



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA DEL MANTENIMIENTO

TITULO

**PUESTA EN MARCHA Y VALIDACIÓN EXPERIMENTAL DE UN SENSOR PARA
CONTAJE Y CLASIFICACIÓN DE PARTÍCULAS CONTAMINANTES EN ACEITES
LUBRICANTES.**

TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA

DEL MANTENIMIENTO

AUTOR: ALEX ALBERTO GONZÁLEZ
HERNÁNDEZ

TUTOR: BERNARDO VICENTE TORMOS
MARTINEZ

Valencia, Septiembre 2017

Resumen.

En el presente trabajo se ha empleado el estudio del análisis de aceite mediante la monitorización del contaje y clasificación de partículas contaminantes en aceites lubricantes, en donde se ha seleccionado un sensor on-line de tipo óptico contador de partículas llamado Oil wear S 100, el cual cumple con los requerimientos basados en la norma de limpieza ISO 4406 que comprende la obtención de determinados códigos que involucran el tamaño y cantidad de partículas contaminantes por ml en la muestra analizada. No obstante se ha investigado acerca de la forma de calibración del equipo para la garantía de los resultados el cual se basa bajo la norma ISO 11171 que recomienda un fluido de calibración que cumpla con los requerimientos SRM 2806 (Standard Reference Material) certificado por NIST (Instituto Nacional de Estándares y Tecnología). Para este propósito, se usa el fluido hidráulico certificado Mil-H-5606 (Es una norma actual del producto para el fluido hidráulico en aviones militares de Estados Unidos).

El análisis de las partículas de desgaste arrastradas por el aceite lubricante es una de las herramientas que proporciona información más detallada y temprana del comienzo de fallo de una máquina, ya que el sensor proporciona información en tiempo real, cuantificando y clasificando las partículas en diferentes tamaños, $<4 \mu\text{m}$, $<6 \mu\text{m}$, $<14 \mu\text{m}$ derivadas de los desgastes existentes en los elementos mecánicos.

Cabe mencionar que para la selección del sensor on-line adecuado, se ha realizado un análisis basado en costes de inversión, características y especificaciones técnicas que satisfagan los requerimientos de implantación del dispositivo en el laboratorio de Lubricantes y Combustibles del Departamento de Máquinas y Motores Térmicos de la Universidad Politécnica de Valencia, ya que Oil Wear S100 suministra información clave para realizar mantenimiento predictivo. Monitorizar el tamaño y cantidad de partículas en un sistema permite la detección de estados iniciales de fallos y la puesta en marcha de acciones correctivas.



Agradecimientos

Agradezco a Dios por permitirme cumplir con mis metas, a mis Padres y hermano por el esfuerzo incondicional en cada momento y en este nuevo reto a la distancia. Agradezco a mi Director de Máster en Ingeniería del Mantenimiento D. Vicente Macián por la cordialidad y apoyo brindado desde un principio, así como también a mi Tutor de Tesis D. Bernardo Tormos Martínez, por su constante instrucción en mi trabajo final de Máster y por incluirme en su prestigioso equipo de trabajo dentro del departamento de Máquinas y Motores Térmicos de la Universidad Politécnica de Valencia.

A mí querida Familia y Amigos que siempre me alentaron en el transcurso de este tiempo para el cumplimiento de mi objetivo.



TABLA DE CONTENIDOS

CAPITULO I	1
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO	1
1.2. OBJETIVOS	2
1.2.1. Objetivo general:	2
1.2.2. Objetivos específicos:	2
CAPITULO II	3
2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DEL DESGASTE Y PARTÍCULAS	3
2.1. MANTENIMIENTO PREDICTIVO	3
2.2. PARTÍCULAS QUE SE PRODUCEN EN EL DESGASTE DE ELEMENTOS MECÁNICOS.....	3
2.3. LISTA DE EQUIPOS DE CONTEO Y CLASIFICACIÓN DE PARTÍCULAS EN EL MERCADO ...	5
2.3.1. Contador de partículas digital de láser portátil MAHLE PiC 9300 series	5
2.3.2. Abakus mobil fluid	6
2.3.3. Pamas S50	6
2.3.4. Icount LCM20	7
2.3.5. Beckman coulter Hiac 8011, Lab Liquid Particle Counters	8
2.3.6. Espectro LNF Q200 Series	8
2.3.7. Oil wear S100.....	9
2.3.8. Contador de partículas digital LasPaC II	10
2.3.9. El medidor de partículas LDP100.	10
CAPITULO III	12
3. ESTUDIO DEL CONTEO Y CLASIFICACIÓN DE PARTÍCULAS	12
3.1. CÓDIGOS DE LIMPIEZA	13
3.1.1. Código de limpieza ISO 4406:1987 a ISO 4406:1999	13
3.2. CALIBRACIÓN DE CONTADORES AUTOMÁTICOS DE PARTÍCULAS PARA LÍQUIDOS	14
3.2.1. Fluido de calibración.....	15
3.2.2. Preparación estandarizada de la muestra.	16
3.2.3. Muestreo	17
3.2.4. Interpretación de resultados	17
CAPITULO IV	18
4. PUESTA EN MARCHA DEL SENSOR DE CONTEO Y CLASIFICACIÓN DE PARTÍCULAS.	18
4.1. ELEMENTOS DEL EQUIPO	18
4.1.1. Sensor Oil Wear S100	18
4.1.2. Bomba de engranajes Diener: Serie Optima - 2000ml / min - Motor BLDC.	19



4.2.	PROCESO FÍSICO DEL ESTUDIO DE CONTEO Y CLASIFICACIÓN DE PARTÍCULAS.....	21
4.3.	MONTAJE ELECTRO-MECÁNICO	21
4.3.1.	Montaje y funcionamiento del equipo de conteo y clasificación de partículas en el Laboratorio.....	26
4.4.	INICIACIÓN DEL SOFTWARE DEL EQUIPO	29
4.5.	MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL EQUIPO.....	30
4.6.	COSTES DE IMPLANTACIÓN DEL EQUIPO.....	30
CAPITULO V		33
VALIDACIÓN EXPERIMENTAL.....		33
5.1.	FLUIDOS UTILIZADOS PARA LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES.....	42
5.1.1.	Líquido de limpieza éter de petróleo	42
5.1.2.	Aceite lubricante para motor Galactic Maxima e6 5w30 Saps	42
5.1.3.	Aceite lubricante para motor Repsol Elite Evolution fuel economy 5w30.....	43
5.1.4.	Aceite lubricante para motor Repsol Diésel Turbo UHPD 10w40	44
5.2.	TIPOS DE PRUEBAS EXPERIMENTALES.....	45
5.3.	TIPOS DE PRUEBAS - FASE I.	51
5.3.1.	Limpieza del sistema – Éter de petróleo.....	51
5.3.2.	Referencia del código ISO 4406 – Aceite limpio	53
5.3.3.	Referencia del código ISO 4406 – Aceite almacenado.....	54
5.3.4.	Generación de burbujas	55
5.3.5.	Contaminación con 0.1 gramos	57
5.3.6.	Contaminación con 0.2 gramos	59
5.3.7.	Contaminación con 0.3 gramos	60
5.3.8.	Contaminación con 0.5 gramos	62
5.3.9.	Contaminación con 1 gramo.....	63
5.3.10.	Comparación de los resultados. FASE I.....	66
5.4.	TIPOS DE PRUEBAS. FASE II.....	69
5.4.1.	Referencia de la muestra con partículas de hierro < 10 um	69
5.4.2.	Contaminación con 0.1 gramos	70
5.4.3.	Contaminación con 0.2 gramos	71
5.4.4.	Contaminación con 0.5 gramos	71
5.4.5.	Contaminación con 1 gramo.....	72
5.4.6.	Comportamiento de las partículas en una hora de análisis	73
5.4.6.	Partículas asentadas en el fondo del bote y luego con agitación manual de dos minutos, previo al análisis.	92
5.4.7.	Contaminación con 0.1 gramos con partículas de hierro < 44 um.....	95



5.4.8. Contaminación con 0.2 gramos	97
5.4.9. Contaminación con 0.5 gramos	98
5.4.10. Contaminación con 1 gramo.....	99
5.4.11. Comportamiento de las partículas en una hora de análisis	100
5.4.12. Partículas asentadas en el fondo del bote y luego con agitación manual de dos minutos, previo al análisis	104
5.5. TIPOS DE PRUEBAS. FASE III.....	105
5.5.1. Referencia de la muestra	105
5.5.2. Contaminación con 0.1 gramos	107
5.5.2.1. Referencia y agitación manual.....	107
5.5.2.2. Comportamiento de las partículas en una hora de análisis con 0.1 gramos de contaminación.....	111
5.5.3. Contaminación con 0.2 gramos referencia y agitación manual	112
5.5.3.1. Comportamiento de las partículas en una hora de análisis con 0.2 gramos de contaminación.....	116
5.5.4. Contaminación con 0.5 gramos, comparación de la referencia y agitación manual durante el análisis	117
5.5.4.1. Comportamiento de las partículas en una hora de análisis con 0.5 gramos de contaminación.....	120
5.5.5. Contaminación con 1 gramo, comparación de la referencia y agitación manual durante el análisis.	121
5.5.5.1. Comportamiento de las partículas en una hora de análisis con 1 gramo de contaminación.....	124
5.5.6. Partículas asentadas en el fondo del bote, prueba realizada un día después y comparando con una agitación manual previa al análisis	127
5.5.7. Análisis de una muestra real - obtención del código de limpieza ISO 4406	130
5.5.7.2. Comportamiento de las partículas en una hora de análisis	141
5.5.8. Clasificación de los códigos ISO 4406	145
CAPITULO VI	149
6. CONCLUSIONES	149
7. REFERENCIAS.....	151



CONTENIDO DE FIGURAS

Figura 1. Tipos de desgaste y partículas que se producen.....	4
Figura 2. Contador de partículas digital de láser portátil MAHLE PiC 9300 series	5
Figura 3. Contador de partículas Abakus mobil fluid.....	6
Figura 4. Contador de partículas Pamas S50.....	6
Figura 5. Contador de partículas digital electrónico automático lcount LCM20 de Parker	7
Figura 6. Contador de partículas Beckman coulter Hiac 8011	8
Figura 7. Contador de partículas Espectro LNF Q200 Series.....	8
Figura 8. Contador de partículas Oil wear S100	9
Figura 9. Contador de partículas digital de láser para fluido hidráulico LasPaC II	10
Figura 10. Medidor de partículas LDP100	10
Figura 11. Escala de contaminación ISO 4406	13
Figura 12. Tamaños de partículas según la norma anterior ISO 4402, respecto a la nueva ISO 11171	14
Figura 13. Método ISO anterior y nuevo para la calibración y codificación	14
Figura 14. Tabla de especificaciones y características técnicas del sensor Oil Wear S100.....	19
Figura 15. Bomba de engranajes.....	19
Figura 16. Especificaciones técnicas de la bomba de engranajes.....	20
Figura 17. Perfil básico, canal de 6 mm, 25x25. Código 5011, cantidad: 2m	21
Figura 18. Caja metálica de (279 x 203 x 131) mm.....	22
Figura 19. Mecanizado de la caja metálica	22
Figura 20. Ensamble de los componentes del equipo.....	23
Figura 21. Esquema eléctrico del equipo de conteo y clasificación de partículas	24
Figura 22. Parte externa del equipo.....	25
Figura 23. Parte interna y conexiones del equipo.....	25
Figura 24. Esquema de funcionamiento.....	29
Figura 25. Montaje completo del equipo de conteo y clasificación de partículas.....	29
Figura 26. Activos Fijos.....	31
Figura 27. Costes Variables.....	31
Figura 28. Resumen de inversión inicial.....	31
Figura 29. Consumo de Éter de petróleo.....	32
Figura 30. Formato del Informe de resultados	41
Figura 31. Número de pruebas VS Cantidad de contaminación (gr).....	66
Figura 32. Obtención del código ISO 4406 VS Cantidad de tipos de pruebas.....	66
Figura 33. Ratios de partículas	67
Figura 34. Clasificación de las pruebas por su grado de contaminación	68
Figura 35. Tipos de prueba. Fase I	68
Figura 36. Comparación de las partículas. Referencia	70
Figura 37. Comparación de las partículas, con 0.1 gr.....	70
Figura 38. Comparación de partículas, con 0.2 gr	71
Figura 39. Comparación de partículas, con 0.5 gr	72
Figura 40. Comparación de partículas, con 1 gr	73
Figura 41. Comportamiento de las partículas durante una hora de análisis.....	74
Figura 42. Comportamiento de las partículas >14 um	90



Figura 43. Comportamiento de las partículas < 6 < 14 um	90
Figura 44. Comportamiento de las partículas <4 < 6 um	90
Figura 45. Comparación de las burbujas > 14 um	91
Figura 46. Ratios de partículas	91
Figura 47. Comportamiento de las partículas en una hora de análisis.....	92
Figura 48. Comparación de partículas en reposo VS agitación manual previa al análisis.....	93
Figura 49. Ratios de partículas de las pruebas experimentales con partículas de hierro < 10 um.....	94
Figura 50. Resumen de las pruebas realizadas en la FASE II. Con partículas de hierro < 10 um	94
Figura 51. Clasificación de las pruebas experimentales por su grado de contaminación. Fase II	95
Figura 52. Comparación de partículas, con 0.1 gr	96
Figura 53. Partículas de <10 um VS partículas de <44um, con contaminación de 0.1 gr.....	96
Figura 54. Comparación de las partículas acumuladas VS Partículas por ml.....	97
Figura 55. Partículas de <10 um VS partículas de <44um, con contaminación de 0.2 gr.....	97
Figura 56. Comparación de partículas acumuladas VS partículas por ml	98
Figura 57. Partículas de <10 um VS partículas de <44um, con contaminación 0.5 gr	98
Figura 58. Cantidad de partículas con contaminación de 0.5 gr VS con contaminación de 1 gr	99
Figura 59. Comparación de partículas acumuladas VS partículas por ml	100
Figura 60. Partículas de <10 um VS partículas de <44um, con contaminación de 1 gr.....	100
Figura 61. Comportamiento de las partículas durante una hora de análisis.....	101
Figura 62. Comparación de burbujas > 14 um.....	100
Figura 63. Comportamiento de las partículas >14 um	101
Figura 64. Comportamiento de las partículas < 6 < 14 um	101
Figura 65. Comportamiento de las partículas <4 < 6 um	101
Figura 66. Ratios de las partículas en una hora de análisis.....	102
Figura 67. Comportamiento general de las partículas en una hora de análisis.....	102
Figura 68. Comparación de partículas en reposo VS Agitación manual previa al análisis	105
Figura 69. Ratios de partículas de las pruebas experimentales con partículas de hierro < 44 um.....	105
Figura 70. Resumen de las pruebas realizadas en la FASE II. Con partículas de hierro < 44 um	106
Figura 71. Clasificación de las pruebas experimentales por su grado de contaminación. Fase II	106
Figura 72. Comparación de burbujas > 14 um.....	106
Figura 73. Comportamiento de las partículas - Referencia.....	107
Figura 74. Comparación de partículas sin agitación VS Partículas con agitación en respuesta	109
Figura 75. Comparación de partículas sin agitación VS Partículas con agitación en 2 minutos de análisis	109
Figura 76. Comparación de partículas sin agitación VS Partículas con agitación en 3 minutos de análisis	110



Figura 77. Comparación de partículas sin agitación VS Partículas con agitación en 4 minutos de análisis	110
Figura 78. Comparación de partículas sin agitación VS Partículas con agitación en 5 minutos de análisis	110
Figura 79. Comparación de burbujas por ml > 14 um	112
Figura 80. Comportamiento de las partículas en una hora, con 0.1 gr.....	112
Figura 81. Comparación de partículas sin agitación VS Partículas con agitación en respuesta	114
Figura 82. Comparación de partículas sin agitación VS Partículas con agitación en 2 minutos de análisis	114
Figura 83. Comparación de partículas sin agitación VS Partículas con agitación en 3 minutos de análisis	115
Figura 84. Comparación de partículas sin agitación VS Partículas con agitación en 4 minutos de análisis	115
Figura 85. Comparación de partículas sin agitación VS Partículas con agitación en 5 minutos de análisis	115
Figura 86. Comparación de burbujas por ml > 14 um	116
Figura 87. Comportamiento de las partículas en una hora, con 0.2 gr.....	117
Figura 88. Comparación de partículas sin agitación VS Partículas con agitación en respuesta	118
Figura 89. Comparación de partículas sin agitación VS Partículas con agitación en 5 minutos de análisis	119
Figura 90. Comparación de partículas sin agitación VS Partículas con agitación en 8 minutos de análisis	119
Figura 91. Comparación de partículas sin agitación VS Partículas con agitación en 15 minutos de análisis	119
Figura 92. Comparación de burbujas por ml > 14 um	121
Figura 93. Comportamiento de las partículas en una hora, con 0.5 gr.....	121
Figura 94. Comparación de partículas sin agitación VS Partículas con agitación en respuesta	123
Figura 95. Comparación de partículas sin agitación VS Partículas con agitación en 8 minutos de análisis	123
Figura 96. Comparación de partículas sin agitación VS Partículas con agitación en 10 minutos de análisis	123
Figura 97. Comparación de las partículas > 14 um.....	125
Figura 98. Comparación de las partículas <6<14 um.....	125
Figura 99. Comparación de las partículas <4<6 um	125
Figura 100. Comparación de burbujas por ml > 14 um	126
Figura 101. Comportamiento de las partículas en una hora, con 1 gr.....	126
Figura 102. Comparación de las partículas sin agitación manual VS Partículas con agitación manual.....	128
Figura 103. Comparación de las partículas sin agitación manual VS Partículas con agitación manual, 8 minutos de análisis.....	129
Figura 104. Comparación de las partículas sin agitación manual VS Partículas con agitación manual, 10 minutos de análisis.....	129



Figura 105. Comportamiento de las partículas asentadas en el fondo del bote	130
Figura 106. Comportamiento de las partículas asentadas en el fondo del bote con agitación manual de dos minutos previos al análisis.	130
Figura 107. Comparación de las partículas > 14 um.....	134
Figura 108. Comparación de las partículas <6<14 um.....	134
Figura 109. Comportamiento de las partículas <4 <6 um:	134
Figura 110. Comparación de burbujas por ml > 14 um	135
Figura 111. Comportamiento general de las partículas en la obtención del código ISO 4406	135
Figura 112. Comparación de partículas > 14 um	138
Figura 113. Comparación de partículas <6 < 14 um	138
Figura 114. Comparación de partículas <4 <6 um	139
Figura 115. Comparación de burbujas por ml > 14 um	139
Figura 116. Ratio de partículas.....	140
Figura 117. Cantidad de partículas sin contaminar VS Cantidad de partículas con contaminación	140
Figura 118. Comportamiento de las partículas > 14 um	143
Figura 119. Comportamiento de las partículas <6 <14 um	143
Figura 120. Comportamiento de las partículas <4<6 um	143
Figura 121. Comparación de burbujas > 14 um.....	144
Figura 122. Comportamiento general de las partículas en una hora de análisis.....	144
Figura 123. Clasificación de las pruebas experimentales por su grado de contaminación. Fase III.....	145
Figura 124. Resumen de la Fase III	148



CAPITULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO

El mantenimiento de las máquinas y/o equipos en una empresa representa un coste significativo de inversión, por lo que la implantación de un mantenimiento integral se está convirtiendo en un reto muy importante para fortalecer el mantenimiento predictivo. La monitorización por condición nos ayuda a estudiar el comportamiento de un elemento o sistema y así prever daños de mayor magnitud, evitar costes elevados de reparación e incluso aprovechar al máximo la vida útil de los componentes en observación. En este caso se utilizará un sensor on-line para realizar el análisis de aceite lubricante por medio de conteo y clasificación de partículas.

Actualmente existen en el mercado varios tipos de sensores de conteo y clasificación de partículas en aceites lubricantes como; el contador óptico automático por dispersión de luz, el contador óptico automático por bloqueo de la luz blanca, contadores por bloqueo de poro y contadores por análisis de imagen.

En el presente trabajo se deberá seleccionar un sensor on-line utilizado para aplicaciones en motores, sistemas hidráulicos, máquinas rotativas, etc. Que cuantifique las partículas de más de 4 μm presentes en el fluido, clasificándolas por su tamaño según la norma ISO 4406 (International Organization for Standardization), para la selección se tomará en cuenta las prestaciones del sensor y coste de implantación para su montaje en el laboratorio de Lubricantes y Combustibles del Departamento de Máquinas y Motores Térmicos de la Universidad Politécnica de Valencia.

Luego se diseñará una estructura adecuada para los componentes que conformarán el equipo de conteo y clasificación de partículas, se creará un manual de operación y mantenimiento para facilitar el uso al operario y se pueda realizar la puesta en marcha del equipo con las pruebas experimentales en laboratorio.

El proyecto tiene la garantía de contar con el Departamento de Máquinas y Motores Térmicos de la Universidad Politécnica de Valencia, que aporta con la supervisión e instalaciones requeridas para el óptimo emprendimiento del presente trabajo.



1.2. OBJETIVOS

1.2.1. **Objetivo general:**

El objetivo general de este trabajo es el de seleccionar, acoplar e implantar un sensor on-line de conteo y clasificación de partículas en las instalaciones del laboratorio de Lubricantes y Combustibles del Departamento de Máquinas y Motores Térmicos de la Universidad Politécnica de Valencia.

1.2.2. **Objetivos específicos:**

En cuanto a los objetivos específicos se ha propuesto los siguientes:

- Realizar el diseño de una estructura adecuada para el ensamble de los componentes del equipo de conteo y clasificación de partículas, acorde a las instalaciones del laboratorio del Departamento de Máquinas y Motores Térmicos.
- Crear un manual de operación y mantenimiento, con el fin de facilitar el uso del equipo al operario.
- Validar el funcionamiento del equipo mediante los diferentes tipos de ensayos experimentales propuestos.

CAPITULO II

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DEL DESGASTE Y PARTÍCULAS

El desgaste es un fenómeno que provoca erosión de un material sólido cuando dos superficies interactúan entre sí, dando lugar al desprendimiento de material de una superficie por acciones mecánicas. En los elementos mecánicos de un motor de combustión interna es de mucho interés reducir dicho efecto para evitar pérdidas del motor por fricción, por lo que la lubricación es la solución para lograr disminuir la fricción y eliminar la presencia de desgaste en el sistema.

2.1. MANTENIMIENTO PREDICTIVO

El análisis de aceite es una de las técnicas de monitorizado para realizar mantenimiento predictivo, ya que la monitorización por condición nos permite detectar posibles inicios de fallo en un sistema, ya sea por contaminación o degradación del aceite lubricante.

En este caso se empleará un sensor on-line, el cual suministra información clave en tiempo real para realizar una estrategia de mantenimiento predictivo y así medir tamaños y cantidades de partículas contaminantes en el aceite lubricante para la detección temprana de fallos y la programación de acciones correctivas en el sistema.

2.2. PARTÍCULAS QUE SE PRODUCEN EN EL DESGASTE DE ELEMENTOS MECÁNICOS

El análisis del desgaste es complejo debido a la intervención de factores en los materiales como la dureza, tenacidad, estructura, composición química, tipos de carga, velocidad, tipo de superficie y más. Se podría decir que el desgaste no ocasiona fallos catastróficos, pero sí consecuencias en la eficiencia de operación del sistema.

A continuación en la figura 1 se muestra los diferentes tipos de desgaste y las partículas que se producen por dicho efecto, en los elementos mecánicos.

TIPOS DE DESGASTE				
FATIGA	ADHESIVO	ABRASIVO	OXIDACIÓN	CONTAMINACIÓN
Aplicación de cargas repetitivas o cíclicas, que provocan una reducción gradual de la capacidad de carga del componente con el pasar del tiempo.	La intersección entre la superficie de dos materiales, que provocan la destrucción superficial de una o ambas superficies.	Material removido de una superficie por partículas sólidas, donde intervienen dos o más cuerpos.	Presencia de agua en el sistema de lubricación, altas temperaturas y pérdida de aditivos del aceite lubricante.	Polímeros, fibras, restos orgánicos.

Figura 1. Tipos de desgaste y partículas que se producen.

Actualmente la investigación acerca de las **“Tendencias actuales en las tecnologías de detección de desgaste en los MCIA¹: de laboratorio a campo”**, describe que el estudio del desgaste ha sido un área altamente desarrollada de interés principalmente relacionada con la durabilidad y los propósitos de mantenimiento. Por otro lado, son necesarias alternativas cuando el desgaste puede detectarse en las primeras etapas del uso del motor. Los materiales y el tamaño esperados de los desechos de desgaste generados podrían reducir la gama de soluciones disponibles. Además, la tasa de generación y la cantidad de desgaste influirán en la selección del método de medición².

¹ MCIA, Motor de combustión interna alternativo.

² G. Miró, B. Tormos, H. Allmaier, D. E. Sander², C. Knauder². Current trends in ICE wear detection technologies: from lab to field, (*Tendencias actuales en las tecnologías de detección de desgaste en los MCIA: de laboratorio a campo*)

2.3. LISTA DE EQUIPOS DE CONTEO Y CLASIFICACIÓN DE PARTÍCULAS EN EL MERCADO

Para seleccionar el sensor de conteo y clasificación de partículas se ha considerado las ventajas, desventajas y especificaciones técnicas de una variada gama de equipos que cumplen con las normas requeridas para garantizar y validar los resultados obtenidos en el análisis. Actualmente en el mercado se encuentran equipos que se usan con mucha frecuencia como es el caso de empresas dedicadas exclusivamente al análisis de aceite, existen equipos portátiles y más compactos para su uso en campo por su facilidad de traslado, también se encuentran sensores automáticos de partículas que se pueden adaptar para condiciones de trabajo en campo por su rapidez de respuesta informando el estado del equipo en forma on-line, también existen sensores para aplicaciones de estudio en laboratorio.

A continuación se describe algunos de los diferentes equipos de análisis de conteo y clasificación de partículas existentes en el mercado.

2.3.1. Contador de partículas digital de láser portátil MAHLE PiC 9300 series



Figura 2. Contador de partículas digital de láser portátil MAHLE PiC 9300 series

Es un equipo portátil para el análisis rápido y simple del conteo y clasificación de partículas, con las siguientes características:

- Las operaciones se controlan por medio del menú en una pantalla táctil.
- Posee un sensor láser para resultados más exactos.
- Modo de medición ajustable
- Contador de tiempo de análisis
- Interfaz con el PC.
- Calibración según ISO 11171
- Análisis según ISO 4406: 1999
- Se pueden agregar elementos como filtros y válvulas según convenga [1].

2.3.2. Abakus mobil fluid



Figura 3. Contador de partículas Abakus mobil fluid.

El sistema de recuento de partículas Abakus, imprime, guarda y transmite la información del análisis al Computador creando una interfaz con el equipo mediante un cable USB. La representación del número de partículas se basa según las normas ISO 4406 y NAS 1638, posee un sensor láser para el control de la contaminación de partículas en el aceite lubricante.

Características:

- Pantalla que muestra los valores de medición.
- Normas: 4406:91/99, NAS 1638 [2].

2.3.3. Pamas S50

Mide los grados de limpieza de aceites sintéticos y minerales en diferentes ambientes industriales. Su compacta estructura es resistente contra todo tipo de amenazas eléctricas, ambientales y mecánicas. Contador de partículas on-line para monitorización de las condiciones en aceites. Sistema de contaje de partículas basado en un láser. El número de partículas y la distribución de los tamaños son reportados en tiempo real al computador.

El software de análisis opcional salva los resultados y los muestra en tablas y en gráficas. Esto permite visualizar fácilmente las tendencias las posibles incidencias [3].



Figura 4. Contador de partículas Pamas S50.

Características:

- Contador: 8 canales de diferentes tamaños: > 4 $\mu\text{m(c)}$, > 6 $\mu\text{m(c)}$, > 10 $\mu\text{m(c)}$, > 14 $\mu\text{m(c)}$, > 21 $\mu\text{m(c)}$, > 25 $\mu\text{m(c)}$, > 38 $\mu\text{m(c)}$ > 70 $\mu\text{m(c)}$
- Viscosidad: por debajo de 1000 cSt (dependiendo de la presión del sistema).
- Máxima temperatura del fluido: 60°C con una temperatura ambiente de 20°C
- Transferencia de datos.
- Dimensiones: 220 mm x 120 mm x 120 mm.
- Protección de transporte: IP 64
- Peso: Sin bomba: 3,7 kg.

2.3.4. Icount LCM20

El Icount LCM20, es un equipo de conteo y clasificación de partículas que monitoriza la contaminación en el aceite lubricante, obteniendo la respuesta en un tiempo menor a dos minutos, el análisis se basa según la norma ISO 4406 y NAS 1638. Genera información de datos y representaciones gráficas que se pueden guardar e imprimir [4].



Figura 5. Contador de partículas digital electrónico automático Icount LCM20

Características:

- Sistema de visualización: Digital.
- Tecnología: electrónico.
- Información Multi-estándar de la limpieza ISO 4406 y NAS 1638
- Cable UBS para intercambiar información con el computador.

2.3.5. Beckman coulter Hiac 8011, Lab Liquid Particle Counters

El sistema de conteo de partículas HIAC 8011, es la culminación de más de 30 años de experiencia en contar partículas. Diseñado para facilitar su uso, un botón de muestreo produce resultados en menos de 60 segundos. El sistema de gestión de muestras asegura datos consistentes y precisos y es capaz de probar fluidos de 1cSt a 425cSt sin dilución [5].



Figura 6. Contador de partículas Beckman coulter Hiac 8011

Características:

- Métodos de limpieza del sensor: Limpiar a ras, limpiar para contar.
- Calibración: Esferas de poli-estireno en agua desionizada y glicol.
- Reporte estándar: ISO, NAS, SAE, definido por el usuario.

2.3.6. Espectro LNF Q200 Series

Es un instrumento que cuenta y clasifica partículas contaminantes en muestras de aceites lubricantes e hidráulicos de distintas máquinas y equipos que hacen parte del programa de condición y monitoreo de máquinas.

Además puede ser usado como un instrumento de análisis individual o en conjunto con un programa completo de análisis de aceites [6].



Figura 7. Contador de partículas Espectro LNF Q200 Series.

Características:

- La salida de datos incluye identificación del tipo de partícula, identificación de la partícula de desgaste y evaluación del estado de la máquina.
- Las partículas grandes contadas son clasificadas como "de corte, de fatiga, no metálicas, deslizamiento severo, gotas de agua libres o fibras"
- Maneja fluidos hasta un grado de aceite ISO 320 sin necesidad de dilución de la muestra.
- Trae incorporado una base de datos para observar tendencia de condición de la máquina.
- Óptica ajustada en fábrica. No requiere de re-calibración.

2.3.7. Oil wear S100

Oil Wear S100 de atten2, es un sensor online que contabiliza las partículas de más de 4 μ presentes en fluidos, las clasifica por tamaño según las normas ISO, NAS o SAE, y determinando su origen. Oil Wear S100 suministra información clave para realizar una estrategia de mantenimiento predictivo. La medida de una cantidad anormal de partículas permite la detección de estados iniciales de fallos en la máquina y la puesta en marcha de acciones correctivas.

El diseño del sensor es modular, de forma que el módulo de medida, que es donde se obtiene el conteo de las partículas, puede ser fácilmente integrado en un "Sistema de monitorización por condición" del aceite, siempre que se asegure el correcto flujo de aceite al sensor [7].



Figura 8. Contador de partículas Oil wear S100

Características:

- Tiempo de medida <1 min
- Procesamiento de 40 imágenes por minuto
- Tipo de flujo: Continuo, sin electroválvulas
- Alimentación: 24 VDC
- Procesamiento no autónomo en la versión prototipo (Se requiere PC).

- Conexión USB
- Software: OilWear PC

2.3.8. Contador de partículas digital LasPaC II

Es un componente que permite determinar los niveles de la limpieza ISO 4406 de los fluidos hidráulicos. Otras especificaciones incluyen un reloj integrado para registrar los tiempos de análisis, actualizaciones adaptables del software y un sensor de temperatura [8].



Figura 9. Contador de partículas digital de láser para fluido hidráulico LasPaC II

Características:

- Tipo: de partículas
- Sistema de visualización: digital
- Tecnología: de láser
- Aplicaciones: para fluido hidráulico

2.3.9. El medidor de partículas LDP100.

El LDP100 supervisa el grado de pureza y el nivel de suciedad de fluidos hidráulicos, especialmente aceites minerales, ésteres y bio-aceites. La memoria integrada de datos permite el análisis durante un amplio periodo de tiempo. La pantalla LCD muestra la clase de pureza [9].



Figura 10. Medidor de partículas LDP100



Funcionamiento: El contador óptico de partículas LDP100 funciona según el principio de absorción de luz. En la célula de medición a través de la cual pasa el fluido se detecta mediante un fotodiodo la intensidad de luz modificada mediante partículas. La calibración se realiza según las especificaciones de la **ISO 11943**³.

Conexión: Para la integración en el circuito del fluido, el LDP100 dispone de dos conectores a través de los cuales se puede montar el equipo en una derivación, la cual es utilizada como circuito secundario.

Luego de conocer varios equipos de conteo y clasificación de partículas existentes en el mercado, ***finalmente se ha optado por seleccionar el sensor on-line de tipo óptico OILWEAR S100, por las prestaciones, coste, características y diseño compacto que son factores fundamentales para la implementación del sensor en las instalaciones del laboratorio de Lubricantes y Combustibles del Departamento de Máquinas y Motores Térmicos de la Universidad Politécnica de Valencia.***

³ La Norma Internacional **ISO 11943**, Métodos de calibración y validación, fue preparada por el Comité Técnico ISO / TC 131, Sistemas de potencia de fluidos, control de contaminación y fluidos hidráulicos, [10].

CAPITULO III

3. ESTUDIO DEL CONTEO Y CLASIFICACIÓN DE PARTÍCULAS

La contaminación es la causa número uno de fallo de cualquier elemento mecánico lubricado. Un control efectivo del desgaste se consigue controlando los contaminantes presentes en el lubricante. El contaje de partículas consiste en la medida de la contaminación sólida en el lubricante, en donde cuenta el número de partículas y clasificación del grado de contaminación en función del tamaño o concentración de partículas. Conocer el grado de limpieza de un fluido es fundamental a la hora de realizar un control de la contaminación presente en el sistema. Este ensayo estaba sólo recomendado para “sistemas hidráulicos u otros sistemas limpios como turbinas”, en los cuales los niveles de desgaste eran bajos. Si bien actualmente se está extendiendo a cualquier sistema lubricado, dada la gran correlación existente entre la contaminación por partículas y el fallo de los sistemas. Existen diversas normas internacionales utilizadas para clasificar un fluido en función de la cantidad de contaminantes sólidos que posee en suspensión. La mayoría de estas, clasifican el grado de limpieza del fluido según las cantidades y tamaños de las partículas contaminantes existentes.

La normativa empleada en el presente trabajo de investigación para la obtención del código de limpieza de un aceite lubricante por contaje y clasificación de partículas es ISO 4406, que es una norma para medir e informar sobre los niveles de contaminación en un fluido y usa una tabla numérica que posee rangos establecidos para la clasificación de la muestra analizada, dependiendo de la cantidad de partículas por ml y del tamaño predeterminado, obteniendo así un código compuesto por tres valores que indican partículas superiores a 4 μm , superiores a 6 μm y superiores a 14 μm , que dan la calificación R4 / R6 / R14. Como se muestra en la siguiente figura 11.

Número de partículas por ml		
Desde	Hasta	Rango de número
2500000		>28
1300000	2500000	28
640000	1300000	27
320000	640000	26
160000	320000	25

80000	160000	24
40000	80000	23
20000	40000	22
10000	20000	21
5000	10000	20
2500	5000	19
1300	2500	18
640	1300	17
320	640	16
160	320	15
80	160	14
40	80	13
20	40	12
10	20	11
5	10	10
2.5	5	9
1.3	2.5	8
0.64	1.3	7
0.32	0.64	6

Figura 11. Escala de contaminación ISO 4406

3.1. CÓDIGOS DE LIMPIEZA

A la hora de detectar o corregir problemas se debe utilizar una escala de referencia para la contaminación presente en el sistema. En este trabajo se enfocará al método de escala dada por la norma ISO 4006 aunque existen otros métodos como, MIL-STD 1246C⁴, NAVAIR 01-1⁵, NAS 1638⁶, SAE AS4059⁷.

3.1.1. Código de limpieza ISO 4406:1987 a ISO 4406:1999

En la versión ISO 4406 de 1987 el resultado se expresa mediante un código compuesto por dos dígitos. El primero corresponde al número total de partículas de tamaño superior a 5 micras por mililitro de fluido y el segundo al número total de partículas superiores a 15 micras por mililitro de fluido. En la versión ISO 4406 de 1999 el resultado se expresa mediante un código compuesto por tres dígitos. El primero corresponde al número total de partículas de tamaño superior a 4 micras por mililitro de fluido. El segundo corresponde al número total de partículas de tamaño

⁴ MIL-STD 1246C, Estándar Militar para el nivel de limpieza

⁵ NAVAIR 01-1, Estándar Naval para el nivel de limpieza

⁶ NAS 1638, National Aerospace Standard (Norma Nacional Aeroespacial)

⁷ SAE S4059, Sociedad de Ingenieros Automotrices - sistema de clasificación de limpieza del sistema hidráulico, reemplazo de NAS1638

superior a 6 micras por mililitro de fluido. El tercero corresponde al número total de partículas superiores a 14 micras por mililitro de fluido.

Las partículas de >4 y >6 micras son indicativas a la tendencia de formar acumulaciones en masa de partículas, mientras que las >14 micras indican la cantidad de partículas grandes presentes, las cuales contribuyen en gran medida a un posible fallo catastrófico de un componente.

La razón por la que se ha cambiado el tamaño de las partículas en la clasificación fue debido al cambio del material de calibración. Como lo muestra la Figura 12.

ISO 4402 Anterior tamaño de partículas (um)	1	2	5	7	10	12	15	20	30	50
ISO 4406 (1987)			R5/				R/15			
Nuevo ISO 11171 Tamaño de partículas (um)	4.2	4.6	6.4	7.7	9.8	11.3	13.6	17.5	24.9	38.2
ISO 4406 (1999)	R4/		R6/				R14/			

Figura 12. Tamaños de partículas según la norma anterior ISO 4402, respecto a la nueva ISO 11171

Además las diferentes normas y el material de calibración utilizado respectivamente.

Aplicación	Antigua	Nueva
Método de calibración de los contadores de partículas automáticos para líquidos	ISO 4402 ⁸	ISO 11171
Método de codificación del grado de contaminación por partículas sólidas	ISO 4406: 1987	ISO 4406:1999
Material de calibración	ACFTD ⁹	ISO MTD ¹⁰

Figura 13. Método ISO anterior y nuevo para la calibración y codificación

3.2. CALIBRACIÓN DE CONTADORES AUTOMÁTICOS DE PARTÍCULAS PARA LÍQUIDOS

Los contadores de partículas determinan la concentración y distribución del tamaño de las partículas por lo que garantizar el correcto resultado de los análisis es muy importante y se lo consigue por medio de la calibración.

⁸ ISO 4402, Antiguo método de calibración para sensores automáticos de partículas, actualmente remplazado por ISO 11171.

⁹ ACFTD, AC FINE TEST DUST o polvo de prueba de aire limpio

¹⁰ ISO MTD, Polvo de prueba medio.



Como la funcionalidad de los fluidos hidráulicos sufre cuando se contaminan con partículas, los contadores de partículas se utilizan para el control de la contaminación.

Actualmente el patrón de calibración que se usa es el estándar Internacional ISO 11171, que se basa en NIST¹¹ SRM¹² 2806, que es un material de referencia estándar para la contaminación de partículas, para la industria de fluidos. Se compone de un polvo de prueba ISO (ISO 12103-A3)¹³, en aceite hidráulico. Que sirve como elemento para la calibración de contadores automáticos de partículas.

3.2.1. Fluido de calibración

Para la calibración del contador automático de partículas se ha seleccionado el fluido hidráulico certificado Mil-H 5606¹⁴, el cual antes de añadir el polvo test, se filtra para asegurar un alto grado de limpieza.

Este aceite puede ser solamente usado si no contiene más de 200 partículas por mililitro, mayores de 4 $\mu\text{m}(c)$ ¹⁵. Este aceite limpio es mezclado con el polvo test ISO MTD, rellenando botellas previamente lavadas. Según la ISO 11171, la distribución del tamaño de las partículas de la suspensión producida es finalmente determinada por el contador automático de partículas.

Antes del test, las botellas de suspensión son tratadas en un baño de ultrasonidos para dispersar uniformemente las partículas en el líquido. La distribución exacta de los tamaños de las partículas de calibración producidas, es mostrada en el certificado de cada producto.

El fluido de calibración seleccionado tiene un código de limpieza 16/15/11 que hace referencia a un aceite muy limpio, tomando como referencia el código de calibrado certificado conforme a ISO 11171, trazable a NIST 16/14/12, se puede usar para la calibración de nuestro equipo ya que se apega a las especificaciones del calibrado certificado. **Ver Anexo 1 y 1.1 (Fluido de calibración adquirido para este equipo)**

¹¹ NIST, National Instituto de Estándares y Tecnología.

¹² SRM, Material de referencia estándar.

¹³ ISO 12103-A3, Un nuevo derivado de la arena de Arizona, polvo de prueba medio que está entrando en uso como calibrador.

¹⁴ Mil-H 5606, ESPECIFICACIONES MILITARES: FLUIDO HIDRÁULICO, BASE DE PETRÓLEO

¹⁵ (c), Hace referencia al “calibrado certificado” conforme a ISO 11171, trazable a NIST

3.2.2. Preparación estandarizada de la muestra.

Antes de cualquier análisis de recuento de partículas, la muestra debe de ser adecuadamente preparada para su medición. En el caso de medidas en línea, la preparación de la muestra no es del todo necesaria, dado que el líquido entra directamente en su estado original.

Las medidas en laboratorio, sin embargo requieren de una precisa preparación de la muestra, puesto que ésta es recogida y almacenada en botellas después de su extracción. Dado que durante su estancia en el laboratorio, la homogeneidad del líquido a analizar puede ser modificada. Durante una operación normal, la distribución de las partículas es homogénea, ya que dichas partículas están equilibradas por el movimiento del líquido en el sistema. Mientras el líquido permanece así, las partículas debido a la gravedad caen al fondo, en muestras en reposo. Como consecuencia de esto, reducido o perdido el movimiento y la falta de energía influyen en la distribución de las partículas y originan una sedimentación y aglomeración:

- **Sedimentación:** las partículas precipitan en el líquido y producen un sedimento en el fondo de la botella.

- **Aglomeración:** partículas individuales se unen durante el almacenaje y forman partículas aglomeradas de mayor tamaño.

Por lo tanto, sin preparación de la muestra, el resultado de la medida podrá estar modificado o falseado. Antes de poder analizar una muestra en el laboratorio, es necesario re dispersar las partículas en el líquido. Por consiguiente será necesario aplicar una energía al líquido y a las partículas en orden de homogeneizar la distribución de dichas partículas para asegurar unas condiciones de análisis iguales a las reales. Existen diferentes métodos estandarizados para la preparación de las muestras, en este caso se usará la siguiente:

- **ISO 11500 para hidráulicos o aceites de lubricación** (p.e. aceites de motor): Durante la preparación de la muestra, los aglomerados son reconvertidos en partículas y la distribución de las partículas es homogeneizada en tres pasos consecutivos:

- **Primero**, la botella de muestra es agitada vigorosamente a mano, luego agitado ultrasónicamente al menos durante 30 segundos y después agitado con un agitador mecánico durante al menos un minuto.

- **Segundo**, la botella con el material de referencia estándar, debe mantenerse en posición vertical y nunca debe calentarse por encima de 80 ° C y la botella debe abrirse y muestrearse en un entorno libre de polvo para evitar la contaminación.



PRECAUCIÓN: Si la suspensión no se utiliza inmediatamente después de agitar y evacuar, partículas grandes se depositarán en el fondo de la botella y se omitirán de la población de partículas medida. **Ver Anexo 4.**

3.2.3. Muestreo

Hay que tener mucho cuidado a la hora de analizar sistemas muy limpios, ya que se puede introducir suciedad en la muestra tanto en la etapa de muestreo de la misma como en la de análisis. Para ello se debe utilizar botes con un alto grado de limpieza. Además, en el laboratorio de análisis se debe poseer un procedimiento de manejo de las muestras que eviten todas las fuentes posibles de entrada de suciedad en el fluido.

3.2.4. Interpretación de resultados

Se debe tener claro que los sistemas que trabajan con un fluido de elevado grado de contaminación, acortan su vida útil y pueden generar fallos de mayor magnitud, por lo que controlar el nivel de limpieza de un fluido garantiza un óptimo funcionamiento.

Al analizar un fluido el código ISO 4406 mostrará un valor alto en sus componentes numéricos si el contenido de partículas es elevado y será muy bajo si el aceite está limpio.

Proveedores de rodamientos, turbinas y sistemas hidráulicos están cada vez más interesados en especificar un nivel de limpieza de aceites nuevos y aceites en uso. Esto implica, muchas veces, establecer procesos de limpieza de aceites nuevos, antes de incorporarlos a los sistemas, para cumplir con aquellas especificaciones. Como consecuencia se han desarrollado procesos de filtración de aceites en uso para mantener los niveles de limpieza adecuados. En todo caso, cualquier variación del Código ISO se debe investigar, porque puede representar una anomalía. Otro aspecto menos común y de menor desarrollo aún, es la interpretación y seguimiento de los valores obtenidos para cada rango de tamaños de partículas, permitiendo investigar anomalías o causas raíz de fallos en los sistemas lubricados, que se pueden corregir de forma prematura, incluso antes de que se inicie el fallo.

CAPITULO IV

4. PUESTA EN MARCHA DEL SENSOR DE CONTEO Y CLASIFICACIÓN DE PARTÍCULAS.

En el presente capítulo se indica los elementos que conforman el equipo de conteo y clasificación de partículas, se indicará también el manual de operación y mantenimiento para la preparación del software, limpieza y uso correcto del equipo que funcionará en las instalaciones del laboratorio del Departamento de Máquinas y Motores Térmicos de la Universidad Politécnica de Valencia. Además se hará un análisis de la inversión de adquisición del equipo y sus materiales para la realización de las pruebas.

4.1. ELEMENTOS DEL EQUIPO

4.1.1. Sensor Oil Wear S100



APLICACIONES:

- Maquinaria rotativa.
- Motores.
- Sistemas hidráulicos.
- Equipos de lubricación.
- Bancos de ensayo de componentes.
- Fluidos lubricantes, hidráulicos, de corte y refrigerantes.
- Aceites minerales, sintéticos y glicoles.
- Soluciones acuosas.
- Combustibles.

En la figura 14, se muestra las características y especificaciones técnicas del sensor.

