

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS**  
**ESPE SEDE LATACUNGA**  
**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA PETROQUÍMICA**

**DISMINUCIÓN DEL MATERIAL PARTICULADO MENOR A 10  $\mu\text{m}$  PRESENTE EN EL COMBUSTIBLE DIÉSEL ALMACENADO EN LA ESTACIÓN DE SERVICIO DE UNA EMPRESA MINERA MEDIANTE EL ANÁLISIS TÉCNICO DE TECNOLOGÍAS DE FILTRACIÓN OFERTADOS EN EL MERCADO PARA REDUCIR LOS TIEMPOS DE INACTIVIDAD EN LA FLOTA DE VEHÍCULOS Y EQUIPOS MINEROS**

**AUTORA: LAPO PINEDA, MARIUXI ALEJANDRA**

**DIRECTORA: ING. DONOSO QUIMBITA, CATERINE ISABEL, MSc.**





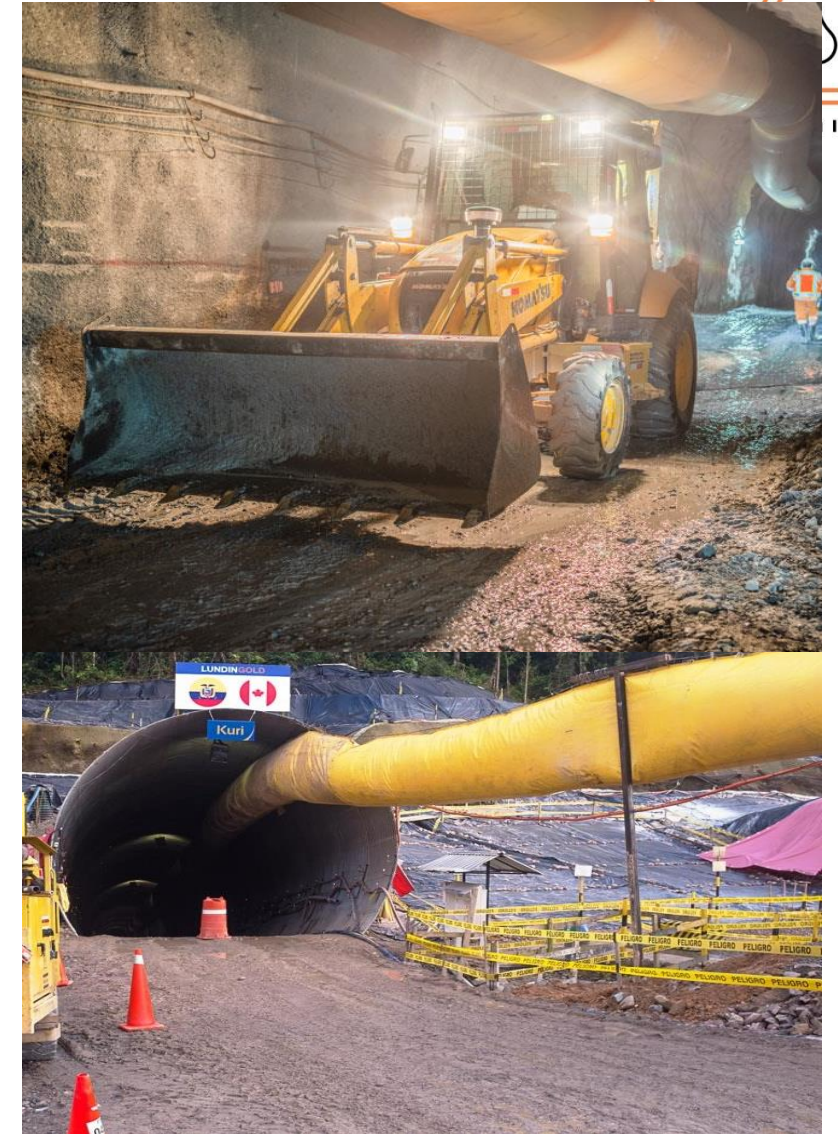
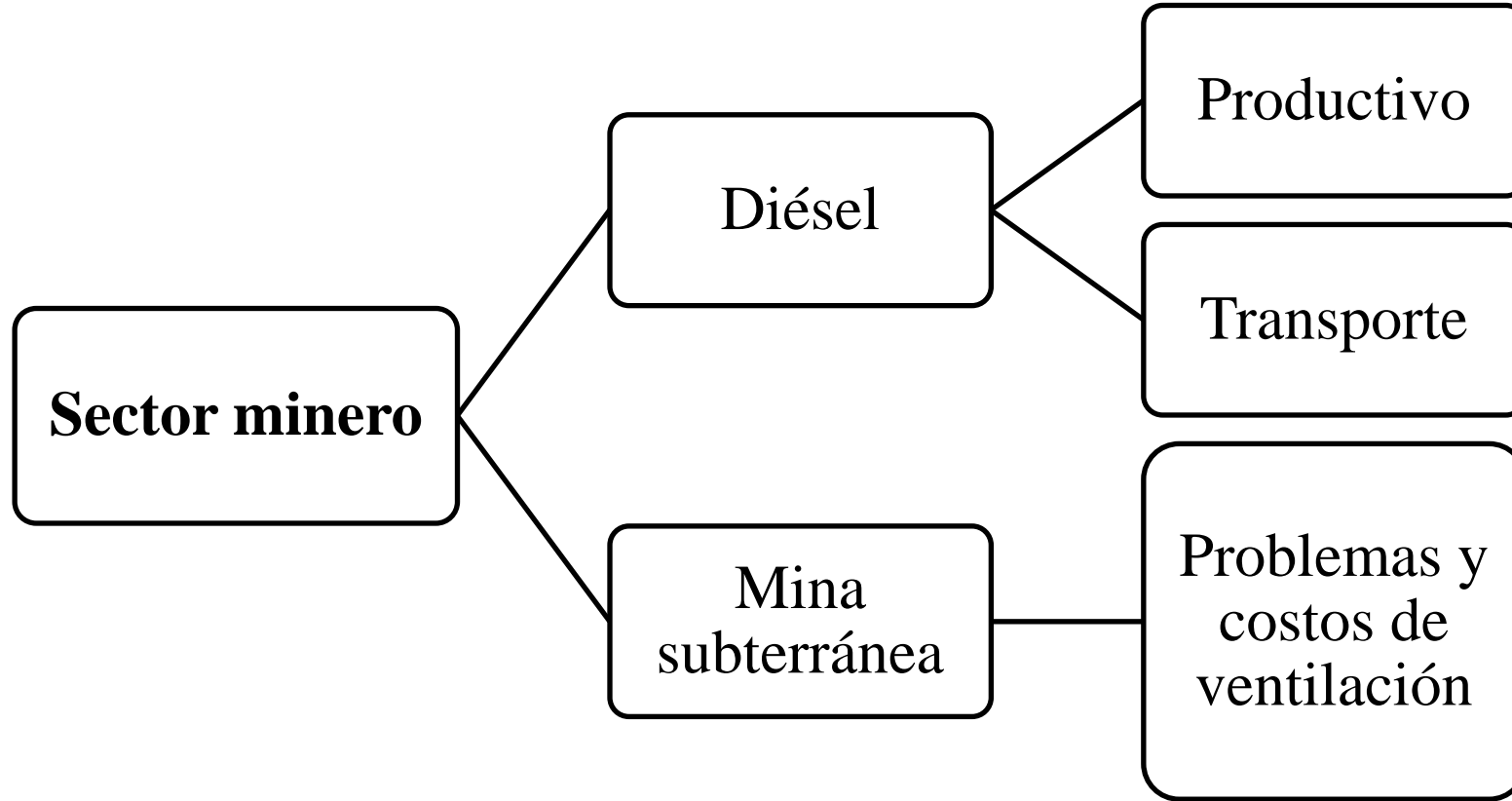
# INTRODUCCIÓN

