ancho 669mm)								
Apariencia: PAPEL CORRUGADO								
Presentación del Material :								
Forma de Presentación: BOBINA CON ENROLLAMIENTO DE AJUSTE UNIFORME								
Capacidad: Peso de bobina: Max. 120 kg								
Información del Rotulado: PROVEEDOR, IDENTIFICACION, O/C, LOTE, PESO NETO								
Identificación:								
Embalaje: BOBINA SELLADA CON STRECH FILM, NO DEBE PRESENTAR ROTURAS, CORTES, ABOLLADURAS								
Características		Requisitos						
	UND	MIN	STD	MAX	Criticidad	Evaluacion	Frecuencia	Cualidad
PESO BASICO	g/m ²	130.000		140.000	No critico	Evaluación de Laboratorio	Recepcion	
RESISTENCIA MULLEN	kg/cm ²	2.500			No critico	Certificado de proveedor	Semestral	
PORO MAXIMO	µm	45.000		65.000	Critico	Evaluación de Laboratorio	Recepcion	
CONTENIDO DE RESINA	%	15.000		25.000	No critico	Certificado de proveedor	Semestral	
FLUJO DE AIRE	LT/SEG.M2	170.000		210.000	No critico	Certificado de proveedor	Semestral	
ESPESOR	mm	0.300		0.500	No critico	Certificado de proveedor	Semestral	
MICRONAJE	µm						X	>99%
ANCHO DE BOBINA	mm	668.000		669.000	Critico	Evaluación de C.Calidad	Recepcion	
IDENTIFICACIÓN	----				Critico	Evaluación de C.Calidad	Recepcion	
EMBALAJE	----				Critico	Evaluación de C.Calidad	Recepcion	Bobina sellada
COLOR	----				Critico	Evaluación de C.Calidad	Recepcion	Según patrón
Niveles de Inspección y Muestreo								
Norma Técnica de Referencia: UNE-ISO 2859-1								
Tipo de Inspección: NORMAL								
Nivel de Inspección: S2								
AQL(%): 4								
Aceptación de Producto :								
Inspección de Recepcion:				<input checked="" type="checkbox"/>				
Inspección en Planta:				<input type="checkbox"/>				
Certificado de conformidad por lote				<input checked="" type="checkbox"/>				
Certificado ISO 9000:				<input type="checkbox"/>				
Observaciones								
Diámetro Interno de cono : 3 pulg. - Enrollamiento de papel debe ser con líneas impresas (lado de salida de fluido) hacia la parte externa de la bobina. La bobina no debe presentar empalmes del papel en su interior.								
Elaborado y aprobado por :								
SOTO RIVADENEIRA, MYRIAN EDITH LABORATORIO								