Medida	Clasificación de las partículas: ISO 4406, NAS 1638, SAE AS4059.
	Clasificación de las partículas por su forma y tamaño
	Fatiga
	Deslizamiento
	Corte
Calibración	ISO 11171
Precisión	±1 ISO
Variables adicionales	Sensor de temperatura
	Detección de burbujas de aire
Posición de montaje	Vertical
Alimentación	24 V
Consumo	<1A
Salidas analógicas	0-10 V (4-20 mA) [Bajo pedido]
Salidas Digitales	RS485 (ModBUS RTU)
	Ethernet RJ45 (ModBUS TCP/IP, FTP, Telnet)
Alarmas	3 alarmas configurables por nivel [bajo pedido]
Presión operación	20 bar máximo

Temperatura operación	Desde 0°C hasta 70°C
Viscosidad	< 460 cSt
Flujo operación	Auto regulado
Tamaño / Peso	250 x175 x 115mm / 3.000 gr
Acoplamiento	1/8" BSP
Materiales	Acero inoxidable
Memoria	Últimas 500 medidas (parámetros e imágenes)
Protección	IP65
Certificaciones	CE, GL en tramitación

Figura 14. Tabla de especificaciones y características técnicas del sensor Oil Wear S100

4.1.2. Bomba de engranajes Diener: Serie Optima - 2000ml / min - Motor BLDC.



Figura 15. Bomba de engranajes

Características:

- Acoplado magnéticamente: No hay fugas en el sello
- Desplazamiento positivo.
- Presión sin pulso a través del rango de presión
- Compatible con una amplia gama de fluidos
- Versatilidad de montaje
- Extremadamente eficiente: muy bajo consumo de energía
- Motor BLDC de 24 voltios: larga vida y sin mantenimiento

ESPECIFICACIONES	
Max. Presión continua	3 BAR
Max. Presión intermitente	4 BAR
Presión estática máxima en la caja	20 BAR
Rango de velocidad	300 - 4500 RPM
Rango de viscosidad del fluido	0.3 - 1000 CPS
ELÉCTRICO	
Tensión de alimentación	24 VDC
Control de velocidad	0 - 5 VDC
Rotación	Sentido horario
Corriente Máx	1,8 amperios
Protección de sobrecarga de corriente	1.8 amperios
Código de color: Negro = tierra, Rojo = + 24vdc, Verde = Salida, blanco = 0-5 vdc control de velocidad	
Protección del motor	IP-55
TEMPERATURA	
Temperatura del fluido, range	-20 to +100°C
Temperatura Ambiente, rango	0-40°C
Rango de humedad relativa	0-95% sin condensación
Protección térmica	térmica interna
	Sensor apagado a 90 ° C, se restablece a 80 ° C
CONSTRUCCIÓN	
Estándar	Acero inoxidable 316L, PEEK®, EPDM
Opcional: 304 SS, Aleación-C, PPS, Tefl on®, Silicona, Viton®, Kalrez®	
Entrada / Salida: 1/8 "-NPT (estándar)	
Opcional: 1/4"-NPT, G1/8, G1/4,	
Válvula de alivio de presión interna	Opcional
Marcado	Láser permanente
Masa	0.9 kg

Figura 16. Especificaciones técnicas de la bomba de engranajes.

4.2. PROCESO FÍSICO DEL ESTUDIO DE CONTEO Y CLASIFICACIÓN DE PARTÍCULAS

Se ha realizado una propuesta enfocada al estudio del conteo y clasificación de partículas contaminantes en aceites lubricantes por medio de un sensor on-line de tipo óptico Oil Wear S 100, en donde se ha planteado diseñar una estructura adecuada para el sensor, implementar y acoplar los elementos complementarios para el funcionamiento del sistema y validar mediante pruebas experimentales los resultados obtenidos y así adaptar el equipo para el uso en el laboratorio de Lubricantes y Combustibles del Departamento de Máquinas y Motores Térmicos de la Universidad Politécnica de Valencia.

4.3. MONTAJE ELECTRO-MECÁNICO

Para la realización del montaje electro-mecánico se hizo la adquisición de varios materiales y el acoplamiento de los elementos a una caja metálica de uso informático, apropiada para cubrir las expectativas requeridas por su diseño. A continuación se describe los materiales eléctricos y mecánicos, propiedades, herramientas e instalaciones que se han utilizado para la ejecución de la puesta en marcha del equipo.

Para la selección de los elementos y materiales se ha considerado los siguientes factores:

- Verificación de formas y dimensiones para el diseño del equipo.
- Elementos que complementan el equipo.
- Montaje de los elementos, limpieza y desmontaje.
- Manejo y funcionamiento
- Ajustes
- Comprobación del funcionamiento de los componentes.

Para la base del equipo se hizo la siguiente adquisición:

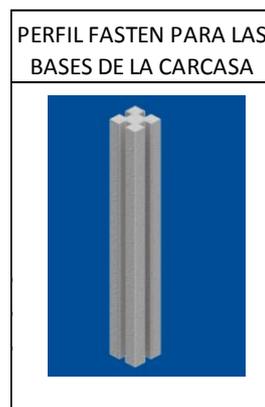


Figura 17. Perfil básico, canal de 6 mm, 25x25. Código 5011, cantidad: 2m

Luego se hizo la adquisición de una caja metálica de forma rectangular desarmable compuesta por seis partes, fácil para desmontar, modificar y acoplar los elementos del equipo, como se muestra en la figura 18. Logrando un modelo compacto y portable para la instalación en laboratorio.



Figura 18. Caja metálica de (279 x 203 x 131) mm

Una vez adquirida la caja metálica se procedió a realizar el mecanizado para acoplar cada uno de los elementos, dicho trabajo se lo realizó en el taller de mecánica de las instalaciones del Departamento de Máquinas y Motores Térmicos de la Universidad Politécnica de Valencia.

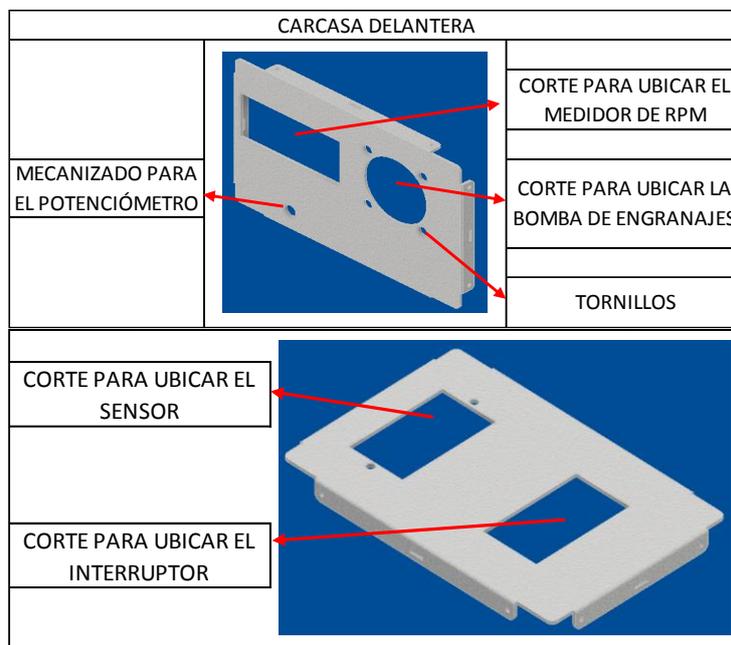


Figura 19. Mecanizado de la caja metálica

Luego del mecanizado de la carcasa metálica, se procedió al ensamble de las partes que conforman el equipo de conteo y clasificación de partículas.

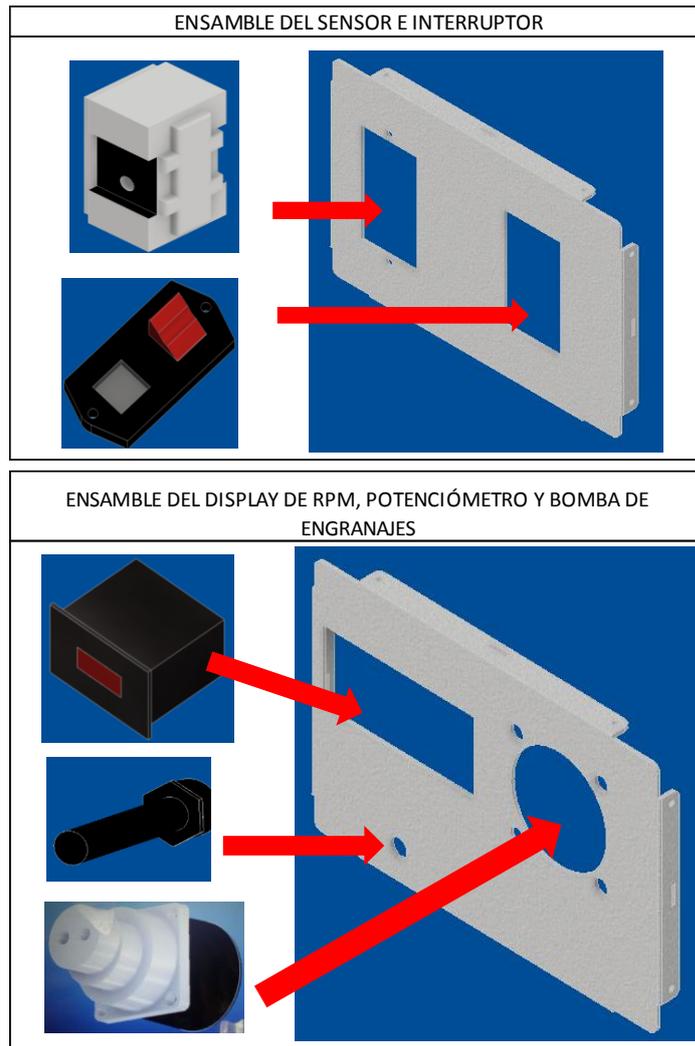


Figura 20. Ensamble de los componentes del equipo

Ya ensamblados los elementos en la carcasa metálica, se realizó el diseño de un esquema eléctrico con el objetivo de controlar la variación de tensión, obteniendo una salida de tensión analógica variable de 0 a 5 V regulables y también la visualización de las r.p.m. a las que gira la bomba hidráulica usando un display de cuatro dígitos. Los materiales utilizados son:

- Fuente de alimentación
- Variador de tensión
- Regulador de voltaje
- Transformador diferencial
- Capacitores
- Diodos rectificadores
- Placa de circuito impreso
- Cables de conexión
- Display (R.P.M).

- Potenciòmetre
- Resistències

El esquema elèctric fou desenvolupat en les instal·lacions del taller elèctric del Departament de Màquines i Motors Tèrmics de la Universitat Politècnica de València. A continuació en la figura 21, se mostra el disseny del esquema elèctric realitzat per a l'equip de conteo y clasificaci3n de partícules.

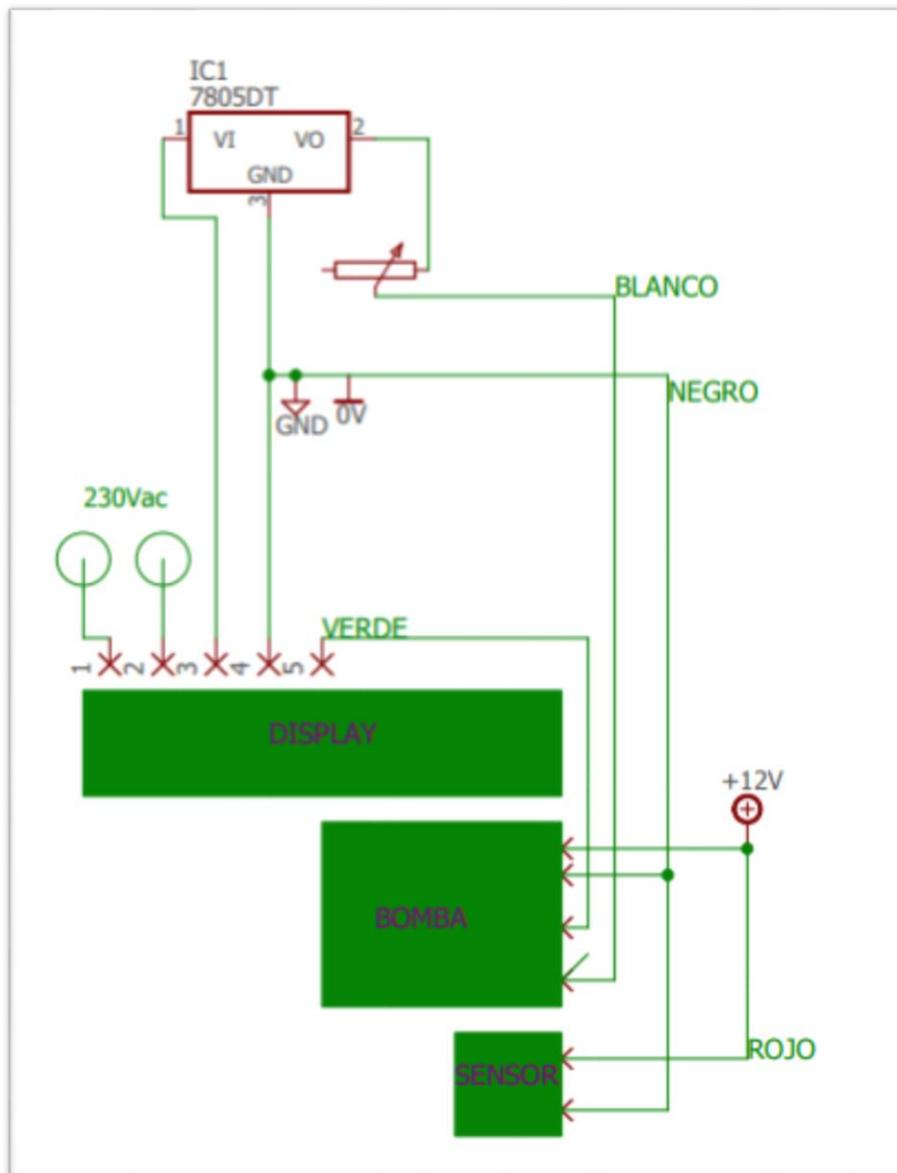


Figura 21. Esquema elèctric del equip de conteo y clasificaci3n de partícules

En la figura 22 se muestra la parte externa y en la figura 23 la parte interna del equipo y las respectivas conexiones con los componentes eléctricos, luego se verificó que el equipo funcione correctamente para garantizar el análisis de las pruebas a realizarse.

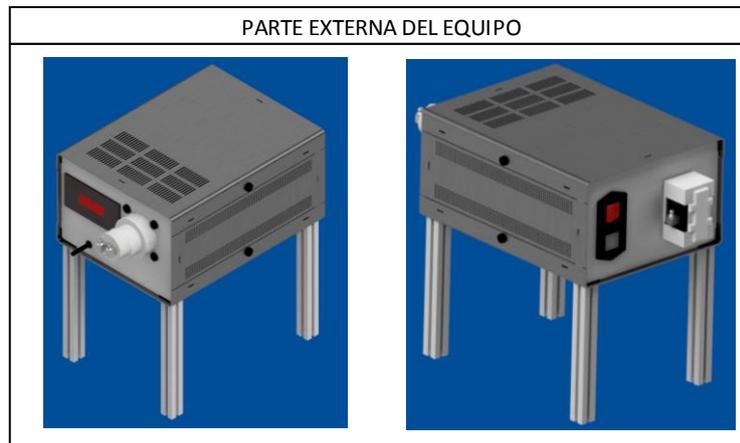


Figura 22. Parte externa del equipo.

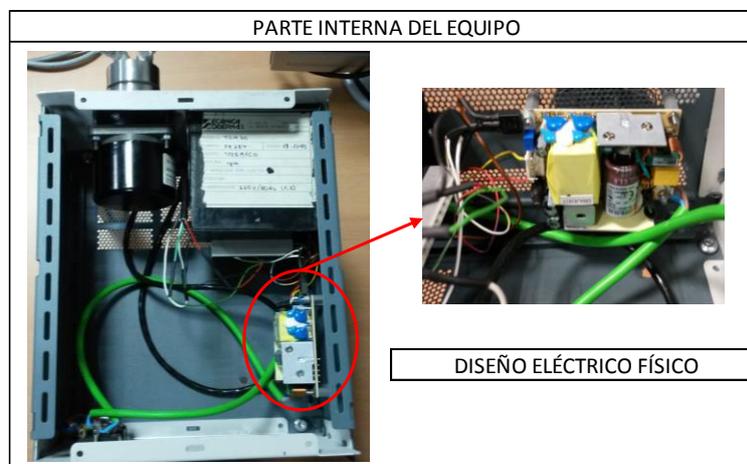
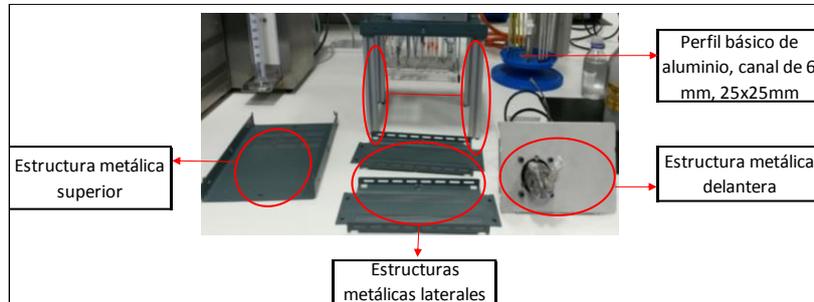


Figura 23. Parte interna y conexiones del equipo.

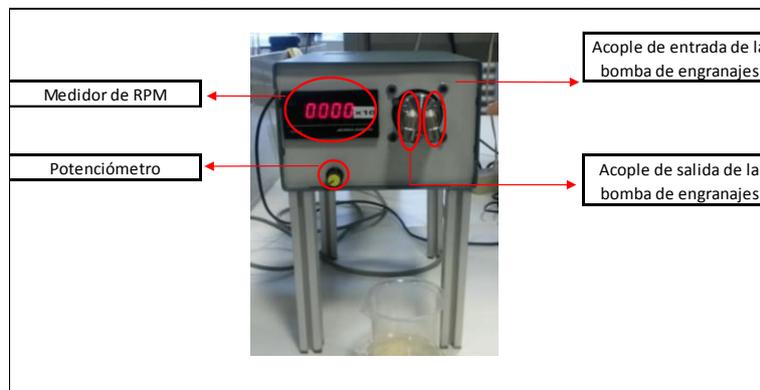
Finalmente completo el montaje eléctrico-mecánico del equipo, comprobaciones y ajustes, se procede a preparar el interfaz del equipo con el software del mismo para realizar las pruebas de análisis de conteo y clasificación de partículas contaminantes, en las instalaciones del laboratorio de Lubricantes y Combustibles del Departamento de Máquinas y Motores Térmicos de la Universidad Politècnica de València.

4.3.1. Montaje y funcionamiento del equipo de conteo y clasificación de partículas en el Laboratorio.

Para el montaje en laboratorio, se ensambló la estructura metálica (Caja) y se colocaron sus componentes, tomando en cuenta la mejor posición para cada uno de los elementos del equipo, luego se utilizó perfil de aluminio para las bases de la estructura metálica.



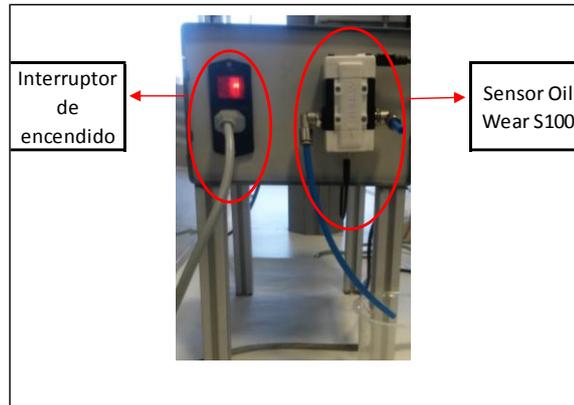
- Luego de acoplar los elementos que componen el equipo se procedió a conectar para verificar el funcionamiento del medidor de velocidad y componentes eléctricos, luego se colocó los acoples para la bomba de engranajes como se muestra en la figura.



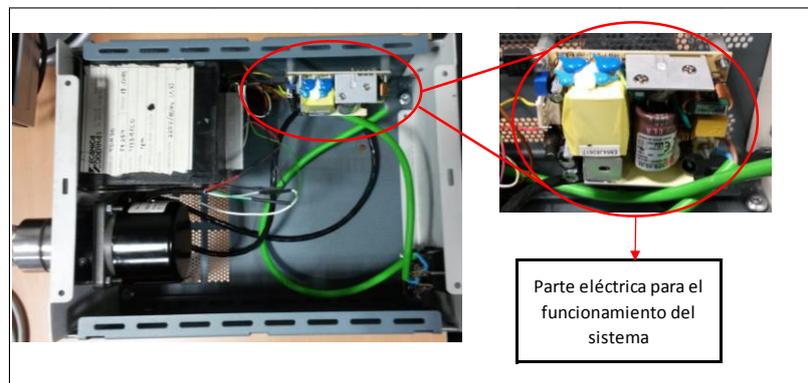
- Aquí se muestra la fijación de la bomba de engranajes a la cara frontal de la estructura metálica.



- Mientras que en la cara posterior de la estructura metálica se colocó los componentes que se muestran en la siguiente figura.



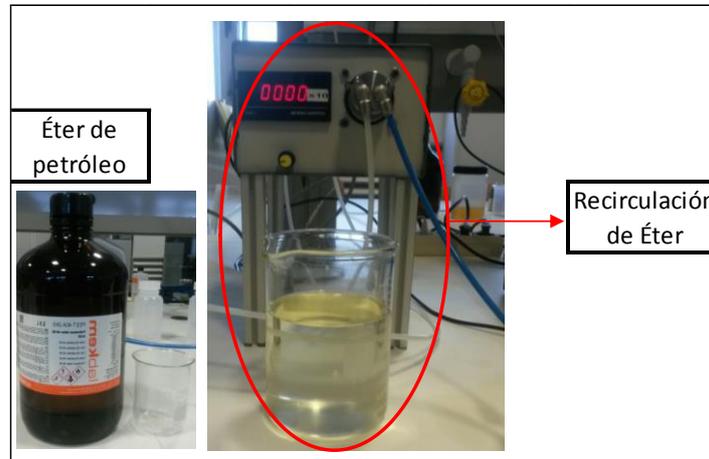
- El sistema eléctrico se realizó con el fin de controlar y maniobrar el equipo dependiendo de los requerimientos propuestos por el operador en el análisis.



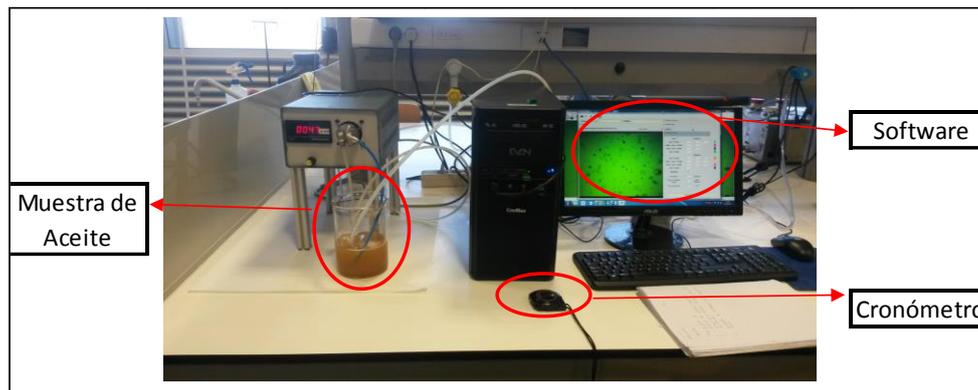
- Luego que se ha acoplado todos los elementos que componen el equipo en la estructura y se ha comprobado su funcionamiento al encender, se procede a crear la interfaz del equipo con el software, por medio de un cable USB para habilitar la cámara del sensor y dos pendrive que vienen incorporados como parte del equipo para el funcionamiento del software y poder realizar el conteo y clasificación de partículas en la muestra.



- Ya lista toda la instalación del equipo se procede a limpiar el sistema haciendo recircular éter de petróleo debido a que el sistema es muy susceptible a contaminación por lo que se requiere un alto nivel de limpieza para no falsear los análisis. **Ver anexo 3, limpieza del equipo.**



- Ya limpio el sistema y "Encerado", se coloca una muestra del fluido en este caso aceite para motor en un vaso de precipitación con una cantidad de 500 ml y se lo hace recircular en el sistema para que el sensor cuente y clasifique las partículas contaminantes existentes en la muestra y se obtengan los resultados a través del software.



- A continuación en la figura 24 se muestra el análisis del equipo para la obtención de resultados mediante un esquema.

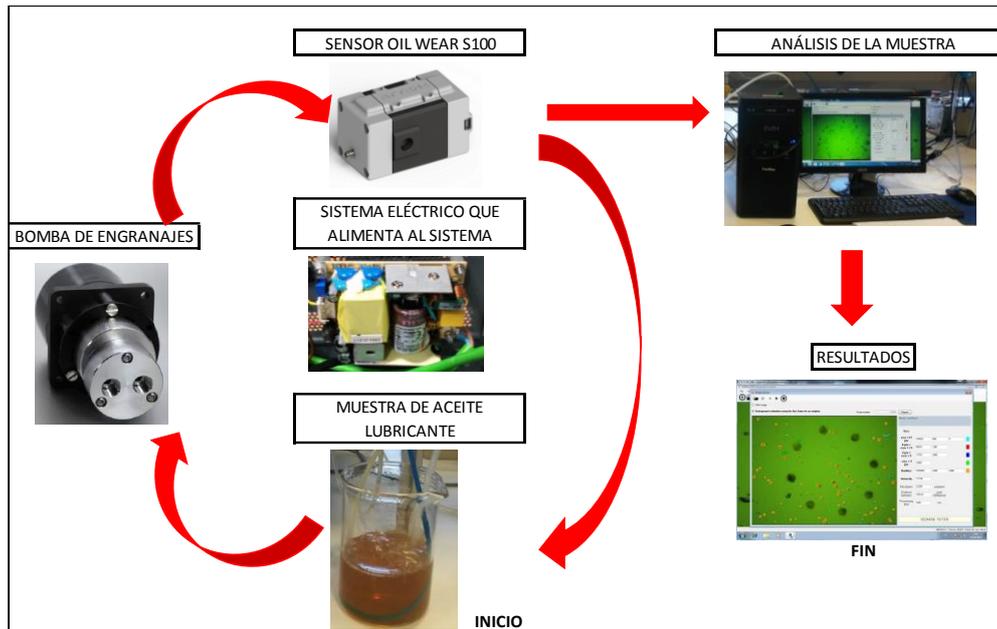


Figura 24. Esquema de funcionamiento

- Finalmente se muestra la completa conexión del equipo de conteo y clasificación de partículas conjuntamente con el software para su funcionamiento, como se muestra en la figura 25.

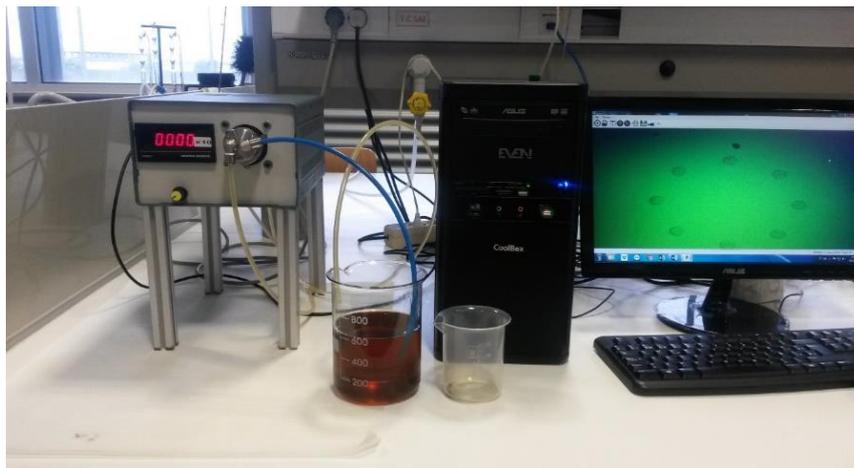


Figura 25. Montaje completo del equipo de conteo y clasificación de partículas.

4.4. INICIACIÓN DEL SOFTWARE DEL EQUIPO

Para la iniciación del software del equipo se ha modificado un documento técnico basado en el programa, que da a conocer las instrucciones, funciones y reglas informáticas que permiten



ejecutar distintas tareas, con el fin de compensar los requerimientos de operación por el usuario y además controlar el comportamiento del hardware o equipo. **Ver Anexo 2.**

4.5. MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL EQUIPO

Se ha propuesto crear un manual de operación y mantenimiento con el fin de instruir y guiar al operador, por medio de un proceso de pasos lógicos e ilustrativos que le permitan la fácil comprensión del uso, operación y mantenimiento del equipo de conteo y clasificación de partículas.

El mantenimiento empleado en el equipo es de tipo preventivo, ya que se ha creado una lista de tareas genérica para la inspección y control de los componentes del equipo, considerando las condiciones del fabricante y la experiencia del operador para mantener óptimo el funcionamiento del mismo, evitando fallos inesperados, para el equipo no programadas y abaratar costes de reparación por falta de mantenimiento. Los tipos de tareas que se incluyen son:

- Inspecciones visuales de los componentes del equipo
- Verificaciones mecánicas
- Verificaciones eléctricas
- Limpieza del equipo y sus componentes
- Calibración de instrumentos de medida.
- Chequeo de los mandos de control
- Reemplazo o reacondicionamiento de piezas deterioradas

Además el manual contiene un apartado de precauciones de operación, en donde se dan consejos de seguridad e indumentaria requerida para el uso, control y operación del equipo antes de usarlo. **Ver Anexo 3 – Manual de operación y mantenimiento.**

4.6. COSTES DE IMPLANTACIÓN DEL EQUIPO

Inicialmente se deben considerar los activos fijos y costes variables que se ha invertido para la implementación del equipo en las instalaciones del laboratorio de Lubricantes y Combustibles del Departamento de Máquinas y Motores Térmicos de la Universidad Politécnica de Valencia.

ACTIVOS FIJOS	Precio
Mano de obra mes / 3 meses	1 245 €
Sensor OilWear 2.0 – 100 System. Incluye comunicación USB + Licencia	7 125 €
Bomba de engranajes	690 €
Fuente alimentación	135 €
Estructura metálica (Caja)	80 €
TOTAL	9 275 €

Figura 26. Activos Fijos.

COSTES VARIABLES	Precio
Aceite Repsol 5w40, 5L (Usado para la referencia a cero del sistema “Encerado”)	25 €
Éter de petróleo, 2,5 L x 5 unidades	247,55 €
Material de calibración	263 €
Partículas de hierro < 10 um, 250 g	67 €
Filtro, Cañerías ¼ Y accesorios varios	470 €
TOTAL	1 072.55 €

Figura 27. Costes Variables.

RESUMEN DE INVERSIÓN INICIAL	
Descripción	Valor
ACTIVOS FIJOS	9 275.00 €
COSTES VARIABLES	1 072.55€
TOTAL INVERSIÓN INICIAL	10 347.55 €

Figura 28. Resumen de inversión inicial.

Adicionalmente se ha realizado un análisis de consumo de líquido disolvente (Éter de petróleo) para la limpieza del sistema antes de realizar una prueba de contaminación en el aceite lubricante. El pack de líquido de limpieza contiene cinco botes

Éter de petróleo			
Cantidad (botes)	Contenido (Volúmen)	Coste Unitario €	Coste Total €
5	2,5 litros	49.51	247.55

Descripción del elemento	Número de elementos	Cantidad de Éter de petróleo por elemento (ml)	Cantidad de Éter de petróleo total (ml)
Cañerías	3	20	60
Bomba de engranajes	1	200	200
Sensor óptico	1	150	150
Limpieza general	1	300	300
TOTAL			710

Figura 29. Consumo de Éter de petróleo.

Como se puede observar el consumo de líquido de limpieza es alto, para considerar limpio el sistema por lo que se recomienda el uso de otro tipo de líquido disolvente de menor coste para realizar la limpieza del mismo, aunque otros equipo limpian el sistema con agua desionizada, no se recomienda para este equipo debido a que no posee cañerías de presión internas que ayuden a la evacuación de residuos contaminantes.

Con cada bote de éter de petróleo se realiza aproximadamente cuatro limpiezas completas para considerar limpio el sistema de conteo y clasificación de partículas, considerando que el consumo puede variar, esto se manifiesta con un sistema muy sucio de residuos contaminantes y vale recalcar que el éter se lo puede filtrar para su reutilización y limpieza de otros componentes, ahorrando el consumo y así aumentar su duración. Además se lo almacena para su posterior destilación y reutilización.

NOTA: Por ningún motivo utilizar agua para la limpieza del sistema, ya que la mezcla del agua y del aceite crea películas pastosas que dificultan aún más la limpieza interna del sistema y sus componentes, lo que generaría mayor consumo de líquido disolvente.

CAPITULO V

VALIDACIÓN EXPERIMENTAL

En este capítulo se muestra el proceso y resultados de las pruebas experimentales mediante la monitorización de la contaminación en el fluido hidráulico, con la ayuda de un sensor on-line de tipo óptico diseñado y acoplado para las instalaciones del laboratorio de Lubricantes y Combustibles del Departamento de Máquinas y Motores Térmicos de la Universidad Politécnica de Valencia, que proporciona información en tiempo real mediante la interfaz con un software, que cuenta y clasifica las partículas contaminantes en tamaños de, <4 μm , < 6 μm , y < 14 μm respectivamente.

Para la medición y obtención de los resultados se deben establecer los siguientes parámetros:

- Tiempo de análisis,
- Régimen de giro,
- Caudal constante
- Cantidad de contaminación en el fluido
- Cantidad de muestra de fluido
- Viscosidad del fluido
- Lugar de toma de muestra. **(VER ANEXO 3 – MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO)**

Para la visualización de los resultados se usarán gráficas realizadas en Excel y un **“Informe de resultados”** que es un formato por defecto del software, donde muestra la referencia del ensayo, gráficas de información general (Contenido de partículas, contenido de burbujas, obtención del código ISO 4406), selección de imágenes recogidas por el sensor en el transcurso del análisis.

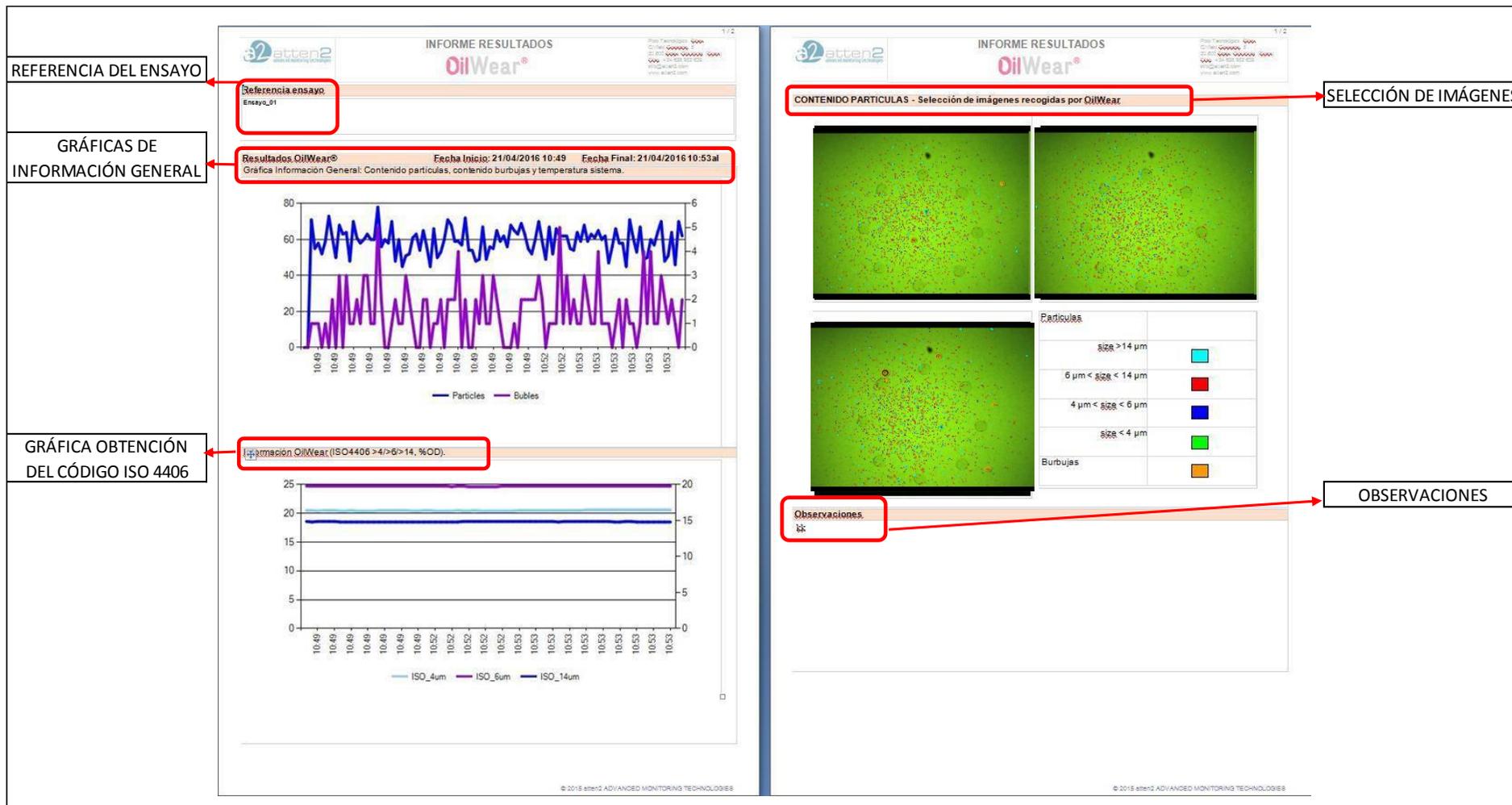


Figura 30. Formato del Informe de resultados

5.1. FLUIDOS UTILIZADOS PARA LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES

FLUIDOS UTILIZADOS	
1	LÍQUIDO DE LIMPIEZA ÉTER DE PETRÓLEO
2	GALACTIC MAXIMA E6 5W30 SAPS
3	REPSOL ELITE EVOLUTION FUEL ECONOMY 5W30
4	REPSOL DIÉSE TURBO UHPD 10W40

5.1.1. Líquido de limpieza éter de petróleo

Es un líquido disolvente que se ha utilizado para la limpieza del sistema después de haber realizado pruebas con aceites lubricantes, en este caso se usará este líquido como lo especifica el "Manual de Operación y Mantenimiento. Anexo 3" para considerar que el sistema está limpio y se pueda realizar a un nuevo análisis.

Se debe considerar que es un líquido que posee compuestos muy volátiles por lo que el almacenamiento debe ser en un lugar apropiado y no se debe dejar sin tapar el bote ya que el éter de petróleo se evapora.

Características:

Punto de ebullición :	30-40 °C
Punto de inflamación :	-56 °C
Temperatura de auto ignición :	285 °C
Límites de explosión (inf. /sup.):	1,2 / 7,5 Vol. %
Presión de vapor: (20 °C)	350 hPa
Indicaciones de peligro:	Extremadamente inflamable
	Nocivo
	Peligroso para medio ambiente

5.1.2. Aceite lubricante para motor Galactic Maxima e6 5w30 Saps¹⁶

¹⁶ **SAPS**, se refiere a "cenizas sulfatadas, fósforo y azufre", cuyos niveles se han limitado a menudo en las últimas especificaciones de rendimiento.

Es un lubricante 100% sintético para vehículos diésel, con un excelente rendimiento. Este moderno lubricante de nivel de calidad ACEA E6¹⁷ está diseñado para lubricar los nuevos motores Euro V y VI¹⁸, con bajo contenido en cenizas sulfatadas, sistemas que requieren reducción de emisiones de gas, filtro de partículas diésel, recirculación de gases de escape o catalizador de reducción selectiva y dispositivos de post-tratamiento para contribuir a la conservación del medio ambiente [11].

Características:

PROPIEDADES TÉCNICAS		
GRADO SAE		5W30
VISCOSIDAD A 100 °C	ASTM D-445	9.3 - 12.50
VISCOSIDAD A -30 °C	ASTM D-5293	< 6600
HTHS - 150 °C	ASTM D-5481	>3.5
ÍNDICE DE VISCOSIDAD	ASTM D-2270	155
PUNTO DE INFLAMACIÓN	ASTM D-92	228
PUNTO DE CONGELACIÓN	ASTM D-97	- 42 ° C
CENIZAS SULFATADAS	ASTM D-874	< 1.0
TBN (mg KOH/g)	ASTM D-2896	>9.0

NIVEL DE CALIDAD
API: CI-4/CH-4/CF
RENAULT RXD, RENAULT RVI-RXD/RLD-3RLD-2/RGD
ACEA E6/E7/E9-12,
IVECO-E6, DAF HP-2/E6,
SCANIA Low Ash LDF-3

5.1.3. Aceite lubricante para motor Repsol Elite Evolution fuel economy 5w30

Lubricante sintético de máxima calidad que, gracias a su estudiada viscosidad, favorece la reducción del consumo de combustible en condiciones normales de conducción. En consecuencia contribuye a la disminución de emisiones de CO₂ a la atmósfera, y con ello a la

¹⁷ **ACEA-E6**, (Asociación de Constructores Europeos de Automóviles – Normativa Europea sobre emisiones contaminantes)

¹⁸ **Euro V, VI**. Norma Europea sobre emisiones contaminantes.

conservación del medio ambiente al minimizar las emisiones nocivas de partículas. Está especialmente indicado para vehículos con sistemas de tratamientos de gases de escape gracias a su nivel de calidad ACEA C2¹⁹. Gracias a su estudiada formulación con reducido contenido en cenizas (SAPS), también va dirigido a los motores más avanzados que incorporen filtros de partículas [12]

Este aceite lubricante es el que se ha utilizado como fluido de referencia para “Encerar” el sistema después de realizar la limpieza del mismo, posteriormente en los tipos de prueba se mostrará el contaje y clasificación de partículas que debe cumplir para ser usado como referencia.

Características:

PROPIEDADES TÉCNICAS			UNIDAD
GRADO SAE		5W30	
VISCOSIDAD A 100 °C	ASTM D-445	11.0	cSt
VISCOSIDAD A 40 °C	ASTM D-445	65	cSt
VISCOSIDAD A -30 °C	ASTM D-5293	6600 máx.	cP
HTHS - Viscosidad a 150 °C	ASTM D-5481	2.95 mín.	cP
ÍNDICE DE VISCOSIDAD	ASTM D-2270	150 mín.	-
PUNTO DE INFLAMACIÓN, VASO ABIERTO	ASTM D-92	210 mín.	°C
PUNTO DE CONGELACIÓN	ASTM D-97	- 36 máx.	°C
DENSIDAD A 15 °C	ASTM D-4052	< 1.0	g/MI
CIZALLAMIENTO INYECTOR BOSCH: VISCOSIDAD A 100 °C DESPUÉS DE CIZALLA	CEC L-14-93	9.3 min	cSt
VOLATILIDAD NOACK, 1h a 250 °C	CEC L -40-93	13 máx.	% peso

NIVEL DE CALIDAD
ACEA C2
PSA PEUGEOT CITROËN B71 2290

5.1.4. Aceite lubricante para motor Repsol Diésel Turbo UHPD 10w40

¹⁹**ACEA-C2**, Norma Europea - Nivel muy alto de calidad. Aceite con bajo contenido en cenizas y características ahorradoras de combustible.



Es un aceite lubricante sintético de última generación con elevado nivel de calidad. Especialmente recomendado para motores diésel de bajas emisiones Euro V sobrealimentados de largo recorrido, con periodos de cambio muy prolongados. Producto específicamente diseñado para los motores diésel [13].

Características:

PROPIEDADES TÉCNICAS			UNIDAD
GRADO SAE		10W40	
VISCOSIDAD A 100 °C	ASTM D-445	13,4	cSt
VISCOSIDAD A 40 °C	ASTM D-445	86	cSt
VISCOSIDAD A -25 °C	ASTM D-5293	7000 máx	cP
ÍNDICE DE VISCOSIDAD	ASTM D-2270	150 mín	-
PUNTO DE INFLAMACIÓN, VASO ABIERTO	ASTM D-92	215 mín	° C
PUNTO DE CONGELACIÓN	ASTM D-97	-36	° C
DENSIDAD A 15 ° C	ASTM D-4052	0,865	g/MI
CIZALLAMIENTO INYECTOR BOSCH: VISCOSIDAD A 100 ° C DESPUÉS DE CIZALLA	ASTM D-3945	12.5 MÍN.	cSt
CENIZAS SULFATADAS	ASTM D -874	1.9	
T.B.N.	ASTM D-2896	16.0	mg KOH/ g

NIVEL DE CALIDAD	
API CF	MAN 3277
ACEA E4/E7	CUMMINS CES 20072
RENAULT RLD-2/RXD	VOLVO VDS-3

5.2. TIPOS DE PRUEBAS EXPERIMENTALES

Una vez conocidos los tipos de fluido con sus respectivas descripciones y especificaciones técnicas, se presenta los tipos de pruebas experimentales realizadas con el equipo de conteo y clasificación de partículas, basadas en posibles situaciones reales del comportamiento de las partículas en un sistema.