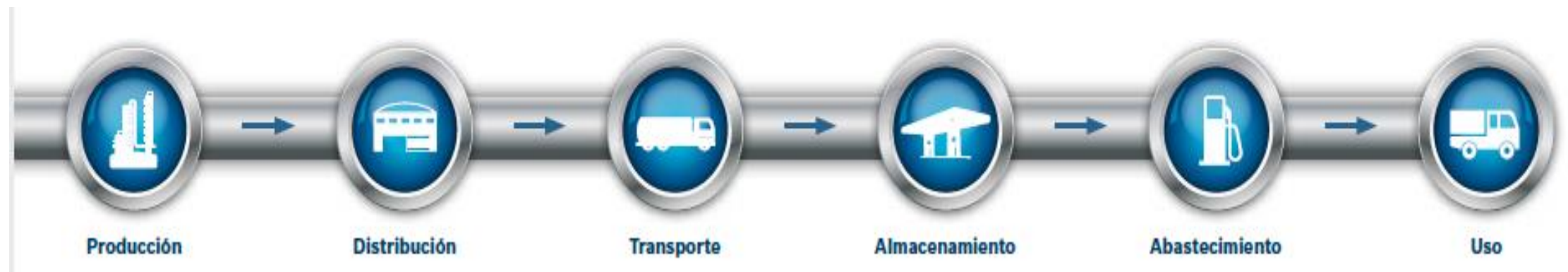
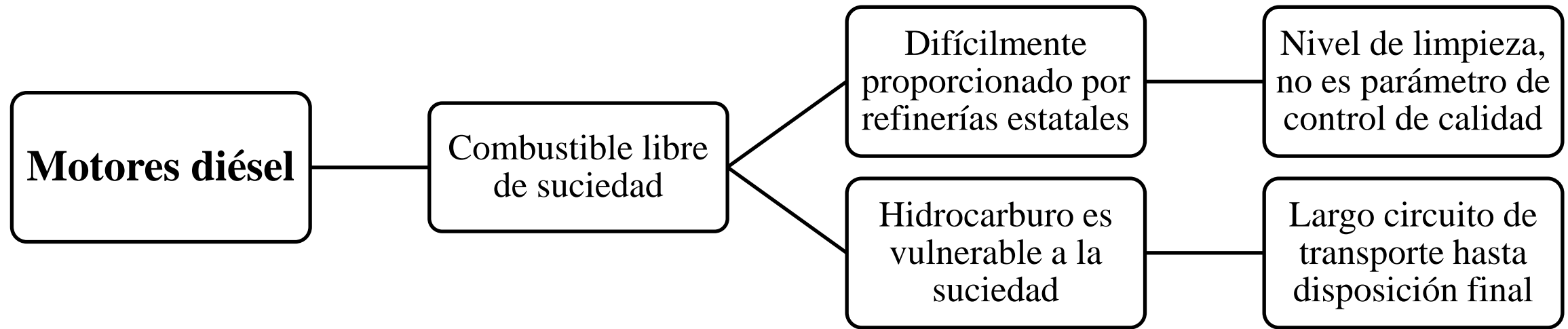
OBJETIVOS