Para una mejor comprensión se ha separado a los tipos de pruebas en tres fases. En la “FASE I” se ha realizado el análisis del aceite lubricante limpio para obtener una referencia de partida,



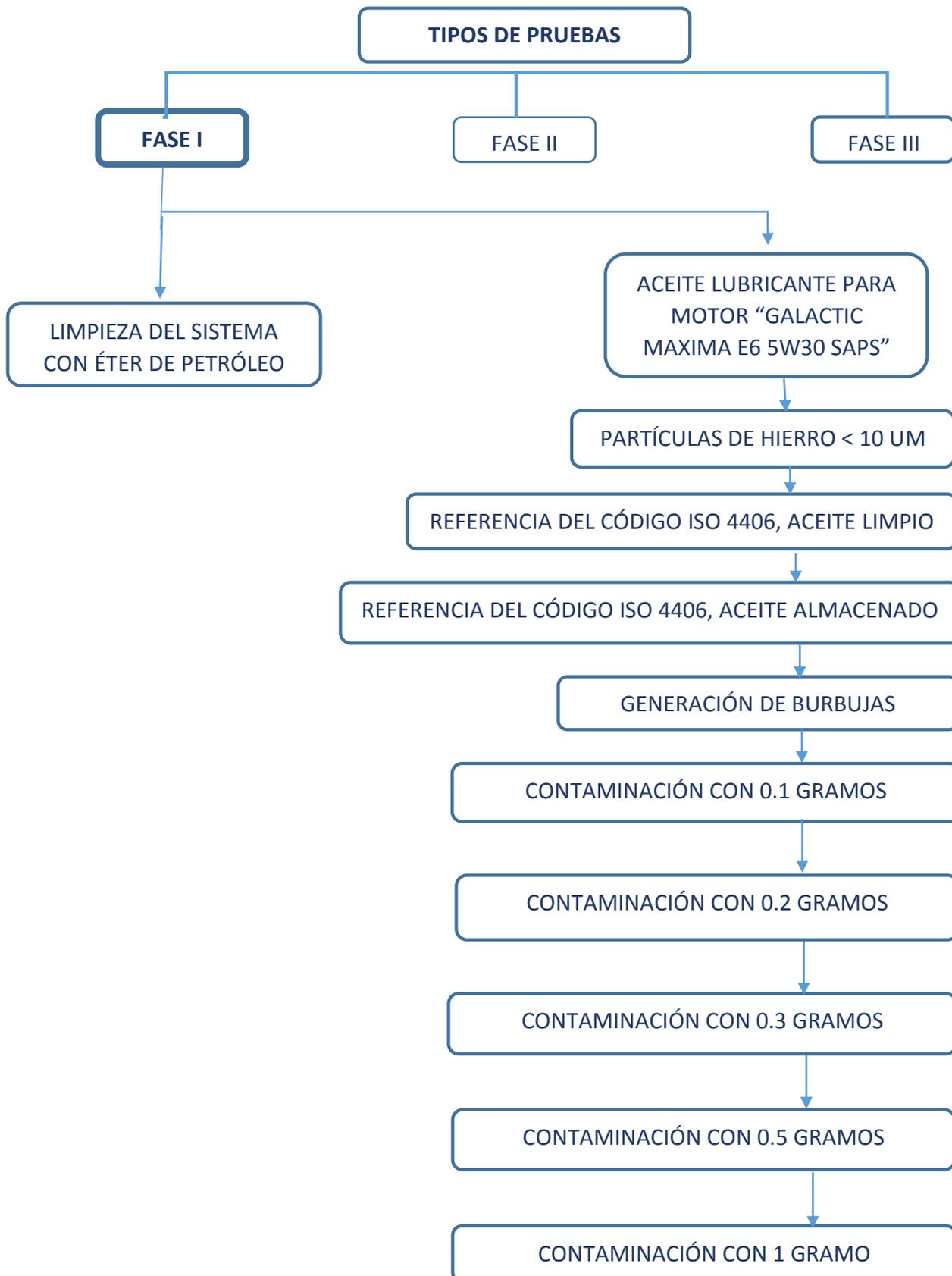
también se ha almacenado una muestra de aceite lubricante durante tres meses sin cubrir dentro de las instalaciones del laboratorio y se analizó su código de limpieza, luego se ha generado burbujas durante el análisis para determinar si influye en la obtención del código ISO 4406 y finalmente se ha contaminado el aceite lubricante gradualmente con partículas de hierro < 10 μm para comparar los resultados del conteo, clasificación, obtención del código ISO 4406 y graficas proporcionados por el software. En la Fase I se mostrará todo el proceso sistemático que realiza el software hasta llegar a la obtención de resultados, mientras que en la Fase II y Fase III se mostrará directamente los resultados de las pruebas experimentales para evitar la repetitividad del proceso mostrado en la Fase I.

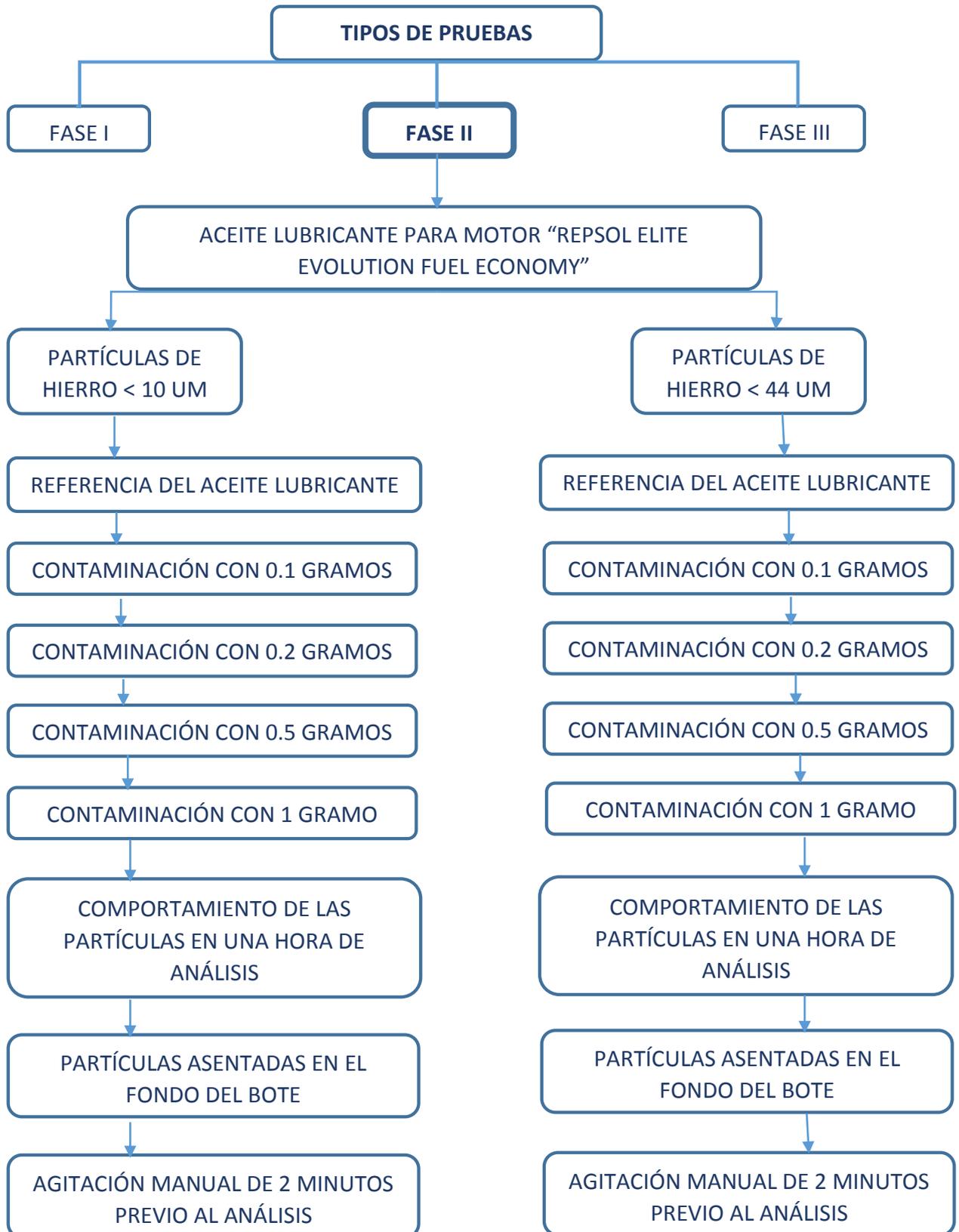
En la "FASE II" se ha utilizado un fluido hidráulico diferente al de la Fase I, por lo que se ha realizado el análisis del aceite lubricante para obtener el código ISO 4406 de referencia, luego se ha realizado la contaminación gradual de la muestra con una cantidad de 0.1 gramos hasta 1 gramo, utilizando dos tamaños de partículas (< 10 μm y < 44 μm). Posteriormente se ha realizado una prueba de una hora de duración con la cantidad de 1 gramo de agente contaminante, para analizar el comportamiento de las partículas en ese periodo de tiempo, otro tipo de prueba fue el dejar en reposo la muestra contaminada con 1 gramo de partículas de hierro durante un día para conseguir que las partículas se asienten en el fondo del bote y finalmente se realizó una agitación manual de 2 minutos previo al análisis para mezclar la muestra y así comparar las cantidades de partículas y obtención de los códigos ISO 4406 entre ambas pruebas.

Mientras que en la "FASE III" se ha utilizado un aceite lubricante distinto al de la Fase I y Fase II, por lo que se ha realizado el análisis del fluido limpio para obtener la referencia de partida, luego se ha contaminado la muestra gradualmente con partículas de hierro < 10 μm , con una cantidad de 0.1 gramos a 1 gramo. En esta Fase a diferencia de las fases anteriores, en cada grado de contaminación se ha establecido parámetros de tiempo dentro del periodo de análisis y se ha realizado dos pruebas más, una con agitación manual durante el proceso y otra de observar el comportamiento de las partículas durante una hora de análisis. También se realizó la prueba del fluido en reposo durante un día para conseguir asentar las partículas contaminantes en el fondo del bote y posteriormente realizar una agitación manual de dos minutos previo al nuevo análisis para comparar la variación de las cantidades de partículas y la obtención del código ISO 4406.

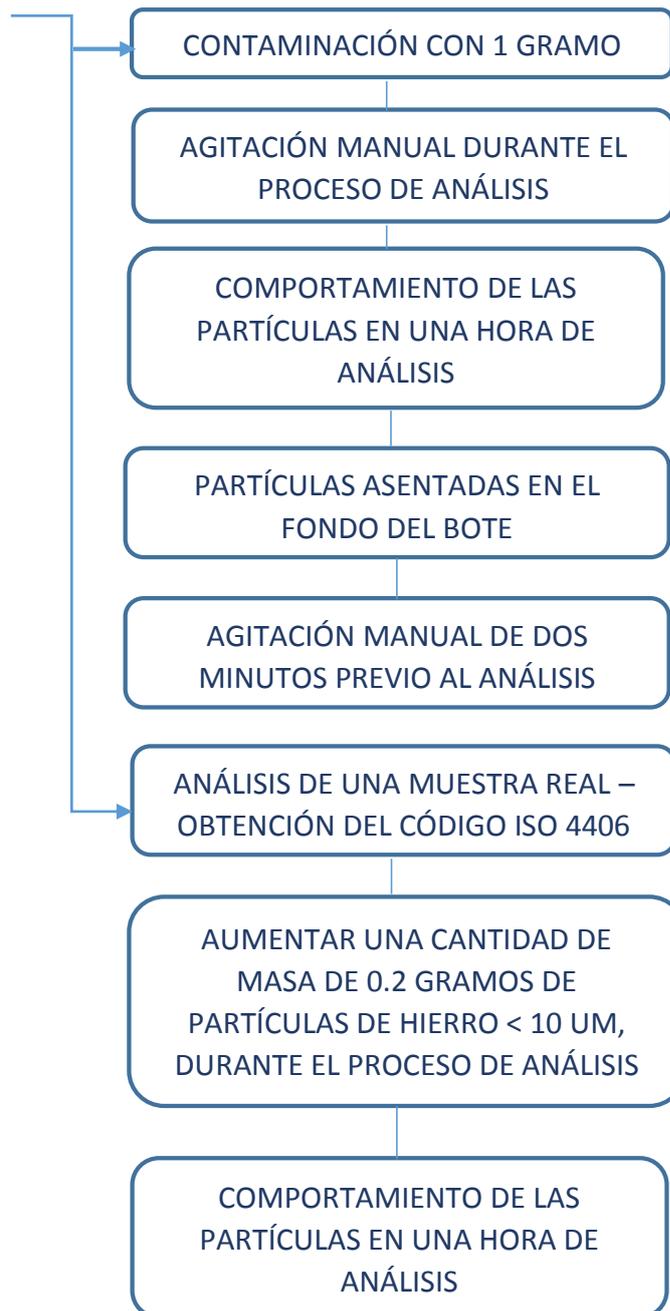
Luego se analizó una muestra real en donde se obtuvo el código de limpieza ISO 4406 del aceite lubricante, luego se procedió a contaminar la misma muestra con una cantidad de 0.2 gramos de partículas de hierro < 10 μm durante el proceso de análisis para verificar si el equipo es capaz de percibir el aumento de agente contaminante mientras está funcionando. Finalmente se

realizó el estudio del comportamiento de las partículas de la muestra real durante una hora de análisis. A continuación se muestran los tipos de pruebas experimentales propuestos.





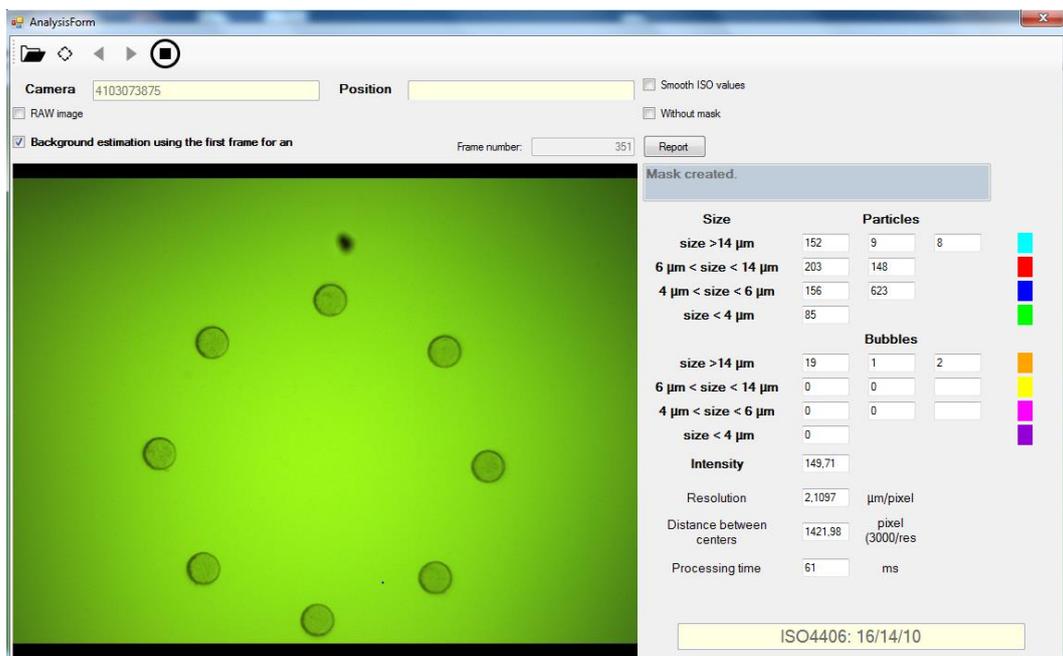




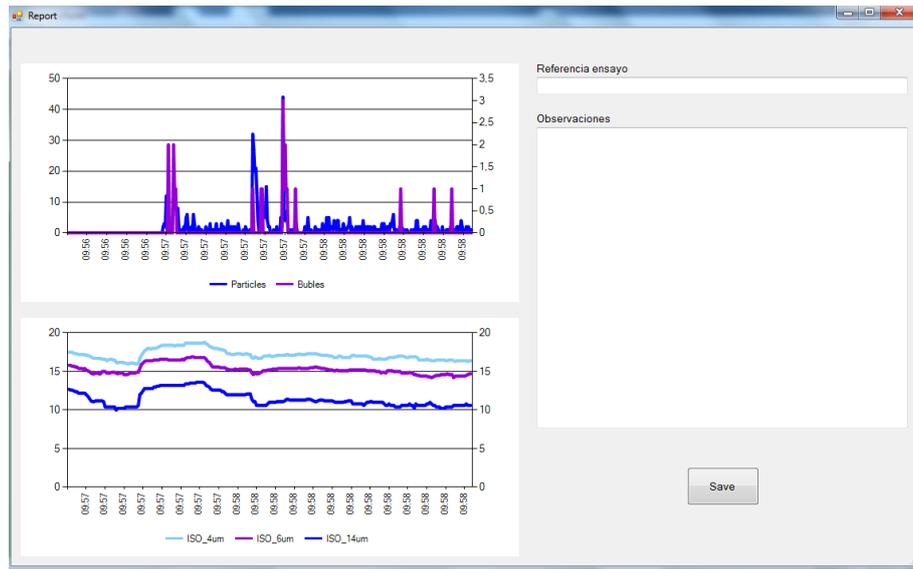
5.3. TIPOS DE PRUEBAS - FASE I.

5.3.1. Limpieza del sistema – Éter de petróleo

Para realizar la limpieza del sistema se debe seguir las instrucciones del manual de operación y mantenimiento (ANEXO 3) para considerar limpio el sistema, en esta prueba se ha contado y clasificado las partículas del fluido haciendo recircular el éter de petróleo durante dos minutos, con un régimen de giro de 500 rpm en una cantidad de 200 ml. Además se debe verificar en la pantalla del software la limpieza del fluido al pasar por el sensor de tipo óptico, como se muestra a continuación:



Al cumplir los dos minutos de análisis se debe presionar el botón de “Stop” para finalizar el análisis y luego se presiona el botón de “Report” para obtener un informe de resultados por defecto, en donde se muestra dos gráficas que indican la última imagen procesada por el sensor, visualizando el comportamiento de las partículas/burbujas durante el periodo de análisis y la obtención del código ISO 4406, el color azul se refiere a las partículas y el color morado a las burbujas en la gráfica superior, mientras que en la gráfica inferior, el color celeste hace referencia al tamaño de partículas < 4 μm , el color morado al tamaño de < 6 μm y el azul al tamaño de < 14 μm , representaciones tal cual se muestran en cada gráfica.



Para una mejor comprensión de los resultados se ha realizado una tabla con los datos adquiridos, en donde se muestran las cantidades de partículas/burbujas acumuladas en todas las imágenes y por ml, además la obtención del código ISO 4406.

DESCRIPCIÓN	Nº DE PARTÍCULAS/BURBUJAS ACUMULADAS EN TODAS LAS IMÁGENES PROCESADAS.				Nº DE PARTÍCULAS / BURBUJAS POR ML			CÓDIGO DE LIMPIEZA OBTENIDO
LIMPIEZA DEL SISTEMA	PARTÍCULAS (um)				PARTÍCULAS (um)			16/14/10
	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
	152	203	156	85	9	148	623	
	BURBUJAS (um)				BURBUJAS(um)			
	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
	19	0	0	0	1	0	0	

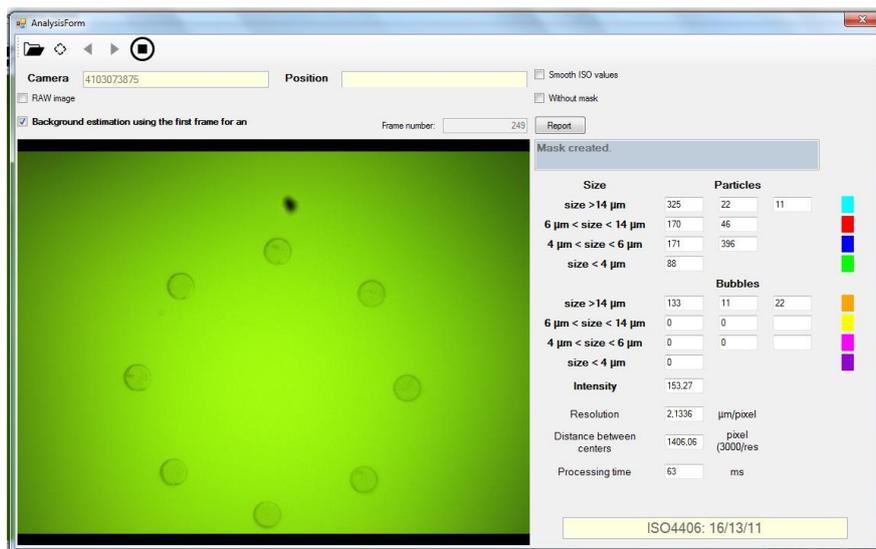
Ya obtenida la cuantificación de partículas, nos enfocamos en las cantidades de partículas por ml, para la comparación de resultados. Luego se verifica que los tamaños de partículas obtenidas cumplan los rangos de la tabla ISO 4406, como se muestra a continuación:

Desde	Hasta	Código ISO 4406
320	640	16
80	160	14
5	10	10

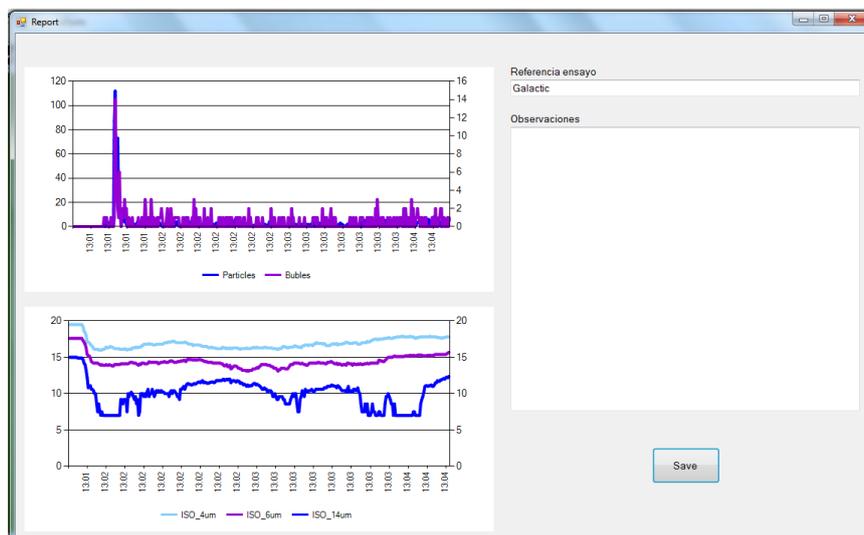
Con el código ISO 4406 obtenido en el análisis del éter de petróleo, se puede concluir que se trata de un fluido **“muy limpio”** por las pocas cantidades de partículas contaminantes.

5.3.2. Referencia del código ISO 4406 – Aceite limpio

Al analizar una muestra limpia la respuesta de análisis se obtiene en menos de un minutos como lo menciona el fabricante en las características del sensor, para la obtención del código ISO 4406 de referencia del aceite limpio se toma una muestra de 500 ml y se vacía directamente del bote a un vaso de precipitación completamente limpio con capacidad de un litro, se coloca la cañería de entrada a la bomba de engranajes en la mitad del fluido que está en el recipiente y la cañería de retorno se recomienda que esté en otro bote para evitar las burbujas que genera el retorno del fluido y así no altere la obtención del código ISO 4406. Se selecciona un régimen de giro de 500 r.p.m. con un tiempo de análisis de dos minutos y se procede a realizar la prueba experimental, obteniendo los siguientes resultados:



Luego se presiona “Report” para obtener las gráficas generales como resultado del análisis que indican el comportamiento de las partículas durante ese período, como se muestra a continuación:

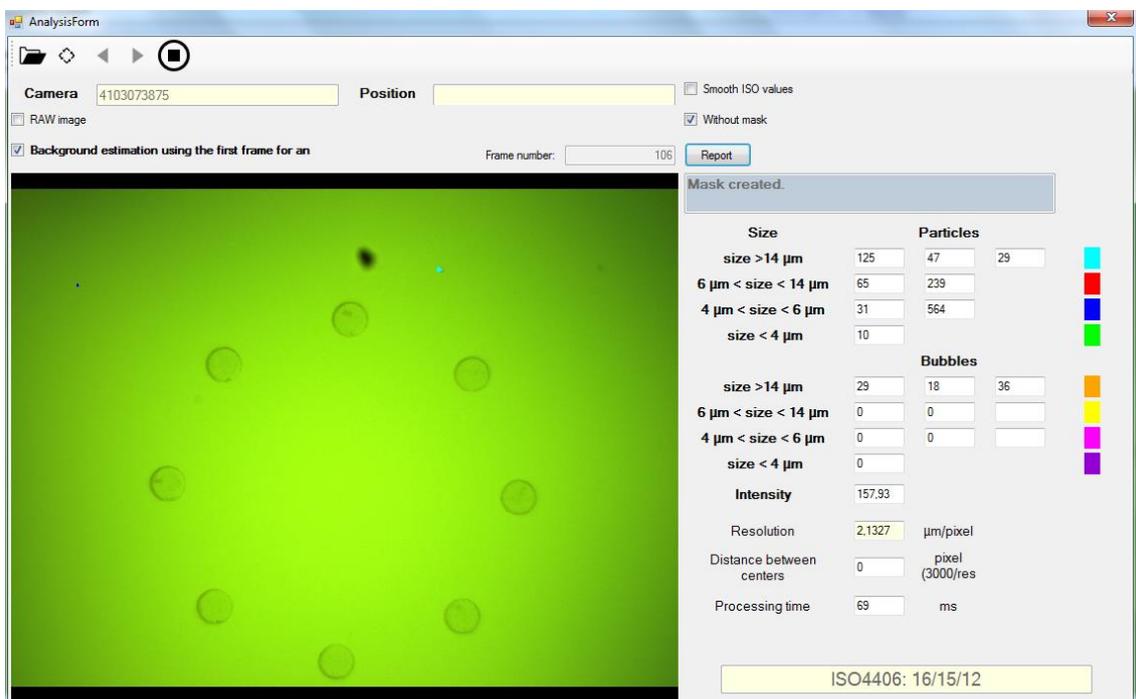


Con los resultados obtenidos en cuanto a las bajas cantidades de partículas contaminantes en el fluido, se puede determinar que se trata de un aceite lubricante “**muy limpio**”. Obteniendo los siguientes resultados:

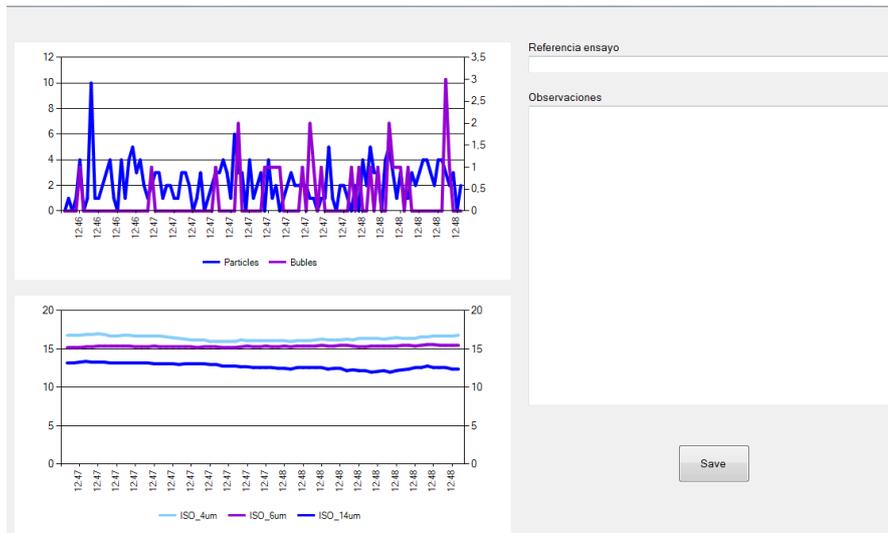
PRUEBA	Nº DE PARTÍCULAS/BURBUJAS ACUMULADAS EN TODAS LAS IMÁGENES PROCESADAS. (MICRAS - um)				Nº DE PARTÍCULAS / BURBUJAS POR ML			CÓDIGO DE LIMPIEZA OBTENIDO
	PARTÍCULAS (um)				PARTÍCULAS (um)			
REFERENCIA DEL CÓDIGO ISO 4406 - ACEITE LIMPIO	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	16/13/11
	325	170	171	88	22	46	396	
	BURBUJAS (um)				BURBUJAS (um)			
	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
	133	0	0	0	11	0	0	

5.3.3. Referencia del código ISO 4406 – Aceite almacenado

Para esta prueba se dejó una muestra de aceite lubricante nuevo sin cubrir durante tres meses en las instalaciones del laboratorio con el fin de saber cuánto se puede contaminar si no se almacena correctamente. Para esta prueba se ha utilizado un régimen de giro de 500 r.p.m. lo cual permite establecer un caudal constante del fluido (**tomar en cuenta que a altas velocidades de flujo, las partículas contaminantes pueden no estar presentes en el volumen de detección suficiente, el intervalo de tiempo que separa las partículas sucesivas puede ser tan pequeño que la electrónica del sensor es incapaz de distinguirlos como partículas individuales**). El fluido se analizó durante dos minutos, en una cantidad de 500 ml de fluido, como el aceite lubricante se considera nuevo el software presenta la respuesta del análisis en un tiempo < 1 minuto como en la prueba anterior de referencia del aceite limpio. Obteniendo los siguientes resultados:



Al finalizar el tiempo de análisis propuesto se obtiene el reporte por defecto del software para visualizar el comportamiento de las partículas por medio de los gráficos correspondientes, como se muestra a continuación:



También se da a conocer una tabla con los resultados de referencia del aceite lubricante almacenado.

PRUEBA	Nº DE PARTÍCULAS/BURBUJAS ACUMULADAS EN TODAS LAS IMÁGENES PROCESADAS.				Nº DE PARTÍCULAS / BURBUJAS POR ML			CÓDIGO DE LIMPIEZA OBTENIDO
REFERENCIA DEL CÓDIGO ISO 4406 - ACEITE ALMACENADO	PARTÍCULAS (um)				PARTÍCULAS (um)			16/15/12
	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
	125	65	31	10	47	239	564	
	BURBUJAS (um)				BURBUJAS (um)			
	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
	29	0	0	0	18	0	0	

Se considera que mientras más expuesto esté el fluido a un ambiente con condiciones contaminantes, mayor será el grado de contaminación del mismo, si no se almacena correctamente.

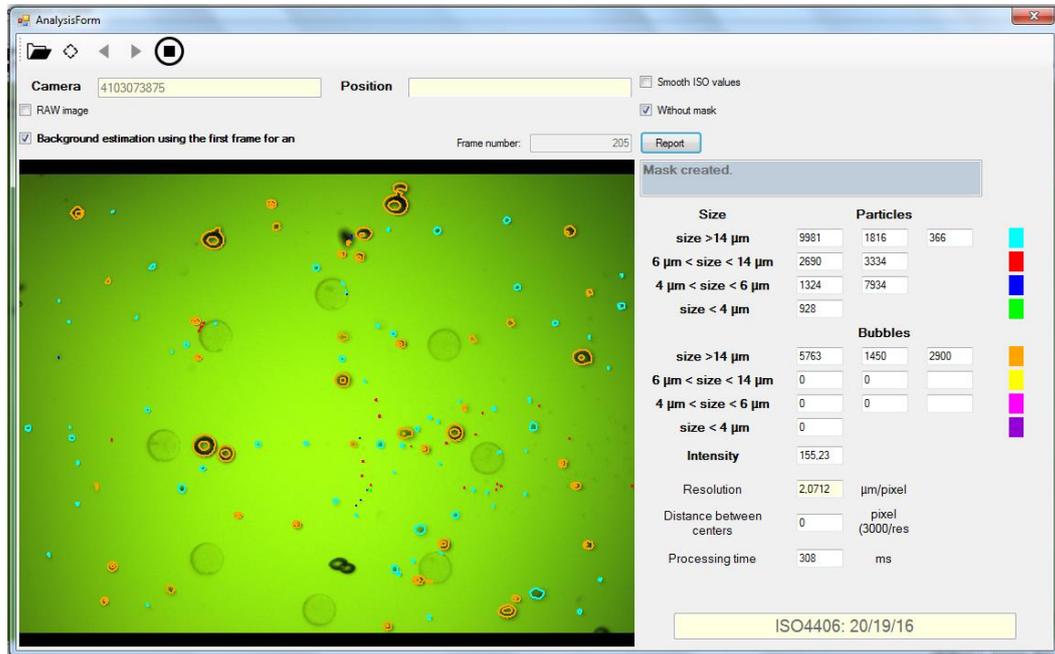
Con el código ISO 4406 obtenido en el análisis de la referencia del aceite lubricante nuevo almacenado durante tres meses, se puede determinar que se trata de un fluido **“muy limpio”** a pesar de estar descubierto un tiempo. Probablemente no estaba expuesto a agentes contaminantes dentro de las instalaciones del laboratorio (no existe mucha presencia de polvo).

5.3.4. Generación de burbujas

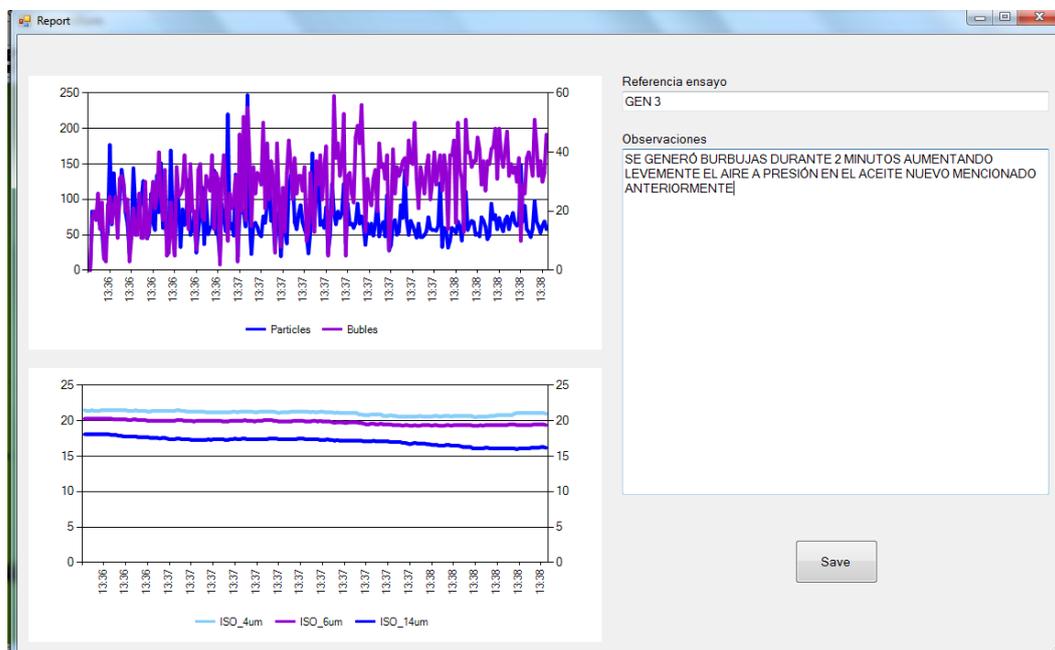
En esta prueba experimental se quiere comprobar si la generación de burbujas en el sistema tiene influencia sobre la alteración del código de limpieza ISO 4406, los parámetros tomados en cuenta para esta prueba son el ingreso de aire a presión (< 5 bar) dentro del recipiente que

contiene 500 ml de aceite lubricante, además se selecciona un régimen de giro de 500 r.p.m. para mantener un caudal constante, con un periodo de tiempo de análisis de dos minutos.

NOTA: Se realizaron varias pruebas aumentando gradualmente la presión de aire en el sistema, determinando que si mayor es la presión de aire, mayor es la alteración del código de limpieza ISO 4406. Como se muestra a continuación:



Posteriormente se muestra el reporte gráfico, en donde se nota claramente en la línea de color morado que existe un crecimiento desde el inicio hasta el final del análisis debido a la generación de burbujas, obteniendo los siguientes resultados:



Como se muestra en los resultados la generación de burbujas influye en la obtención del código ISO 4406, por lo tanto se considera que tenemos un fluido “sucio”

Nº DE PARTÍCULAS/BURBUJAS ACUMULADAS EN TODAS LAS IMÁGENES PROCESADAS. (MICRAS - μm)				Nº DE PARTÍCULAS / BURBUJAS POR ML			INDUCCIÓN DE AIRE A PRESIÓN < a 5 BAR (Minutos)	CÓDIGO DE LIMPIEZA OBTENIDO
PARTÍCULAS (μm)				PARTÍCULAS (μm)				
> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	2	20/19/16
9981	2690	1324	928	1816	3334	7934		
BURBUJAS (μm)				BURBUJAS (μm)				
> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6		
5763	0	0	0	1450	0	0		

5.3.5. Contaminación con 0.1 gramos

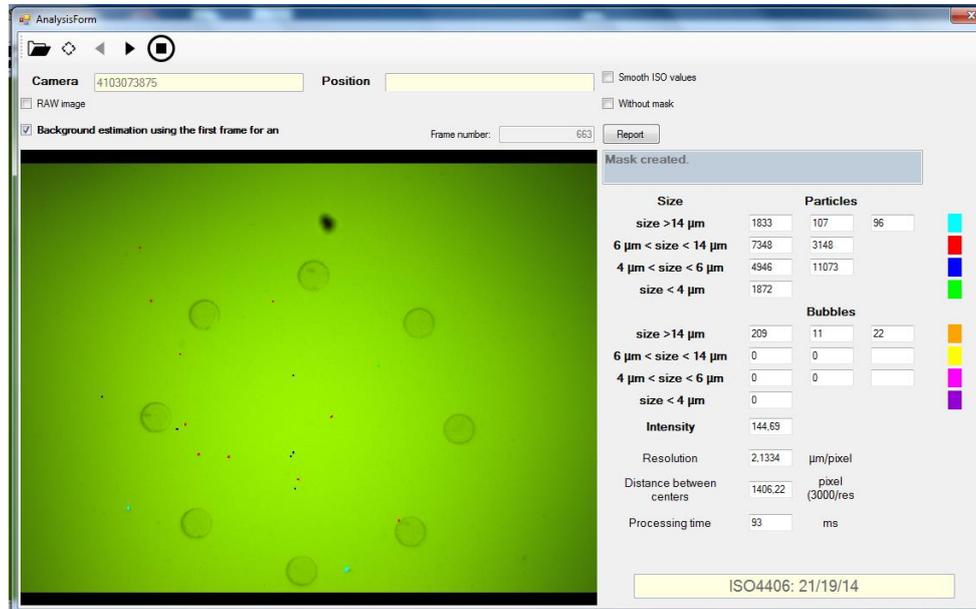
Para realizar esta prueba se ha pesado en una balanza 0.1 gramos de partículas de hierro < 10 μm , cabe recalcar que se realizaron pruebas a diferentes regímenes de giro (500 y 1000 r.p.m.) para verificar si dichos regímenes de giro alteran de manera considerable la obtención de resultados, por lo que en todas las pruebas se obtuvieron los mismos códigos ISO 4406 experimentando solamente cambios en las diferentes cantidades de partículas por ml, a continuación se muestra los resultados de las pruebas adicionales que se realizaron para verificar si la variación de ciertos parámetros como el régimen de giro y agitaciones manuales en el fluido, pueden variar considerablemente la obtención del código ISO 4406.

CONTAMINACIÓN CON 0.1 GRAMOS DE PARTÍCULAS DE HIERRO < 10 μm				
PRUEBA	PARTÍCULAS POR ML (μm)			CÓDIGO ISO 4406
	< 14 μm	< 6 μm	< 4 μm	
A 500 RPM	107	3148	11073	21/19/14
A 1000 RPM	129	4847	15047	21/19/14
CON AGITACIÓN MANUAL DE 2 MINUTOS A 500 RPM	159	4333	14008	21/19/14

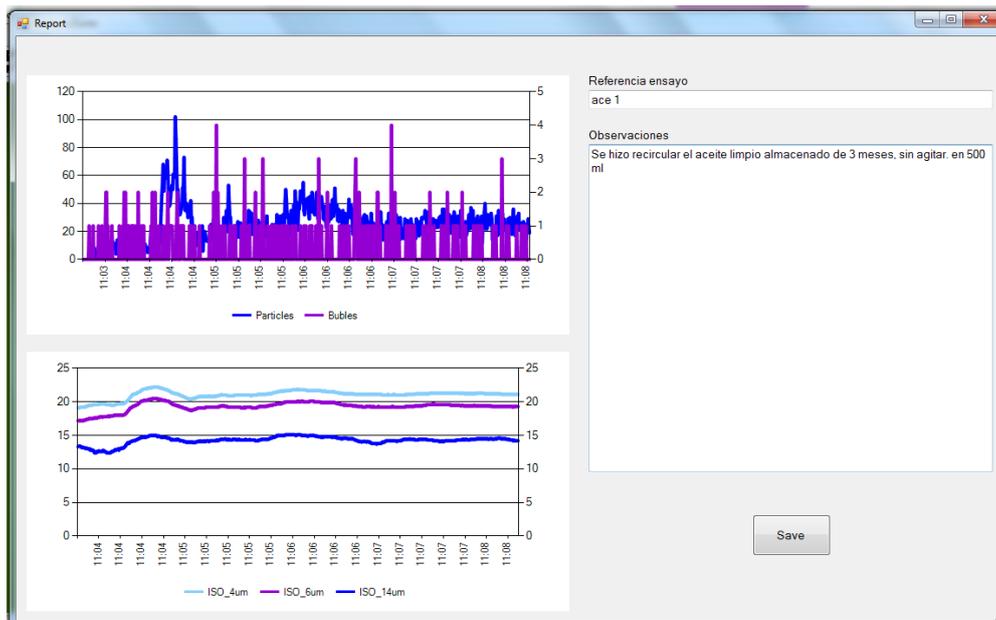
A demás se verificó las cantidades de partículas obtenidas en las pruebas experimentales, con las cantidades establecidas en los rangos de la tabla ISO 4406 para la comprobación de los códigos obtenidos. Como se muestra a continuación:

Número de partículas por ml		
Desde	Hasta	Rango de número
10000	20000	21
2500	5000	19
80	160	14

Para la prueba experimental con 0.1 gramos de agente contaminante, se seleccionó un régimen de giro de 500 r.p.m. en una muestra de 500 ml, con un tiempo de análisis de dos minutos. Obteniendo los siguientes resultados:



Posteriormente el reporte gráfico de los resultados que indican el comportamiento y las cantidades de partículas/burbujas procesadas en la última imagen del análisis, mostraron los siguientes resultados:



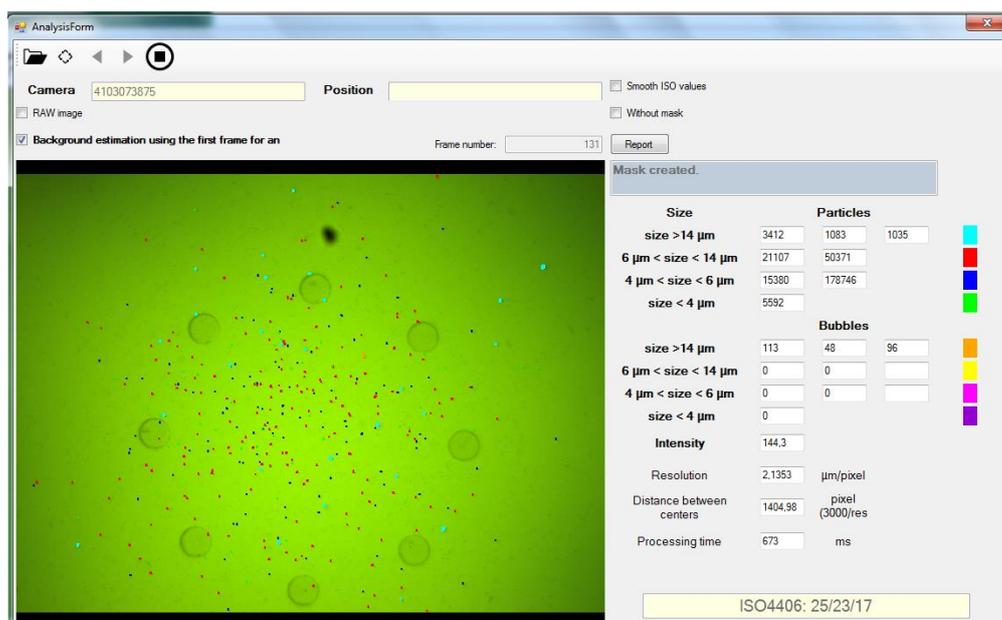
Según los resultados obtenidos se puede decir que la obtención del código ISO 4406 trata de un fluido “sucio”, además se muestra una tabla con la cuantificación de partículas y la obtención del código de limpieza.

Nº DE PARTÍCULAS/BURBUJAS ACUMULADAS EN TODAS LAS IMÁGENES PROCESADAS.				Nº DE PARTÍCULAS / BURBUJAS POR ML			CÓDIGO DE LIMPIEZA OBTENIDO
PARTÍCULAS (um)				PARTÍCULAS (um)			21/19/14
> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
1833	7348	4946	1872	107	3148	11073	
BURBUJAS (um)				BURBUJAS (um)			
> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
209	0	0	0	11	0	0	

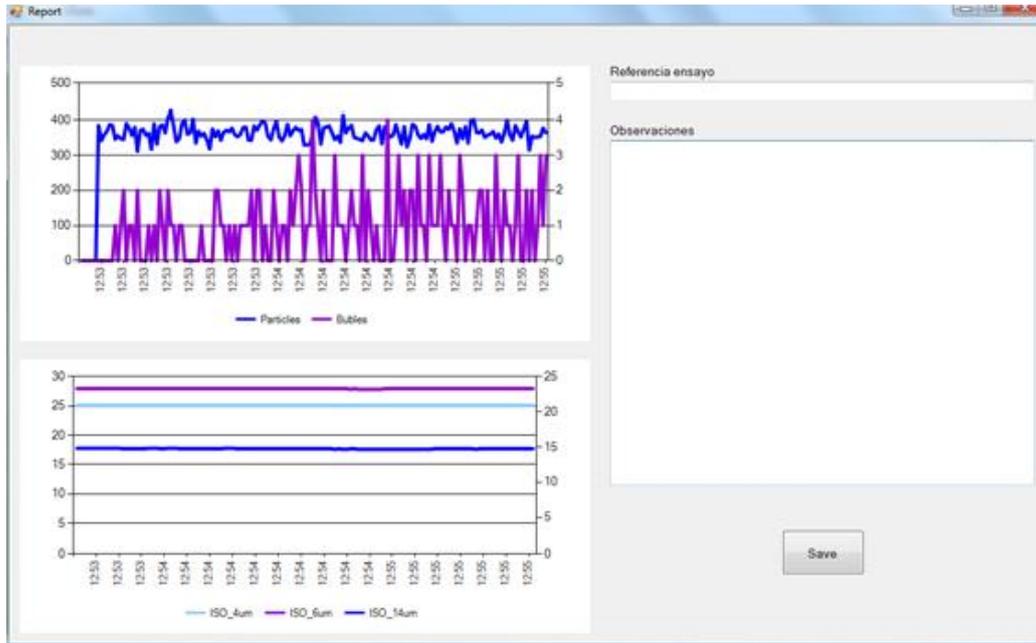
5.3.6. Contaminación con 0.2 gramos

Para esta prueba experimental se ha añadido 0.1 gramos más de partículas de hierro < 10 um a la muestra anterior, que suman una cantidad total de contaminación de 0.2 gramos, se ha seleccionado un régimen de giro de 500 r.p.m. con 500 ml de aceite lubricante y un análisis de tiempo de > 2 minutos.