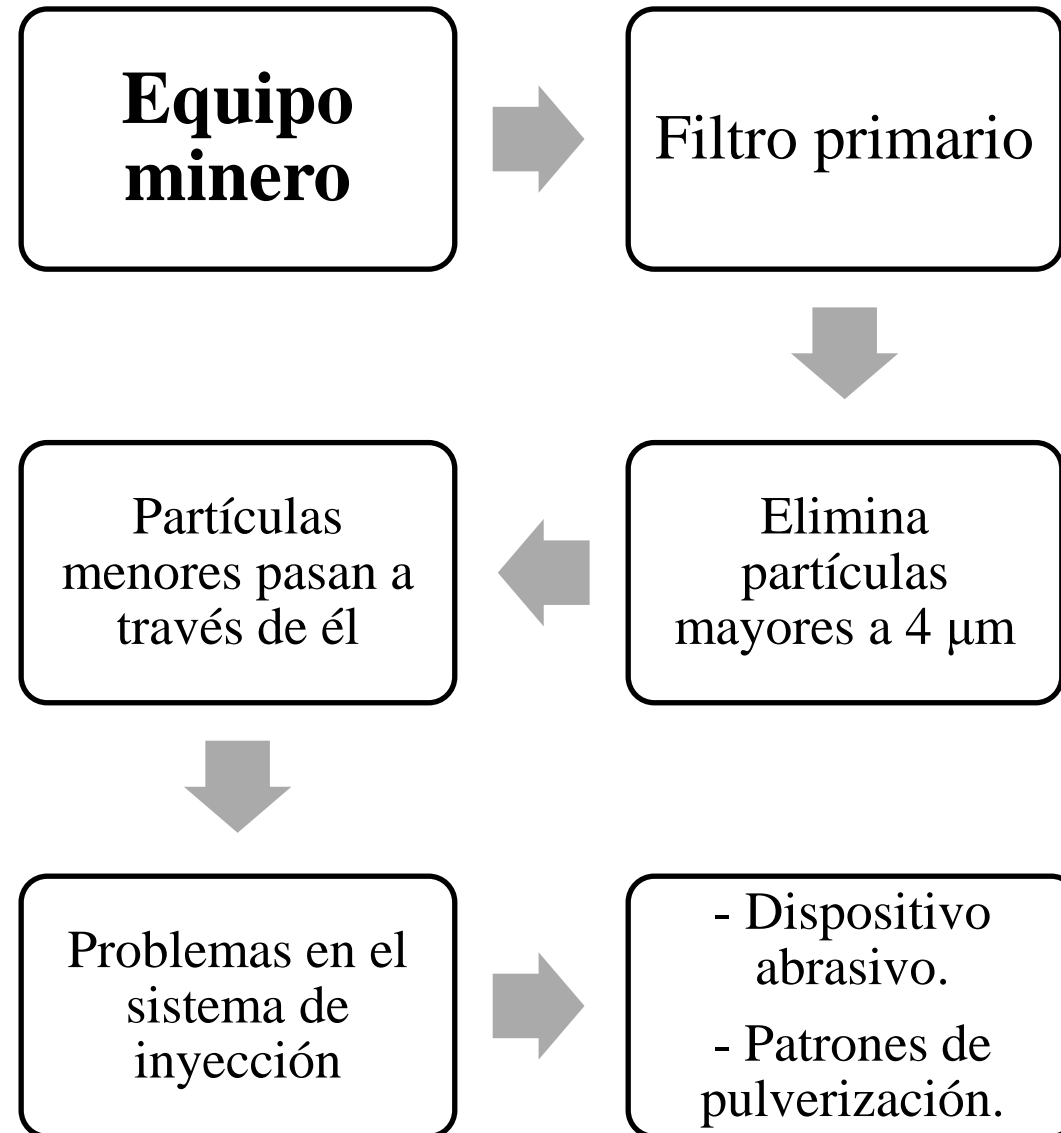
METODOLOGÍA

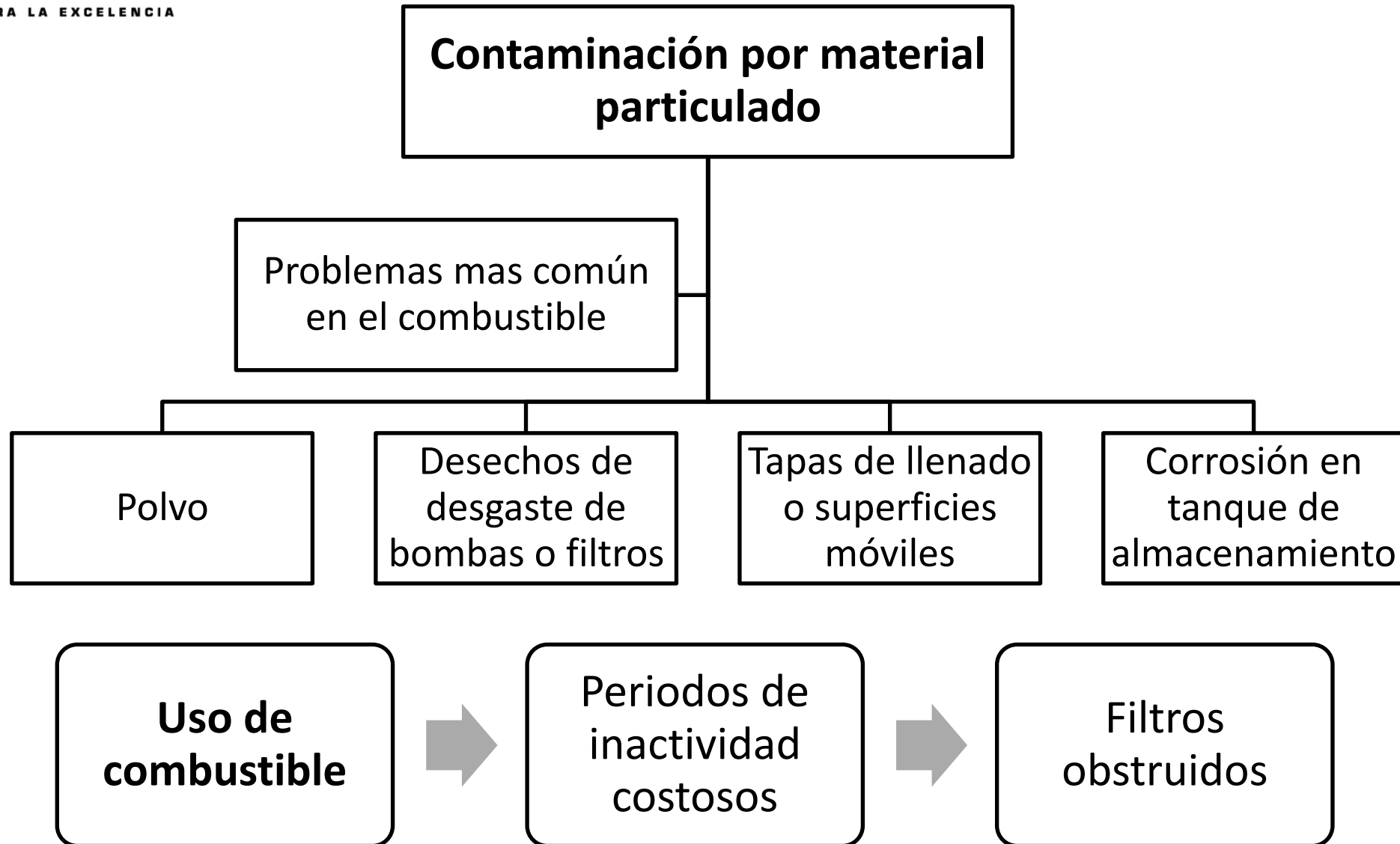
ANÁLISIS DE RESULTADOS

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES









## Carta Mundial del Combustible

### ESTÁNDAR ISO 4406

- Medir el nivel de contaminación.
- Codificación de distribución de tamaño de partículas.



**ISO 18/16/13**

Partículas mayores a  $4\ \mu\text{m}$

1.300 – 2.500

Partículas mayores a  $6\ \mu\text{m}$

320 - 640

Partículas mayores a  $14\ \mu\text{m}$

40 – 80

INTRODUCCIÓN

**OBJETIVOS**

METODOLOGÍA

ANÁLISIS DE RESULTADOS

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



## OBJETIVO GENERAL

- Disminuir el material particulado menor a  $10\ \mu\text{m}$  presente en el diésel almacenado en la estación de servicio de una empresa minera mediante el análisis técnico de sistemas de filtración ofertados en el mercado para reducir los tiempos de inactividad en la flota de vehículos y equipos mineros.

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar el diésel procedente del tanquero de abastecimiento y el combustible almacenado en los cuatro tanques estacionarios pertenecientes a la empresa minera.
- Analizar técnicamente equipos de filtración propuestos por el mercado.
- Seleccionar la opción técnica de filtros más viable para su implementación en la bahía de combustible de la empresa minera.
- Elaborar una propuesta técnica para la disminución de material particulado menor a  $10\ \mu\text{m}$ .
- Implementar el mejor sistema de filtración y determinar el nivel de limpieza alcanzado en el diésel almacenado de la empresa minera.



INTRODUCCIÓN

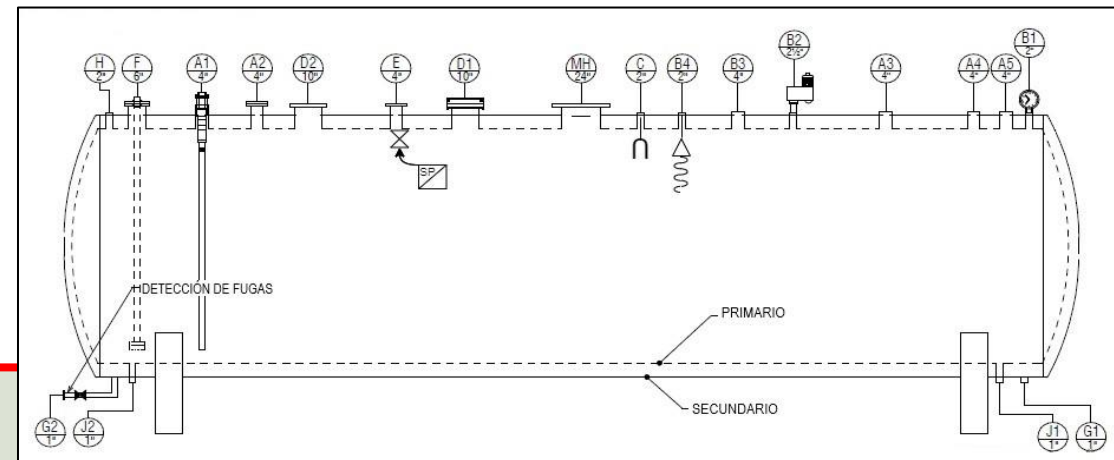
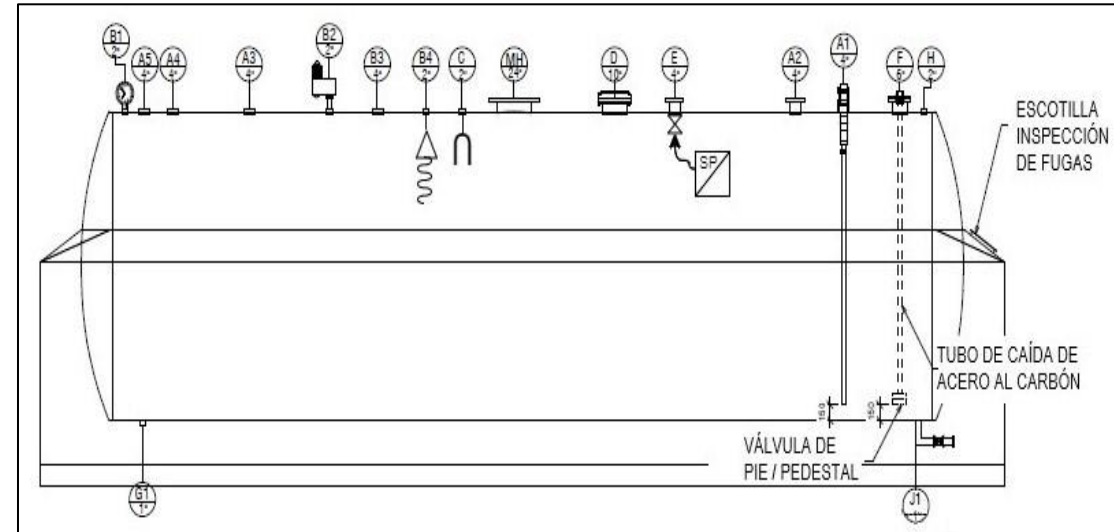
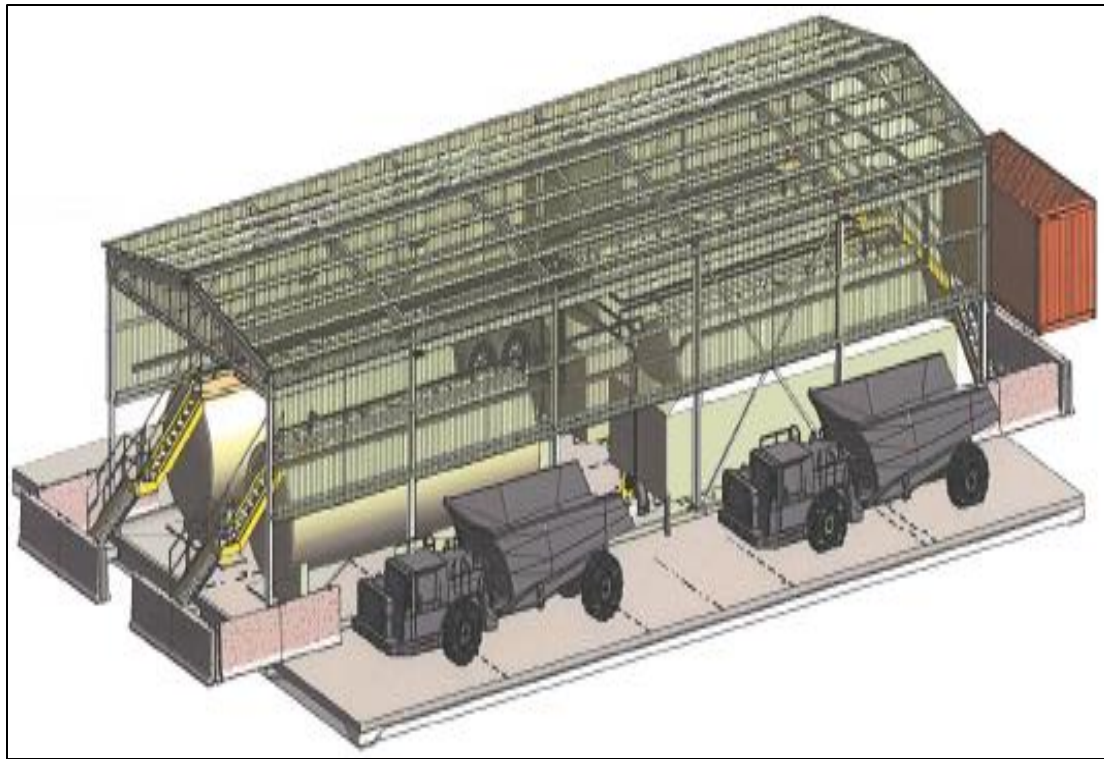
OBJETIVOS