En esta prueba y las que vienen a continuación se debe mencionar que el tiempo de análisis de la prueba ya no será de 2 minutos sino de un tiempo mayor, ya que a medida que se contamina el fluido aumenta el tiempo de respuesta (en este caso la respuesta se dio en un tiempo de 2:40 minutos) del equipo para la obtención del código ISO 4406, la cuantificación y clasificación de las partículas presentes en la muestra. Obteniendo los siguientes resultados:



Luego mediante el botón de "Report" se obtiene las gráficas características del análisis realizado con el comportamiento de las partículas en un periodo determinado de tiempo, como se muestra a continuación:

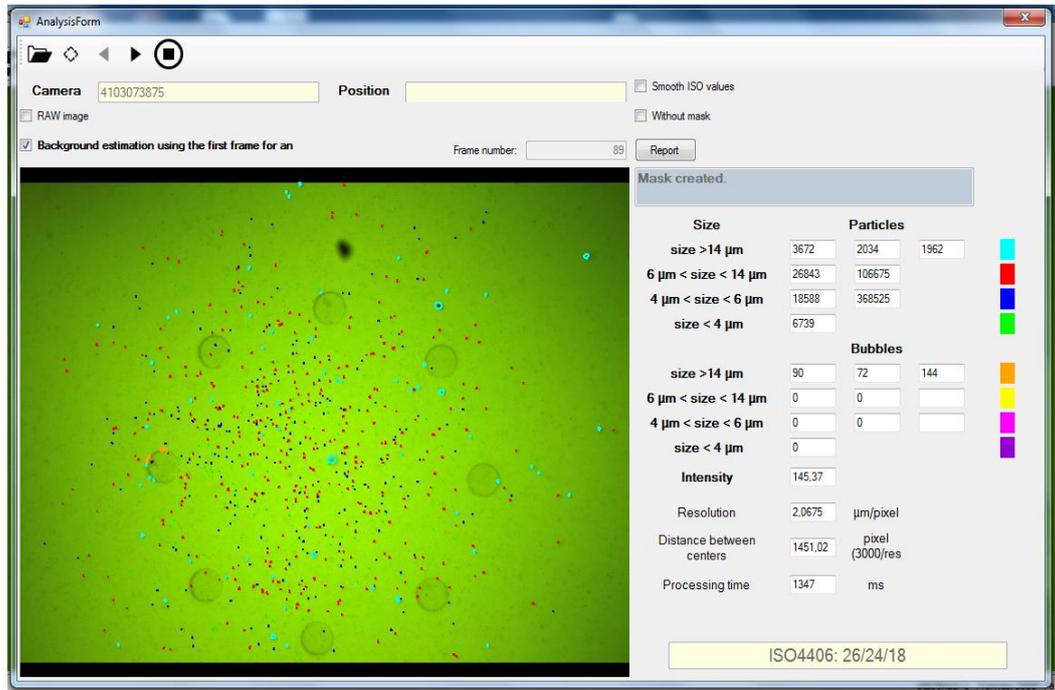


Mediante los resultados obtenidos se puede decir que se trata de un fluido **“muy sucio”**, por la cantidad de partículas que involucra cada código obtenido, sobretodo en el código referente a las partículas < 4 μm y < 6 μm . Además se muestra una tabla con la clasificación y cuantificación de partícula/burbujas, obtención del código ISO 4406 del presente análisis.

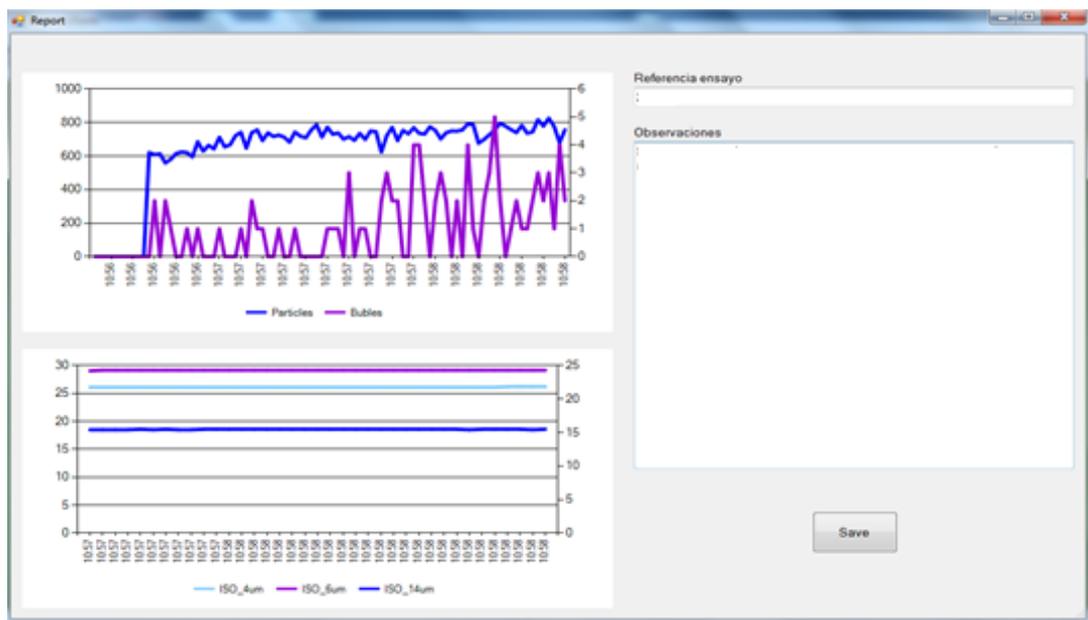
PRUEBA	Nº DE PARTÍCULAS/BURBUJAS ACUMULADAS EN TODAS LAS IMÁGENES PROCESADAS.				Nº DE PARTÍCULAS / BURBUJAS POR ML			CÓDIGO DE LIMPIEZA OBTENIDO
	PARTÍCULAS (μm)				PARTÍCULAS (μm)			
CONTAMINACIÓN CON 0.2 GRAMOS	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	25/23/18
	4197	24498	12508	5574	1485	60622	168047	
	BURBUJAS (μm)				BURBUJAS (μm)			
	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
	114	0	0	0	48	0	0	

5.3.7. Contaminación con 0.3 gramos

Para la siguiente prueba se ha añadido 0.1 gramos más al fluido de la prueba anterior, teniendo un total de 0.3 gramos de contaminación de partículas de hierro < 10 μm , para el análisis de conteo y clasificación de partículas en la nueva prueba experimental, operando con los mismos parámetros de volumen de muestra, régimen de giro y tiempo de análisis, obteniendo los siguientes resultados:



Posteriormente se obtiene el reporte gráfico de los resultados mediante “Report”, En la parte inicial de la gráfica se observa una parte lineal, eso significa que el software tardó en procesar los datos iniciales posiblemente por la cantidad de contaminación presente en el fluido, luego muestra el comportamiento de las partículas el análisis en la prueba experimental actual, como se muestra a continuación:

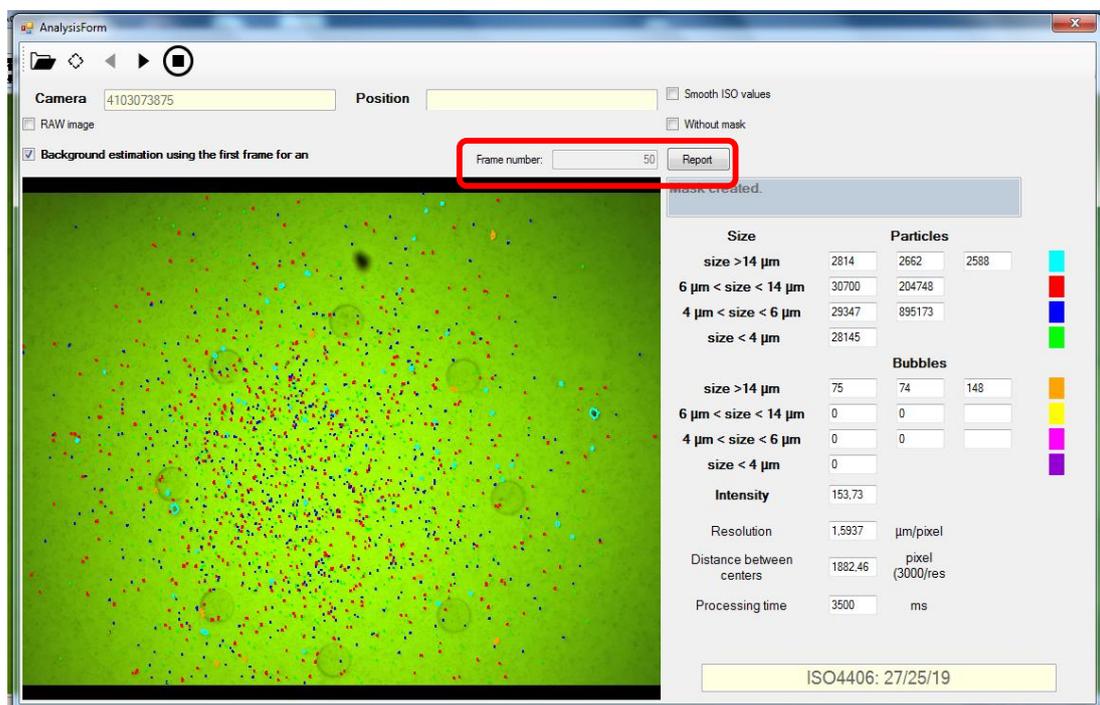


Según los resultados obtenidos se puede decir que la obtención del código ISO 4406 clasifica al fluido en “**muy sucio**”, además se muestra una tabla con la cuantificación de partículas y la obtención del código ISO 4406 para este caso.

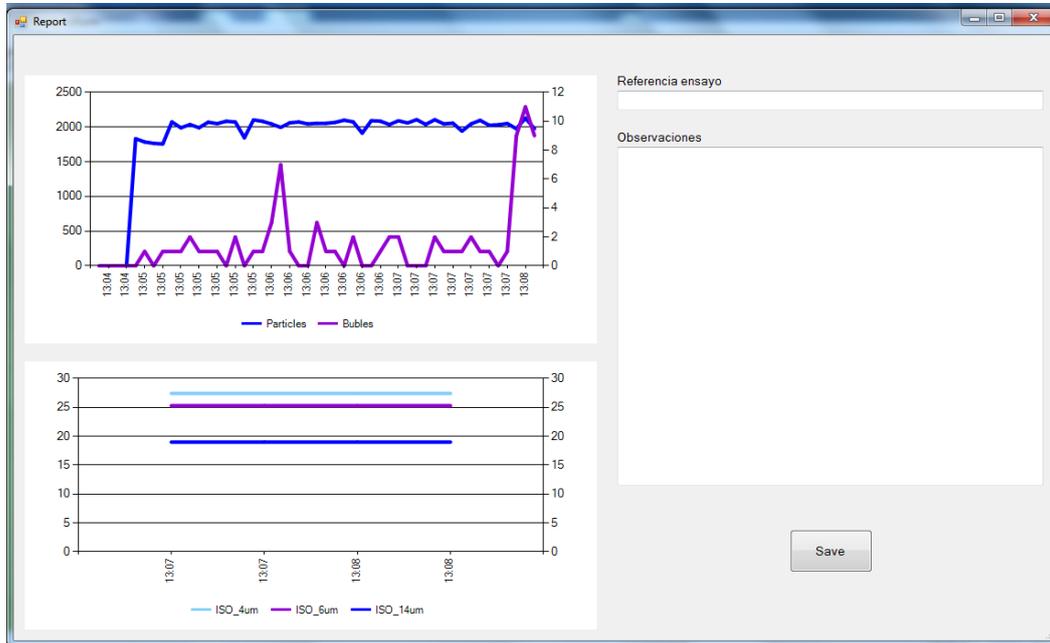
PRUEBA	Nº DE PARTÍCULAS/BURBUJAS ACUMULADAS EN TODAS LAS IMÁGENES PROCESADAS.				Nº DE PARTÍCULAS / BURBUJAS POR ML			CÓDIGO DE LIMPIEZA OBTENIDO
	PARTÍCULAS (um)				PARTÍCULAS (um)			
CONTAMINACIÓN CON 0.3 GRAMOS	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	26/24/18
	3672	26843	18588	6739	2034	106675	368525	
	BURBUJAS (um)				BURBUJAS (um)			
	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
	90	0	0	0	72	0	0	

5.3.8. Contaminación con 0.5 gramos

En esta prueba se ha añadido 0.2 gramos más al fluido de la prueba anterior, obteniendo en total una muestra contaminada con 0.5 gramos de partículas de hierro < 10 μm , se ha seleccionado al igual que las pruebas anteriores un régimen de giro de 500 r.p.m. con un volumen de fluido de 500 ml, durante un tiempo de análisis > 2 minutos por lo mencionado anteriormente en la contaminación con 0.2 gramos, en este caso la respuesta del análisis se dio aproximadamente a los 5 minutos, otro detalle es de que al llegar al “Número de Frame” 43 (en este caso en el frame 50, como se muestra en la pantalla de análisis del software marcado en un cuadro de color rojo) en adelante procede a dar la respuesta del código ISO 4406, el tiempo de llegada al número de frame depende de la cantidad de contaminación presente en el fluido si está limpio la respuesta se obtendrá en menos de 1 minutos caso contrario, la respuesta se obtendrá luego de 1 minuto de análisis. A continuación se muestra la obtención de los resultados de conteo y clasificación de partículas en la pantalla del software.



Al presionar el botón de reporte se muestra las gráficas características para esta prueba, observando en la parte inicial de la gráfica un efecto parecido al de la prueba anterior, esto debido a la cantidad de partículas contaminantes presente en el fluido y además se puede visualizar claramente los distintos comportamientos de las partículas/burbujas durante el proceso de análisis.



Visualizando los resultados del código ISO 4406 en este caso, se clasifica al fluido como **“muy sucio”**, por la cantidad de partículas existentes en cada código referente a los diferentes tamaños de partículas, como se muestra en la siguiente tabla.

PRUEBA	Nº DE PARTÍCULAS/BURBUJAS ACUMULADAS EN TODAS LAS IMÁGENES PROCESADAS.				Nº DE PARTÍCULAS / BURBUJAS POR ML			CÓDIGO DE LIMPIEZA OBTENIDO
	PARTÍCULAS (um)				PARTÍCULAS (um)			
CONTAMINACIÓN CON 0.5 GRAMOS	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	27/25/19
	2814	30700	29347	28145	2662	204748	895173	
	BURBUJAS (um)				BURBUJAS (um)			
	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
	75	0	0	0	74	0	0	

5.3.9. Contaminación con 1 gramo

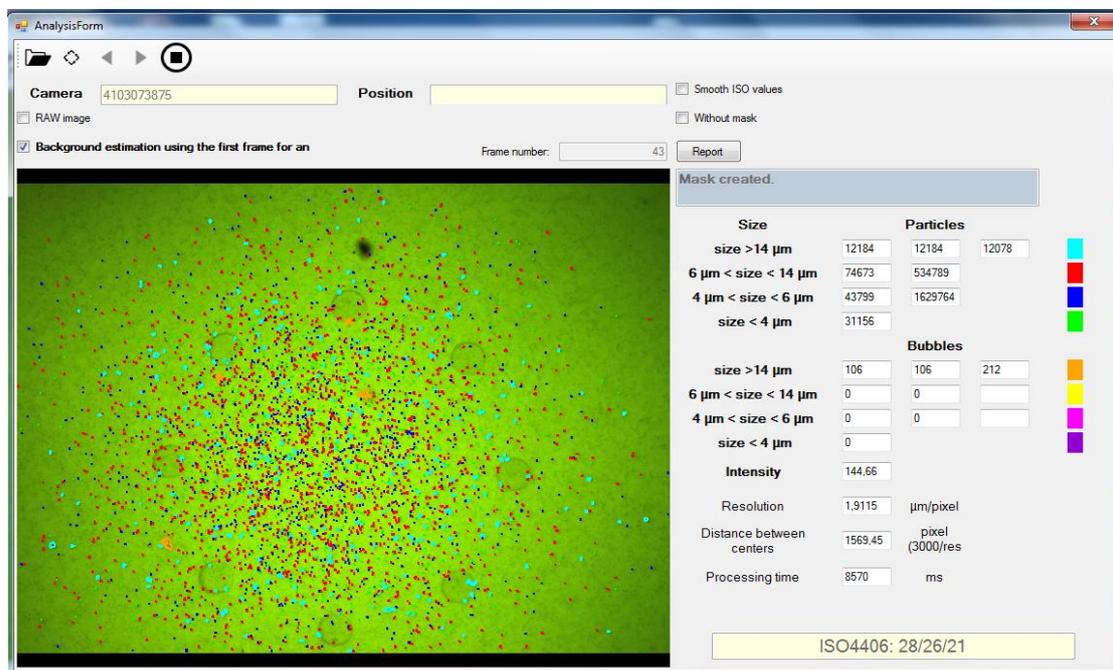
En esta prueba se ha añadido 0.5 gramos más al fluido de la prueba anterior, obteniendo una contaminación total de 1 gramo de partículas de hierro < 10 um en el fluido de prueba, que será la máxima cantidad de contaminación utilizada en este trabajo de conteo y clasificación de partículas.

Previo al análisis vale mencionar que se han realizado otros tipos de prueba como:

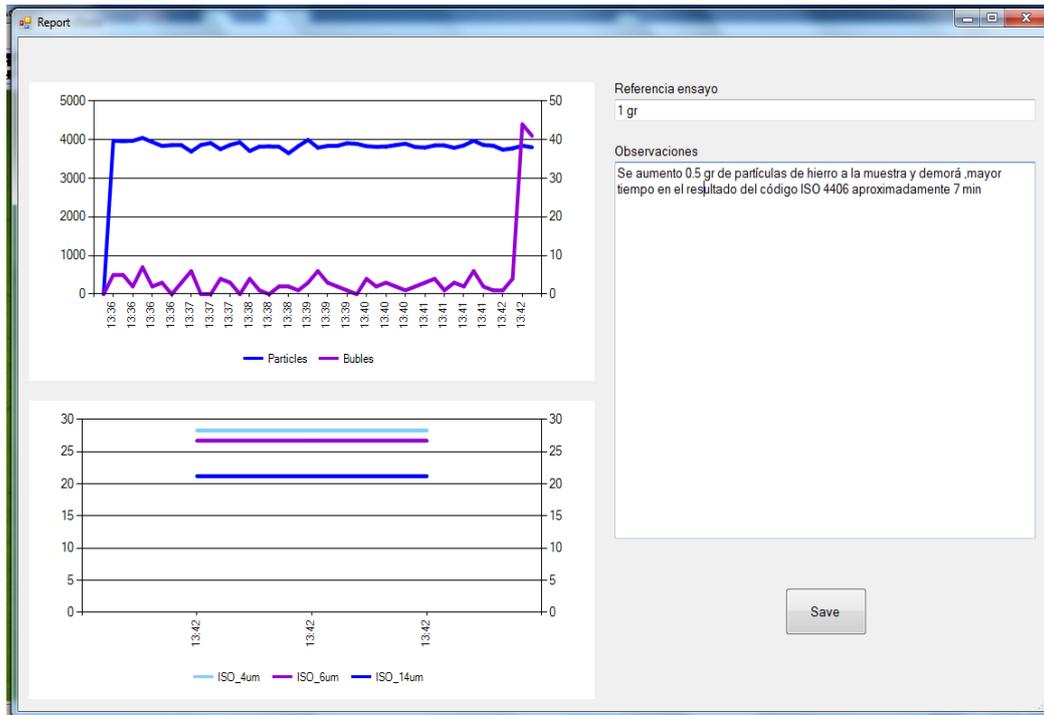
- Contaminación con una cantidad > 1 gramo en un volumen de fluido de 500 ml.
- Contaminación con 1 gramo de partículas de hierro en volúmenes < 200 ml.

Obteniendo respuestas del código ISO 4406 en tiempos de análisis muy largos (> 8 minutos) e incluso el sensor no analiza a la muestra por la dificultad de cuantificación del número de partículas procesadas en cada imagen, provocando que el software se congestione o simplemente no realice el conteo y clasificación de partículas.

Finalmente la prueba de contaminación con 0.1 gramos de partículas de hierro < 10 μm , se realizó con un régimen de giro de 500 r.p.m. en una cantidad de 500 ml, en recirculación del fluido. La respuesta de obtención del código ISO 4406 fue a los 7 minutos de análisis aproximadamente. Obteniendo los siguientes resultados según el software del sensor.



Y posteriormente el informe gráfico, mediante "Report" que muestra el comportamiento de las partículas/burbujas, en la prueba de elevada contaminación del fluido hidráulico.



Se ha podido observar que la contaminación gradual del fluido, provoca variaciones en ciertos parámetros del análisis y se observa una mayor concentración de partículas en los códigos referentes a $<4 <6 \mu\text{m}$ y $<6 <14 \mu\text{m}$.

También se realizó pruebas experimentales analizando el fluido un día después con las partículas asentadas en el fondo del bote obteniendo un código ISO 4406 parecido al de la contaminación con 0.1 gramos (21/19/14), pero al momento de realizar una agitación manual de 2 minutos previo al análisis, se vuelve a obtener el código ISO 4406 (28/26/21) igual al obtenido con 1 gramo de partículas de hierro $< 10 \mu\text{m}$ con variaciones pequeñas en las cantidades de partículas por ml.

El resultado del código ISO 4406 se lo clasifica como **“muy sucio”** por la cantidad de partículas obtenidas en cada código ISO 4406. A continuación se muestra una tabla con los datos de la prueba experimental.

PRUEBA	Nº DE PARTÍCULAS/BURBUJAS ACUMULADAS EN TODAS LAS IMÁGENES PROCESADAS. (MICRAS - μm)				Nº DE PARTÍCULAS / BURBUJAS POR ML			CÓDIGO DE LIMPIEZA OBTENIDO
	PARTÍCULAS (μm)				PARTÍCULAS (μm)			
CONTAMINACIÓN CON 1 GRAMO	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	28/26/21
	12184	74673	43799	31156	12184	534789	1629764	
	BURBUJAS (μm)				BURBUJAS (μm)			
	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
	106	0	0	0	106	0	0	

5.3.10. Comparación de los resultados. FASE I

En la Fase I, se ha propuesto realizar 9 pruebas experimentales, como se muestra en la figura 36 en donde el punto 1 representa al análisis del líquido de limpieza, el punto 2 y 3 son las referencias del aceite lubricante “**GALACTIC MAXIMA E6 5W30 SAPS**” sin contaminación, el punto 4 se refiere a la generación de burbujas y los puntos del 5 al 9 las pruebas contaminadas gradualmente con sus respectivas cantidades de partículas de hierro < 10 μm , como se muestra a continuación:

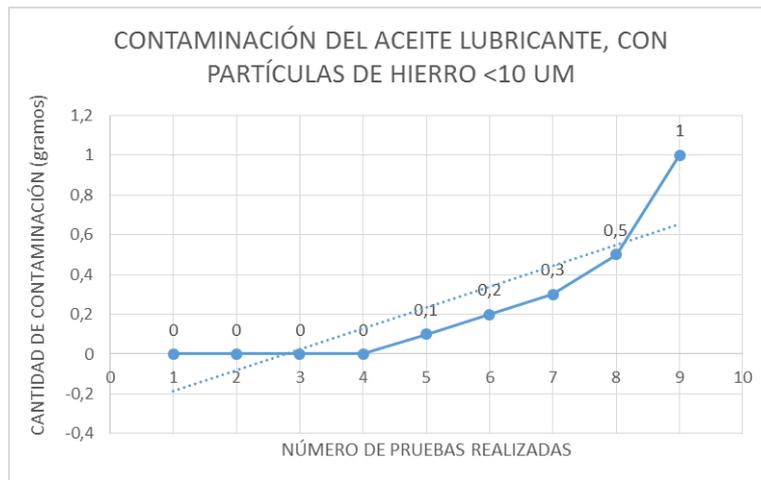


Figura 31. Número de pruebas VS Cantidad de contaminación (gr)

Luego se ha propuesto mostrar la comparación de la obtención del código ISO 4406 con respecto a la cantidad de los tipos de pruebas en la Fase I. En donde se podrá observar la variación de los códigos de limpieza desde las pruebas de referencia del aceite lubricante hasta el grado más alto de contaminación en las pruebas experimentales.

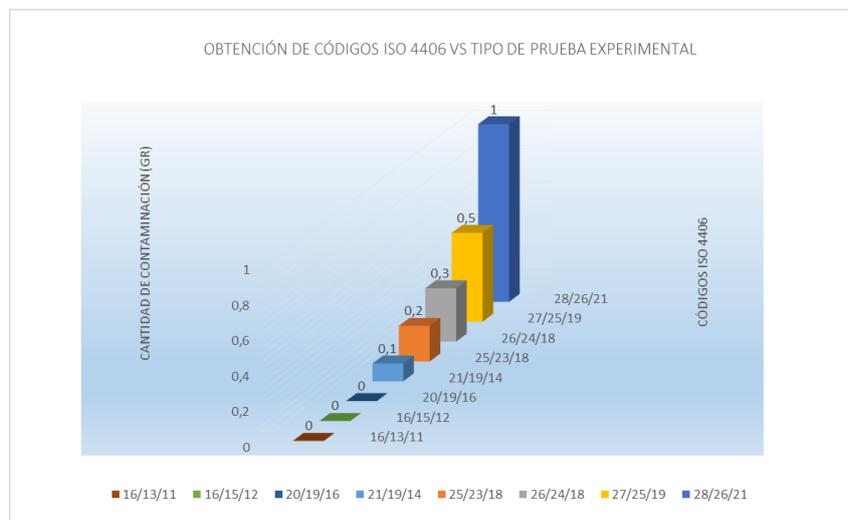


Figura 32. Obtención del código ISO 4406 VS Cantidad de tipos de pruebas

También se ha determinado los ratios, para conocer el salto de un código ISO 4406 inicial a otro más contaminado, por lo que se ha comparado las cantidades de partículas de los aceites lubricante contaminados gradualmente, con respecto a la cantidad de partículas del aceite lubricante limpio de referencia. Obteniendo el siguiente resultado:

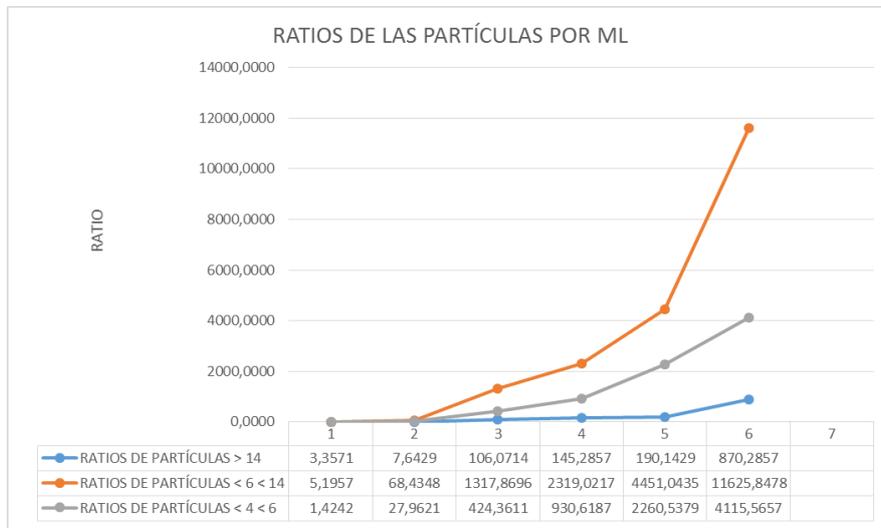


Figura 33. Ratios de partículas

Luego se ha realizado una tabla para la clasificación de los códigos ISO 4406 obtenidos en las pruebas experimentales dependiendo del grado de contaminación. Los parámetros considerados para la nomenclatura son, “muy limpio”, “limpio”, “sucio” y muy sucio” respectivamente. Se considera un valor referente para considerar a un fluido “limpio” con el código de limpieza ISO 4406, 18/16/14.

CLASIFICACIÓN DE LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES POR SU GRADO DE CONTAMINACIÓN				
DESCRIPCIÓN	MUY LIMPIO	LIMPIO	SUCIO	MUY SUCIO
		CÓDIGO DE LIMPIEZA ISO 4406, CONSIDERADO COMO UN FLUIDO LIMPIO		
FLUIDO LIMPIO		18/16/14		
LÍQUIDO DE LIMPIEZA (ÉTER DE PETRÓLEO)	16/14/10			
REFERENCIA - ACEITE LIMPIO	16/13/11			
REFERENCIA - ACEITE ALMACENADO	16/15/12			
GENERACIÓN DE BURBUJAS			20/19/16	
CONTAMINACIÓN CON 0.1 GRAMOS DE PARTÍCULAS DE FE <10 um			21/19/14	
CONTAMINACIÓN CON 0.2 GRAMOS DE PARTÍCULAS DE FE <10 um				25/23/18
CONTAMINACIÓN CON 0.3 GRAMOS DE PARTÍCULAS DE FE <10 um				26/24/18
CONTAMINACIÓN CON 0.5 GRAMOS DE PARTÍCULAS DE FE <10 um				27/25/19
CONTAMINACIÓN CON 1 GRAMOS DE PARTÍCULAS DE FE <10 um				28/26/21

Figura 34. Clasificación de las pruebas por su grado de contaminación

Finalmente se muestra una tabla resumen que contiene la cantidad de pruebas realizadas en la Fase I, los tipos de pruebas experimentales, resultados y obtención de los códigos de limpieza ISO 4406, para una mejor comprensión como se muestra a continuación:

TIPOS DE PRUEBAS - FASE I				
TIPO DE FLUIDO	AGENTE CONTAMINANTE	Nº PRUEBAS	DESCRIPCIÓN DE PRUEBAS	CÓDIGO ISO 4406
GALACTIC MAXIMA E6 5W30 SAPS	PARTÍCULAS DE HIERRO < 10 um	1	LÍQUIDO DE LIMPIEZA (ÉTER DE PETRÓLEO)	16/14/10
		2	REFERENCIA - ACEITE LIMPIO	16/13/11
		3	REFERENCIA - ACEITE ALMACENADO (3 MESES)	16/15/12
		4	GENERACIÓN DE BURBUJAS	20/19/16
		5	CONTAMINACIÓN CON 0,1 GRAMOS	21/20/15
		6	CONTAMINACIÓN CON 0,2 GRAMOS	25/23/18
		7	CONTAMINACIÓN CON 0,3 GRAMOS	26/24/18
		8	CONTAMINACIÓN CON 0,5 GRAMOS	27/25/19
		9	CONTAMINACIÓN CON 1 GRAMOS	28/26/21

Figura 35. Tipos de prueba. Fase I

5.4. TIPOS DE PRUEBAS. FASE II.

Para realizar las pruebas experimentales se ha propuesto los mismos parámetros mencionados al inicio del capítulo V, en la validación experimental.

Como en la Fase I, ya se mostró el procedimiento y la obtención de resultados mediante la aplicación del software, en la Fase II se mostrará solamente los resultados para evitar la repetitividad del proceso.

5.4.1. Referencia de la muestra con partículas de hierro < 10 μm

Para realizar las pruebas se ha utilizado el aceite lubricante para motor “**Repsol Elite Evolution Fuel Economy 5W30**” como se menciona en los tipos de pruebas anteriormente.

Como en esta fase se ha realizado las pruebas experimentales con dos tamaños de partículas (< 10 μm y < 44 μm). Primero se mostrará las pruebas realizadas con las partículas de hierro < 10 μm . A continuación el resultado de referencia de la muestra.

PRUEBA	Nº DE PARTÍCULAS/BURBUJAS ACUMULADAS EN TODAS LAS IMÁGENES PROCESADAS. (MICRAS - μm)				Nº DE PARTÍCULAS / BURBUJAS POR ML			CÓDIGO DE LIMPIEZA OBTENIDO
	PARTÍCULAS (μm)				PARTÍCULAS (μm)			
ANÁLISIS DEL CÓDIGO ISO 4406 DE REFERENCIA	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	16/14/10
	805	545	426	170	25	120	420	
	BURBUJAS (μm)				BURBUJAS (μm)			
	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
	516	0	0	0	18	0	0	

Obtenidos los resultados se clasifica al código ISO 4406 de referencia como un fluido “**muy limpio**”, por las bajas cantidades de partículas, a este aceite lubricante se lo usará como aceite de referencia para considerar “Encerado” el equipo.

Por otro lado se han creado gráficos que se enfocarán solamente a la comparación de las cantidades de partículas acumuladas con respecto a las cantidades de partículas por ml, como se muestra a continuación:

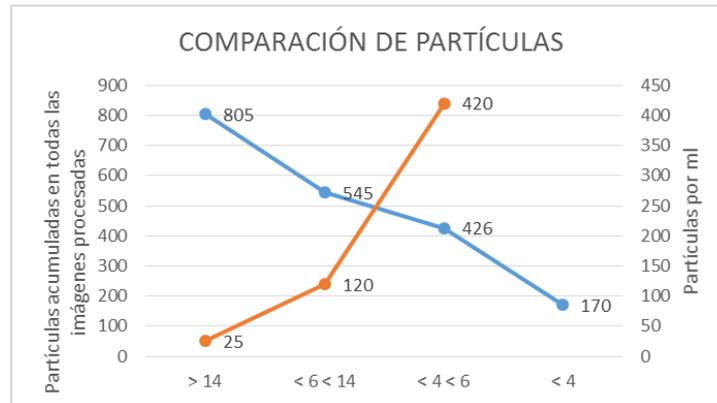


Figura 36. Comparación de las partículas. Referencia

5.4.2. Contaminación con 0.1 gramos

Luego de obtener la referencia de la muestra, se procede a contaminar el aceite lubricante con 0.1 gramos de partículas de hierro < 10 μm , obteniendo los siguientes datos:

PRUEBA	Nº DE PARTÍCULAS/BURBUJAS ACUMULADAS EN TODAS LAS IMÁGENES PROCESADAS. (MICRAS - μm)				Nº DE PARTÍCULAS / BURBUJAS POR ML			CÓDIGO DE LIMPIEZA OBTENIDO
	PARTÍCULAS (μm)				PARTÍCULAS (μm)			
CONTAMINACIÓN CON 0.1 GRAMOS	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	25/23/18
	3581	22130	15661	5710	1401	62376	213901	
	BURBUJAS (μm)				BURBUJAS (μm)			
	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
	72	0	0	0	37	0	0	

Con estos resultados y la obtención del código de limpieza se ha clasificado al fluido de esta prueba como **“muy sucio”**, por la cantidad de partículas en el fluido, posteriormente se realiza la comparación de las partículas acumuladas con respecto a las partículas por ml.

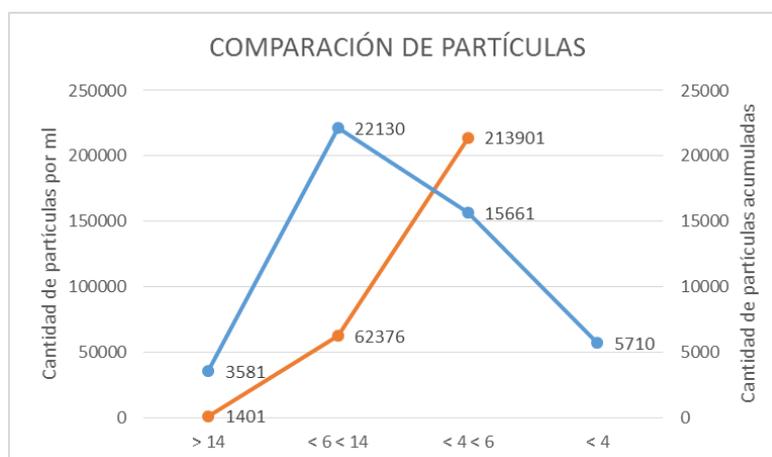


Figura 37. Comparación de las partículas, con 0.1 gr

5.4.3. Contaminación con 0.2 gramos

Al contaminar con una cantidad mayor de partículas de hierro el equipo empieza a mostrar el resultado en un tiempo mayor a un minuto, en la tabla siguiente se muestra los resultados del análisis con una contaminación de 0.2 gramos de partículas de hierro < 10 μm .

PRUEBA	Nº DE PARTÍCULAS/BURBUJAS ACUMULADAS EN TODAS LAS IMÁGENES PROCESADAS. (MICRAS - μm)				Nº DE PARTÍCULAS / BURBUJAS POR ML			CÓDIGO DE LIMPIEZA OBTENIDO
	PARTÍCULAS (μm)				PARTÍCULAS (μm)			
CONTAMINACIÓN CON 0.2 GRAMOS	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	26/24/18
	3303	26138	13223	11152	2030	117308	323708	
	BURBUJAS (μm)				BURBUJAS (μm)			
	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
	63	0	0	0	54	0	0	

Como se puede observar el código ISO 4406 es elevado en los tres códigos referentes a los diferentes tamaños de las partículas por lo que se ha determinado al fluido de esta prueba como **“muy sucio”**, a continuación se muestra la representación gráfica de las cantidades de partículas acumuladas respecto a las cantidades de partículas por ml.

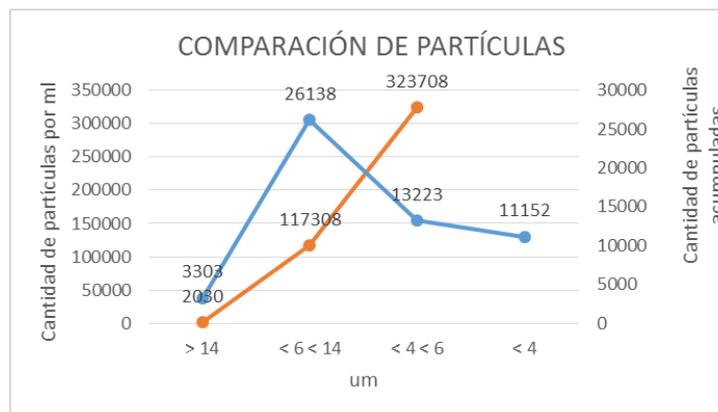


Figura 38. Comparación de partículas, con 0.2 gr

5.4.4. Contaminación con 0.5 gramos

Se ha realizado la prueba con una contaminación de 0.5 gramos de partículas de hierro < 10 μm , utilizando los parámetros de operación mencionados anteriormente al inicio del capítulo V, obteniendo los siguientes resultados.

PRUEBA	Nº DE PARTÍCULAS/BURBUJAS ACUMULADAS EN TODAS LAS IMÁGENES PROCESADAS. (MICRAS - μm)				Nº DE PARTÍCULAS / BURBUJAS POR ML			CÓDIGO DE LIMPIEZA OBTENIDO
	PARTÍCULAS (μm)				PARTÍCULAS (μm)			
CONTAMINACIÓN CON 0.5 GRAMOS	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	27/25/20
	7404	40221	26977	9661	6468	252855	844955	
	BURBUJAS (μm)				BURBUJAS (μm)			
	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
	64	0	0	0	62	0	0	

Se ha obtenido un código ISO 4406 elevado, que indica una gran cantidad de partículas en los tres códigos referentes a los tamaños de partículas. Por lo que se considera un fluido **“muy sucio”**, a continuación se muestra la figura con la comparación de partículas acumuladas con respecto a las partículas por ml.

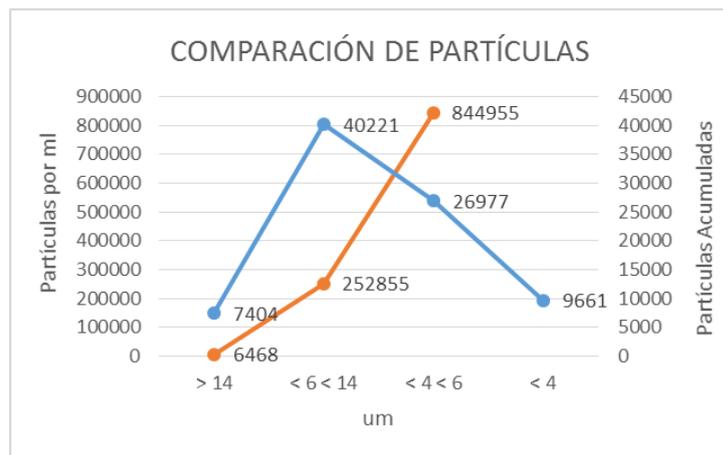


Figura 39. Comparación de partículas, con 0.5 gr

5.4.5. Contaminación con 1 gramo

En esta prueba se ha añadido 0.5 gramos más de partículas contaminantes a la muestra de la prueba anterior, con el fin de demostrar el aumentar del código ISO 4406 al aumentar la cantidad de contaminación en la muestra de fluido hidráulico, obteniendo los siguientes resultados en un tiempo > 5 minutos por la cantidad de partículas contaminantes en el fluido. Obteniendo los siguientes resultados

PRUEBA	Nº DE PARTÍCULAS/BURBUJAS ACUMULADAS EN TODAS LAS IMÁGENES PROCESADAS. (MICRAS - μm)				Nº DE PARTÍCULAS / BURBUJAS POR ML			CÓDIGO DE LIMPIEZA OBTENIDO
	PARTÍCULAS (μm)				PARTÍCULAS (μm)			
CONTAMINACIÓN CON 1 GRAMO	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	28/26/21
	17456	73627	46495	17244	16233	495912	1582962	
	BURBUJAS (μm)				BURBUJAS (μm)			
	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
	178	0	0	0	171	0	0	

Dados los resultados se ha clasificado al fluido de esta prueba como **“muy sucio”** por la cantidad de partículas en cada código referentes a los tamaños de partículas con respecto a la cantidad de partículas obtenidas en el análisis de referencia, luego se ha creado un gráfico de comparación de las partículas acumuladas con respecto a las partículas por ml, como se muestra a continuación.

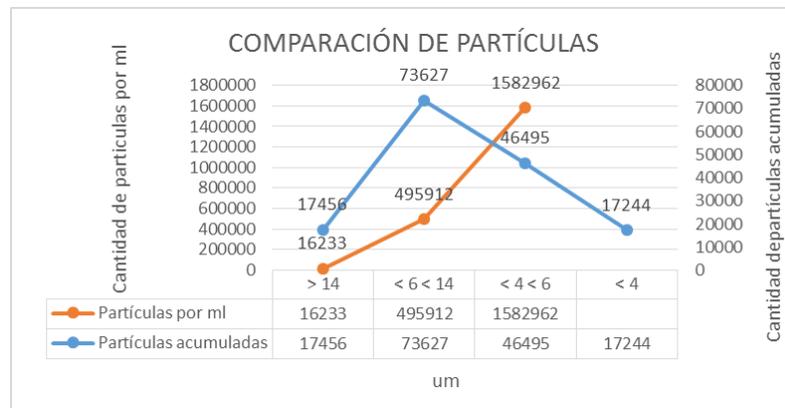


Figura 40. Comparación de partículas, con 1 gr

5.4.6. Comportamiento de las partículas en una hora de análisis

En esta prueba experimental se ha estudiado el comportamiento de las partículas durante un periodo de tiempo, en donde las partículas de los diferentes tamaños tienden a asentarse en el fondo del bote. En este caso se presenta dos tablas de resultados del conteo y clasificación de las partículas, la primera se refiere a los datos obtenidos en la respuesta del código ISO 4406 (tiempo > 5 min) y la segunda tabla se refiere a los datos obtenidos al finalizar el análisis (1h:12 min). Como se puede observar en las tablas de obtención de datos, las partículas de cada tamaño tienden a disminuir con el paso del tiempo, aunque no experimentan un salto de un código a otro, se puede apreciar la disminución de partículas en cada uno, como se muestra a continuación.

PRUEBA	Nº DE PARTÍCULAS/BURBUJAS ACUMULADAS EN TODAS LAS IMÁGENES PROCESADAS. (MICRAS - um)				Nº DE PARTÍCULAS / BURBUJAS POR ML			CÓDIGO DE LIMPIEZA OBTENIDO
	PARTÍCULAS (um)				PARTÍCULAS (um)			
COMPORTAMIENTO DE LAS PARTÍCULAS EN UNA HORA DE ANÁLISIS - INICIO	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	27/26/21
	15950	93224	42217	36179	11332	479497	1238097	
	BURBUJAS (um)				BURBUJAS (um)			
	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
	511	0	0	0	492	0	0	

Luego se muestra la tabla con la obtención de datos al finalizar el periodo de análisis.

PRUEBA	Nº DE PARTÍCULAS/BURBUJAS ACUMULADAS EN TODAS LAS IMÁGENES PROCESADAS. (MICRAS - um)				Nº DE PARTÍCULAS / BURBUJAS POR ML			CÓDIGO DE LIMPIEZA OBTENIDO
	PARTÍCULAS (um)				PARTÍCULAS (um)			
COMPORTAMIENTO DE LAS PARTÍCULAS EN UNA HORA DE ANÁLISIS - FINAL	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	27/26/20
	132754	936303	443245	381016	6741	383298	1050223	
	BURBUJAS (um)				BURBUJAS (um)			
	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
	12192	0	0	0	617	0	0	

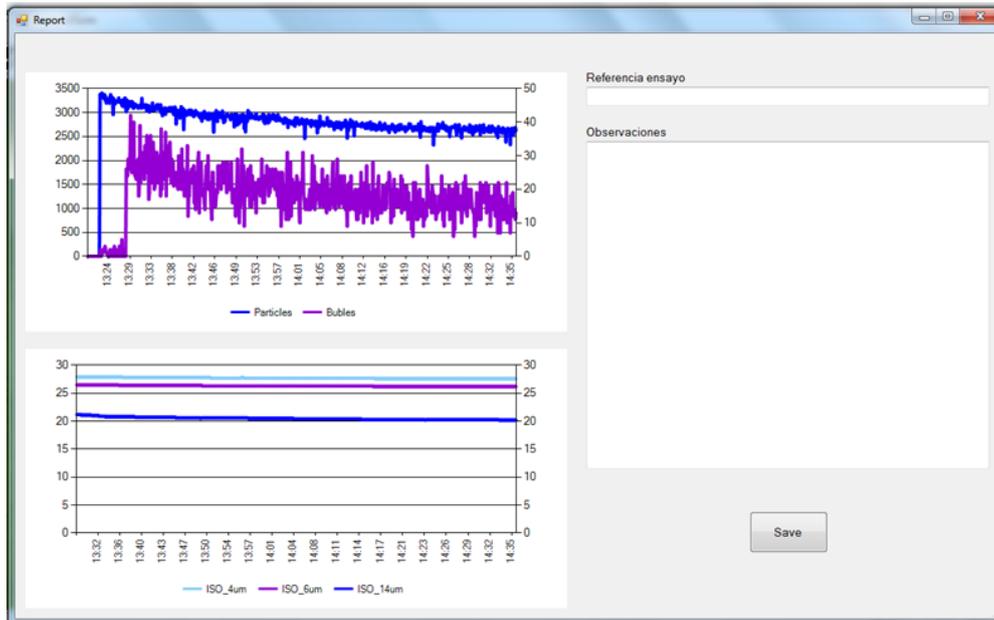
Dados los resultados se puede determinar que el código ISO 4406 obtenido al inicio y al final del periodo de análisis, se consideran como un fluido **“muy sucio”** por la cantidad de partículas presentes en el código de limpieza.

Luego se ha realizado una tabla más detallada que muestra las diferentes cantidades de partículas en determinados tiempos de análisis, en donde se toma en cuenta lo **“frames”** que son cuadros procesados en ese tiempo de análisis, que nos ayuda como referencia para mostrar la continuidad del conteo y clasificación de las partículas. Por lo que en la siguiente tabla se puede apreciar de mejor manera el comportamiento de cada tamaño de partículas por ml durante el periodo de análisis.