**METODOLOGÍA**

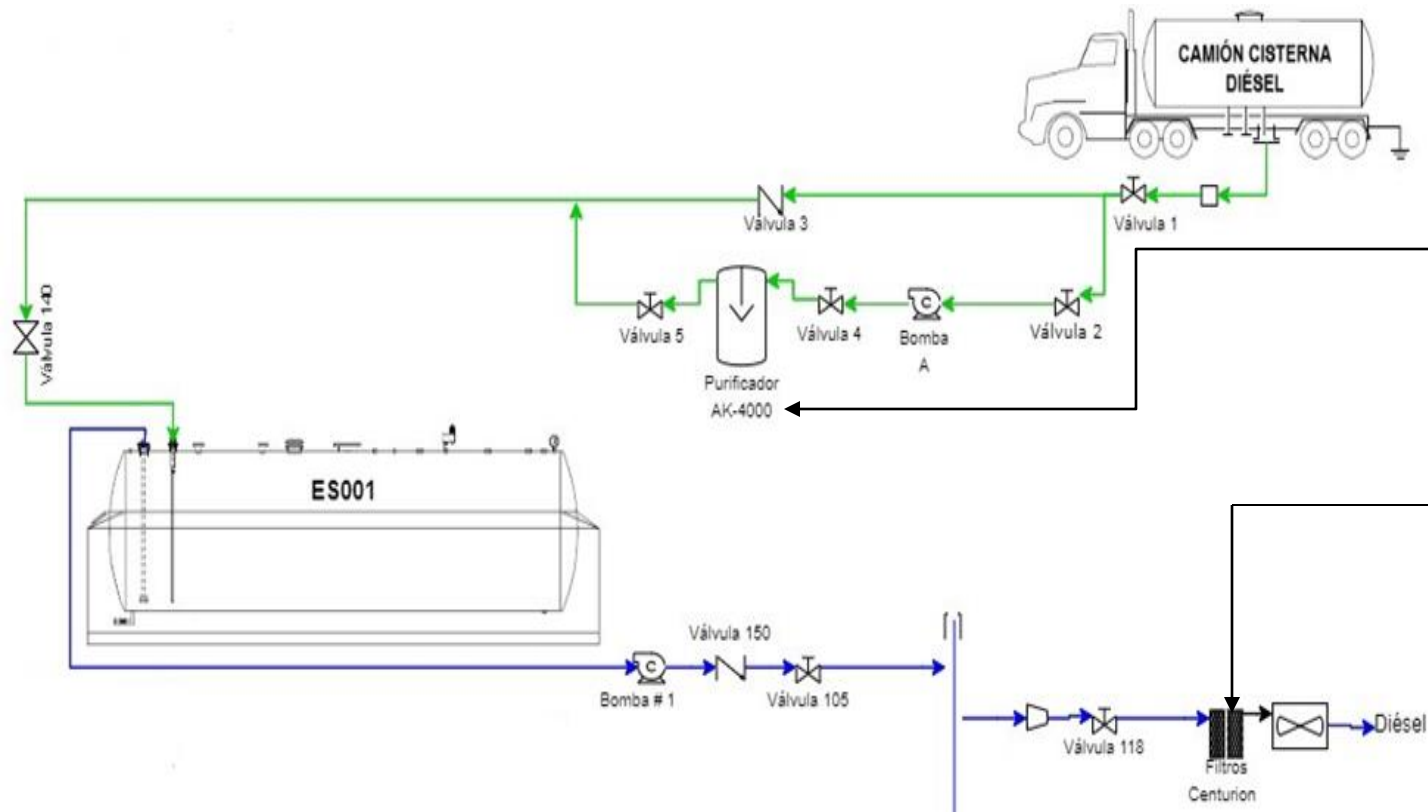
ANÁLISIS DE RESULTADOS

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

# Descripción de la estación de servicio del Proyecto Fruta del Norte



# Descripción de la estación de servicio del Proyecto Fruta del Norte

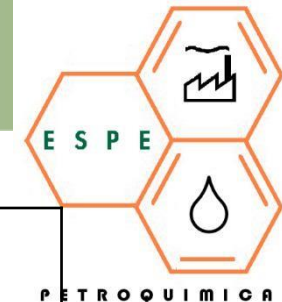


Norma NTE INEN 930:1982





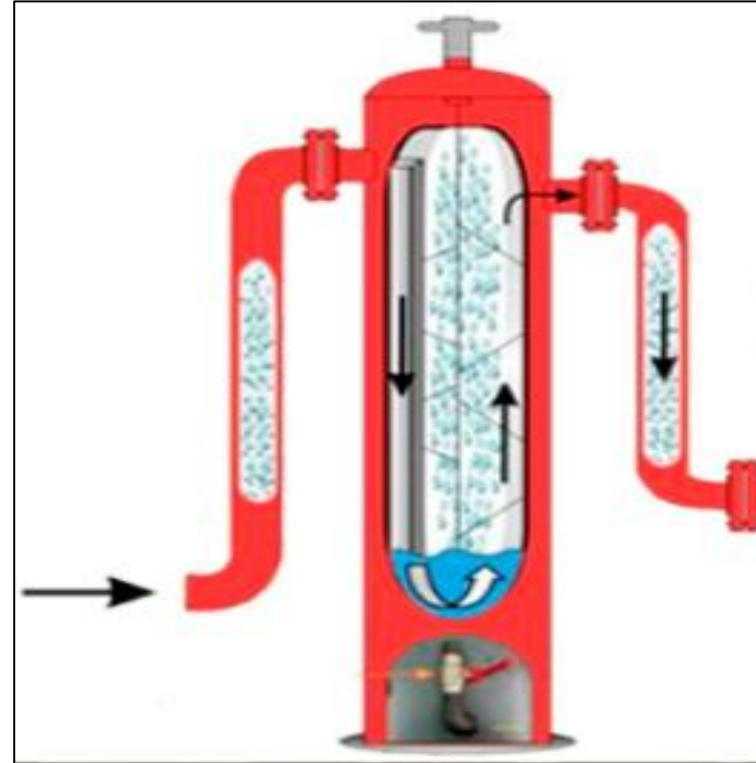
<b>REQUISITOS</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>MÍN</b>	<b>MÁX</b>	<b>MÉTODO DE ENSAYO</b>
<b>Viscosidad cinemática</b>	°C			ASTM D445
<b>Punto de Inflamación</b>	°C	51	-	ASTM D93
<b>Temperatura de destilación del 90 %</b>	°C	-	360	ASTM D86
<b>Contenido de agua y sedimentos</b>				ASTM D1796
<b>Contenido de residuo de carbón</b>	CSt	2,5	6	ASTM D4530
<b>Contenido de cenizas</b>				NTE INEN 1492
<b>Contenido de azufre</b>	% en peso		0,7	ASTM D4294
<b>Corrosión a la lámina de cobre</b>	-	-	No. 3	ASTM D130
<b>Índice de cetano calculado</b>	-	45	-	NTE INEN 1495



REQUISITOS	UNIDAD	MÍN	MÁX	MÉTODO DE ENSAYO
Densidad				ASTM D1298
Clasificación partículas	Parte mL <sup>-1</sup>			ASTM D7596
Conteo de partículas	Parte mL <sup>-1</sup>			ISO 11171

- Ingreso de combustible promedio de:  
160.000 galones mensualmente y 40.000 galones semanalmente
- Velocidad de descarga, bomba de la estación que succiona el combustible a 200 GPM.

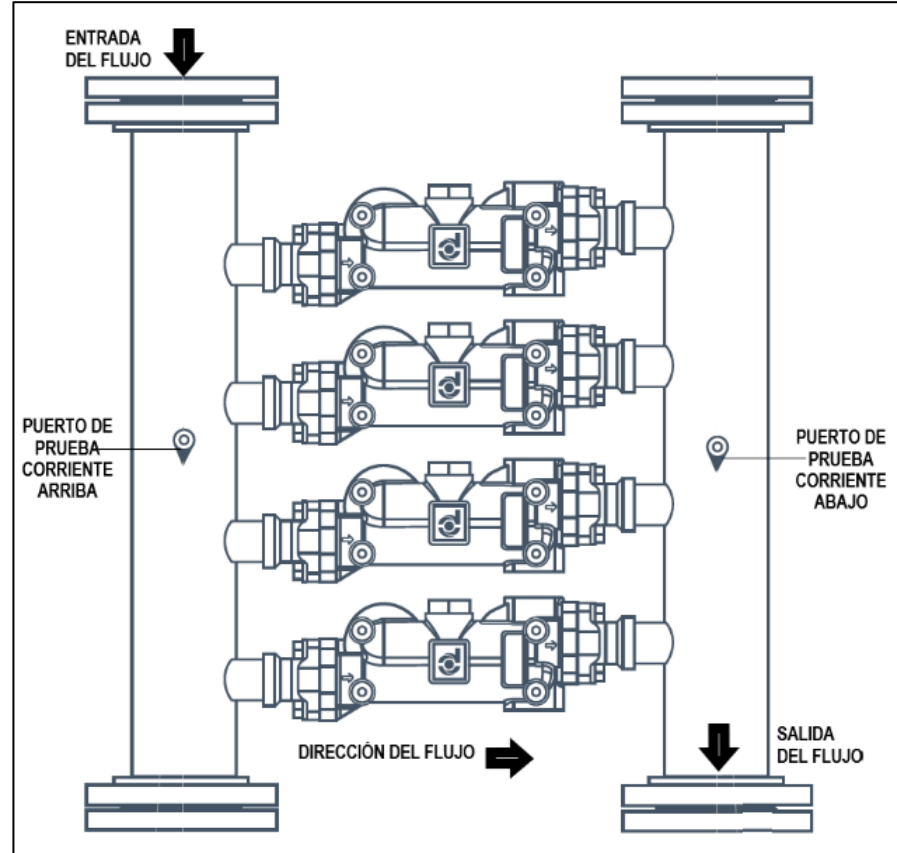
## Purificador AK-4000



- Retener sólidos de hasta  $10\ \mu\text{m}$  y 99% de agua contenida en el diésel.
- Opera a 200 GPM.
- No posee piezas intercambiables, es una unidad sellada.