FRAME	TIEMPO DE ANÁLISIS (MIN)	CANTIDAD DE PARTÍCULAS ACUMULADAS EN TODAS LAS IMÁGENES PROCESADAS				CANTIDAD DE PARTÍCULAS POR ML			CÓDIGO ISO 4406	OBSERVACIONES
61	5:33 min	PARTÍCULAS (um)				PARTÍCULAS (um)			27/26/21	RESPUESTA EN EL INICIO DE ANÁLISIS
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6		
		15950	93224	42217	36117	11332	479497	1238097		
		BURBUJAS				BURBUJAS				
	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6			
	511	0	0	0	492	0	0			
139	15:20 min	PARTÍCULAS (um)				PARTÍCULAS (um)			27/26/20	DISMINUYERON LA PARTÍCULAS MAYORES DE 14 UM.
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6		
		30812	188624	85915	73836	9993	458606	1192756		
		BURBUJAS				BURBUJAS				
	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6			
	2181	0	0	0	1123	0	0			
250	28:35 min	PARTÍCULAS (um)				PARTÍCULAS (um)			27/26/20	SE SIGUE NOTANDO LA DISMINUCIÓN DE PARTÍCULAS
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6		
		54582	350521	161354	138936	8713	430286	1138336		
		BURBUJAS				BURBUJAS				
	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6			
	4592	0	0	0	919	0	0			
361	41:00 min	PARTÍCULAS (um)				PARTÍCULAS (um)			27/26/20	SE SIGUE NOTANDO LA DISMINUCIÓN DE PARTÍCULAS
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6		
		76755	506914	235184	202399	8082	414710	1103335		
		BURBUJAS				BURBUJAS				
	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6			
	6794	0	0	0	793	0	0			
687	1h12min	PARTÍCULAS (um)				PARTÍCULAS (um)			27/26/20	PARADA DEL ANÁLISIS, SE PUEDE VER LA DISMINUCIÓN DE LAS PARTÍCULAS POR ML AL PASAR DEL TIEMPO, DEBIDO A QUE LAS PARTÍCULAS TIENDEN A CAER POR GRAVEDAD AL FONDO. LO QUE DETERMINA QUE PARA LA REALIZACIÓN DE LAS PRUEBAS SE DEBE TOMAR EN CUENTA UNA BUENA HOMOGENEIDAD DE LA MUESTRA
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6		
		132754	936303	443245	381016	6741	383298	1050223		
		BURBUJAS				BURBUJAS				
	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6			
	12192	0	0	0	617	0	0			

Figura 41. Comportamiento de las partículas durante una hora de análisis

Luego se muestra el Informe gráfico por defecto del software, en donde se puede apreciar que las líneas de partículas (azul) y burbujas (morado) de la gráfica superior, tienden a disminuir durante el periodo de análisis.



Para verificar que el código ISO 4406 es correcto, se ha comparado las cantidades de partículas obtenidas en cada código referente a los diferentes tamaños de partículas, con los rangos de los códigos de la tabla normalizada ISO 4406, para garantizar que las cantidades de partículas obtenidas están dentro del rango correspondiente del código ISO 4406. Como se muestra a continuación.

Número de partículas por ml		
Desde	Hasta	Rango de número
2500000		>28
1300000	2500000	28
640000	1300000	27
320000	640000	26
160000	320000	25
80000	160000	24
40000	80000	23
20000	40000	22
10000	20000	21
5000	10000	20

PARTÍCULAS POR ML (um)			
> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
11332	479497	1238097	27/26/21
PARTÍCULAS (um)			
> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
9993	458606	1192756	27/26/20
PARTÍCULAS (um)			
> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
8713	430286	1138336	27/26/20
PARTÍCULAS (um)			
> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
8082	414710	1103335	27/26/20
PARTÍCULAS (um)			
> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
6741	383298	1050223	27/26/20

En esta prueba también se ha planteado graficar el comportamiento de cada tamaño de partículas, > 14 um, <6 < 14 um, < 4 < 6 um, para poder visualizar de mejor manera la variación de las cantidades de partículas.

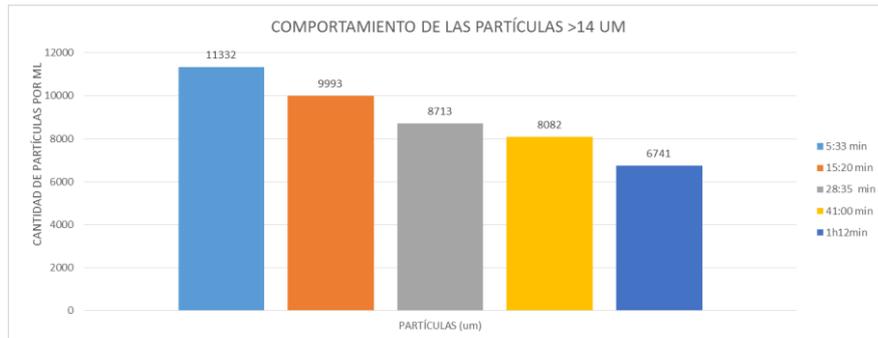


Figura 42. Comportamiento de las partículas >14 um

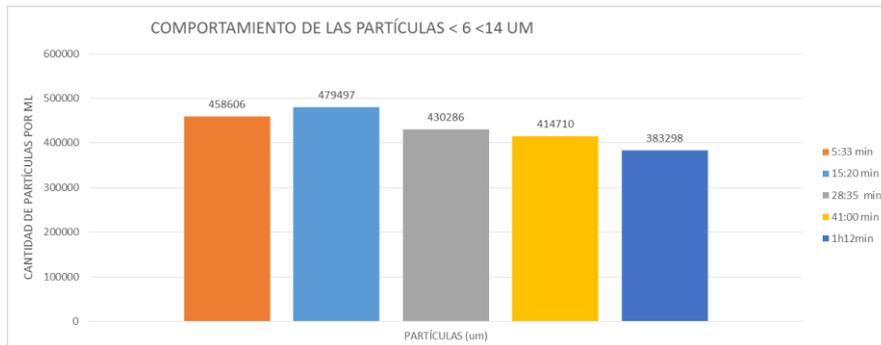


Figura 43. Comportamiento de las partículas < 6 < 14 um

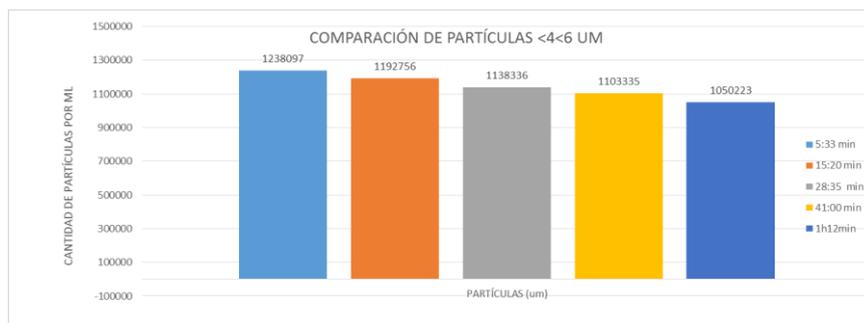


Figura 44. Comportamiento de las partículas <4 < 6 um

Se puede observar que en la gráfica de las partículas > 14 um, tienden a disminuir de manera más notable, esto se debe a la gravedad ya que por ser de mayor tamaño tienden a asentarse más rápido que las partículas de menor tamaño. En la gráfica de las partículas < 6 < 14 um, se puede ver que la variación es menos notable e incluso en el tiempo de 15:20 minutos tiende a ser mayor la cantidad de partículas en ese tiempo, que la cantidad de partículas en la respuesta, posiblemente se generó burbujas en el fluido por el retorno al recipiente, pero luego las partículas tienden a disminuir con el pasar del tiempo. Mientras que en la gráfica de <4 < 6 um, se observa el asentamiento de las partículas en cada tiempo establecido del análisis.

También se ha realizado un gráfico de la variación de las cantidades de burbujas por ml > 14 μm . Aquí se puede corroborar que el aumento de las partículas $< 6 < 14$ μm en el tiempo de 15:20 min han aumentado porque se ha generado en ese tiempo establecido una mayor cantidad de burbujas como se muestra en la figura 45, en el mismo tiempo.



Figura 45. Comparación de las burbujas > 14 μm

Luego se ha creado un gráfico que muestra los saltos entre las cantidades de partículas por ml obtenidas en respuesta con respecto a las cantidades de partículas por ml obtenidas en cada parámetro de tiempo establecido en el análisis, para los tres tamaños de partículas. Obteniendo los siguientes resultados.

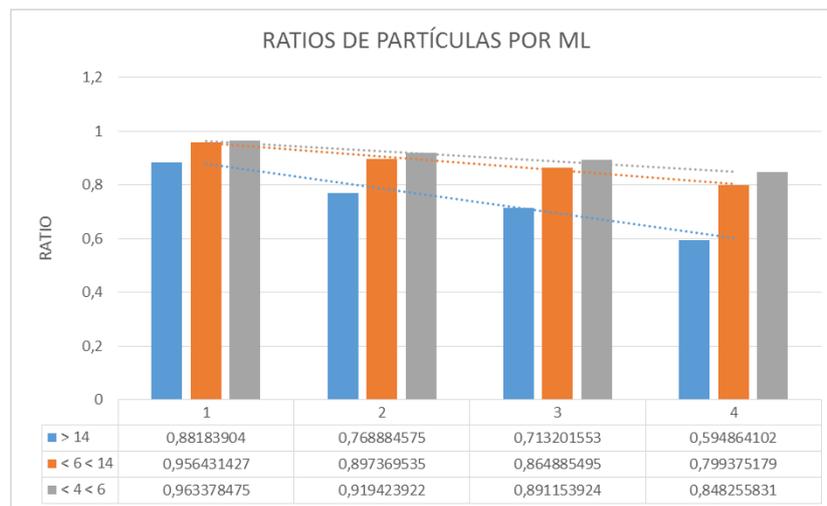


Figura 46. Ratios de partículas

Finalmente se ha creado una representación gráfica general que muestran las cantidades de partículas en cada parámetro de tiempo establecido en el proceso de análisis y el comportamiento de las mismas a medida que pasa el tiempo, como se muestra en la figura 47.

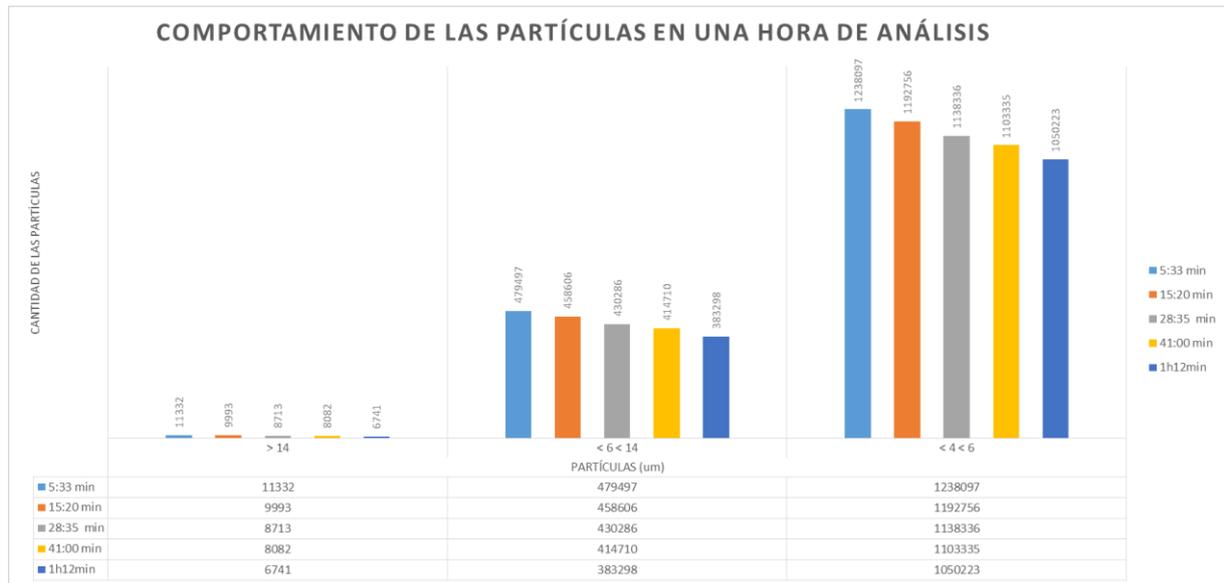


Figura 47. Comportamiento de las partículas en una hora de análisis

5.4.6. Partículas asentadas en el fondo del bote y luego con agitación manual de dos minutos, previo al análisis.

En esta prueba se ha dejado la muestra en reposo durante un día, con el fin de conseguir que las partículas contaminantes se asienten en el fondo del bote y analizar el fluido hidráulico para la obtención del código ISO 4406, posteriormente se realizó un nuevo análisis de la muestra pero con una agitación manual de dos minutos, previo al análisis con el objetivo de mezclar y tratar de homogeneizar la muestra, es decir suspender las partículas contaminantes en el fluido hidráulico para la comparación de resultados entre ambas pruebas.

La primera tabla de resultados se refiere a la muestra analizada en reposo, con las partículas asentadas en el fondo del bote, obteniendo así los siguientes resultados.

PRUEBA	Nº DE PARTÍCULAS/BURBUJAS ACUMULADAS EN TODAS LAS IMÁGENES PROCESADAS. (MICRAS - um)				Nº DE PARTÍCULAS / BURBUJAS POR ML			CÓDIGO DE LIMPIEZA OBTENIDO
	PARTÍCULAS (um)				PARTÍCULAS (um)			
PARTÍCULAS ASENTADAS EN EL FONDO DEL BOTE	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	24/22/16
	1547	13330	14334	5753	468	29750	141375	
	BURBUJAS (um)				BURBUJAS (um)			
	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
	60	0	0	0	27	0	0	

La segunda tabla se refiere a la prueba con agitación manual, obteniendo los siguientes resultados.

PRUEBA	Nº DE PARTÍCULAS/BURBUJAS ACUMULADAS EN TODAS LAS IMÁGENES PROCESADAS. (MICRAS - um)				Nº DE PARTÍCULAS / BURBUJAS POR ML			CÓDIGO DE LIMPIEZA OBTENIDO
	PARTÍCULAS (um)				PARTÍCULAS (um)			
AGITACIÓN MANUAL DE DOS MINUTOS, PREVIO AL ANÁLISIS	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	28/26/21
	12928	75371	47576	17490	10575	443595	1419095	
	BURBUJAS (um)				BURBUJAS (um)			
	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
	264	0	0	0	252	0	0	

Obtenidos los datos de la prueba experimental se considera que el fluido hidráulico en reposo de partículas asentadas en el fondo del bote es un fluido **“sucio”** por la elevada cantidad de partículas en los códigos de limpieza referente a las partículas $<4 < 6$ um y el fluido con agitación manual de dos minutos previo al análisis **“muy sucio”** por la elevada cantidad de partículas en los tres códigos de referencia.

Se ha realizado una representación gráfica del comportamiento de las partículas en reposo con respecto a las partículas con agitación manual previa al análisis, en donde claramente se puede observar un salto considerable entre las cantidades de partículas por ml. Por lo que se recomienda agitar bien el fluido hidráulico, para conseguir homogeneizar la mezcla y así garantizar el análisis de conteo y clasificación de partículas.

En este caso al agitar manualmente por dos minutos previo al análisis, se vuelve a obtener el código ISO 4406 obtenido en la prueba experimental con una contaminación de 0.1 gramos de partículas de hierro < 10 um.

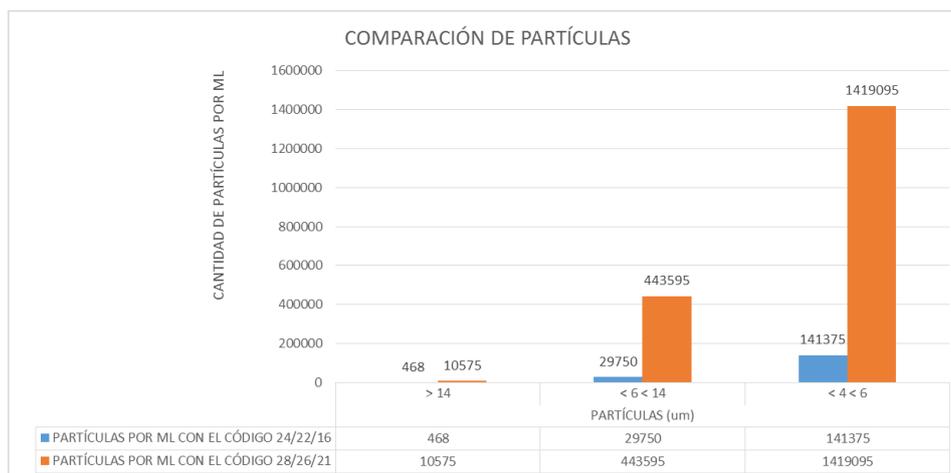


Figura 48. Comparación de partículas en reposo VS agitación manual previa al análisis

Luego se ha creado una representación gráfica que muestra los saltos de las cantidades de partículas en cada tamaño de los códigos de limpieza ISO 4406, partiendo de la referencia a cada grado de contaminación gradual.

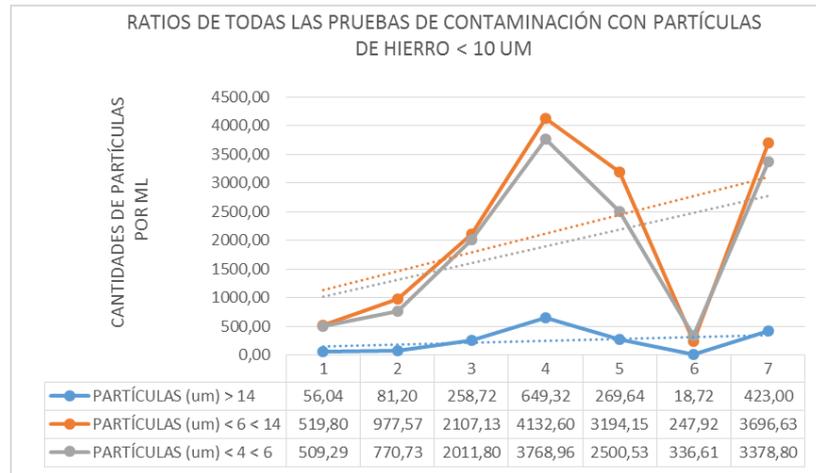


Figura 49. Ratios de partículas de las pruebas experimentales con partículas de hierro < 10 um

Además se ha realizado una tabla con el resumen de las pruebas y resultados obtenidos, como se muestra a continuación:

TIPO DE ACEITE	AGENTE CONTAMINANTE	Nº PRUEBAS	DESCRIPCIÓN DE PRUEBAS	CÓDIGO ISO 4406		
REPSOL ELITE EVOLUTION FUEL ECONOMY 5W30	PARTÍCULAS DE HIERRO < 10 um	1	REFERENCIA DE LA MUESTRA	16/14/10		
		2	CONTAMINACIÓN CON 0,1 GRAMOS	25/23/18		
		3	CONTAMINACIÓN CON 0,2 GRAMOS	26/24/18		
		4	CONTAMINACIÓN CON 0,5 GRAMOS	27/25/20		
		5	CONTAMINACIÓN CON 1 GRAMOS	28/26/21		
		6	COMPORTAMIENTO DE LAS PARTÍCULAS EN 1 HORA DE ANÁLISIS			INICIO: 27/26/21
			Nº DE PRUEBAS	TIEMPOS DE DATOS (Min)	FRAME	
			1	Respuesta: 5:35	61	
			2	15:20	139	
			3	28:35	250	
			4	41:00	361	
		5	1h12	687	FINAL: 27/26/20	
		7	ANÁLISIS DE LA MUESTRA UN DÍA DESPUÉS			24/22/16
			REPOSO (PARTÍCULAS ASENTADAS)			
			Nº DE PRUEBAS	TIEMPOS DE DATOS (Min)	FRAME	
			1	RESPUESTA: 1:42	52	
			2	5	131	
			3	8	205	
		8	MUESTRA MEZCLADA (AGITACIÓN MANUAL PREVIA AL ANÁLISIS DE 2 MIN)			28/26/21
			Nº DE PRUEBAS	TIEMPOS DE DATOS (Min)	FRAME	
			1	RESPUESTA: 6:43	52	
			2	8	59	
			3	10	70	
		4	15	101		

Figura 50. Resumen de las pruebas realizadas en la FASE II. Con partículas de hierro < 10

Finalmente se ha creado una tabla de clasificación de los códigos ISO 4406 obtenidos en cada prueba experimental, basándose en la cantidad de partículas por ml de cada código de limpieza y el código considerado para un fluido limpio.

DESCRIPCIÓN	MUY LIMPIO	LIMPIO	SUCIO	MUY SUCIO
		CÓDIGO DE LIMPIEZA ISO 4406, CONSIDERADO COMO UN FLUIDO LIMPIO		
FLUIDO LIMPIO		18/16/14		
REFERENCIA - ACEITE LIMPIO	16/14/10			
CONTAMINACIÓN CON 0.1 GRAMOS DE PARTÍCULAS DE FE < 10 µm				25/23/18
CONTAMINACIÓN CON 0.2 GRAMOS DE PARTÍCULAS DE FE < 10 µm				26/24/18
CONTAMINACIÓN CON 0.5 GRAMOS DE PARTÍCULAS DE FE < 10 µm				27/25/20
CONTAMINACIÓN CON 1 GRAMOS DE PARTÍCULAS DE FE < 10 µm				28/26/21
COMPORTAMIENTO DE LAS PARTÍCULAS EN UNA HORA DE ANÁLISIS	INICIO			27/26/21
	FIN			27/26/20
PARTÍCULAS ASENTADAS EN EL FONDO DEL BOTE			24/22/16	
AGITACIÓN MANUAL DE 2 MINUTOS PREVIO AL ANÁLISIS DEL BOTE CON LAS PARTÍCULAS ASENTADAS.				28/26/21

Figura 51. Clasificación de las pruebas experimentales por su grado de contaminación. Fase II

Una vez mostrados los resultados de la Fase II con el tamaño de partículas < 10 µm, se procede a presentar los resultados de las pruebas experimentales con las partículas de hierro < 44 µm. Vale recalcar que solo en esta fase se realizaron pruebas con partículas < 44 µm, debido a que las especificaciones de la bomba de engranajes que es parte del equipo de conteo y clasificación de partículas, no recomienda trabajar con agentes contaminantes > 40 µm.

Para la realización de las pruebas se tomó en cuenta los mismos parámetros de las pruebas anteriores como un régimen de giro de 500 r.p.m. en una cantidad de fluido de 500 ml y los mismos tiempos de análisis.

Se ha empezado con la prueba de contaminación de 0.1 gramos de partículas de hierro < 44 µm en el fluido hidráulico, debido a que la referencia ya se presentó al inicio de los resultados con las partículas < 10 µm, obteniendo los siguientes resultados.

5.4.7. Contaminación con 0.1 gramos con partículas de hierro < 44 µm

Se ha contaminado la muestra de referencia con 0.1 gramos más de partículas de hierro < 44 µm, obteniendo los siguientes resultados.

PRUEBA	Nº DE PARTÍCULAS/BURBUJAS ACUMULADAS EN TODAS LAS IMÁGENES PROCESADAS. (MICRAS - um)				Nº DE PARTÍCULAS / BURBUJAS POR ML			CÓDIGO DE LIMPIEZA OBTENIDO
	PARTÍCULAS (um)				PARTÍCULAS (um)			
CONTAMINACIÓN CON 0.1 GRAMOS	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	24/22/19
	14555	16489	5759	4951	3981	36491	78966	
	BURBUJAS (um)				BURBUJAS (um)			
	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
	535	0	0	0	208	0	0	

Con el resultado obtenido en el código ISO 4406 se puede considerar al fluido de esta prueba como **“muy sucio”**, por la cantidad de partículas en el código referentes a <4 < 6 um. A continuación se muestra la comparación de partículas acumuladas en todas las imágenes procesadas con respecto a las partículas por ml.

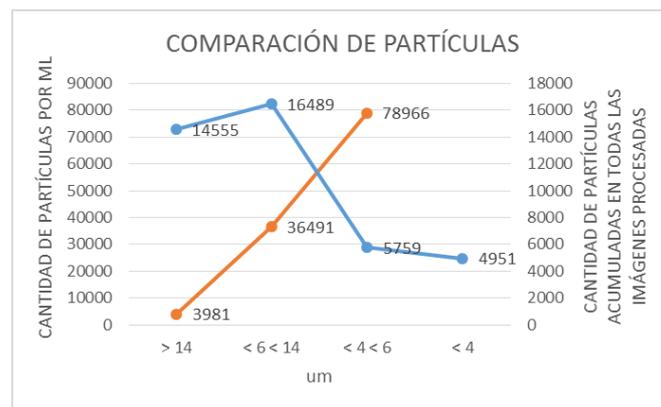


Figura 52. Comparación de partículas, con 0.1 gr

A demás se ha creado un gráfico que compara las cantidades de partículas de ambos tamaños, con la contaminación de 0.1 gramos, como se muestra en la figura 53.

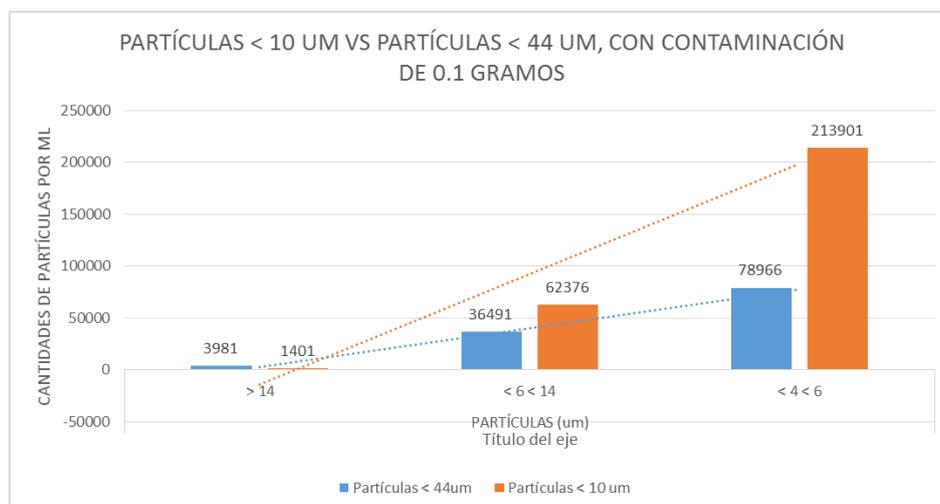


Figura 53. Partículas de <10 um VS partículas de <44um, con contaminación de 0.1 gr

5.4.8. Contaminación con 0.2 gramos

Se agregó 0.1 gramos más de partículas de hierro < 44 μm , al fluido de la prueba anterior, el tiempo de respuesta del software es en un tiempo < 2 minutos, se puede observar que a diferencia de las pruebas con partículas < 10 μm , el código que hace referencia a las partículas > 14 μm es más elevado desde esta prueba.

PRUEBA	Nº DE PARTÍCULAS/BURBUJAS ACUMULADAS EN TODAS LAS IMÁGENES PROCESADAS. (MICRAS - μm)				Nº DE PARTÍCULAS / BURBUJAS POR ML			CÓDIGO DE LIMPIEZA OBTENIDO
	PARTÍCULAS (μm)				PARTÍCULAS (μm)			
CONTAMINACIÓN CON 0.2 GRAMOS	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	25/23/20
	18973	18487	7758	2828	8961	71476	168326	
	BURBUJAS (μm)				BURBUJAS (μm)			
	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
	481	0	0	0	408	0	0	

Obtenidos los resultados de la prueba experimental se puede considerar al fluido como **“muy sucio”** Por la cantidad de partículas en los tres códigos de referentes a código ISO 4406. Luego en la figura 54 se muestra la comparación de las partículas acumuladas con respecto a las partículas por ml.

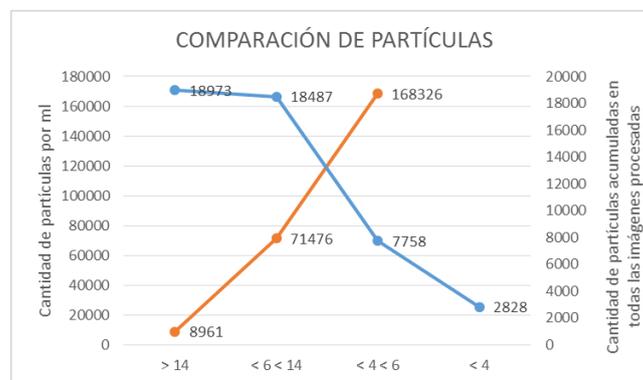


Figura 54. Comparación de las partículas acumuladas VS Partículas por ml

Luego se ha realizado la comparación de las partículas de hierro <10 μm con respecto a las partículas de hierro < 44 μm , con una contaminación de 0.2 gramos

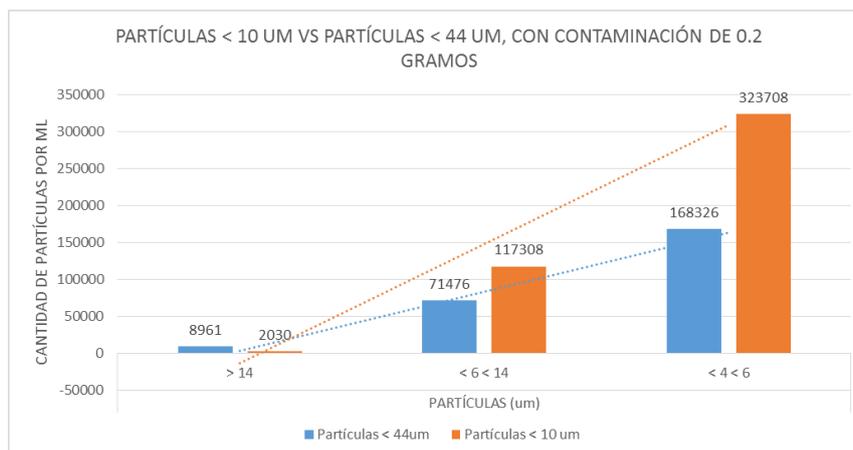


Figura 55. Partículas de <10 μm VS partículas de <44 μm , con contaminación de 0.2 gr

5.4.9. Contaminación con 0.5 gramos

Para esta prueba se han considerado los mismos parámetros expuestos al inicio del presente capítulo, obteniendo los siguientes resultados.

PRUEBA	Nº DE PARTÍCULAS/BURBUJAS ACUMULADAS EN TODAS LAS IMÁGENES PROCESADAS. (MICRAS - um)				Nº DE PARTÍCULAS / BURBUJAS POR ML			CÓDIGO DE LIMPIEZA OBTENIDO
	PARTÍCULAS (um)				PARTÍCULAS (um)			
CONTAMINACIÓN CON 0.5 GRAMOS	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	25/24/22
	26689	21041	6704	3000	23742	154900	304475	
	BURBUJAS (um)				BURBUJAS (um)			
	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
	205	0	0	0	197	0	0	

Como se puede ver el código referente a las partículas > 14 um tiende a aumentar, esto es lógico ya que conocemos el tamaño de las partículas con las que se ha hecho la prueba experimental, por lo que se ha considerado al fluido de esta prueba como **“muy sucio”**

Se ha realizado una representación gráfica del resultado obtenido comparando las partículas acumuladas con respecto a las partículas por ml, como se muestra en la figura 56.

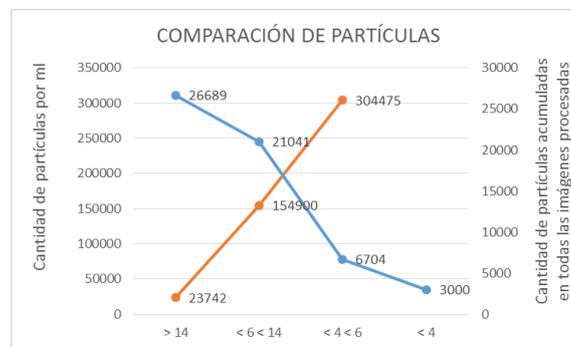


Figura 56. Comparación de partículas acumuladas VS partículas por ml

Luego se ha realizado el análisis de las cantidades de partículas < 10 um con respecto a las partículas < 44 um y con una contaminación de 0.5 gramos, obteniendo la siguiente representación gráfica.

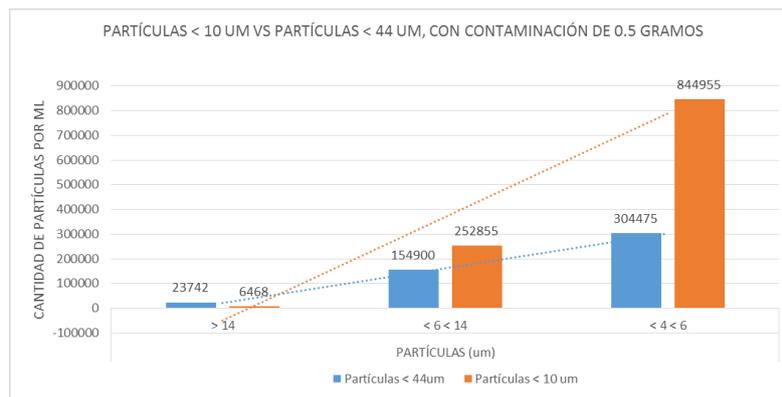


Figura 57. Partículas de <10 um VS partículas de <44um, con contaminación 0.5 gr

5.4.10. Contaminación con 1 gramo

Al realizar esta prueba se puede observar que el código referente a las partículas >14 um se han mantenido, pero esto no quiere decir que se mantiene la cantidad de partículas de la prueba con 0.5 gramos, más bien si existe un aumento en la cantidad de partículas > 14 um como se muestra en la siguiente tabla.

PRUEBA	Nº DE PARTÍCULAS/BURBUJAS ACUMULADAS EN TODAS LAS IMÁGENES PROCESADAS. (MICRAS - um)				Nº DE PARTÍCULAS / BURBUJAS POR ML			CÓDIGO DE LIMPIEZA OBTENIDO
	PARTÍCULAS (um)				PARTÍCULAS (um)			
CONTAMINACIÓN CON 1 GRAMO	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	26/25/22
	40462	41873	16017	8825	32536	268240	589915	
	BURBUJAS (um)				BURBUJAS (um)			
	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
	748	0	0	0	721	0	0	

Obtenidos los resultados se ha considerado al fluido de esta prueba como **“muy sucio”**, por las cantidades de partículas en los códigos de limpieza.

Se ha realizado la comparación de las cantidades de partículas con las diferentes cantidades de contaminación para conocer la variación que se va dando al aumentar el agente contaminante, como se muestra en la siguiente gráfica:

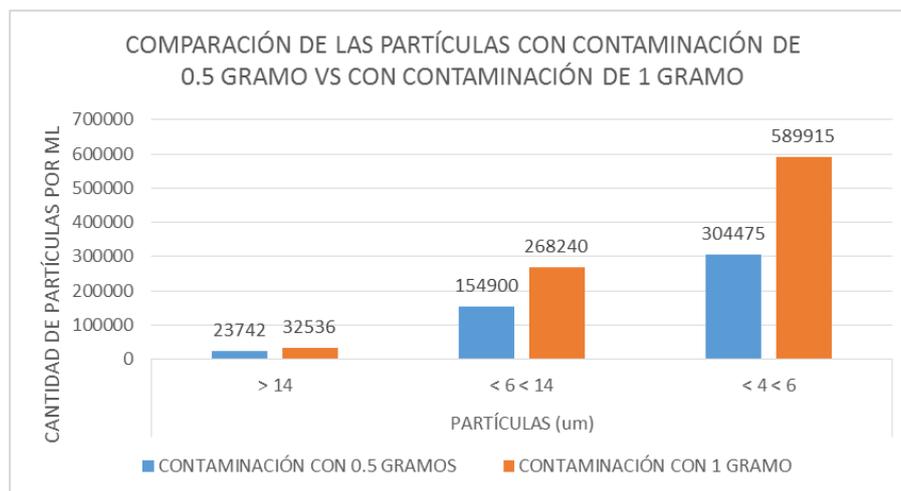


Figura 58. Cantidad de partículas con contaminación de 0.5 gr VS con contaminación de 1 gr

También se ha realizado la comparación de las partículas acumuladas con respecto a las partículas por ml obtenidas en el análisis, como se muestra a continuación.

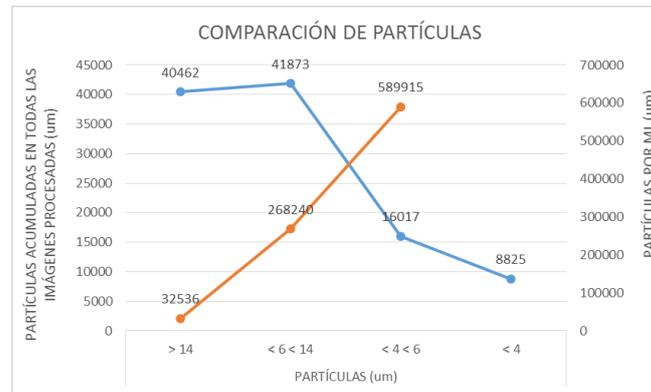


Figura 59. Comparación de partículas acumuladas VS partículas por ml

Finalmente se ha creado un gráfico que compara la prueba de partículas < 10 um con respecto a la prueba de partículas < 44 um, con una contaminación de 1 gramo, obteniendo el siguiente resultado.

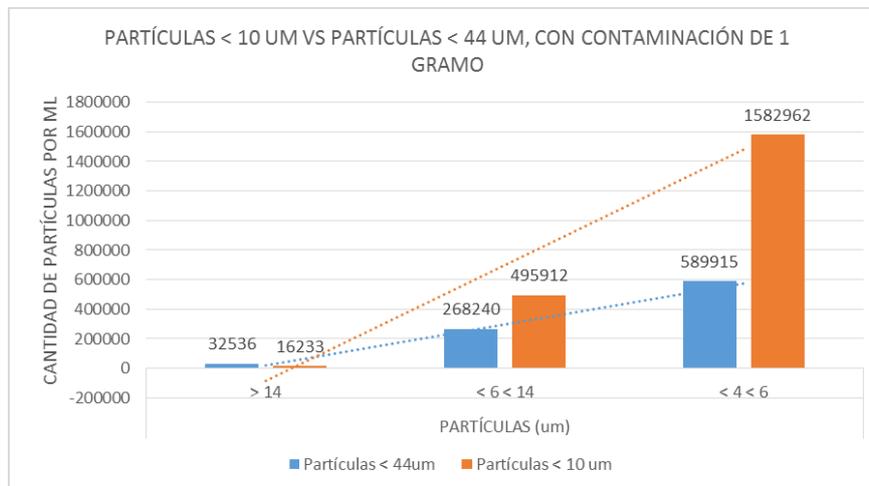


Figura 60. Partículas de <10 um VS partículas de <44um, con contaminación de 1 gr

5.4.11. Comportamiento de las partículas en una hora de análisis

Al realizar esta prueba se pudo observar al igual que en la prueba anterior de una hora de análisis, que las partículas tienden a asentarse con el pasar del tiempo. En la primera tabla se muestra los resultados obtenidos en la respuesta del equipo, mientras que en la segunda tabla se muestra los datos obtenidos una hora después, en donde se puede notar claramente que las cantidades de partículas del inicio con respecto al final del análisis han disminuido e incluso se ha dado un salto en el código de las partículas que se refieren al tamaño > 14 um.

Tabla de datos en la respuesta del análisis.

PRUEBA	Nº DE PARTÍCULAS/BURBUJAS ACUMULADAS EN TODAS LAS IMÁGENES PROCESADAS. (MICRAS - um)				Nº DE PARTÍCULAS / BURBUJAS POR ML			CÓDIGO DE LIMPIEZA OBTENIDO
	PARTÍCULAS (um)				PARTÍCULAS (um)			
COMPORTAMIENTO DE LAS PARTÍCULAS EN UNA HORA DE ANÁLISIS - INICIO	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	27/26/21
	41836	31927	10009	4533	41836	265231	515456	
	BURBUJAS				BURBUJAS			
	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
	94	0	0	0	94	0	0	

Tabla de datos luego de una hora de análisis.

PRUEBA	Nº DE PARTÍCULAS/BURBUJAS ACUMULADAS EN TODAS LAS IMÁGENES PROCESADAS. (MICRAS - um)				Nº DE PARTÍCULAS / BURBUJAS POR ML			CÓDIGO DE LIMPIEZA OBTENIDO
	PARTÍCULAS (um)				PARTÍCULAS (um)			
COMPORTAMIENTO DE LAS PARTÍCULAS EN UNA HORA DE ANÁLISIS - FINAL	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	27/26/20
	844105	832868	277182	125229	23075	211367	446667	
	BURBUJAS				BURBUJAS			
	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
	43704	0	0	0	1072	0	0	

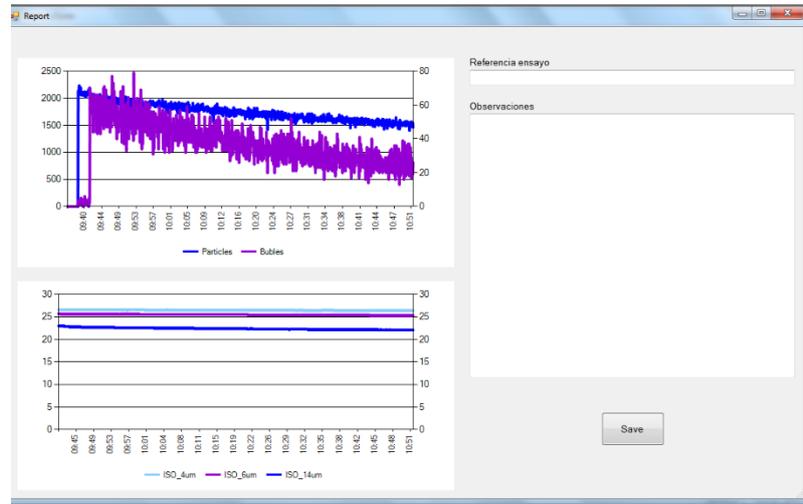
Obtenidos los resultados se ha considerado al código ISO 4406 obtenido al final del análisis como un fluido **“muy sucio”**, por las considerables cantidades de partículas en cada código de limpieza.

A continuación se muestra la tabla detallada del análisis del fluido durante una hora, tomando datos en diferentes periodos de tiempo, como se muestra en la tabla de la figura 61.

FRAME	TIEMPO DE ANÁLISIS (MIN)	CANTIDAD DE PARTÍCULAS ACUMULADAS EN TODAS LAS IMÁGENES PROCESADAS				CANTIDAD DE PARTÍCULAS POR ML			CÓDIGO ISO 4406	OBSERVACIONES
		PARTÍCULAS (um)				PARTÍCULAS (um)				
79	3:20	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	26/25/23	RESPUESTA EN EL INICIO DE ANÁLISIS
		41836	31927	10009	4533	41836	265231	515456		
		BURBUJAS				BURBUJAS				
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6		
		94	0	0	0	94	0	0		
229	13:40	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	26/25/22	DISMINUYERON LA PARTÍCULAS MAYORES DE 14 UM.
		173631	143727	45727	20804	35704	252611	500261		
		BURBUJAS				BURBUJAS				
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6		
		8398	0	0	0	2214	0	0		
407	25:20	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	26/25/22	SE SIGUE NOTANDO LA DISMINUCIÓN DE PARTÍCULAS Y SE CONSERVA EL CÓDIGO ISO 4406
		316496	274013	87934	40077	32733	244607	494382		
		BURBUJAS				BURBUJAS				
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6		
		16923	0	0	0	1892	0	0		
648	40:20	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	26/25/22	SE SIGUE NOTANDO LA DISMINUCIÓN DE PARTÍCULAS
		490602	445750	144526	65904	29006	233452	475177		
		BURBUJAS				BURBUJAS				
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6		
		26628	0	0	0	1529	0	0		
1228	1h14min	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	26/25/22	PARADA DEL ANÁLISIS, SE PUEDE VER LA DISMINUCIÓN DE LAS PARTÍCULAS POR ML AL PASAR DEL TIEMPO, DEBIDO A QUE LAS PARTÍCULAS TIENDEN A CAER POR GRAVEDAD AL FONDO. LO QUE DETERMINA QUE AL PASAR DEL TIEMPO LAS PARTÍCULAS DE MAYOR TAMAÑO TIENDEN A ASENTARSE MAS PRONTO QUE LAS DE MENOR TAMAÑO
		844105	832868	277182	125229	23075	211367	446667		
		BURBUJAS				BURBUJAS				
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6		
		43704	0	0	0	1072	0	0		

Figura 61. Comportamiento de las partículas durante una hora de análisis

Luego de la obtención de datos en cada periodo de tiempo y finalizar el análisis de la prueba, se muestra la gráfica característica proporcionada por el software, en donde se puede ver claramente que a medida que pasa el tiempo las partículas tienden a asentarse en el fondo del bote.



Por otro lado vale acotar que la bomba de engranajes del equipo de conteo y clasificación de partículas tiende a elevar su temperatura por el tiempo prolongado de funcionamiento por lo que se midió la temperatura de la carcasa y se obtuvo una temperatura de 76.2 grados centígrados, el dispositivo utilizado para medir la temperatura de la bomba de engranajes fue un medidor de temperatura infrarroja "Raytek". Por lo que se procedió a refrigerar la bomba de engranajes con aire a presión durante ciertos periodos de tiempo sobre la carcasa, para mantener la temperatura adecuada, se recomienda tener en cuenta este factor ya que al subir la temperatura disminuye el régimen de giro y puede alterar en el flujo de caudal del fluido analizado.

A continuación se muestra la comparación de las cantidades de burbujas > 14 um por ml en cada tiempo establecido durante la hora de análisis. Obteniendo la siguiente representación gráfica.



Figura 62. Comparación de burbujas > 14 um

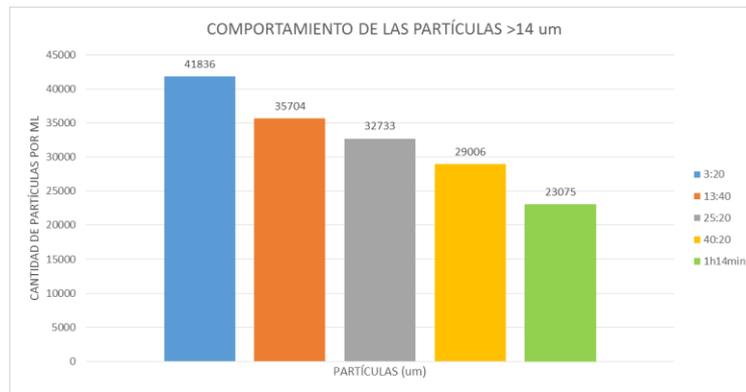


Figura 63. Comportamiento de las partículas >14 um



Figura 64. Comportamiento de las partículas < 6 < 14 um

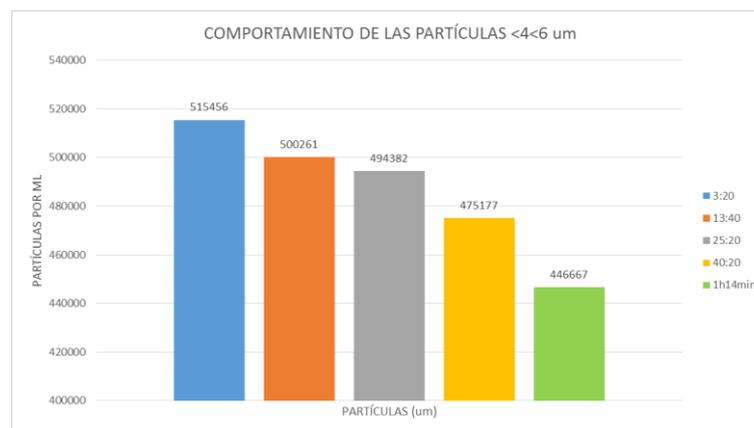


Figura 65. Comportamiento de las partículas <4 < 6 um

También se ha realizado la representación gráfica de ratios, comparando las cantidades de partículas por ml obtenidas en la respuesta con respecto a las cantidades obtenidas en cada uno de los periodos de tiempo establecidos en la hora de análisis. Como se muestra en la figura 66.