## Tecnología de filtración de Donaldson



- Ensamble de cabezales con ocho elementos filtrantes.
- Ensamble  
Rango de flujo máximo: 500 GPM.  
Dimensiones: L= 838 mm; a= 621 mm  
Dos manómetros y dos puertos de muestreo
- Elemento filtrante  
Fibra sintética  
Eficiencia: 99,95% a 7 $\mu$ m  
Nivel de limpieza objetivo: ISO 16/14/13

## Tecnología de filtración de Fscem & Harvard



- Portafiltros con cuatro mangas filtrantes.
- Portafiltros:  
Rango de flujo máximo: 400 GPM  
Dimensiones: L= 1.820 mm; a= 690 mm.  
Dos manómetros y dos tomamuestras.
- Mangas filtrantes  
Polipropileno  
Flujo máximo: 50 GPM  
Nivel de limpieza objetivo: ISO 18/16/13.



## Mapa de innovación

Considerando las tecnologías de filtración ofertadas en el mercado

### Componentes:

- Propuesta de valor agregado al cliente
- Producto
- Tecnología del producto
- Diferenciación técnica
- Tecnología del proceso
- Tecnología del material



## Proceso de análisis jerárquico

**Objetivo global:** Reducir el contenido de material particulado menor a 10  $\mu\text{m}$  en el combustible diésel almacenado en la estación de servicio de una empresa minera

### Criterios de selección:

- Impacto de la tecnología sobre el objetivo global (C1)
- Repercusión en el cliente (C2)
- Posibilidad de éxito a corto plazo (C3)
- Variabilidad (C4)
- Peso económico (C5)
- Valor agregado al producto final (C6)

### Alternativas:

- Purificador AK-4000 (T1)
- Tecnología de Donaldson (T2)
- Tecnología de Fscheme & Harvard (T3)

## Matriz para la selección de la mejor tecnología

Matriz de comparación de tecnología para cada criterio

Criterio N°	T1	T2	T3
T1			
T2			
T3			

Matriz A, matriz de comparación de criterios de selección

	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1						
C2						
C3						
C4						
C5						
C6						

Matriz para selección de la mejor tecnología.

Tecnología	C1	C2	C3	C4	C5	C6	Puntuación final
<b>Purificador AK-4000</b>							
<b>Tecnología de Donaldson</b>							
<b>Tecnología de Fscheme &amp; Harvard</b>							



# Selección técnica de la mejor tecnología de filtración



## Matriz para la selección de la mejor tecnología

Escala	Interpretación
1	Ambos criterios o elementos son de igual importancia.
3	Ligeramente más importante un criterio sobre el otro.
5	Fuertemente más importante un criterio sobre el otro.
7	Demostrablemente más importante un criterio sobre el otro.
9	Absolutamente más importante un criterio sobre el otro
2, 4, 6, 8	Valores intermedios, empleados cuando no se puede definir con claridad la preferencia entre los criterios.

# Implementación de la mejor tecnología de filtración



INTRODUCCIÓN

OBJETIVOS

METODOLOGÍA

**ANÁLISIS DE RESULTADOS**

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



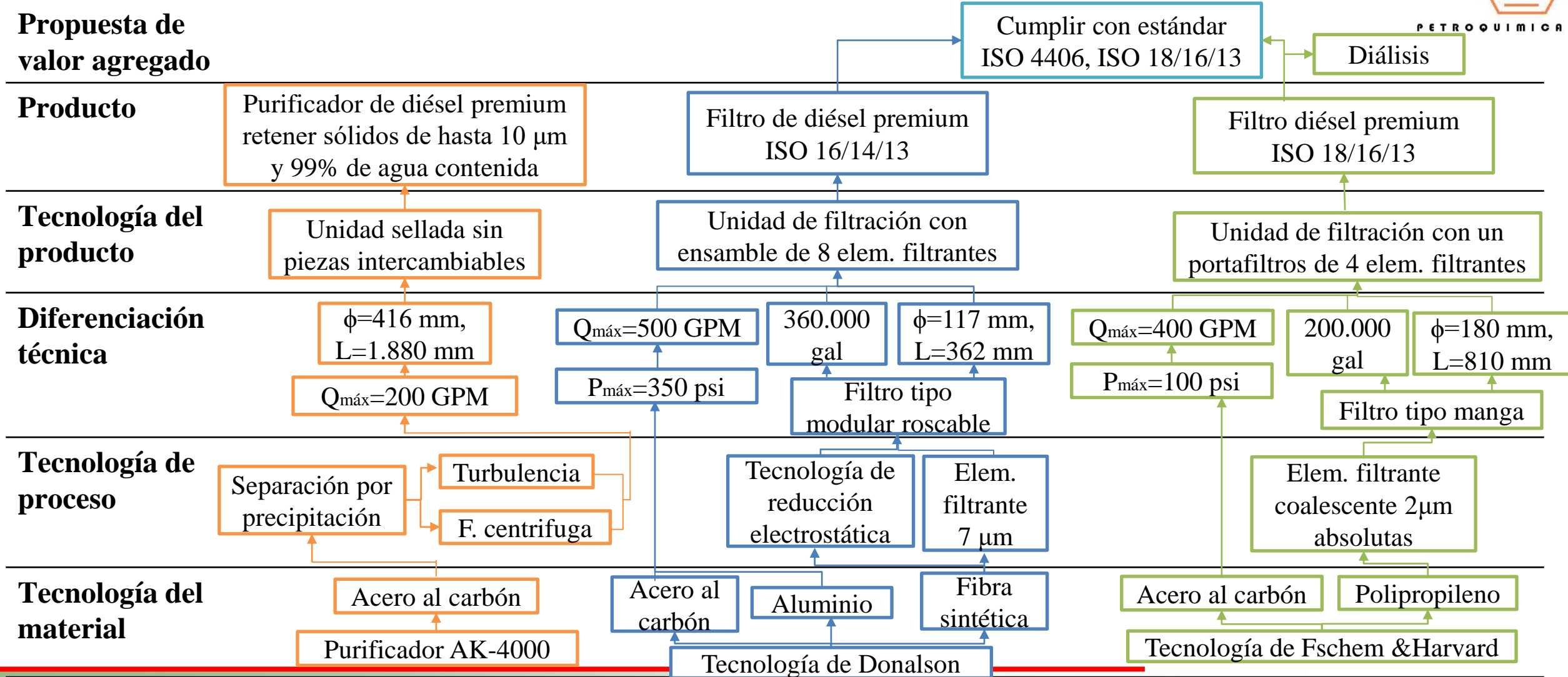
Propiedad fisicoquímica	Muestra 1	Muestra 2	Norma	Cumple Si o No
Viscosidad cinemática a 40 °C	3,526 mm <sup>2</sup> s <sup>-1</sup>	3,617 mm <sup>2</sup> s <sup>-1</sup>	NTE INEN 1489:2012	Si
Punto de inflamación	62 °C	62 °C	NTE INEN 1489:2012	Si
Temperatura de destilación del 90%	349,9 °C	350,0 °C	NTE INEN 1489:2012	Si
Contenido de agua y sedimentos	< 0,05%	< 0,05%	NTE INEN 1489:2012	Si
Contenido de residuo de carbón sobre el 10% de residuo de destilación	0,03%	0,03%	NTE INEN 1489:2012	Si
Contenido de cenizas	< 0,01%	< 0,01%	NTE INEN 1489:2012	Si
Contenido de azufre	46,2 ppm	38,9 ppm	NTE INEN 1489:2012	Si
Corrosión a la lámina de cobre	1A	1A	NTE INEN 1489:2012	Si
Índice de cetano calculado	49,18	54,2	NTE INEN 1489:2012	Si