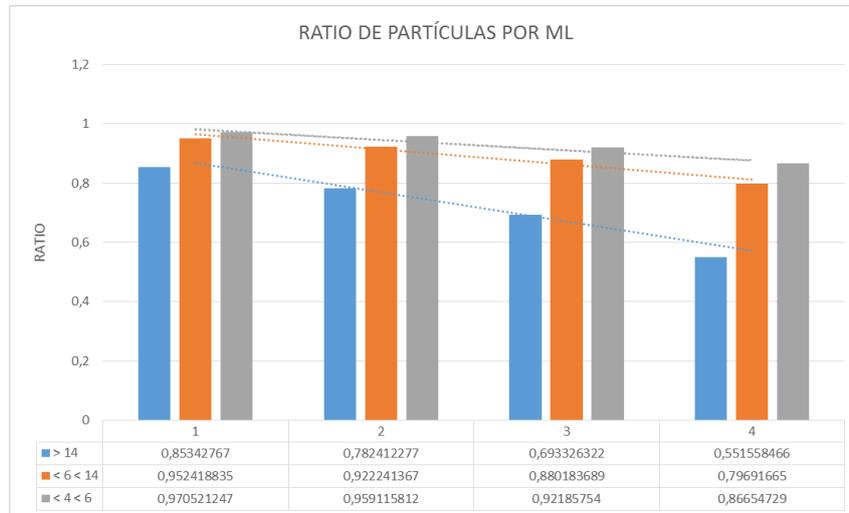


Figura 66. Ratios de las partículas en una hora de análisis

Ahora se presenta un gráfico general del comportamiento de las partículas de los diferentes tamaños en una hora de análisis. Como en la Fase II con las partículas < 10 μm ya se mostró detalladamente las variaciones de las cantidades de partículas en cada tamaño, en esta parte se dará a conocer solamente el resultado general del comportamiento de los diferentes tamaños de partículas < 44 μm , en una hora de análisis, como se muestra a continuación.

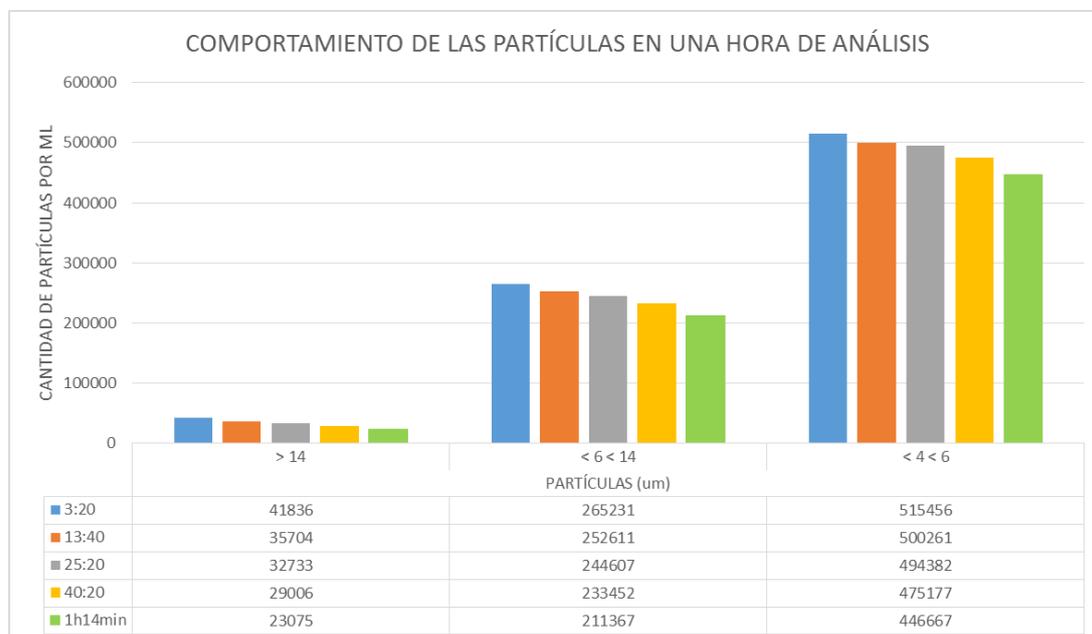


Figura 67. Comportamiento general de las partículas en una hora de análisis.

5.4.12. Partículas asentadas en el fondo del bote y luego con agitación manual de dos minutos, previo al análisis

Para esta prueba se ha dejado la muestra en reposo durante un día, con el fin de conseguir que las partículas se asienten en el fondo del bote y analizar la muestra, posteriormente se agitó manualmente el bote para suspender las partículas contaminantes en el fluido y así volver a analizar la muestra para la comparación de los resultados de ambas pruebas. La primera tabla representa lo datos obtenidos con las partículas asentadas, obteniendo los siguientes resultados.

PRUEBA	Nº DE PARTÍCULAS/BURBUJAS ACUMULADAS EN TODAS LAS IMÁGENES PROCESADAS. (MICRAS - um)				Nº DE PARTÍCULAS / BURBUJAS POR ML			CÓDIGO DE LIMPIEZA OBTENIDO
	PARTÍCULAS (um)				PARTÍCULAS (um)			
PARTÍCULAS ASENTADAS EN EL FONDO DEL BOTE	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	23/22/18
	6075	12176	5933	7977	1816	26921	71296	
	BURBUJAS (um)				BURBUJAS (um)			
	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
	268	0	0	0	109	0	0	

En la segunda tabla se muestran los datos obtenidos con la agitación manual de dos minutos previos al análisis.

PRUEBA	Nº DE PARTÍCULAS/BURBUJAS ACUMULADAS EN TODAS LAS IMÁGENES PROCESADAS. (MICRAS - um)				Nº DE PARTÍCULAS / BURBUJAS POR ML			CÓDIGO DE LIMPIEZA OBTENIDO
	PARTÍCULAS (um)				PARTÍCULAS (um)			
AGITACIÓN MANUAL DE DOS MINUTOS, PREVIO AL ANÁLISIS	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	26/25/22
	53302	45266	12978	5981	39383	273866	515491	
	BURBUJAS (um)				BURBUJAS (um)			
	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
	972	0	0	0	941	0	0	

Obtenidos los resultados se puede considerar que el fluido de la prueba con las partículas asentadas en el fondo del bote como “sucio” y el fluido con agitación manual de dos minutos previos al análisis como “muy sucio”. Por la cantidad de partículas obtenidas en los códigos referentes < 6 < 14 um. En la siguiente figura se muestra la comparación de las cantidades obtenidas en ambas pruebas.

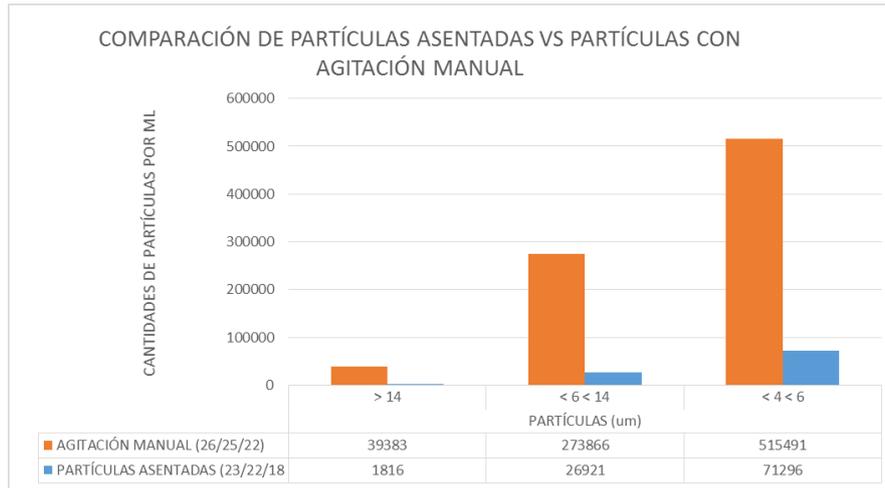


Figura 68. Comparación de partículas en reposo VS Agitación manual previa al análisis

Luego se ha realizado el gráfico que muestra los saltos de las cantidades de partículas en cada tamaño de los códigos de limpieza ISO 4406, en este caso partiendo desde la primera contaminación con 0.1 gramos hasta 1 gramos de partículas de hierro < 44 um.

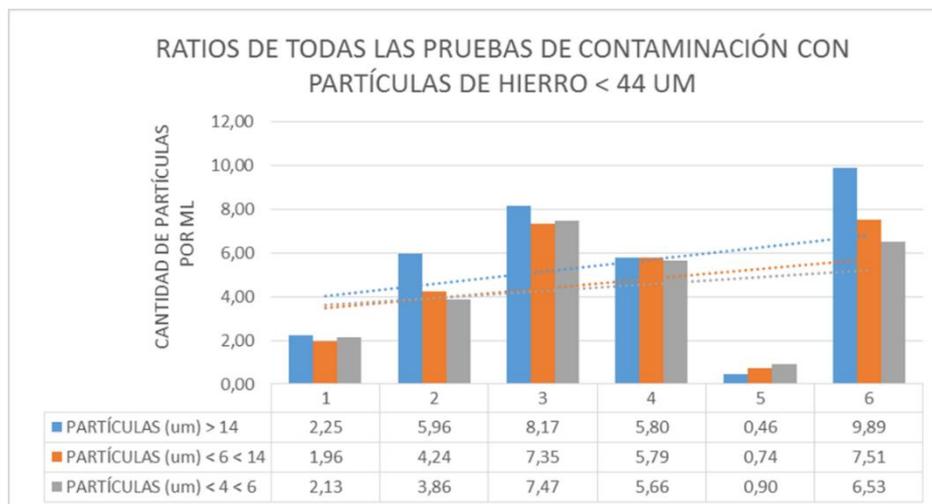


Figura 69. Ratios de partículas de las pruebas experimentales con partículas de hierro < 44 um

Luego se muestra una tabla en resumen de los diferentes tipos de pruebas que se han realizado en la Fase II con partículas < 44 um, en donde se detalla el tipo de aceite lubricante utilizado, el agente contaminante, cantidad de pruebas descripción de las pruebas y la obtención del código ISO 4406 como se muestra a continuación.

TIPO DE ACEITE	AGENTE CONTAMINANTE	Nº PRUEBAS	DESCRIPCIÓN DE PRUEBAS	CÓDIGO ISO 4406		
REPSOL ELITE EVOLUTION FUEL ECONOMY 5W30	PARTÍCULAS DE HIERRO < 44 um	1	REFERENCIA DE LA MUESTRA	16/14/10		
		2	CONTAMINACIÓN CON 0,1 GRAMOS	24/22/19		
		3	CONTAMINACIÓN CON 0,2 GRAMOS	25/23/20		
		4	CONTAMINACIÓN CON 0,5 GRAMOS	25/24/22		
		5	CONTAMINACIÓN CON 1 GRAMOS	26/25/22		
		6	COMPORTAMIENTO DE LAS PARTÍCULAS EN 1 HORA DE ANÁLISIS			INICIO: 26/25/23
			Nº DE PRUEBAS	TIEMPOS DE DATOS (Min)	FRAME	
			1	Respuesta: 3:20	79	
			2	13:40	229	
			3	25:20	407	
			4	40:20	648	
		5	1h14	1228	FINAL: 26/25/22	
		7	ANÁLISIS DE LA MUESTRA UN DÍA DESPUÉS			23/22/18
			REPOSO (PARTÍCULAS ASENTADAS)			
			Nº DE PRUEBAS	TIEMPOS DE DATOS (Min)	FRAME	
			1	RESPUESTA: 1:42	52	
			2	5	131	
			3	8	205	
		8	MUESTRA MEZCLADA (AGITACIÓN MANUAL DE 2 MIN)			26/25/22
			Nº DE PRUEBAS	TIEMPOS DE DATOS (Min)	FRAME	
			1	RESPUESTA: 6:43	52	
			2	8	59	
			3	10	70	
4	15	101				

Figura 70. Resumen de las pruebas realizadas en la FASE II. Con partículas de hierro < 44 um

También se realizará una tabla de clasificación de los diferentes tipos de contaminación en la Fase II con partículas <44 um. Ubicando los códigos ISO 4406 en la tabla considerando el estado del fluido en cada prueba experimental.

CLASIFICACIÓN DE LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES POR SU GRADO DE CONTAMINACIÓN					
DESCRIPCIÓN	MUY LIMPIO	LIMPIO		SUCIO	MUY SUCIO
		CÓDIGO DE LIMPIEZA ISO 4406, CONSIDERADO COMO UN FLUIDO LIMPIO			
FLUIDO LIMPIO		18/16/14			
REFERENCIA - ACEITE LIMPIO	16/14/10				
CONTAMINACIÓN CON 0.1 GRAMOS DE PARTÍCULAS DE FE <44 um					24/22/19
CONTAMINACIÓN CON 0.2 GRAMOS DE PARTÍCULAS DE FE <44um					25/23/20
CONTAMINACIÓN CON 0.5 GRAMOS DE PARTÍCULAS DE FE < 44um					25/24/22
CONTAMINACIÓN CON 1 GRAMOS DE PARTÍCULAS DE FE < 44 um					26/25/22
COMPORTAMIENTO DE LAS PARTÍCULAS EN UNA HORA DE ANÁLISIS	INICIO				27/26/21
	FIN				27/26/20
PARTÍCULAS ASENTADAS EN EL FONDO DEL BOTE				23/22/18	
AGITACIÓN MANUAL DE 2 MINUTOS PREVIO AL ANÁLISIS DEL BOTE CON LAS PARTÍCULAS ASENTADAS.					26/25/22

Figura 71. Clasificación de las pruebas experimentales por su grado de contaminación. Fase II



5.5. TIPOS DE PRUEBAS. FASE III.

En la tercera fase de las pruebas experimentales, se ha realizado un análisis más detallado en cada uno de los grados de contaminación, en donde se ha propuesto establecer tiempos determinados en cada periodo de análisis para observar el comportamiento de las partículas en todo el proceso hasta la obtención del código ISO 4406.

Dentro de esta fase se ha analizado una muestra real de un motor Nissan Carrera, en donde se ha obtenido el código ISO 4406 y se ha contaminado con 0.2 gramos más de partículas de hierro < 10 um durante el proceso de análisis para verificar si el sensor de conteo y clasificación de partículas percibe la contaminación en tiempo real y posteriormente comparar los códigos de limpieza obtenidos.

Luego se realizó el análisis del comportamiento de las partículas en el periodo de tiempo de una hora, estableciendo de igual manera como en las pruebas anteriores tiempos determinados para recolectar datos y compararlos posteriormente.

En esta prueba se ha utilizado un aceite lubricante para motor “**Repsol diésel turbo UHPD 10 W 40**”, se han usado los mismos parámetros propuestos al inicio del capítulo V a diferencia que para la prueba experimental de la muestra real se utilizó un volumen de 200 ml en recirculación y un tiempo mayor de análisis. A continuación se mostrará el detalle de todas las pruebas realizadas en la Fase III.

5.5.1. Referencia de la muestra

A diferencia de las pruebas que se han presentado en la Fase I y Fase II, en esta fase se analizará la muestra en un periodo de tiempo de 5 minutos, para observar el comportamiento de las partículas en cada periodo de tiempo establecido dentro del análisis. Se ha utilizado una muestra de 500 ml a un régimen de giro de 500 r.p.m. en un tiempo de 5 minutos por cronómetro.

Para la referencia, el tiempo de obtención de respuesta (primera lectura del código ISO 4406) se dio a los 0:24 segundos del proceso de análisis y se obtuvieron los siguientes datos.

FRAME	TIEMPO DE ANÁLISIS (MIN)	CANTIDAD DE PARTÍCULAS/BURBUJAS ACUMULADAS EN TODAS LAS IMÁGENES PROCESADAS				CANTIDAD DE PARTÍCULAS POR ML			CÓDIGO ISO 4406
		PARTÍCULAS (um)				PARTÍCULAS (um)			
53	0:24	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	19/16/12
		48	54	95	82	22	379	2579	
		BURBUJAS				BURBUJAS			
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		20	0	0	0	19	0	0	
288	2	PARTÍCULAS (um)				PARTÍCULAS (um)			19/16/7
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		263	396	540	475	0	455	2680	
		BURBUJAS				BURBUJAS			
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
432	3	PARTÍCULAS (um)				PARTÍCULAS (um)			19/16/11
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		400	608	881	727	17	409	2959	
		BURBUJAS				BURBUJAS			
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
574	4	PARTÍCULAS (um)				PARTÍCULAS (um)			19/16/10
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		534	830	1186	972	6	363	3113	
		BURBUJAS				BURBUJAS			
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
717	5	PARTÍCULAS (um)				PARTÍCULAS (um)			19/16/11
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		651	1058	1525	1231	11	543	2943	
		BURBUJAS				BURBUJAS			
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		409	0	0	0	22	0	0	

Obtenidos los resultados se considera al fluido de esta prueba como **"limpio"**, ya que es un aceite lubricante nuevo.

Se ha realizado la representación gráfica del comportamiento de las burbujas por ml >14 um durante el proceso de análisis, como se muestra a continuación.



Figura 72. Comparación de burbujas > 14

Luego se realizó la representación gráfica general del comportamiento de las partículas en cada uno de los tiempos establecidos durante el periodo de análisis de la muestra, para determinar la obtención del código ISO 4406.

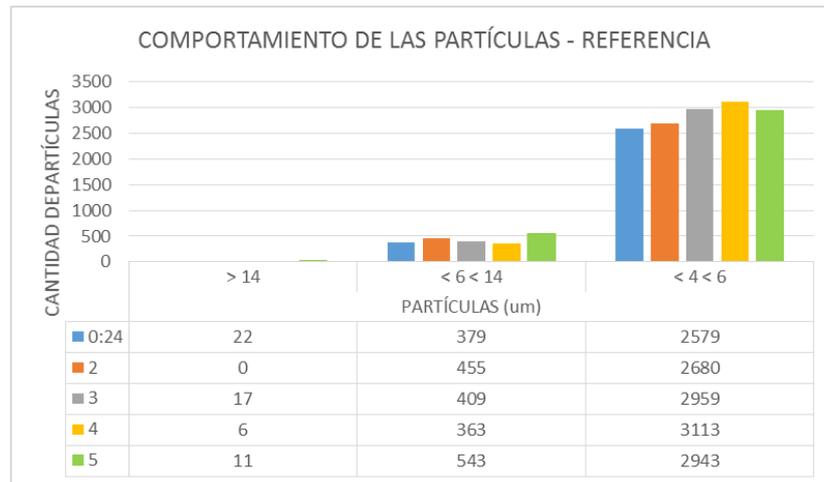


Figura 73. Comportamiento de las partículas - Referencia

5.5.2. Contaminación con 0.1 gramos

En cada grado de contaminación se han realizado tres pruebas diferentes como se ha propuesto en la FASE III, las cuales son:

- **Prueba 1**, la monitorización de las cantidades de partículas en cada parámetro de tiempo establecido dentro del periodo de análisis y la obtención del código ISO 4406, sin agitación manual.
- **Prueba 2**, realizar la prueba 1 con una agitación manual durante el proceso de análisis, para verificar si influye en la obtención de los resultados.
- **Prueba 3**, consiste en analizar cada grado de contaminación durante una hora, con el fin de observar el comportamiento de las partículas en cada tiempo establecido del proceso de análisis.

5.5.2.1. Referencia y agitación manual

En esta prueba experimental con 0.1 gramos de partículas de hierro < 10 μm , se ha comparado la "Prueba 1" y la "Prueba 2", con el fin de observar si la agitación manual durante el proceso de análisis influye en la obtención de los resultados. A continuación se muestran las tablas con los datos obtenidos sin agitación manual y con agitación manual. La primera tabla de datos se refiere a la "Prueba 1" sin agitación manual.



FRAME	TIEMPO DE ANÁLISIS (MIN)	CANTIDAD DE PARTÍCULAS/BURBUJAS ACUMULADAS EN TODAS LAS IMÁGENES PROCESADAS				CANTIDAD DE PARTÍCULAS POR ML			CÓDIGO ISO 4406
		PARTÍCULAS (um)				PARTÍCULAS (um)			
51	0:54	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	25/23/18
		1436	9213	6979	2563	1401	64597	234622	
		BURBUJAS				BURBUJAS			
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		21	0	0	0	21	0	0	
102	2	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	25/23/18
		3089	20162	15374	5601	1381	64952	239952	
		BURBUJAS				BURBUJAS			
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		83	0	0	0	52	0	0	
154	3	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	25/23/18
		4821	31411	24118	8798	1403	65578	243178	
		BURBUJAS				BURBUJAS			
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		168	0	0	0	64	0	0	
205	4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	25/23/18
		6603	42598	32649	11918	1473	65812	242137	
		BURBUJAS				BURBUJAS			
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		247	0	0	0	68	0	0	
259	5	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	25/23/18
		8361	54272	41373	15067	1401	66624	239999	
		BURBUJAS				BURBUJAS			
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		319	0	0	0	59	0	0	

La segunda tabla de datos se refiere a la “Prueba 2” con agitación manual durante el proceso de análisis.

FRAME	TIEMPO DE ANÁLISIS (MIN)	CANTIDAD DE PARTÍCULAS/BURBUJAS ACUMULADAS EN TODAS LAS IMÁGENES PROCESADAS				CANTIDAD DE PARTÍCULAS POR ML			CÓDIGO ISO 4406
		PARTÍCULAS (um)				PARTÍCULAS (um)			
45	0:53	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	25/23/18
		1405	8525	6157	2292	1405	61069	214994	
		BURBUJAS				BURBUJAS			
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		11	0	0	0	11	0	0	
94	2	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	25/23/18
		3243	19751	14452	5197	1592	69649	248249	
		BURBUJAS				BURBUJAS			
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		82	0	0	0	60	0	0	
137	3	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	25/23/18
		4878	30003	21863	7908	1596	71580	252455	
		BURBUJAS				BURBUJAS			
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		168	0	0	0	64	0	0	
181	4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	25/23/18
		6490	40674	29426	10634	1532	72864	253239	
		BURBUJAS				BURBUJAS			
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		203	0	0	0	54	0	0	
226	5	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	25/23/18
		8103	51311	37132	13423	1483	70860	250685	
		BURBUJAS				BURBUJAS			
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		271	0	0	0	63	0	0	

Obtenidos los resultados se ha considerado al fluido de la prueba experimental con 0.1 gramos de agente contaminante como “sucio”, por la cantidad de partículas en el código de limpieza. Luego se ha realizado la representación gráfica del comportamiento de las partículas en cada tiempo establecido dentro del periodo de análisis, con el fin de observar la variación y el comportamiento detallado de las partículas en ese momento. Empezando con la comparación de las cantidades de partículas sin agitación manual con respecto a las cantidades de partículas con agitación manual durante el proceso de análisis.

En respuesta:

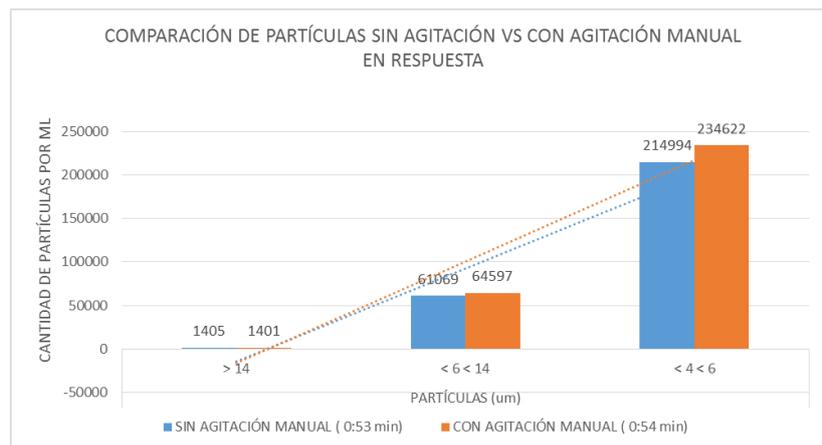


Figura 74. Comparación de partículas sin agitación VS Partículas con agitación en respuesta

En 2 minutos de análisis:

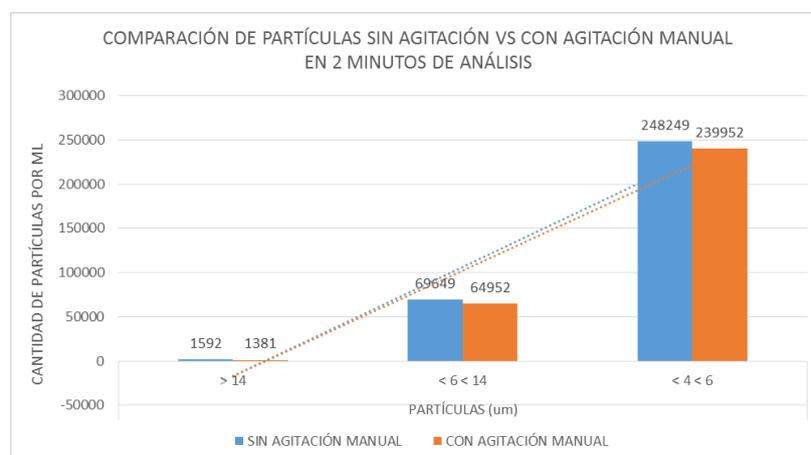


Figura 75. Comparación de partículas sin agitación VS Partículas con agitación en 2 minutos de análisis

En 3 minutos de análisis:

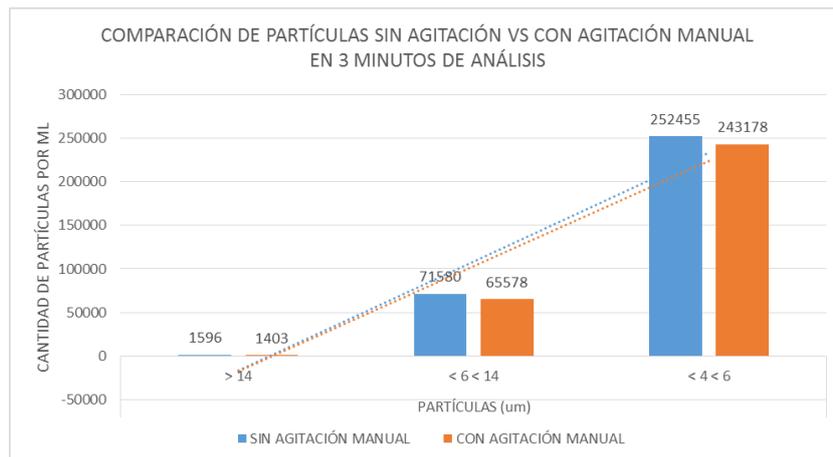


Figura 76. Comparación de partículas sin agitación VS Partículas con agitación en 3 minutos de análisis

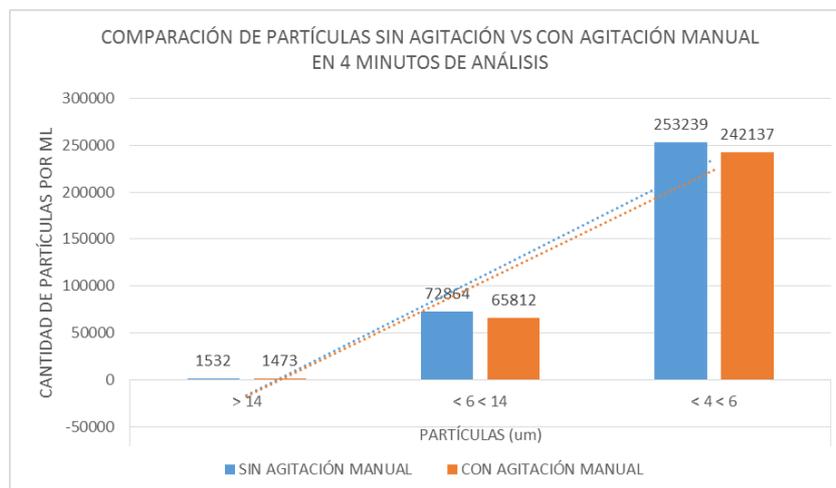


Figura 77. Comparación de partículas sin agitación VS Partículas con agitación en 4 minutos de análisis

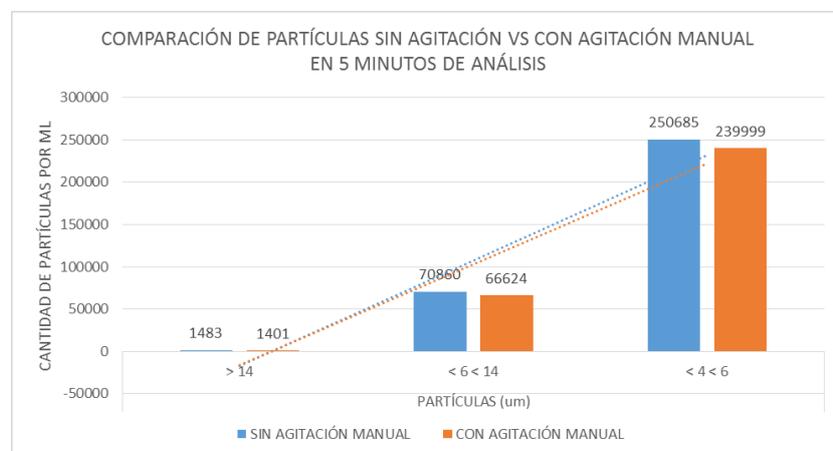


Figura 78. Comparación de partículas sin agitación VS Partículas con agitación en 5 minutos de análisis



Figura 79. Comparación de burbujas por ml > 14 um

Luego se ha realizado la representación gráfica del comportamiento y cantidades de partículas en cada tiempo establecido en el periodo de una hora de análisis, obteniendo el siguiente resultado.

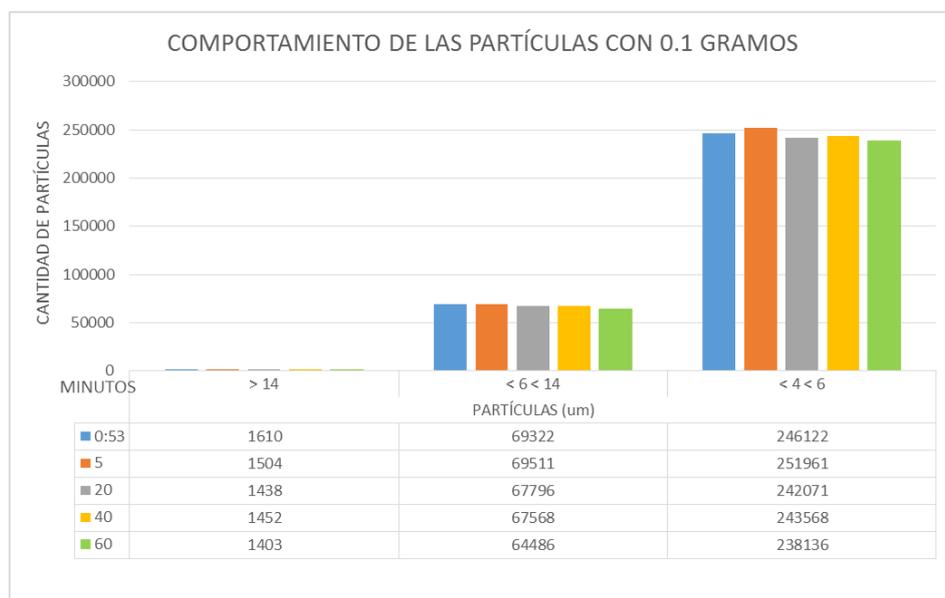


Figura 80. Comportamiento de las partículas en una hora, con 0.1 gr.

5.5.3. Contaminación con 0.2 gramos referencia y agitación manual

En esta prueba se realizó el mismo proceso de las pruebas realizadas con 0.1 gramos de partículas de hierro < 10 um, por lo que solo se dará a conocer las tablas de datos con los resultados obtenidos en cada tiempo establecido del periodo de análisis, en este caso el tiempo de duración de la prueba fue de 5 minutos.

La primera tabla de datos muestra los resultados obtenidos del fluido con una contaminación de 0.2 gramos de partículas de hierro < 10 um sin agitación manual.



FRAME	TIEMPO DE ANÁLISIS (MIN)	CANTIDAD DE PARTÍCULAS/BURBUJAS ACUMULADAS EN TODAS LAS IMÁGENES				CANTIDAD DE PARTÍCULAS POR ML			CÓDIGO ISO 4406
		PARTÍCULAS (um)				PARTÍCULAS (um)			
46	1:23	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	26/24/19
		3097	18758	13807	4987	3011	131333	468133	
		BURBUJAS				BURBUJAS			
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		16	0	0	0	16	0	0	
63	2	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	26/24/19
		4304	26390	19296	6976	2979	133050	470350	
		BURBUJAS				BURBUJAS			
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		60	0	0	0	52	0	0	
92	3	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	26/24/19
		6316	39341	28524	10342	2947	134492	470092	
		BURBUJAS				BURBUJAS			
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		132	0	0	0	104	0	0	
123	4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	26/24/19
		8464	52696	38262	13977	2877	130919	461319	
		BURBUJAS				BURBUJAS			
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		208	0	0	0	100	0	0	
154	5	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	26/24/19
		10547	65649	47675	17429	2943	129736	457461	
		BURBUJAS				BURBUJAS			
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		280	0	0	0	103	0	0	

Mientras que la siguiente tabla muestra los datos obtenidos del fluido contaminado con 0.2 gramos de partículas de hierro < 10 um con agitación manual durante todo el proceso de análisis de la muestra, esta prueba se realiza con el fin de comprobar si la agitación del fluido en el sistema puede influir en la obtención del código ISO 4406.

FRAME	TIEMPO DE ANÁLISIS (MIN)	CANTIDAD DE PARTÍCULAS/BURBUJAS ACUMULADAS EN TODAS LAS IMÁGENES				CANTIDAD DE PARTÍCULAS POR ML			CÓDIGO ISO 4406
		PARTÍCULAS (um)				PARTÍCULAS (um)			
46	1:23	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	26/24/19
		3020	18427	13372	4931	3020	131991	466291	
		BURBUJAS				BURBUJAS			
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		18	0	0	0	18	0	0	
70	2:12	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	26/24/19
		4736	29140	21295	7839	3029	133864	478764	
		BURBUJAS				BURBUJAS			
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		82	0	0	0	72	0	0	
92	3	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	26/24/19
		6328	38885	28621	10460	3002	133520	480920	
		BURBUJAS				BURBUJAS			
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		136	0	0	0	109	0	0	
120	4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	26/24/19
		8379	51344	37865	13870	3055	133176	481501	
		BURBUJAS				BURBUJAS			
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		215	0	0	0	114	0	0	
150	5	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	26/24/19
		10602	64150	47279	17344	3198	133927	478002	
		BURBUJAS				BURBUJAS			
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		368	0	0	0	185	0	0	

Ya obtenidos los resultados se ha considerado al fluido de esta prueba como **“muy sucio”**. Debido a la cantidad de partículas en los códigos referentes a las partículas $<4 < 6 \mu\text{m}$, $< 6 < 14 \mu\text{m}$ y $> 14 \mu\text{m}$.

Luego se realizó la representación gráfica de las cantidades de partículas de cada tamaño con la prueba sin agitación manual respecto a la prueba con agitación manual durante el proceso de análisis, como se muestra en las siguientes figuras.

En respuesta:

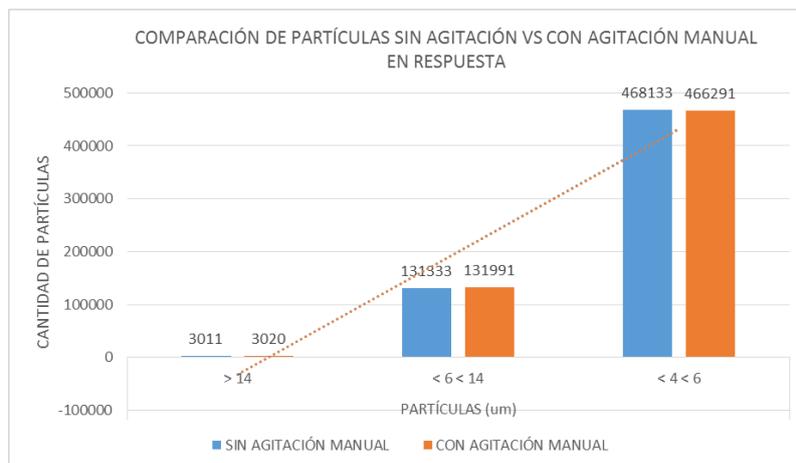


Figura 81. Comparación de partículas sin agitación VS Partículas con agitación en respuesta

En 2 minutos de análisis:

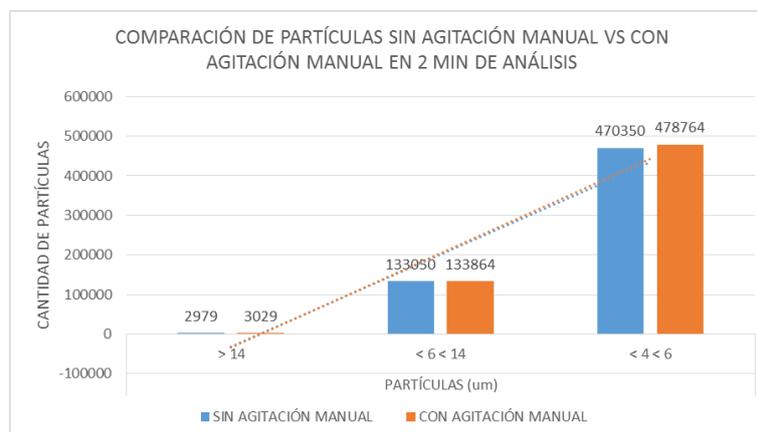


Figura 82. Comparación de partículas sin agitación VS Partículas con agitación en 2 minutos de análisis

En 3 minutos de análisis:

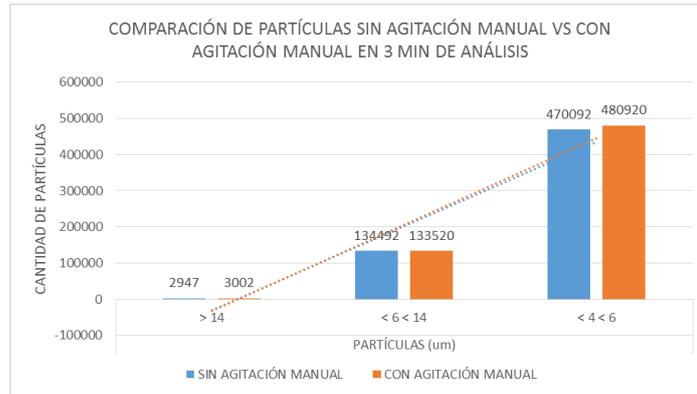


Figura 83. Comparación de partículas sin agitación VS Partículas con agitación en 3 minutos de análisis

En 4 minutos de análisis:

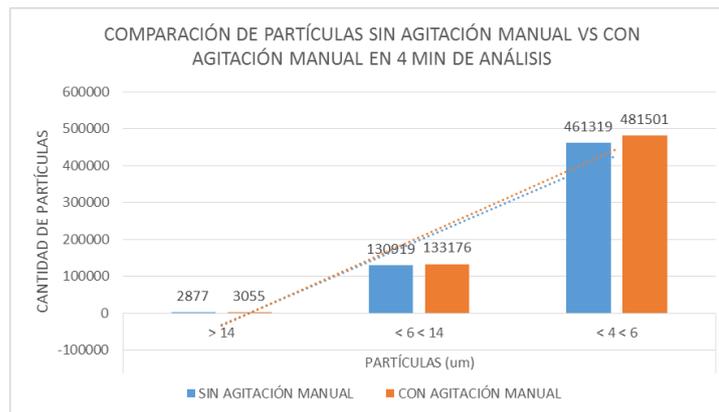


Figura 84. Comparación de partículas sin agitación VS Partículas con agitación en 4 minutos de análisis

En 5 minutos de análisis:

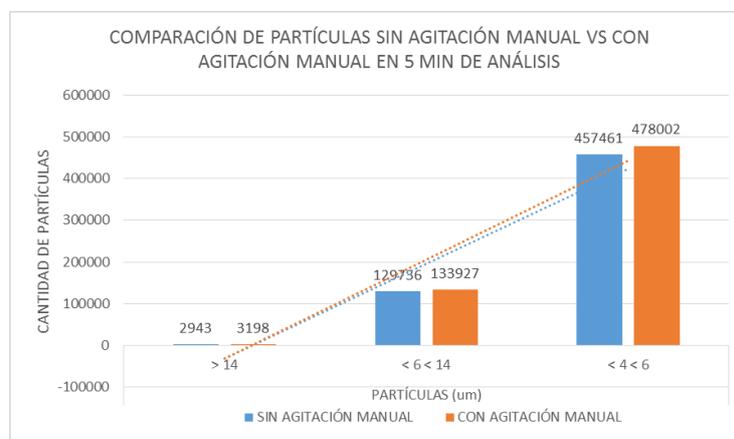


Figura 85. Comparación de partículas sin agitación VS Partículas con agitación en 5 minutos de análisis

5.5.3.1. Comportamiento de las partículas en una hora de análisis con 0.2 gramos de contaminación

En esta prueba también se han establecido tiempos para observar el comportamiento de las partículas durante la hora de análisis, obteniendo la siguiente tabla de datos.

FRAME	TIEMPO DE ANÁLISIS (MIN)	CANTIDAD DE PARTÍCULAS/BURBUJAS ACUMULADAS EN TODAS LAS IMÁGENES				CANTIDAD DE PARTÍCULAS POR ML			CÓDIGO ISO 4406
		PARTÍCULAS (um)				PARTÍCULAS (um)			
48	1:40	> 14				> 14			26/24/19
		< 6 < 14				< 6 < 14			
		< 4 < 6				< 4 < 6			
		< 4				< 4			
		3213	19289	14185	5102	3213	138213	492838	
BURBUJAS				BURBUJAS					
> 14				> 14					
< 6 < 14				< 6 < 14					
< 4 < 6				< 4 < 6					
< 4				< 4					
23	0	0	0	23	0	0			
117	5	> 14				> 14			26/24/19
		< 6 < 14				< 6 < 14			
		< 4 < 6				< 4 < 6			
		< 4				< 4			
		8332	50676	36684	13415	3123	135899	477549	
BURBUJAS				BURBUJAS					
> 14				> 14					
< 6 < 14				< 6 < 14					
< 4 < 6				< 4 < 6					
< 4				< 4					
214	0	0	0	119	0	0			
504	20	> 14				> 14			26/24/19
		< 6 < 14				< 6 < 14			
		< 4 < 6				< 4 < 6			
		< 4				< 4			
		36472	223344	162962	59712	2869	130968	468918	
BURBUJAS				BURBUJAS					
> 14				> 14					
< 6 < 14				< 6 < 14					
< 4 < 6				< 4 < 6					
< 4				< 4					
1259	0	0	0	99	0	0			
1026	40	> 14				> 14			26/24/19
		< 6 < 14				< 6 < 14			
		< 4 < 6				< 4 < 6			
		< 4				< 4			
		72470	450740	330116	121009	2822	130636	463086	
BURBUJAS				BURBUJAS					
> 14				> 14					
< 6 < 14				< 6 < 14					
< 4 < 6				< 4 < 6					
< 4				< 4					
2513	0	0	0	90	0	0			
1424	60	> 14				> 14			26/24/19
		< 6 < 14				< 6 < 14			
		< 4 < 6				< 4 < 6			
		< 4				< 4			
		98073	617531	454974	166962	2636	124318	448693	
BURBUJAS				BURBUJAS					
> 14				> 14					
< 6 < 14				< 6 < 14					
< 4 < 6				< 4 < 6					
< 4				< 4					
3431	0	0	0	111	0	0			

Se considera el fluido de esta prueba como **“muy sucio”**. Es importante la monitorización del comportamiento de las burbujas durante el análisis, debido a que si existe generación considerable de burbujas en ese tiempo, se podrá comparar con el gráfico de las cantidades de partículas para determinar si ha influido en el aumento de las cantidades de partículas en el mismo punto, por lo que se ha creado un gráfico del comportamiento de las burbujas por ml > 14 um durante la hora de análisis.

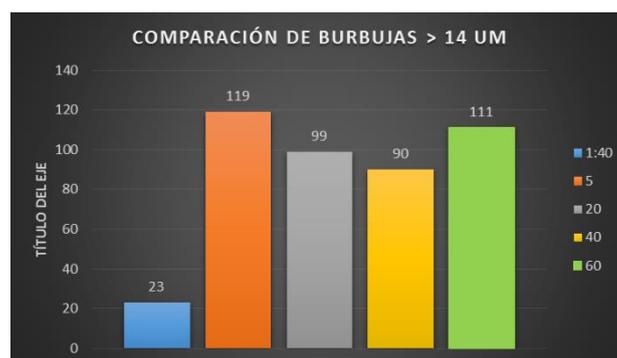


Figura 86. Comparación de burbujas por ml > 14 um

A continuación se muestra la representación gráfica general del comportamiento de las cantidades de partículas de cada tamaño, durante una hora de análisis.

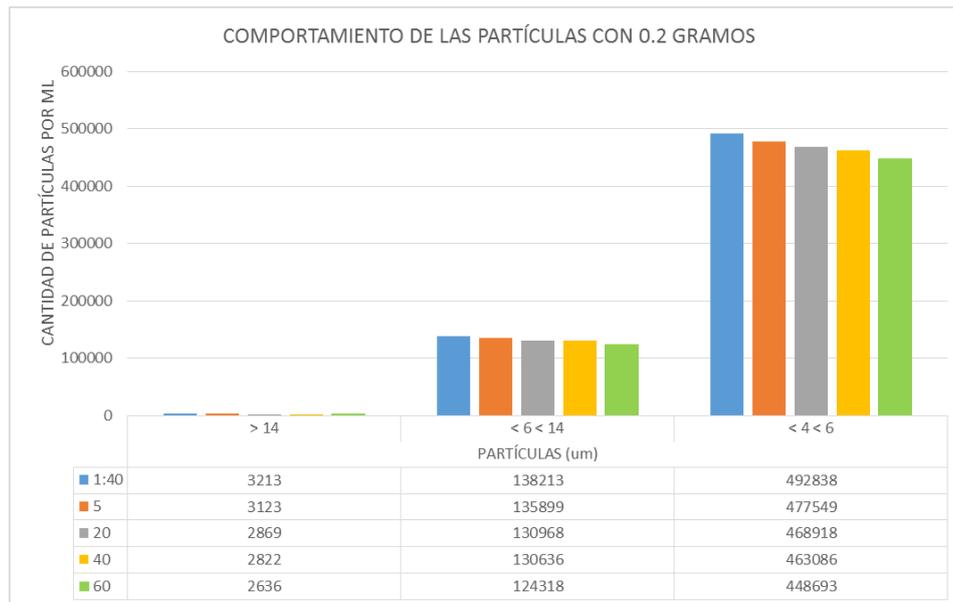


Figura 87. Comportamiento de las partículas en una hora, con 0.2 gr.