Método de diámetro máx.	Muestra 1 [Parte mL <sup>-1</sup> ]	Muestra 2 [Parte mL <sup>-1</sup> ]	
Desgaste de corte	23	5,0	
Desgaste deslizamiento severo	236,1	12,0	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cizallamiento de válvulas y tapas</li> <li>• Fallas en las tuberías</li> </ul>
Desgaste por fatiga	488,2	53,0	
Desgaste no metálico	34,0	24,0	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Corrosión</li> <li>• Falta de lubricidad en ejes del dique de almacenamiento</li> <li>• Falta de mantenimiento en los tanques de almacenamiento</li> </ul>
Desgaste sin clasificación	10,0	2,0	
Agua libre	0	0	

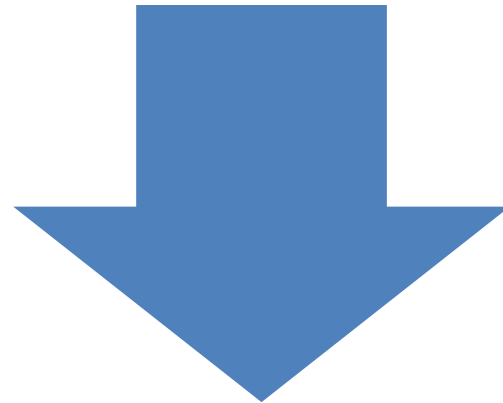
Muestra	Código ISO	Tamaño de partículas [ $\mu\text{m}$ ]		
		> 4	>6	>14
T1	23/21/16	40.137	17.867	604
ES001	23/23/19	56.838	40.184	3.939
ES002	METAL			
ES003	22/20/15	25.520	7.760	317
ES004	21/19/16	16.860	4.841	423
S4	22/21/16	36.274	15.725	593

Ninguna muestra cumple con el requisito del estándar ISO 4406:1999

# Propuesta técnica de tecnologías de filtración



# Propuesta técnica de tecnologías de filtración



## Tecnología de Donaldson

- \$11.250 inversión inicial
- \$2.320 inversión de mantenimiento bimestral



## Tecnología de Fschem & Harvard

- \$6.982 inversión inicial
- \$372 inversión de mantenimiento cada 45 días



Matriz de selección de la mejor tecnología

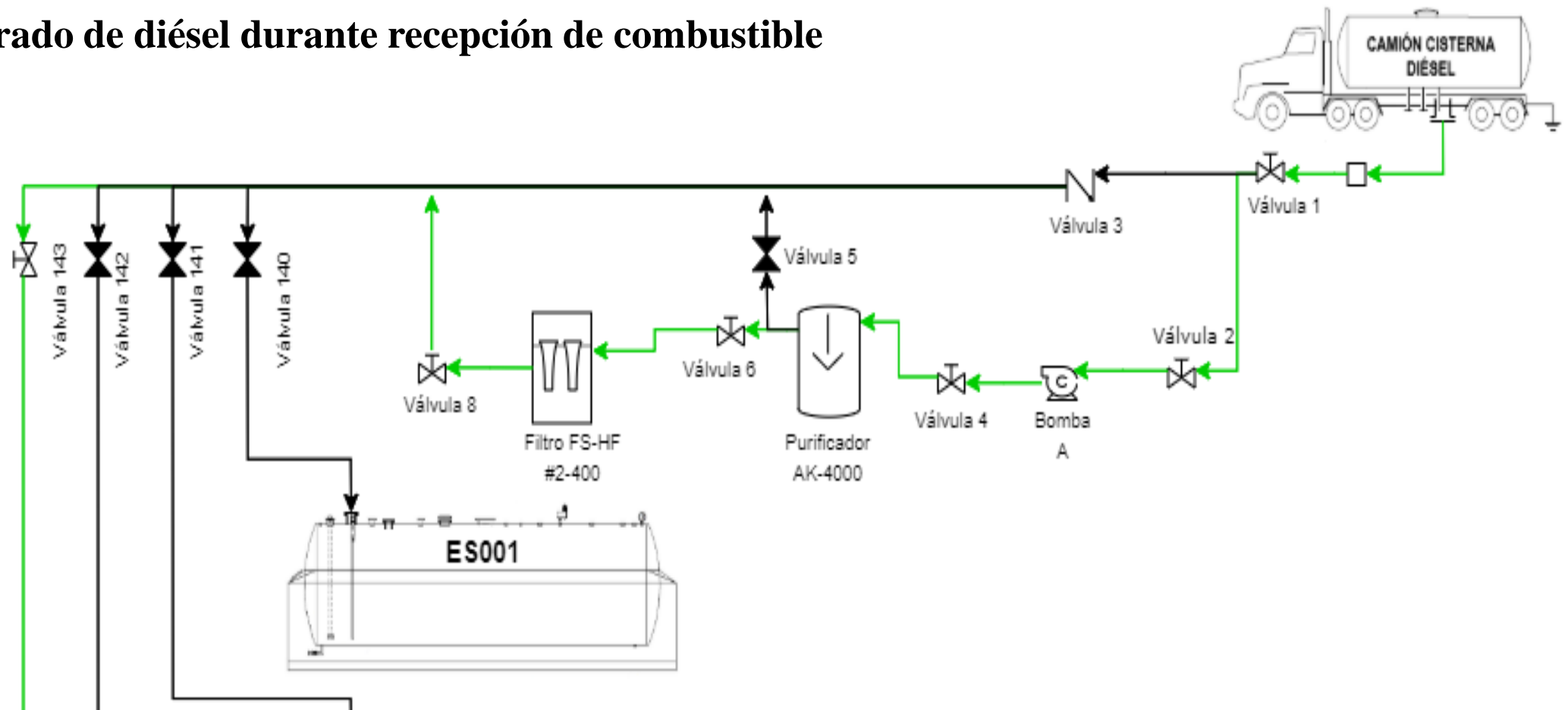
Tecnología	C1	C2	C3	C4	C5	C6	Puntuación final
<b>Purificador AK-4000</b>	0,262	0,094	0,077	0,044	0,269	0,254	0,089
<b>Tecnología de Donaldson</b>	0,289	0,260	0,455	0,331	0,358	0,252	0,310
<b>Tecnología de Fschem &amp; Harvard</b>	0,646	0,633	0,455	0,549	0,564	0,651	0,605