5.5.4. Contaminación con 0.5 gramos, comparación de la referencia y agitación manual durante el análisis

En esta prueba se ha realizado la obtención de datos en los diferentes tiempos establecidos dentro del periodo de análisis, para comparar con la prueba de agitación manual durante el proceso de análisis. La primera tabla son los datos obtenidos de la muestra sin agitación manual.

FRAME	TIEMPO DE ANÁLISIS (MIN)	CANTIDAD DE PARTÍCULAS/BURBUJAS ACUMULADAS EN TODAS LAS IMÁGENES				CANTIDAD DE PARTÍCULAS POR ML			CÓDIGO ISO 4406
		PARTÍCULAS (um)				PARTÍCULAS (um)			
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
49	4:33	BURBUJAS				BURBUJAS			28/26/21
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		11669	53657	35876	13475	11669	387211	1284111	
		BURBUJAS				BURBUJAS			
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
53	5	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	28/26/21
		12688	58873	39210	14765	11605	392062	1291912	
		BURBUJAS				BURBUJAS			
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		138	0	0	0	133	0	0	
78	8	PARTÍCULAS (um)				PARTÍCULAS (um)			28/26/21
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		19229	91146	60811	22778	11226	392208	1297283	
		BURBUJAS				BURBUJAS			
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
96	10	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	28/26/21
		23879	114243	76357	28372	10929	388357	1295032	
		BURBUJAS				BURBUJAS			
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		993	0	0	0	838	0	0	

Mientras que la siguiente tabla son los datos obtenidos de la muestra con agitación manual durante el proceso de análisis.

FRAME	TIEMPO DE ANÁLISIS (MIN)	CANTIDAD DE PARTÍCULAS/BURBUJAS ACUMULADAS EN TODAS LAS IMÁGENES				CANTIDAD DE PARTÍCULAS POR ML			CÓDIGO ISO 4406
		PARTÍCULAS (um)				PARTÍCULAS (um)			
47	3:56	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	27/26/21
		12601	62015	30238	13597	12601	446656	1202606	
		BURBUJAS				BURBUJAS			
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		50	0	0	0	50	0	0	
57	5	PARTÍCULAS (um)				PARTÍCULAS (um)			28/26/21
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		15413	76873	37431	16901	12458	448256	1203731	
		BURBUJAS				BURBUJAS			
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
89	8	PARTÍCULAS (um)				PARTÍCULAS (um)			27/26/21
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		24324	124676	60306	27261	11723	449451	1201151	
		BURBUJAS				BURBUJAS			
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
111	10	PARTÍCULAS (um)				PARTÍCULAS (um)			27/26/21
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		30709	156986	76032	34377	11979	446351	1197526	
		BURBUJAS				BURBUJAS			
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	

Obtenidos los resultados de las tablas se ha considerado al fluido para esta prueba como **“muy sucio”**, por la cantidad de contaminación en los códigos de limpieza.

Luego se realizó la comparación de las cantidades de partículas obtenidas en cada tiempo establecido del periodo de análisis, en esta prueba el periodo de análisis se lo hace en 15 minutos a diferencia de las pruebas hasta 0.2 gramos de contaminación, debido a que la respuesta del equipo se da en un tiempo mayor que 2 minutos, obteniendo las siguientes representaciones gráficas.

En respuesta:

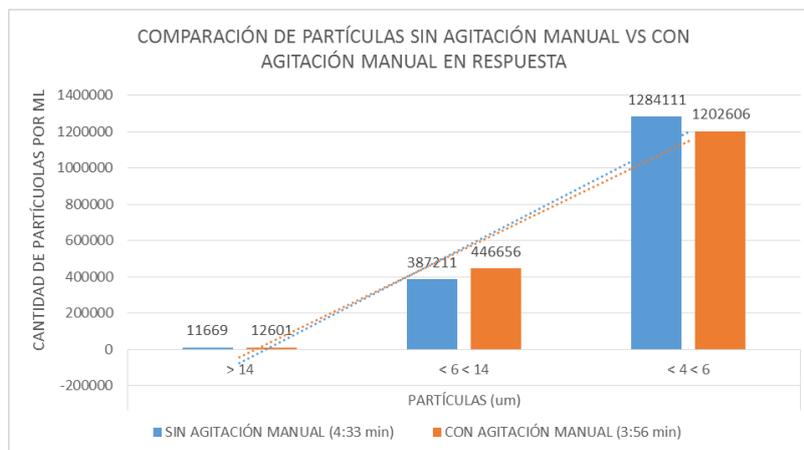


Figura 88. Comparación de partículas sin agitación VS Partículas con agitación en respuesta

En 5 minutos de análisis:

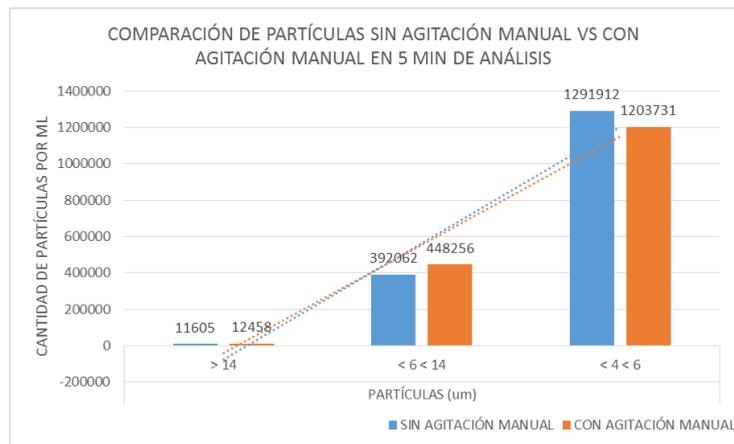


Figura 89. Comparación de partículas sin agitación VS Partículas con agitación en 5 minutos de análisis

En 8 minutos de análisis:

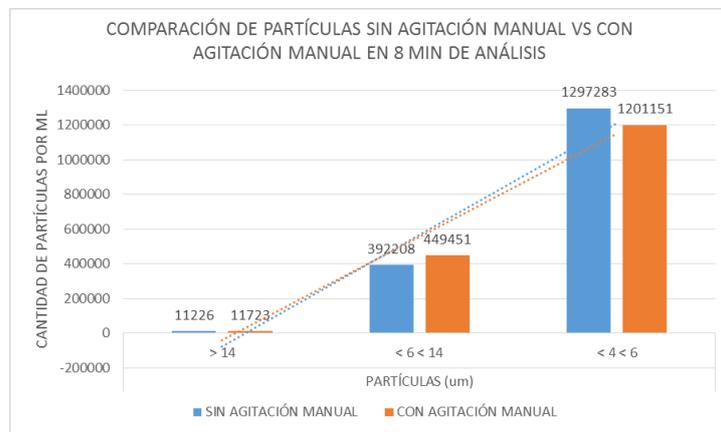


Figura 90. Comparación de partículas sin agitación VS Partículas con agitación en 8 minutos de análisis

En 15 minutos de análisis:

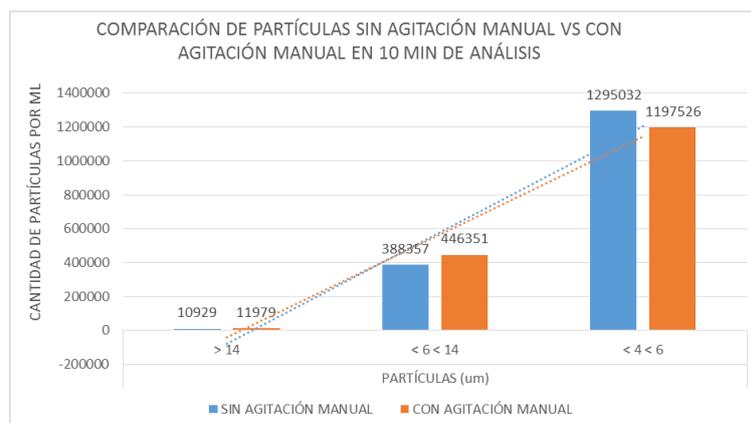


Figura 91. Comparación de partículas sin agitación VS Partículas con agitación en 15 minutos de análisis

5.5.4.1. Comportamiento de las partículas en una hora de análisis con 0.5 gramos de contaminación

Para esta prueba se ha observado el comportamiento de las partículas en cada tiempo establecido dentro del análisis, se puede observar con claridad el aumento de las cantidades de partículas en cada tamaño, con respecto a las pruebas anteriores, por la mayor contaminación existente en el fluido hidráulico y se puede apreciar de mejor manera la disminución de las partículas ya que tienden a asentarse en el fondo del bote con el pasar del tiempo.

FRAME	TIEMPO DE ANÁLISIS (MIN)	CANTIDAD DE PARTÍCULAS/BURBUJAS ACUMULADAS EN TODAS LAS IMÁGENES				CANTIDAD DE PARTÍCULAS POR ML			CÓDIGO ISO 4406
		PARTÍCULAS (um)				PARTÍCULAS (um)			
49	4:04	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	27/26/21
		15255	59394	30124	13491	15255	430959	1184059	
		BURBUJAS				BURBUJAS			
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		54	0	0	0	54	0	0	
58	5	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	27/26/21
		18348	71746	36483	16405	15120	426636	1174111	
		BURBUJAS				BURBUJAS			
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		238	0	0	0	231	0	0	
214	20	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	27/26/21
		70138	285239	145192	66286	13718	410864	1141789	
		BURBUJAS				BURBUJAS			
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		3297	0	0	0	811	0	0	
410	40	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	27/26/21
		133140	546359	279316	127995	13138	394845	1107620	
		BURBUJAS				BURBUJAS			
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		6816	0	0	0	752	0	0	
606	60	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	27/26/21
		192300	798527	410218	187479	12522	384891	1084916	
		BURBUJAS				BURBUJAS			
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		9982	0	0	0	675	0	0	

Una vez obtenidos los datos en el tiempo de análisis establecido se ha considerado al fluido de esta prueba como **“muy sucio”**, por la cantidad de partículas que contiene cada código de limpieza.

Se realizó el gráfico de comportamiento de las burbujas por ml > 14 um, para observar si en algún punto del análisis se han generado burbujas considerables que puedan influir en la obtención del código ISO 4406

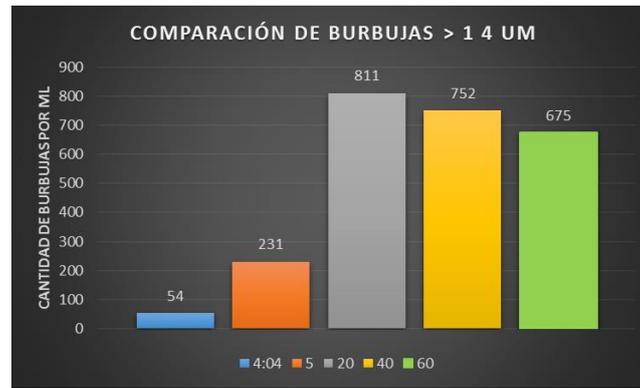


Figura 92. Comparación de burbujas por ml > 14 um

Luego se realizó la representación gráfica general del comportamiento de las partículas durante todo el periodo de análisis, en donde se puede observar claramente la disminución de las partículas desde el inicio hasta el final del análisis.

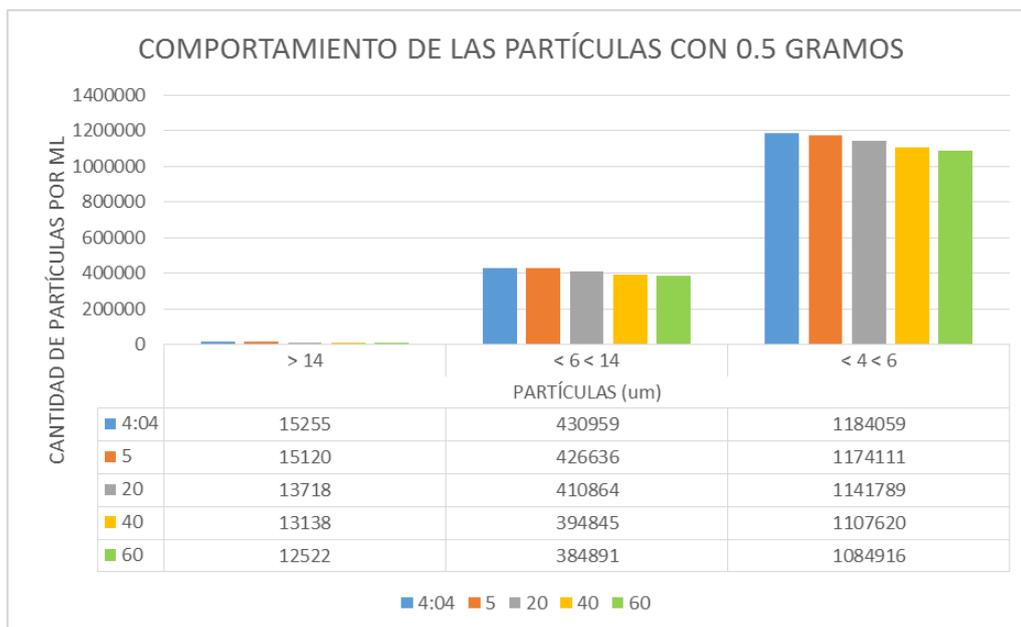


Figura 93. Comportamiento de las partículas en una hora, con 0.5 gr.

5.5.5. Contaminación con 1 gramo, comparación de la referencia y agitación manual durante el análisis.

Se ha procedido a analizar la muestra para obtener el código ISO 4406 y posteriormente comparar con la prueba de agitación manual durante el proceso de análisis, con el fin de observar si la agitación manual en el proceso de análisis influye en el conteo y clasificación de partículas.



En esta prueba también se ha recolectado datos en diferentes tiempos establecidos dentro del periodo de análisis y se puede observar que en la prueba con agitación manual se eleva el código referente a las partículas > 14 um, posiblemente por la generación de burbujas al momento de agitar la muestra, las cuales influyen en la obtención del código ISO 4406. En la primera tabla se muestra los datos obtenidos con la muestra sin agitación manual, recolectando la siguiente información:

FRAME	TIEMPO DE ANÁLISIS (MIN)	CANTIDAD DE PARTÍCULAS/BURBUJAS ACUMULADAS EN TODAS LAS IMÁGENES				CANTIDAD DE PARTÍCULAS POR ML			CÓDIGO ISO 4406
		PARTÍCULAS (um)				PARTÍCULAS (um)			
55	6:49	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	28/26/21
		17687	84971	52627	19747	17687	612365	1928040	
		BURBUJAS				BURBUJAS			
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		119	0	0	0	119	0	0	
62	8	PARTÍCULAS (um)				PARTÍCULAS (um)			28/26/21
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		20203	98730	61372	23039	17186	607093	1916393	
		BURBUJAS				BURBUJAS			
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		502	0	0	0	480	0	0	
75	10	PARTÍCULAS (um)				PARTÍCULAS (um)			28/26/21
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		24756	122847	76404	28622	16666	604539	1919314	
		BURBUJAS				BURBUJAS			
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		1126	0	0	0	1065	0	0	

Mientras que la segunda tabla de datos son los resultados obtenidos del fluido hidráulico con agitación manual durante el proceso de análisis, que muestra los siguientes resultados:

FRAME	TIEMPO DE ANÁLISIS (MIN)	CANTIDAD DE PARTÍCULAS/BURBUJAS ACUMULADAS EN TODAS LAS IMÁGENES				CANTIDAD DE PARTÍCULAS POR ML			CÓDIGO ISO 4406
		PARTÍCULAS (um)				PARTÍCULAS (um)			
47	6:35	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	28/26/22
		25431	83977	42512	19457	25431	613142	1676117	
		BURBUJAS				BURBUJAS			
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
55	8	PARTÍCULAS (um)				PARTÍCULAS (um)			28/26/22
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		29731	99831	50284	23175	24915	609630	1659405	
		BURBUJAS				BURBUJAS			
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		516	0	0	0	492	0	0	
68	10	PARTÍCULAS (um)				PARTÍCULAS (um)			28/26/22
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		36688	125316	63168	29065	24033	605394	1651294	
		BURBUJAS				BURBUJAS			
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		1162	0	0	0	1102	0	0	

Dados los resultados se ha considerado al fluido de esta prueba como **“muy sucio”**, por la cantidad de partículas en cada código de limpieza.

Luego se muestra la comparación de las cantidades de partículas sin agitación manual y con agitación manual durante el proceso de análisis, en esta prueba al igual que la prueba con 0.5

gramos de partículas de hierro < 10 μm , se hace en un diferente periodo de tiempo en este caso con 10 minutos, ya que por la contaminación del fluido el equipo tiende a dar una respuesta inicial en un tiempo > 5 minutos. A continuación se muestran las representaciones gráficas en cada tiempo establecido.

En respuesta:

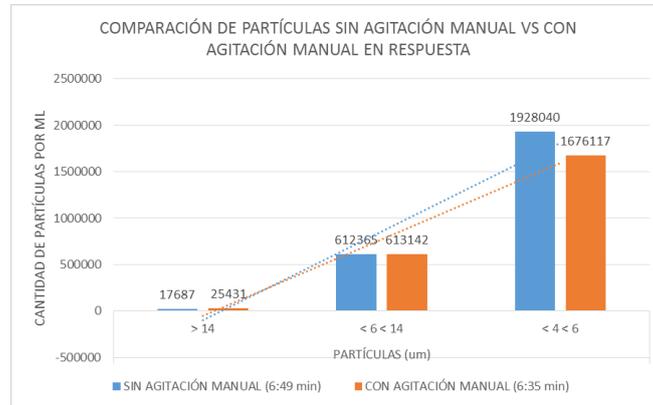


Figura 94. Comparación de partículas sin agitación VS Partículas con agitación en respuesta

En 8 minutos de análisis:

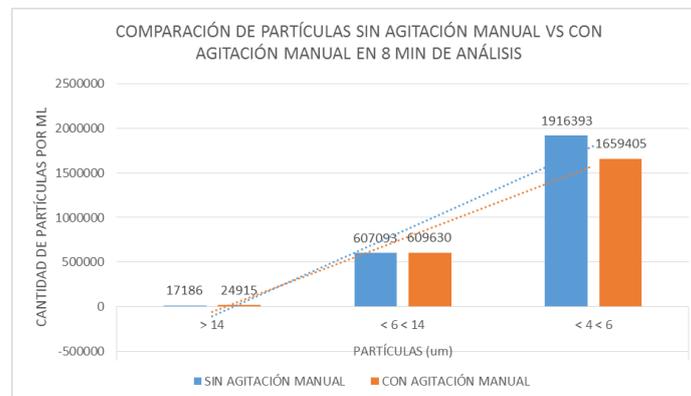


Figura 95. Comparación de partículas sin agitación VS Partículas con agitación en 8 minutos de análisis

En 10 minutos de análisis:

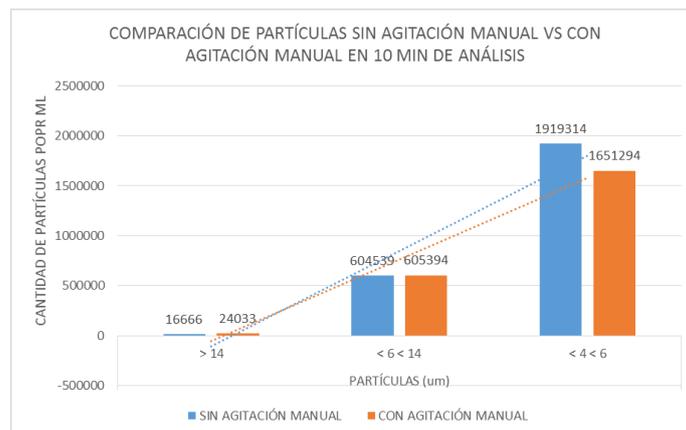


Figura 96. Comparación de partículas sin agitación VS Partículas con agitación en 10 minutos de análisis

5.5.5.1. Comportamiento de las partículas en una hora de análisis con 1 gramo de contaminación.

Para esta prueba se han tomado cuatro tiempos establecidos dentro del periodo de análisis, se observa la variación de las cantidades de partículas en cada tamaño que tienden a disminuir con el pasar del tiempo, en este caso es más notable por la cantidad de contaminación presente en el fluido, aunque no se observa un salto en los códigos referentes a los diferentes tamaños de partículas, si se logra apreciar la disminución de partículas en los diferentes tiempos determinados. A continuación se muestran los datos obtenidos durante el análisis.

FRAME	TIEMPO DE ANÁLISIS (MIN)	CANTIDAD DE PARTÍCULAS/BURBUJAS ACUMULADAS EN TODAS LAS IMÁGENES				CANTIDAD DE PARTÍCULAS POR ML			CÓDIGO ISO 4406
		PARTÍCULAS (um)				PARTÍCULAS			
43	6:28	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	<4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	28/26/21
		15220	82942	48225	34831	15220	595657	1801282	
		BURBUJAS				BURBUJAS			
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	<4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		157	0	0	0	157	0	0	
122	20	PARTÍCULAS (um)				PARTÍCULAS (um)			28/26/21
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	<4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		40114	235740	138868	99652	13249	580240	1779790	
		BURBUJAS				BURBUJAS			
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	<4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
4419	0	0	0	2256	0	0			
237	40	PARTÍCULAS (um)				PARTÍCULAS (um)			28/26/21
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	<4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		74653	452708	267845	192013	12302	557456	1722431	
		BURBUJAS				BURBUJAS			
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	<4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
10456	0	0	0	2064	0	0			
358	60	PARTÍCULAS (um)				PARTÍCULAS (um)			28/26/21
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	<4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		109018	674007	401270	286750	11866	542336	1692461	
		BURBUJAS				BURBUJAS			
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	<4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
16189	0	0	0	1922	0	0			

Obtenidos los resultados se ha considerado al fluido de esta prueba como **“muy sucio”** por la cantidad de partículas en el código referente a las partículas <4<6 y la considerable cantidad de partículas en los demás códigos de limpieza.

Para esta prueba se ha realizado la representación gráfica del comportamiento de las partículas por cada tamaño, para apreciar la variación de las cantidades de partículas en cada tiempo establecido del periodo de análisis. Obteniendo las siguientes ilustraciones gráficas para cada tamaño de partículas:

Comparación de las partículas > 14 um:

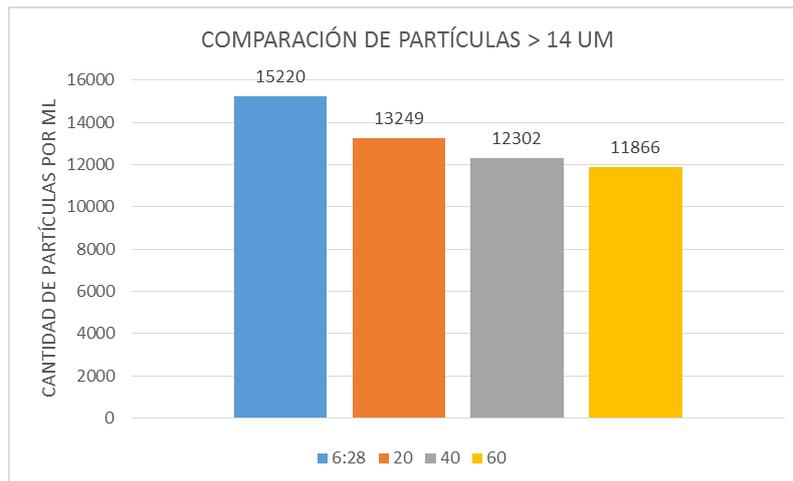


Figura 97. Comparación de las partículas > 14 um

Comparación de las partículas <6<14 um:

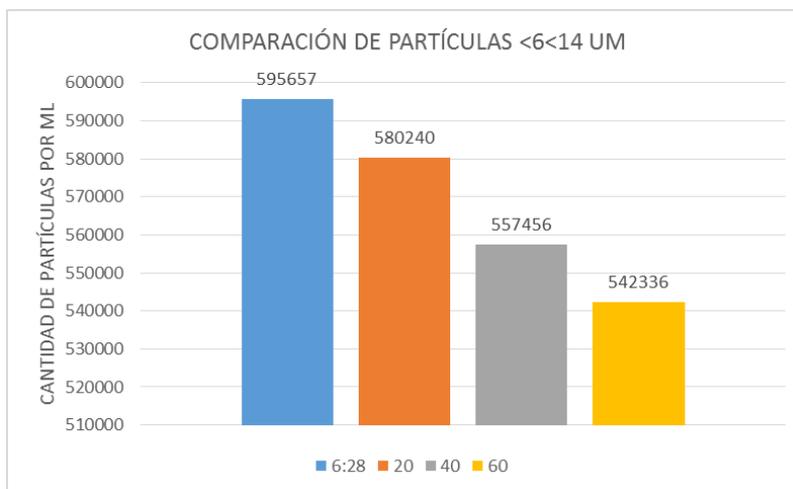


Figura 98. Comparación de las partículas <6<14 um

Comparación de las partículas <4<6 um:

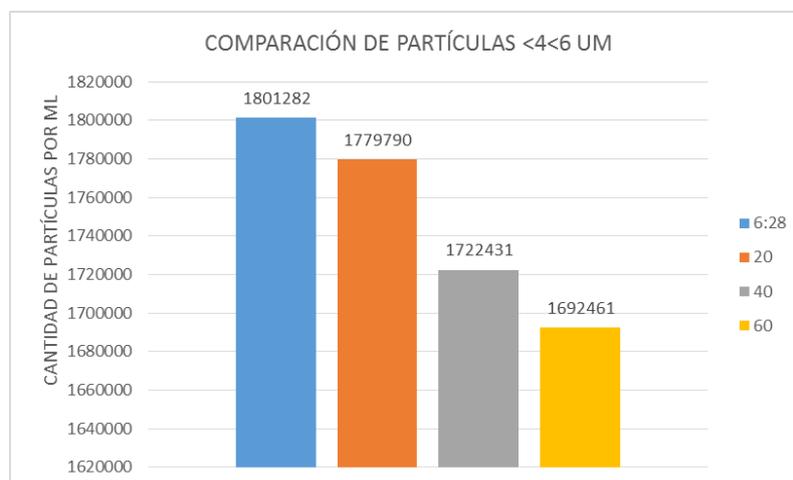


Figura 99. Comparación de las partículas <4<6 um

Luego se realizó el gráfico con el comportamiento de las burbujas por ml > 14 μm , para observar si ha existido algún tipo de generación de burbujas que pueda influir en la obtención del código ISO 4406.

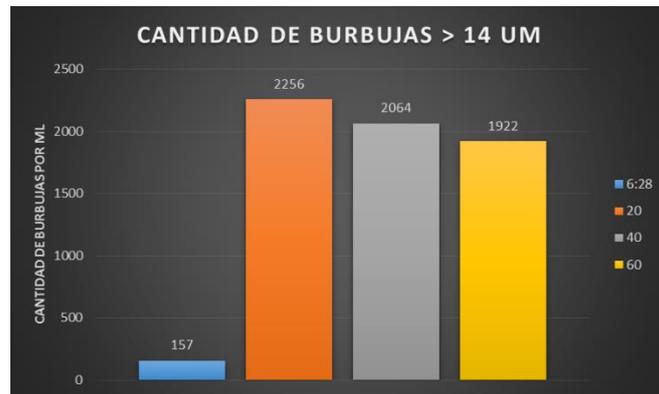


Figura 100. Comparación de burbujas por ml > 14 μm

Finalmente se ha creado la representación gráfica general del comportamiento de las partículas con 1 gramos de contaminación en el fluido.

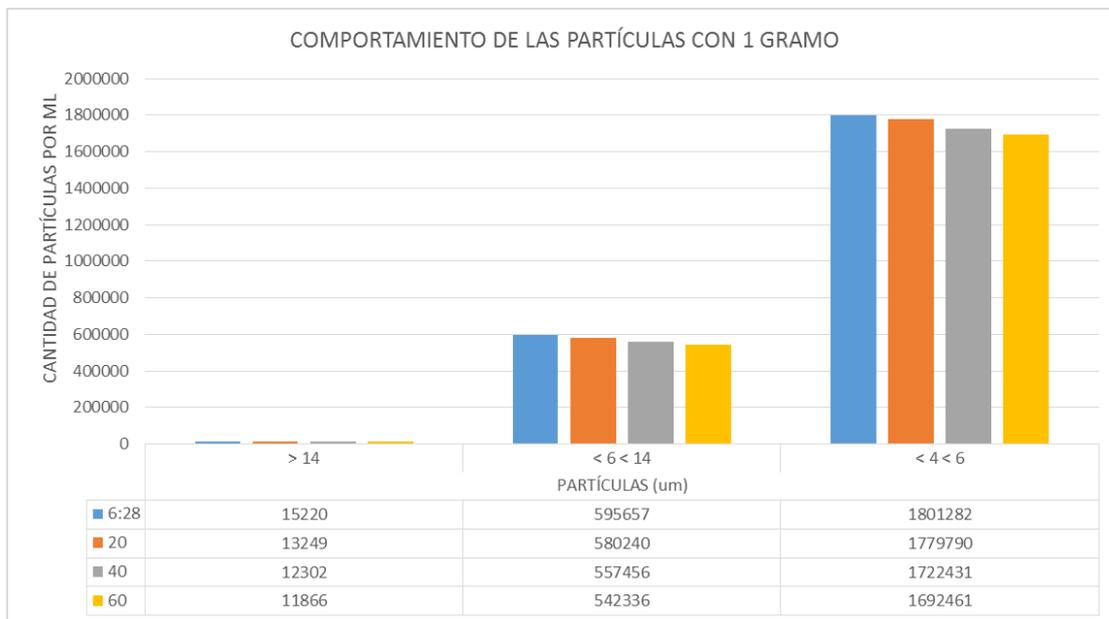


Figura 101. Comportamiento de las partículas en una hora, con 1 gr.

5.5.6. Partículas asentadas en el fondo del bote, prueba realizada un día después y comparando con una agitación manual previa al análisis

En esta prueba se ha dejado el bote con el fluido hidráulico en reposo durante un día, para conseguir el asentamiento de las partículas en el fondo y tras el análisis de la muestra obtener el código de limpieza ISO 4406. La obtención de respuesta fue en un tiempo de 1:42 minutos a diferencia de la prueba con agitación manual previa al análisis que tuvo un tiempo de respuesta de 7:00 minutos aproximadamente.

La primera tabla de datos es referente a la muestra en reposo con las partículas asentadas en el fondo del bote, con los siguientes resultados:

FRAME	TIEMPO DE ANÁLISIS (MIN)	CANTIDAD DE PARTÍCULAS/BURBUJAS ACUMULADAS EN TODAS LAS IMÁGENES				CANTIDAD DE PARTÍCULAS POR ML			CÓDIGO ISO 4406
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
52	1:42	PARTÍCULAS (um)				PARTÍCULAS (um)			26/24/19
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		3074	18065	13379	4856	3074	129507	463982	
		BURBUJAS				BURBUJAS			
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		22	0	0	0	22	0	0	
131	5	PARTÍCULAS (um)				PARTÍCULAS (um)			26/24/19
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		8372	51834	38391	14190	2792	126842	460167	
		BURBUJAS				BURBUJAS			
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		224	0	0	0	123	0	0	
205	8	PARTÍCULAS (um)				PARTÍCULAS (um)			26/24/19
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		13286	83559	62008	23133	2753	127967	459617	
		BURBUJAS				BURBUJAS			
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		416	0	0	0	114	0	0	
254	10	PARTÍCULAS (um)				PARTÍCULAS (um)			26/24/19
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		16507	104118	77179	28784	2837	128565	458965	
		BURBUJAS				BURBUJAS			
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		567	0	0	0	132	0	0	

Obtenidos los resultados se ha considerado que el fluido para esta prueba es **“muy sucio”**, por la cantidad de partículas en el código referente a <4 <6 um, pese a que la muestra se encontraba en reposo.

La siguiente tabla de datos se refiere a la muestra de las partículas asentadas en el fondo del bote, pero con la agitación manual de dos minutos previos al análisis. Obteniendo los siguientes resultados:

FRAME	TIEMPO DE ANÁLISIS (MIN)	CANTIDAD DE PARTÍCULAS/BURBUJAS ACUMULADAS EN TODAS LAS IMÁGENES				CANTIDAD DE PARTÍCULAS POR ML			CÓDIGO ISO 4406
		PARTÍCULAS (um)				PARTÍCULAS (um)			
52	6:43	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	<4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	28/26/21
		19536	84039	52819	19937	19536	607663	1928138	
		BURBUJAS				BURBUJAS			
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	<4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
59	8	PARTÍCULAS (um)				PARTÍCULAS (um)			28/26/21
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	<4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		22449	97750	61553	23178	19183	603260	1913110	
		BURBUJAS				BURBUJAS			
70	10	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	<4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	28/26/21
		26916	119517	75156	28214	18449	600664	1902339	
		BURBUJAS				BURBUJAS			
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	<4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
101	15	PARTÍCULAS (um)				PARTÍCULAS (um)			28/26/21
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	<4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		39652	180275	113569	42734	17203	592533	1892933	
		BURBUJAS				BURBUJAS			
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	<4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		2858	0	0	0	2345	0	0	

Como se puede observar los códigos referentes a los diferentes tamaños de partículas han dado dos saltos, esto significa que las cantidades de partículas de cada código han aumentado considerablemente con la agitación manual previa del fluido con las partículas asentadas en el fondo del bote. Por lo que se considera que el fluido para esta prueba es **“muy sucio”**.

A continuación se muestran las representaciones gráficas de las comparaciones de partículas asentadas en el fondo del bote sin agitación, con respecto a las partículas asentadas con agitación manual de dos minutos previos al análisis.

En respuesta:

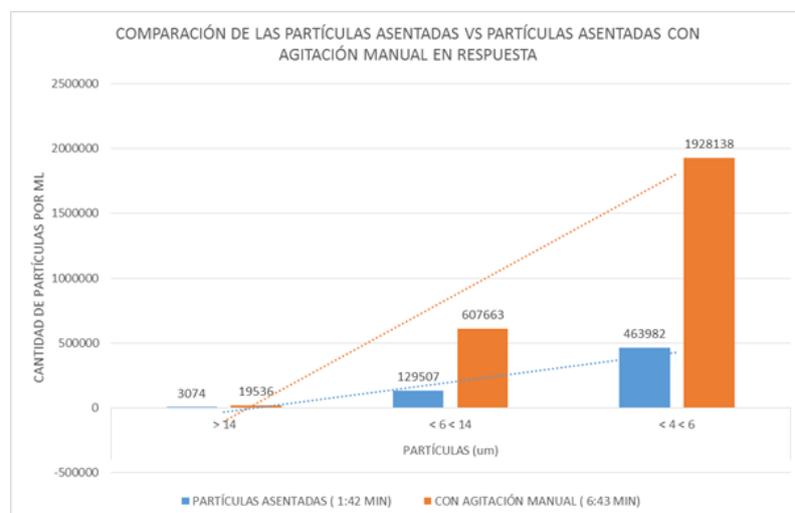


Figura 102. Comparación de las partículas sin agitación manual VS Partículas con agitación manual

En 8 minutos de análisis:

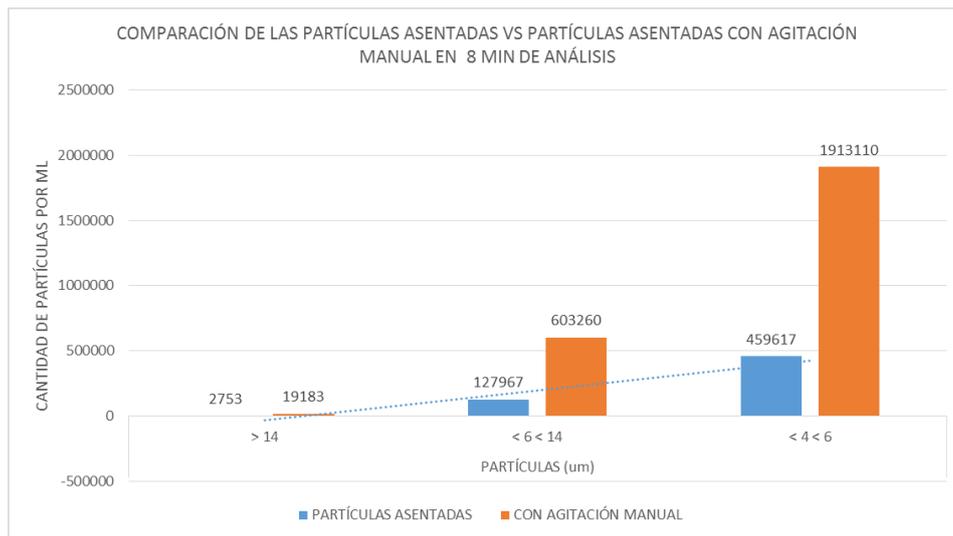


Figura 103. Comparación de las partículas sin agitación manual VS Partículas con agitación manual, 8 minutos de análisis

En 10 minutos de análisis:

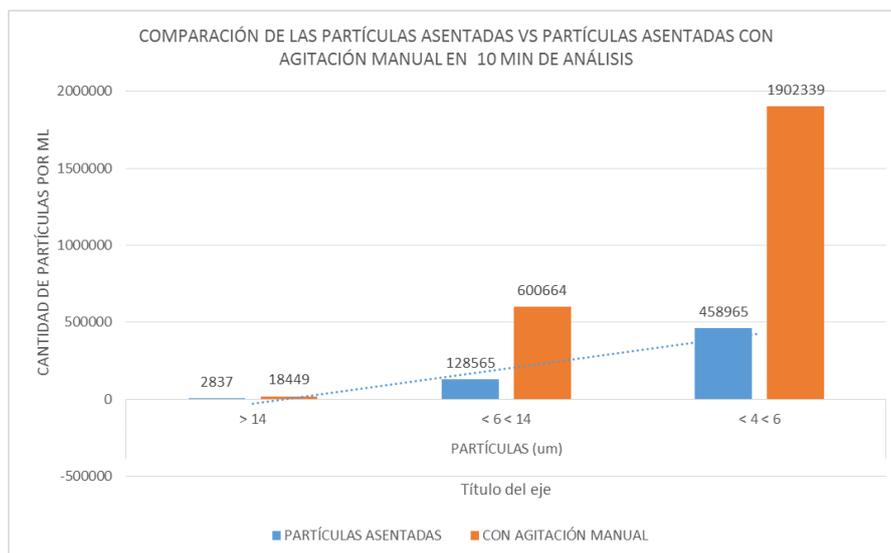


Figura 104. Comparación de las partículas sin agitación manual VS Partículas con agitación manual, 10 minutos de análisis

Además se muestran las representaciones gráficas generales del comportamiento de las partículas asentadas en el fondo del bote sin agitación manual como se muestra en la figura 105 y las partículas asentadas con agitación manual de dos minutos previos al análisis como se muestra en la figura 106.

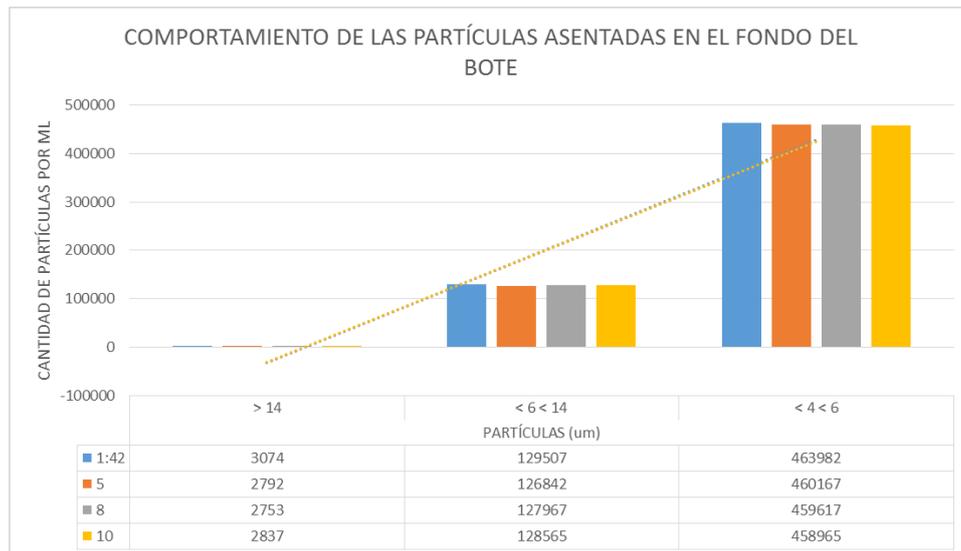


Figura 105. Comportamiento de las partículas asentadas en el fondo del bote

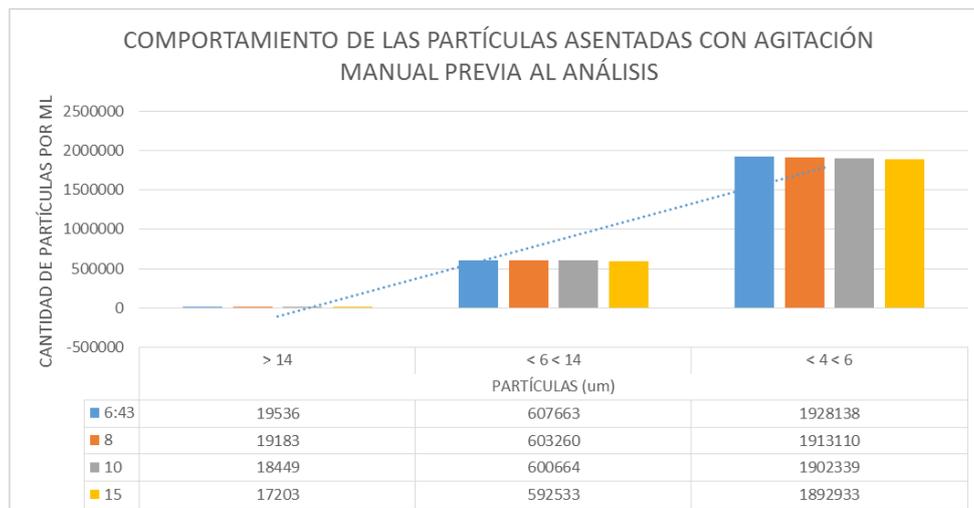


Figura 106. Comportamiento de las partículas asentadas en el fondo del bote con agitación manual de dos minutos previos al análisis.

5.5.7. Análisis de una muestra real - obtención del código de limpieza ISO 4406

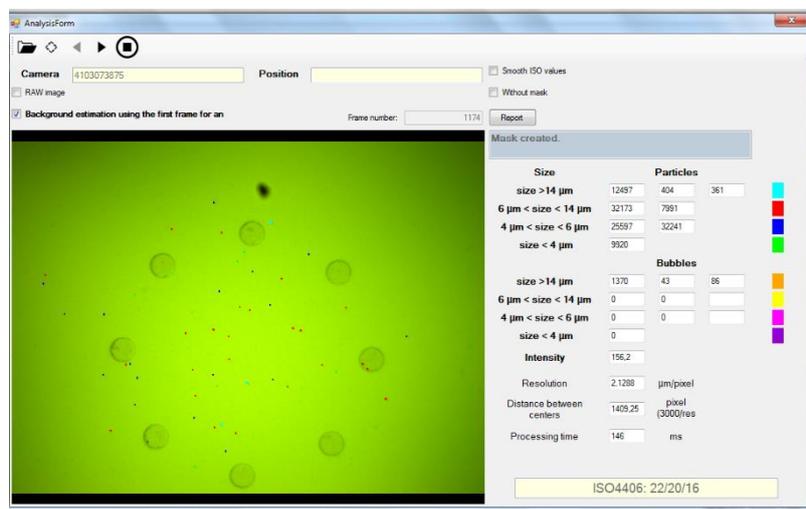
Para esta prueba se ha tomado una muestra real de 200 ml en un motor Nissan de cuatro cilindros. Además se ha utilizado un régimen de giro de 500 rpm, partículas de hierro < 10 um y un tiempo de análisis de 10 minutos.

Los objetivos de esta prueba son:

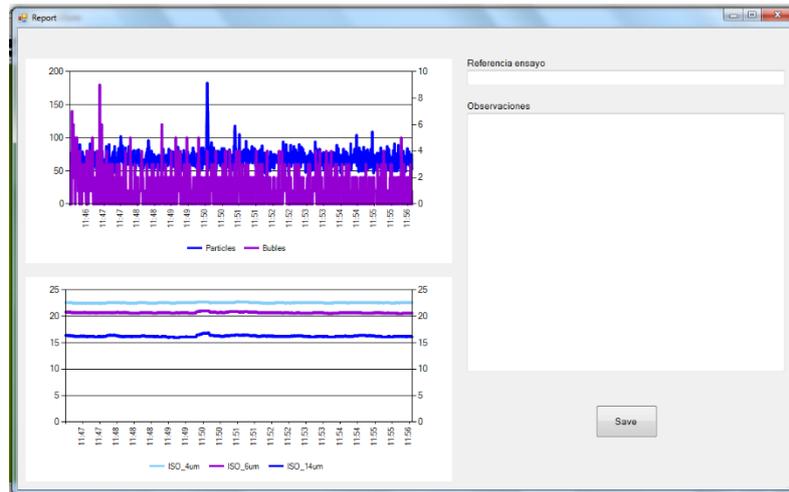
- Obtener el código ISO 4406, este análisis se lo ha realizado en un periodo de tiempo de 10 minutos, con el fin de observar el comportamiento de las partículas en cada tiempo establecido dentro del periodo de análisis.
- Contaminar con 0.2 gramos más de partículas de hierro < 10 μm a la muestra real durante el proceso de análisis para observar si el sensor de conteo y clasificación de partículas es capaz de percibir en tiempo real esta adición de agente contaminante.
- Conocer el comportamiento de las partículas en cada tiempo establecido durante una hora de análisis.

Para esta prueba se agitó el bote durante dos minutos previos al análisis, con el fin de homogeneizar lo mejor posible la muestra. Luego se colocó la cañería de entrada de la bomba de engranajes en la mitad del fluido para la toma de muestra y la cañería de retorno del sensor en el mismo bote, es decir, se analizó el fluido en recirculación.

Dados estos parámetros, se procedió a analizar el fluido con el sensor de conteo y clasificación de partículas, como se muestra en la siguiente imagen proporcionada por el software.