0,605 → Tecnología seleccionada

# Implementación de la tecnología seleccionada



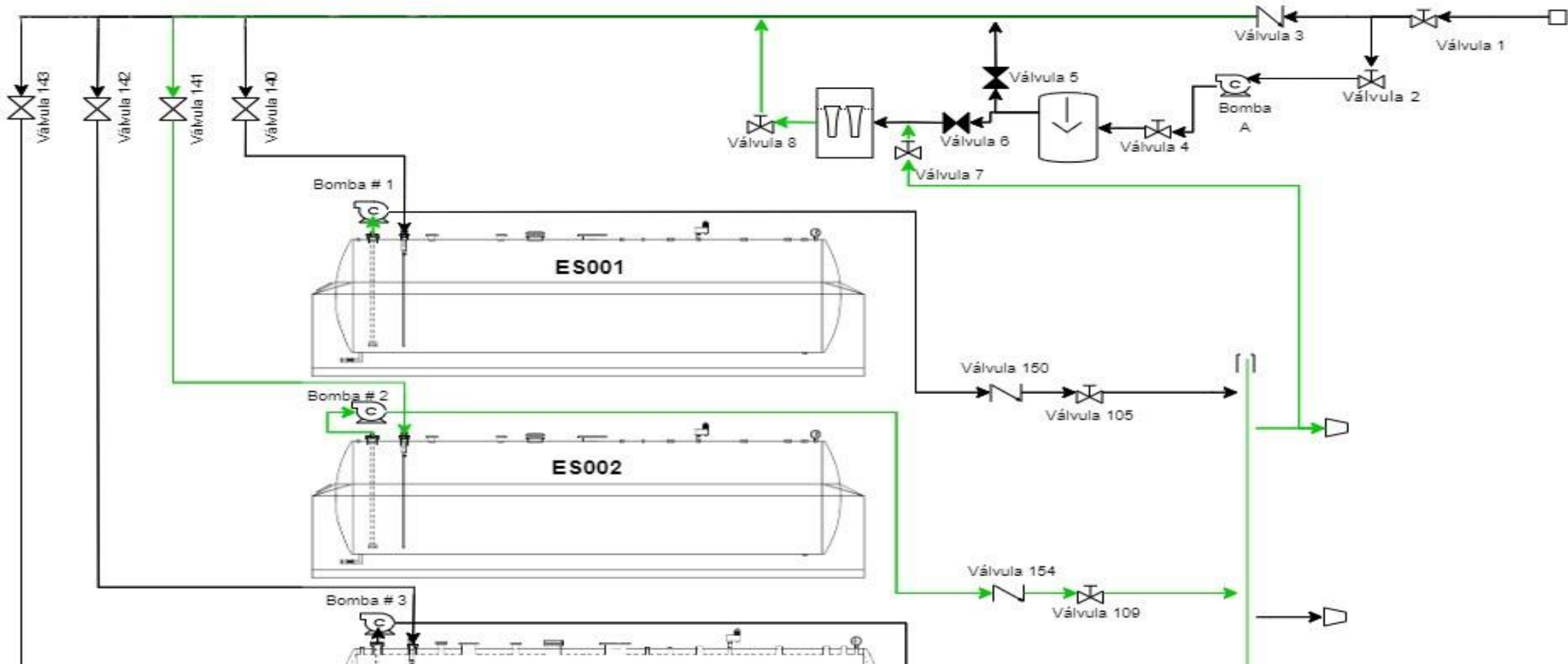
## Prefiltrado de diésel durante recepción de combustible





# Implementación de la tecnología seleccionada

## Diálisis de combustible





# Resultado final



Muestra	Código ISO	Tamaño de partículas [ $\mu\text{m}$ ]			Objetivo principal
		> 4	>6	>14	<10
ES001	I: 23/23/19	56.83 8	40.184	3.939	97.022
	F: 19/17/13	4.558	842	63	5.400
	<b>Variación porcentual</b>	<b>-92%</b>	<b>-98%</b>	<b>-98%</b>	<b>-94%</b>
ES003	I: 22/20/15	25.52 0	7.760	317	33.280
	F: 20/18/15	7.525	1.712	197	9.237
	<b>Variación porcentual</b>	<b>-71%</b>	<b>-78%</b>	<b>-38%</b>	<b>-72%</b>
ES004	21/19/16	16.86 0	4.841	423	21.701
	20/18/14	6.894	1.410	117	8.304
	<b>Variación porcentual</b>	<b>-59%</b>	<b>-71%</b>	<b>-72%</b>	<b>-62%</b>

Muestra	Código ISO	Tamaño de partículas [ $\mu\text{m}$ ]			Objetivo principal
		> 4	>6	>14	
ES002	METAL				<10
	18/16/13	1.850	478	72	



**INTRODUCCIÓN**

**OBJETIVOS**

**METODOLOGÍA**

**ANÁLISIS DE RESULTADOS**

**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

- Se disminuyó el material particulado en un porcentaje superior al 76% en el combustible almacenado en la estación de servicio de la empresa minera con la implementación de un filtro FS-HS #2-400 para evitar la prematura obstrucción de los filtros propios de vehículos y equipos mineros.
- El combustible entregado por el proveedor y el combustible almacenado en los tanques estacionarios cumple con la normativa NTE INEN 1489:2012, sin embargo no cumple con los límites permisibles del estándar ISO 4406:1999.
- Con el análisis de tecnologías, se determinó como principal criterio de selección al peso económico puesto a que involucra al costo por el equipo, instalación y mantenimiento. Por ello se optó por la tecnología de Fscheme & Harvard, que presenta un costo por mantenimiento anual de \$2,976 mientras que Donaldson requiere dicho capital en un mantenimiento bimestral.

- Los niveles de limpieza alcanzados tras la implementación del filtro FS-HF #2-400, en las operaciones de recepción y diálisis de diésel a la salida del filtro son: ISO 19/17/13 e ISO 18/16/13, respectivamente.
- El nivel de contaminación en los tanques de almacenamiento es superior a la salida del filtro implementado debido a que los tanques no han tenido un mantenimiento periódico desde su instalación.
- El proceso de análisis jerárquico permitió equilibrar los criterios de un especialista de la empresa y de la autora del proyecto para optar por la mejor propuesta tecnológica que reduce el contenido de material particulado en el combustible almacenado en la estación de servicio.

- Realizar el muestreo de combustible a diferentes tiempos de reposo y evaluar la sedimentación en el tanque de almacenamiento.
- Se recomienda la estación de un filtro malla antes de la bomba A (de recepción de combustible) para evitar daños ocasionados por sellos de válvulas o mangueras.
- Se recomienda realizar un análisis del aporte funcional del purificador AK-4000 o a su vez solicitar al proveedor un mantenimiento correctivo que permita validar la especificación del equipo que consiste en retener sólidos de hasta 10  $\mu\text{m}$ .

- Se recomienda realizar el mantenimiento a los tanques estacionarios para conservar el nivel de limpieza obtenido a la salida del filtro FS-HF #2-400
- Estudiar el sistema de postfiltrado, es decir los filtros de cada surtidor puesto que, la Carta Mundial del Combustible que se debe cumplir con los requisitos del estándar en la boquilla del dispensador (nivel de limpieza ISO 18/16/13).
- Se recomienda analizar la cantidad de emisiones de material particulado tras la operación de equipos mineros dentro de la mina para determinar el aporte de contaminación al aire.



***GRACIAS POR SU ATENCIÓN***