Luego al presionar el botón de “Report” se obtiene un informe gráfico del comportamiento de las partículas/burbujas para esta prueba, por lo que en la gráfica de la parte superior se puede observar que las cantidades de partículas (línea azul) y burbujas (línea morada) no han tenido una variación considerable en el transcurso del tiempo.



Vale acotar que cuando finalizó la prueba se observó en la pantalla del software (lente óptico del sensor) pequeñas películas pastosas, que posiblemente eran indicios de presencia de agua en la muestra real. Por lo que no se recomienda analizar fluidos con presencia evidente de agua, ya que generaría ciertas interrupciones visuales e incluso mayor consumo de líquido disolvente para la limpieza del sistema.

Los límites de presencia de agua comienzan a ser preocupante cuando el mismo supere una cantidad del 0.1 % y crítico con más de 0.25% de agua en el aceite.²⁰

Para esta prueba experimental, se estableció tiempos dentro del periodo de análisis para observar el comportamiento de las partículas. Además la disminución de las cantidades de partículas no es muy evidente al pasar el tiempo, posiblemente porque el fluido no está muy contaminado y el retorno del aceite lubricante al bote, mantiene suspendidas las partículas.

A continuación se muestra la tabla de datos obtenidos durante el proceso de análisis.

²⁰ **CONTAMINACIÓN CON AGUA, MANTENIMIENTO DE MOTORES DIÉSEL**, Vicente Macián, Bernardo Tormos, Jorge Peidro, Pablo Olmeda.



FRAME	TIEMPO DE ANÁLISIS (MIN)	CANTIDAD DE PARTÍCULAS/BURBUJAS ACUMULADAS EN TODAS LAS IMÁGENES				CANTIDAD DE PARTÍCULAS POR ML			CÓDIGO ISO 4406
		PARTÍCULAS (um)				PARTÍCULAS (um)			
46	0:22	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	22/20/16
		570	1283	931	373	554	9204	32154	
		BURBUJAS				BURBUJAS			
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		103	0	0	0	100	0	0	
236	2	PARTÍCULAS (um)				PARTÍCULAS (um)			22/20/16
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		2630	6537	4916	2056	405	8736	31461	
		BURBUJAS				BURBUJAS			
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		377	0	0	0	34	0	0	
352	3	PARTÍCULAS (um)				PARTÍCULAS (um)			22/20/16
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		3798	9667	7386	2989	414	8592	31092	
		BURBUJAS				BURBUJAS			
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		499	0	0	0	47	0	0	
469	4	PARTÍCULAS (um)				PARTÍCULAS (um)			22/20/16
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		4922	12834	9958	3933	406	8388	31863	
		BURBUJAS				BURBUJAS			
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		634	0	0	0	47	0	0	
585	5	PARTÍCULAS (um)				PARTÍCULAS (um)			22/20/16
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		6384	16375	12523	4979	485	9441	32141	
		BURBUJAS				BURBUJAS			
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		774	0	0	0	53	0	0	
939	8	PARTÍCULAS (um)				PARTÍCULAS (um)			22/20/16
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		10113	26052	20339	7916	421	8494	31394	
		BURBUJAS				BURBUJAS			
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		1156	0	0	0	40	0	0	
1174	10	PARTÍCULAS (um)				PARTÍCULAS (um)			22/20/16
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		12497	32173	25597	9920	404	7991	32241	
		BURBUJAS				BURBUJAS			
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		1370	0	0	0	43	0	0	

Dados los resultados se ha considerado al fluido de esta prueba como “sucio” ya que las cantidades de partículas de los diferentes tamaños no son muy elevadas en cada código de limpieza con respecto al código ISO 4406 que considera a un aceite limpio.

Luego se ha propuesto mostrar en detalle el comportamiento de cada tamaño de partículas >14 um, <6 < 14 um, <4<6 um, para observar de mejor manera las variaciones en cada parámetro de tiempo. Además el comportamiento de las burbujas por ml > 14 um y finalmente la representación gráfica general del comportamiento de las partículas.

Comportamiento de las partículas > 14 um:

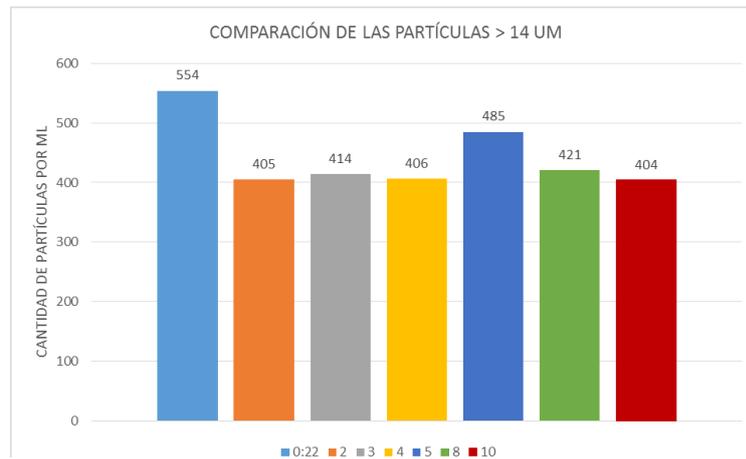


Figura 107. Comparación de las partículas > 14 um

Comportamiento de las partículas <6 <14 um:

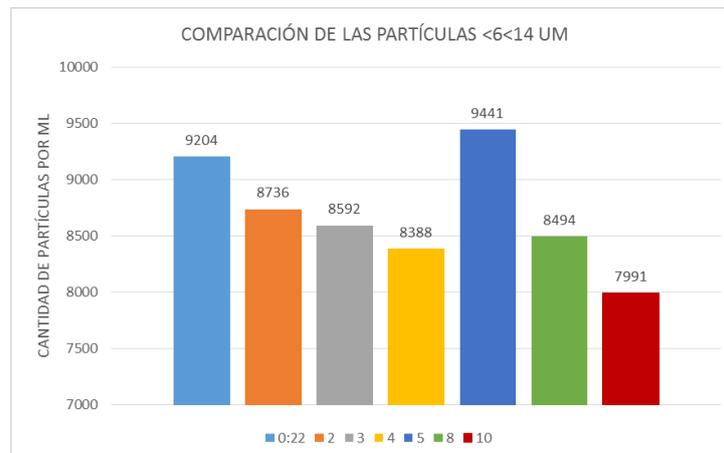


Figura 108. Comparación de las partículas <6<14 um

Comportamiento de las partículas <6 <14 um:

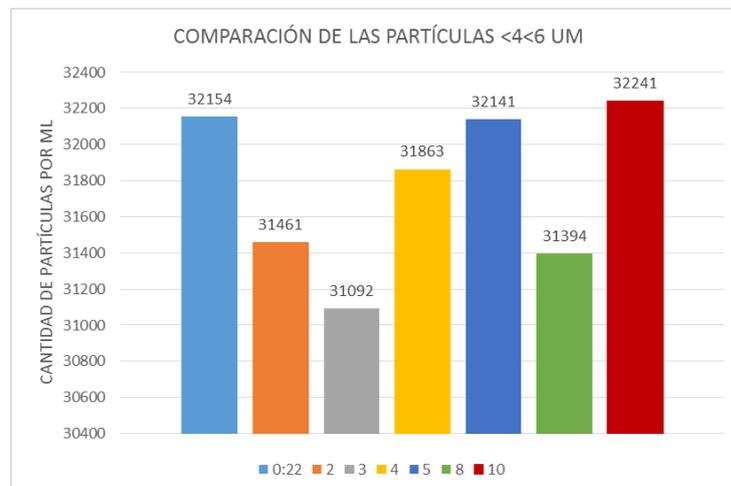


Figura 109. Comportamiento de las partículas <4 <6 um:

También se ha realizado el gráfico del comportamiento de las burbujas por ml > 14 um, con el fin de observar si se ha dado alguna generación de burbujas que pueda influir en la obtención del código ISO 4406

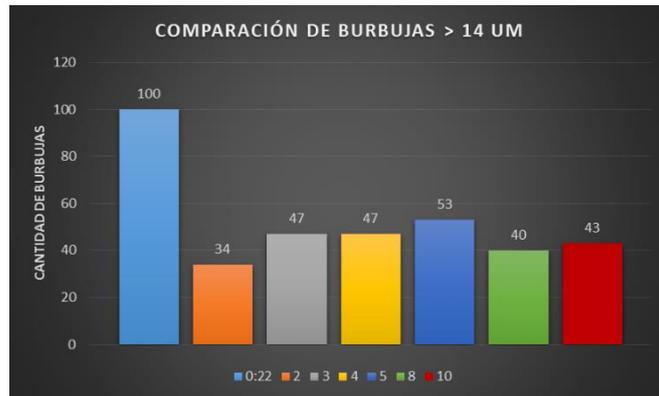


Figura 110. Comparación de burbujas por ml > 14 um

Luego se realizó la representación gráfica general del comportamiento de las partículas durante la obtención del código ISO 4406, como se muestra en la figura 111.

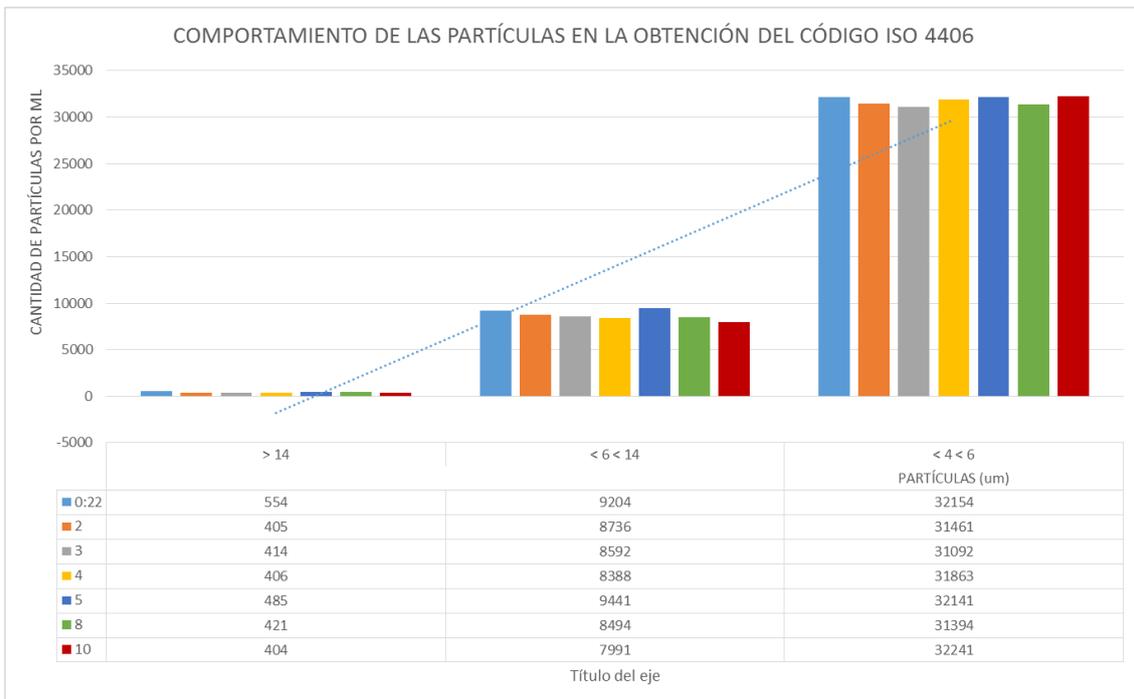
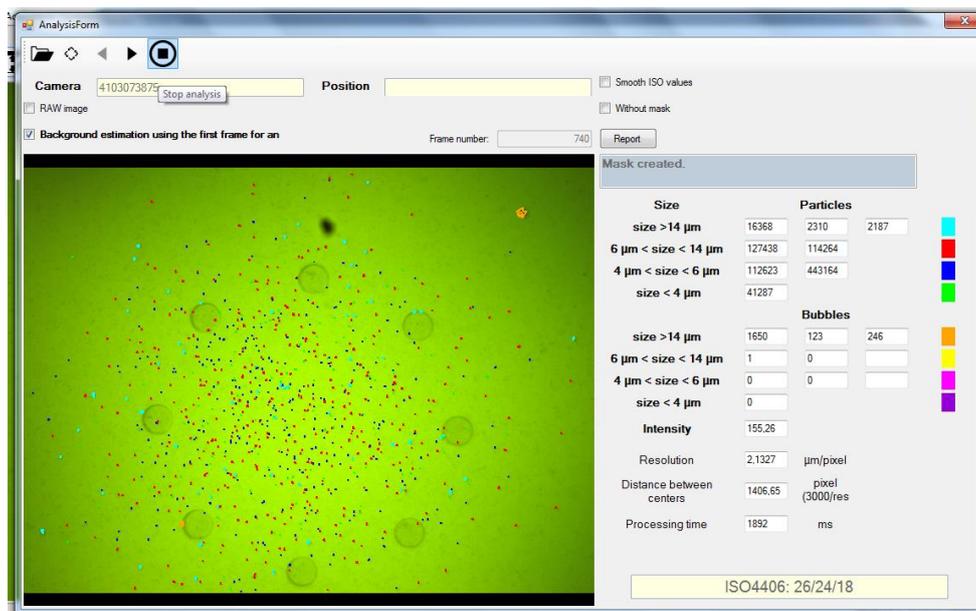


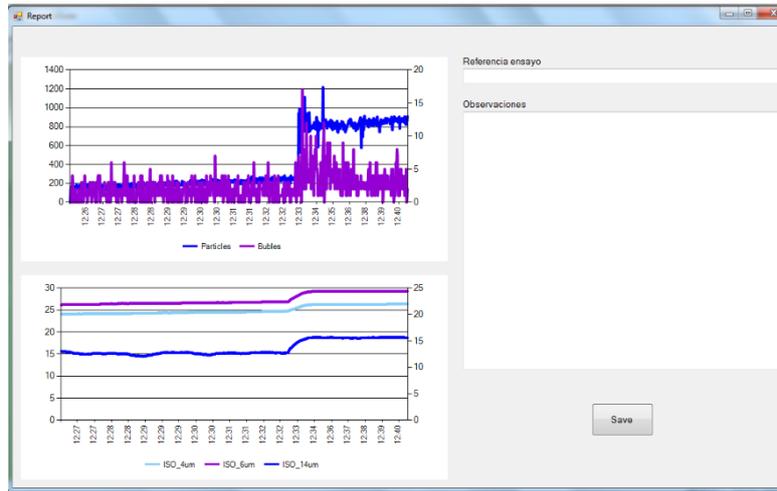
Figura 111. Comportamiento general de las partículas en la obtención del código ISO 4406

5.5.7.1. Comportamiento de las partículas con un aumento de 0.2 gramos durante el proceso de análisis

Para realizar esta prueba se han tomado en cuenta los parámetros propuestos al inicio del capítulo V, a diferencia de la cantidad de fluido que en este caso son 200 ml. Luego se ha preparado una cantidad adicional de 0.2 gramos de partículas de hierro < 10 μm que se agregaron a la muestra real durante el análisis, para esta prueba el tiempo de análisis es de 15 minutos y en el minuto 6 se añadió el agente contaminante al fluido, el cual se mezcló y agitó por 1 minuto con el fin de verificar si el sensor puede percibir la contaminación en ese momento y modificar el código ISO 4406 durante el proceso de análisis. En la pantalla del software se puede apreciar que hay una mayor afluencia de partículas en el sistema con el aumento de contaminación, como se muestra a continuación:



Y al presionar el botón de "Report" para la obtención del informe gráfico, se puede observar claramente en la línea que pertenece al comportamiento de las partículas (línea azul) del gráfico superior, que presenta un cambio en su comportamiento exactamente en el minuto 6, por lo que se ha determinado que el sensor de conteo y clasificación de partículas si percibe la contaminación durante el proceso de análisis, mientras que en la línea que representa las burbujas (línea morada) se genera un pico en el mismo tiempo en que las partículas experimentan el cambio, esto puede ser por la agitación manual que se dio al fluido en ese momento al añadir los 0.2 gramos de partículas de hierro < 10 μm , para homogeneizar la muestra. A continuación se muestra el gráfico dado por el software, en donde se puede apreciar el comportamiento de las partículas/burbujas durante el periodo de tiempo.



Conseguidos los resultados proporcionados por el software, se procedió a realizar una tabla de datos con toda la información del comportamiento de las partículas en cada tiempo del periodo de análisis, como se muestra a continuación.

FRAME	TIEMPO DE ANÁLISIS (MIN)	CANTIDAD DE PARTÍCULAS/BURBUJAS ACUMULADAS EN TODAS LAS IMÁGENES PROCESADAS				CANTIDAD DE PARTÍCULAS POR ML			CÓDIGO ISO 4406
43	0:31	PARTÍCULAS (um)				PARTÍCULAS (um)			24/21/15
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		320	2590	2824	1043	320	18298	88998	
		BURBUJAS				BURBUJAS			
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		52	0	0	0	52	0	0	
163	2	PARTÍCULAS (um)				PARTÍCULAS (um)			24/22/15
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		1010	10721	11422	4274	231	21069	99044	
		BURBUJAS				BURBUJAS			
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		245	0	0	0	57	0	0	
240	3	PARTÍCULAS (um)				PARTÍCULAS (um)			24/22/15
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		1432	16451	17482	6536	256	22335	108335	
		BURBUJAS				BURBUJAS			
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		374	0	0	0	69	0	0	
315	4	PARTÍCULAS (um)				PARTÍCULAS (um)			24/22/15
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		1904	22296	24018	8999	249	24003	117653	
		BURBUJAS				BURBUJAS			
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		495	0	0	0	67	0	0	
387	5	PARTÍCULAS (um)				PARTÍCULAS (um)			24/22/15
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		2334	28411	30464	11346	258	25032	118682	
		BURBUJAS				BURBUJAS			
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		605	0	0	0	55	0	0	
A LOS 6 MINUTOS DE ANÁLISIS SE AUMENTÓ 0.2 GRAMOS DE PARTÍCULAS DE HIERRO < 10 UM									
540	8	PARTÍCULAS (um)				PARTÍCULAS (um)			26/24/18
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		5398	53213	53115	19791	2326	104388	386113	
		BURBUJAS				BURBUJAS			
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		996	0	0	0	201	0	0	
596	10	PARTÍCULAS (um)				PARTÍCULAS (um)			26/24/18
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		8529	73855	69452	25635	2338	110203	415978	
		BURBUJAS				BURBUJAS			
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		1216	0	0	0	173	0	0	
740	15	PARTÍCULAS (um)				PARTÍCULAS (um)			26/24/18
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		16368	127438	112623	41287	2310	114264	443164	
		BURBUJAS				BURBUJAS			
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		1650	0	0	0	123	0	0	

Como se puede observar si se ocasiona una variación considerable en las cantidades de partículas en los códigos de limpieza, provocando dos saltos en las partículas $<4 < 6 \mu\text{m}$ y $<6 < 14 \mu\text{m}$, mientras que tres saltos en el código referente a las partículas $> 14 \mu\text{m}$. Por lo que se ha considerado al fluido para esta prueba como **“muy sucio”**

Luego se ha realizado la representación gráfica del comportamiento de cada tamaño de partículas, para observar de mejor manera la variación de las cantidades de partículas/burbujas antes y después de haber añadido 0.2 gramos de agente contaminante.

Comparación de partículas $> 14 \mu\text{m}$

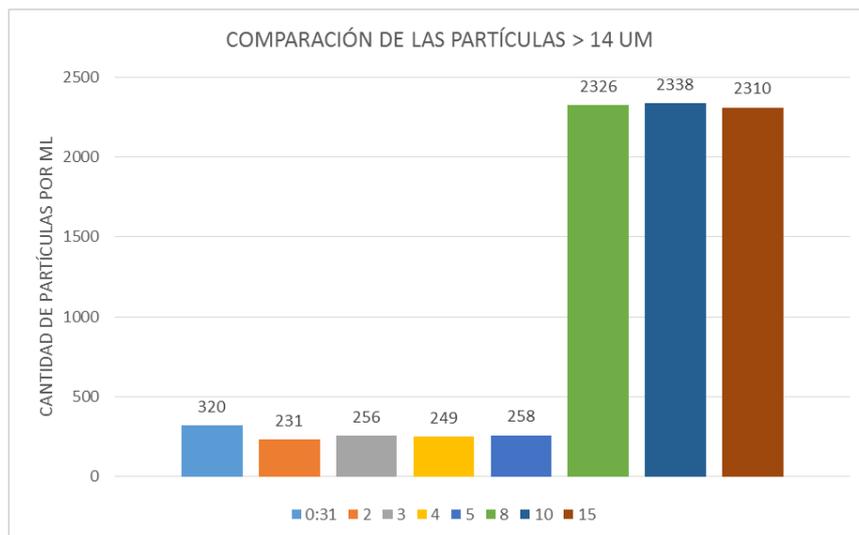


Figura 112. Comparación de partículas $> 14 \mu\text{m}$

Comparación de partículas $<6 < 14 \mu\text{m}$

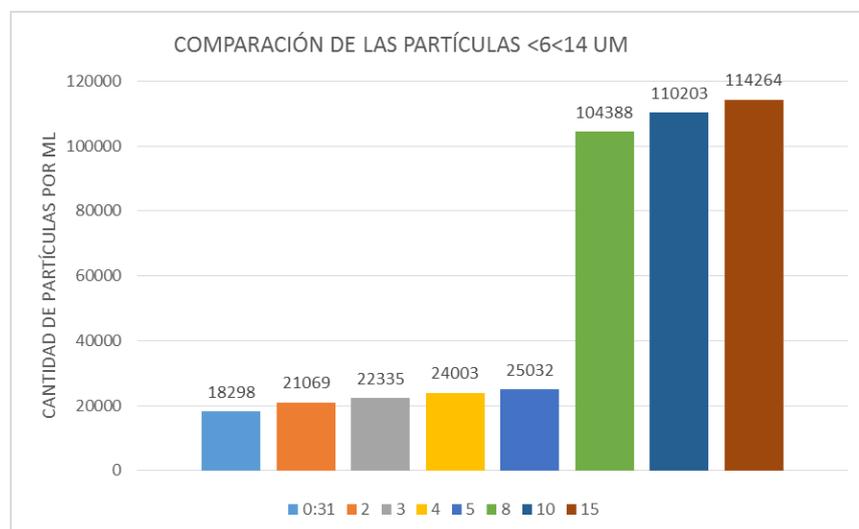


Figura 113. Comparación de partículas $<6 < 14 \mu\text{m}$

Comparación de partículas <4 <6 um

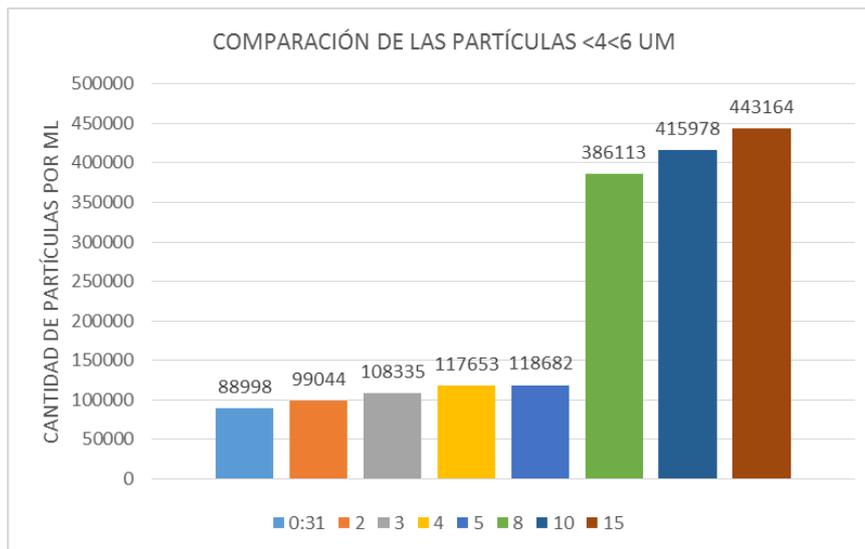


Figura 114. Comparación de partículas <4 <6 um

Luego se ha graficado el comportamiento de las burbujas por ml > 14 um, en donde se aprecia una mayor generación de burbujas en el tiempo de 8 minutos por la agitación manual que se aplicó para la homogenización de la muestra al añadir los 0.2 gramos de partículas de hierro < 10 um



Figura 115. Comparación de burbujas por ml > 14 um

También se ha creado una representación gráfica para mostrar el salto que ha dado el código ISO 4406 por medio de las cantidades de partículas, antes de ser contaminado y después de la contaminación, como se muestra en la figura 116.

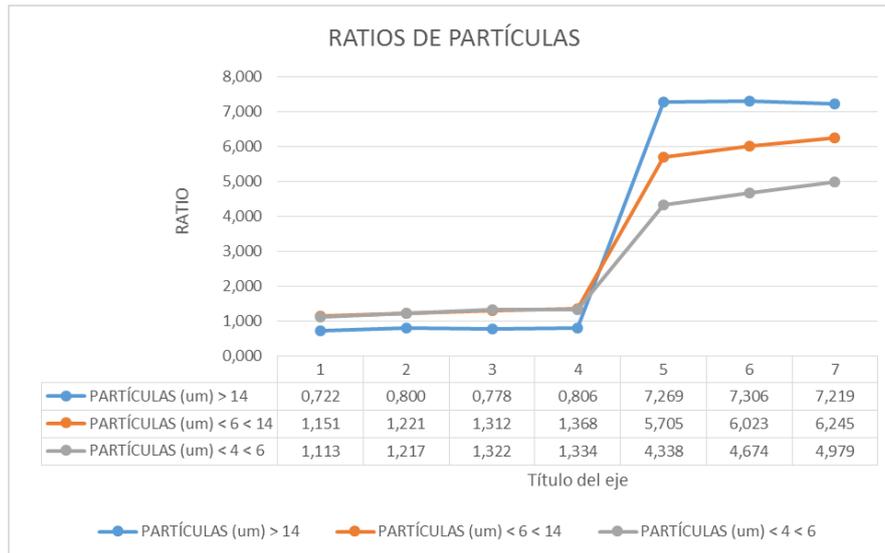


Figura 116. Ratio de partículas

Finalmente se ha realizado un gráfico general del comportamiento de las partículas, en donde se puede observar las cantidades de partículas antes y después de añadir 0.2 gr. de agente contaminante a la muestra real, como se muestra a continuación:

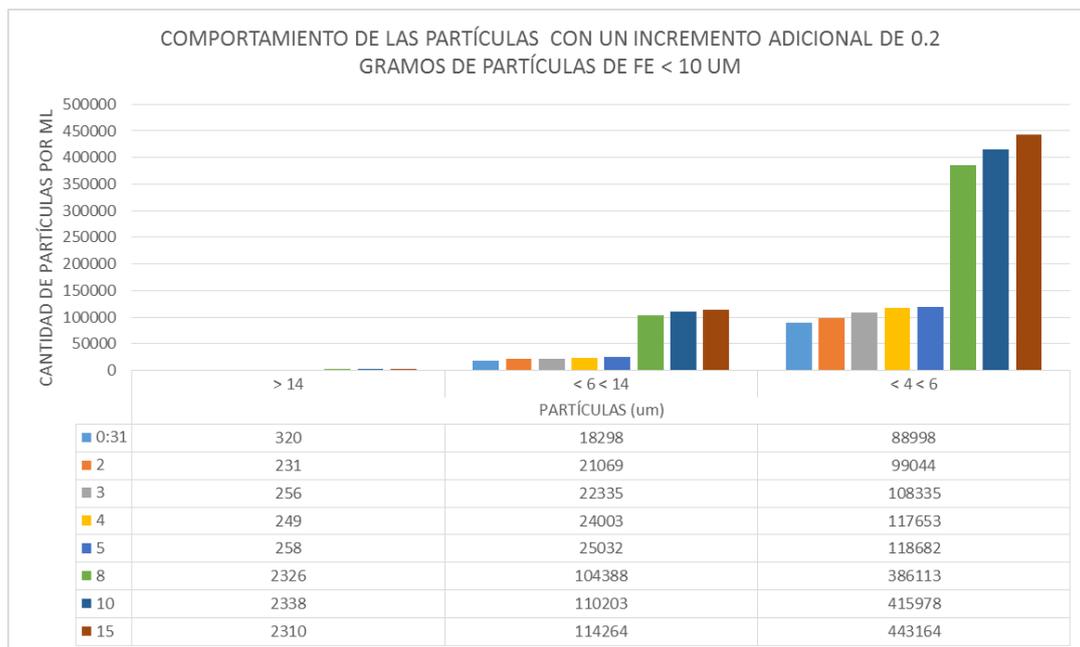
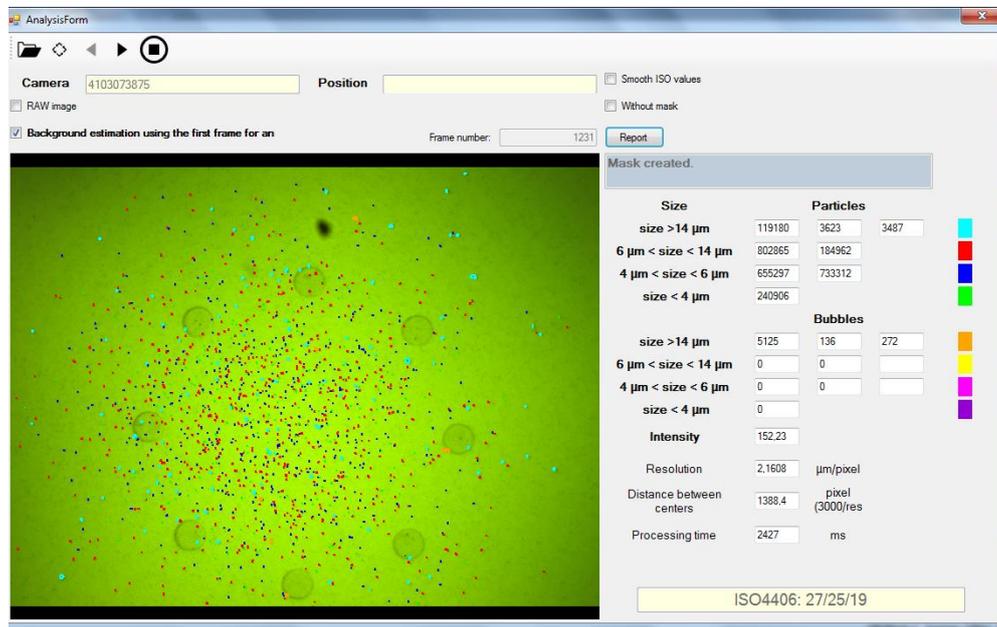


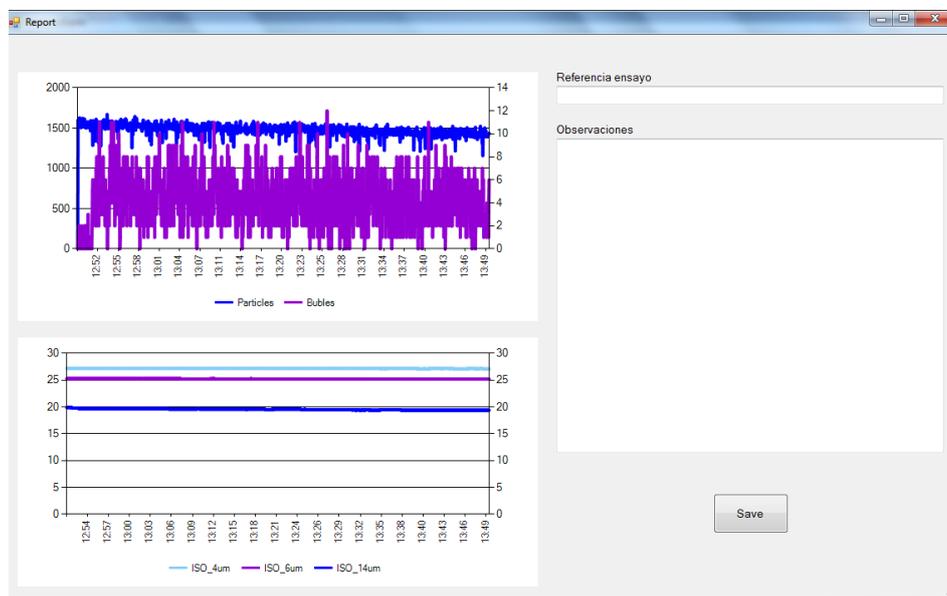
Figura 117. Cantidad de partículas sin contaminar VS Cantidad de partículas con contaminación

5.5.7.2. Comportamiento de las partículas en una hora de análisis

En esta prueba se analizará el comportamiento de las partículas de la muestra real durante una hora, se han establecido parámetros de tiempo en el periodo de análisis para poder observar el comportamiento de las partículas en ese momento, al analizar la muestra la pantalla del software muestra lo siguiente:



Al detener el análisis y presionar “Report” obtendremos el informe gráfico del análisis que nos muestra el comportamiento de las partículas (azul) y de las burbujas (morado), se observa una leve disminución de las partículas.





Para observar de mejor manera el comportamiento de las partículas se ha creado una tabla de datos con los valores de las cantidades de partículas en cada tiempo del periodo de análisis, como se muestra a continuación:

FRAME	TIEMPO DE ANÁLISIS (MIN)	CANTIDAD DE PARTÍCULAS/BURBUJAS ACUMULADAS EN TODAS LAS IMÁGENES				CANTIDAD DE PARTÍCULAS POR ML			CÓDIGO ISO 4406
43	2:02	PARTÍCULAS (um)				PARTÍCULAS (um)			27/25/19
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		4869	29063	22984	8218	4869	208278	782878	
		BURBUJAS				BURBUJAS			
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
61	3	PARTÍCULAS (um)				PARTÍCULAS (um)			27/25/19
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		6793	41292	32576	11840	4692	205181	772431	
		BURBUJAS				BURBUJAS			
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
82	4	PARTÍCULAS (um)				PARTÍCULAS (um)			27/25/19
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		9038	55597	43844	15993	4516	204302	765602	
		BURBUJAS				BURBUJAS			
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
100	5	PARTÍCULAS (um)				PARTÍCULAS (um)			27/25/19
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		10941	68030	53697	19558	4497	205547	773547	
		BURBUJAS				BURBUJAS			
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
157	8	PARTÍCULAS (um)				PARTÍCULAS (um)			27/25/19
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		17067	106987	84766	30841	4505	205109	778009	
		BURBUJAS				BURBUJAS			
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
197	10	PARTÍCULAS (um)				PARTÍCULAS (um)			27/25/19
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		21301	134298	106510	38858	4435	205147	775972	
		BURBUJAS				BURBUJAS			
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
399	20	PARTÍCULAS (um)				PARTÍCULAS (um)			27/25/19
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		42210	269116	215316	78776	4249	196412	754162	
		BURBUJAS				BURBUJAS			
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
807	40	PARTÍCULAS (um)				PARTÍCULAS (um)			27/25/19
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		81689	535964	433039	158930	3889	193744	750469	
		BURBUJAS				BURBUJAS			
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
1231	60	PARTÍCULAS (um)				PARTÍCULAS (um)			27/25/19
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	
		119180	802865	655297	240906	3623	184962	733312	
		BURBUJAS				BURBUJAS			
		> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	< 4	> 14	< 6 < 14	< 4 < 6	

Una vez obtenidos los datos se ha considerado al fluido para esta prueba como “muy sucio” por la cantidad de partículas en los códigos referentes a <4<6 um y <6<14 um.

Para una mejor comprensión del comportamiento de las partículas durante la hora de análisis se muestra la variación de las cantidades de partículas por cada tamaño.

Comportamiento de las partículas > 14 um

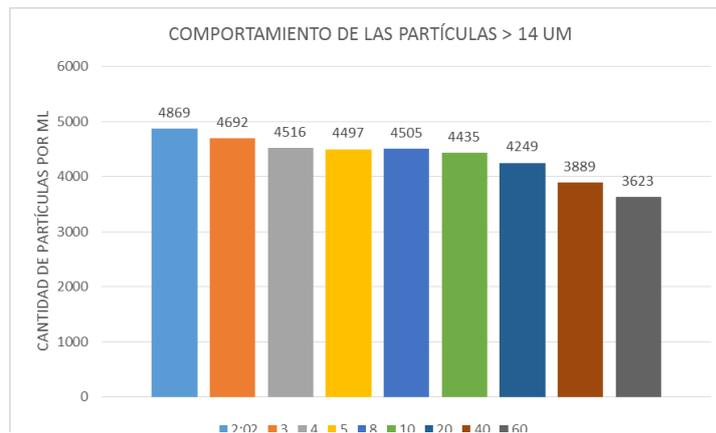


Figura 118. Comportamiento de las partículas > 14 um

Comportamiento de las partículas <6<14 um

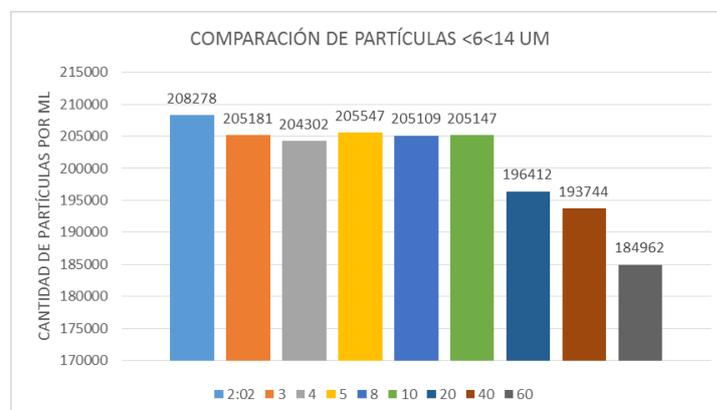


Figura 119. Comportamiento de las partículas <6 <14 um

Comportamiento de las partículas <6<14 um

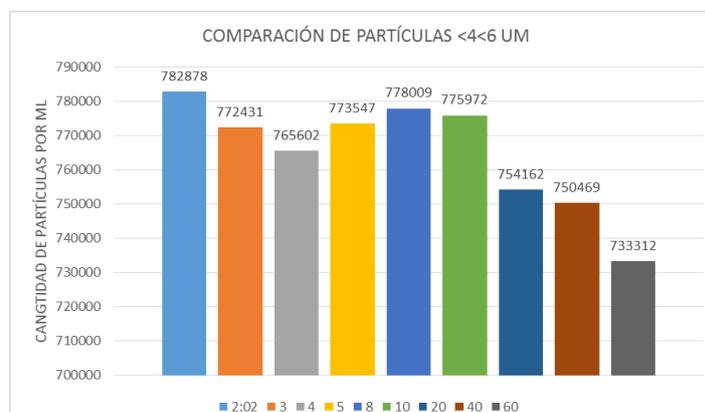


Figura 120. Comportamiento de las partículas <4<6 um

Luego se realizó el gráfico con el comportamiento de las burbujas por ml > 14um, que en el rango de tiempo entre 4 a 10 minutos las cantidades de burbujas se mantienen, pero a la final tienden a disminuir en el transcurso de los 50 minutos próximos.

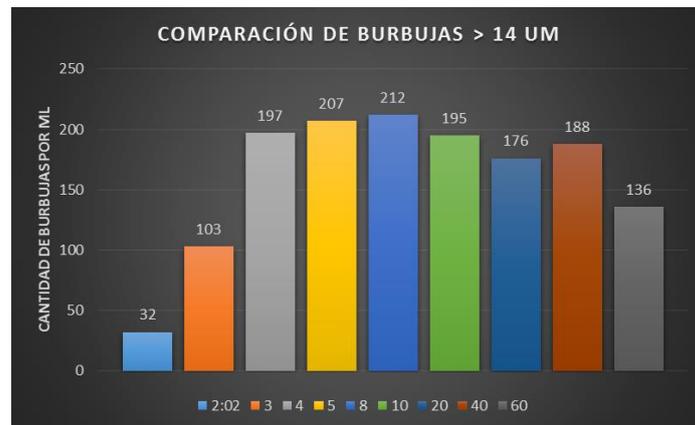


Figura 121. Comparación de burbujas > 14 um

Finalmente se realizó la representación gráfica general del comportamiento de las partículas durante una hora de análisis, donde se puede observar una leve disminución en las cantidades de partículas al pasar del tiempo.

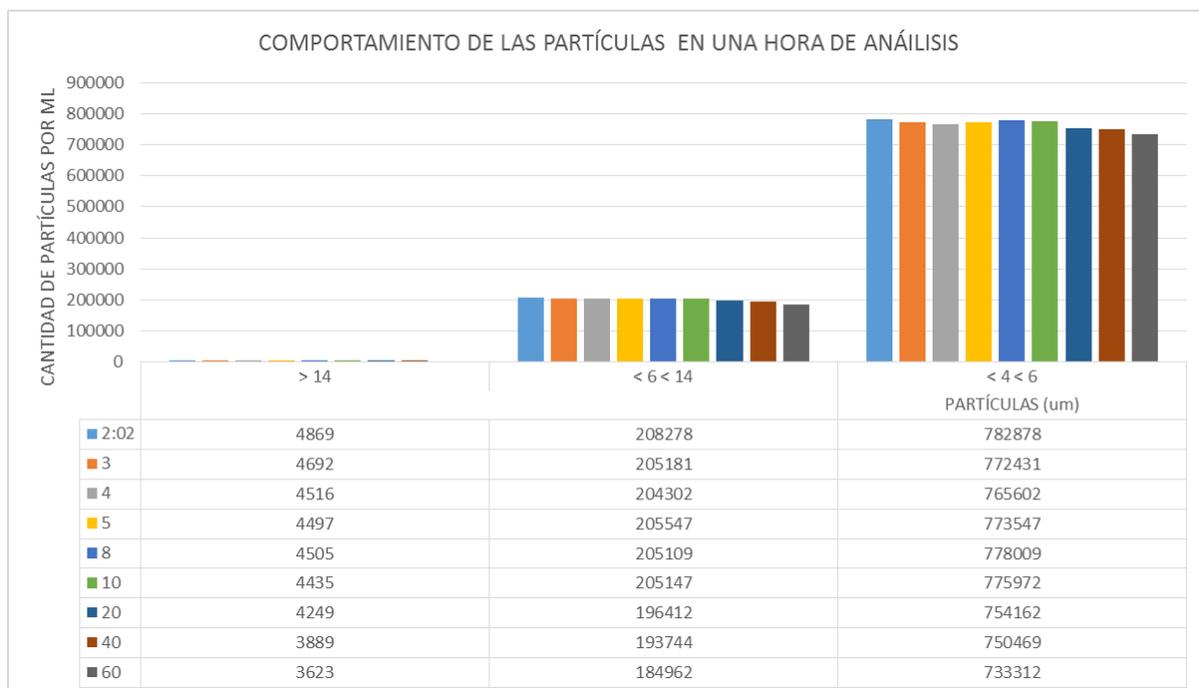


Figura 122. Comportamiento general de las partículas en una hora de análisis

5.5.8. Clasificación de los códigos ISO 4406

Se ha realizado una tabla en donde se ha clasificado los códigos ISO 4406 obtenidos en todas las pruebas realizadas en la Fase III, con los siguientes resultados:

CLASIFICACIÓN DE LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES POR SU GRADO DE CONTAMINACIÓN					
DESCRIPCIÓN	MUY LIMPIO	LIMPIO		SUCIO	MUY SUCIO
		CÓDIGO DE LIMPIEZA ISO 4406, CONSIDERADO COMO UN FLUIDO LIMPIO			
FLUIDO LIMPIO		18/16/14			
REFERENCIA - ACEITE LIMPIO		19/16/11			
CONTAMINACIÓN CON 0.1 GRAMOS					25/23/18
COMPORTAMIENTO DE LAS PARTÍCULAS EN UNA	INICIO				25/23/18
	FIN				25/23/18
CONTAMINACIÓN CON 0.2 GRAMOS					26/24/19
COMPORTAMIENTO DE LAS PARTÍCULAS EN UNA	INICIO				26/24/19
	FIN				26/24/19
CONTAMINACIÓN CON 0.5 GRAMOS					28/26/21
COMPORTAMIENTO DE LAS PARTÍCULAS EN UNA	INICIO				27/26/21
	FIN				27/26/21
CONTAMINACIÓN CON 1 GRAMO					28/26/21
COMPORTAMIENTO DE LAS PARTÍCULAS EN UNA	INICIO				28/26/21
	FIN				28/26/21
PARTÍCULAS ASENTADAS EN EL FONDO DEL BOTE					26/24/19
PARTÍCULAS ASENTADAS EN EL FONDO DEL BOTE, CON AGITACIÓN MANUAL PREVIA AL ANÁLISIS DE 2 MIN					28/26/21
MUESTRA REAL CON ACEITE UHPD 10W40				22/20/16	
MUESTRA REAL CON ACEITE UHPD 10W40 CON UN AUMENTO DE 0.2 GRAMOS DE PARTÍCULAS DE HIERRO < 10 UM DURANTE EL ANÁLISIS	SIN AUMENTO				24/22/15
	CON AUMENTO				26/24/18
COMPORTAMIENTO DE LAS PARTÍCULAS EN UNA HORA DE ANÁLISIS	INICIO				27/25/19
	FIN				27/25/19

Figura 123. Clasificación de las pruebas experimentales por su grado de contaminación. Fase III

Finalmente se muestra una tabla detallada y resumida con todas las pruebas experimentales realizadas en la Fase III, en donde se describe el tipo de aceite utilizado, el agente contaminante, el número de prueba, la descripción de cada prueba y la obtención del código.



TIPO DE ACEITE	AGENTE CONTAMINANTE	Nº PRUEBAS	DESCRIPCIÓN DE PRUEBAS	CÓDIGO ISO 4406		
REPSOL DIÉSEL TURBO UHPD 10W40	PARTÍCULAS DE HIERRO < 10 um	1	REFERENCIA DE LA MUESTRA		19/16/11	
			Nº DE PRUEBAS	TIEMPOS DE DATOS (Min)		FRAME
			1	RESPUESTA: 0:24s		53
			2	2		288
			3	3		432
			4	4		574
		5	5	717		
		2	CONTAMINACIÓN CON 0,1 GRAMOS		25/23/18	
			Nº DE PRUEBAS	TIEMPOS DE DATOS (Min)		FRAME
			1	RESPUESTA: 0:53 s		45
			2	2		94
			3	3		137
			4	4		181
		5	5	226		
		3	CON AGITACIÓN MANUAL DURANTE EL ANÁLISIS		25/23/18	
			Nº DE PRUEBAS	TIEMPOS DE DATOS (Min)		FRAME
			1	RESPUESTA: 0:54s		51
			2	2		102
			3	3		154
			4	4		205
		5	5	259		
		4	LARGA DURACIÓN (1 HORA)		25/23/18	
			Nº DE PRUEBAS	TIEMPOS DE DATOS (Min)		FRAME
			1	RESPUESTA: 0:53 s		56
			2	5		258
			3	20		1040
			4	40		2030
		5	60	2939		
		5	CONTAMINACIÓN CON 0,2 GRAMOS		26/24/19	
			Nº DE PRUEBAS	TIEMPOS DE DATOS (Min)		FRAME
			1	RESPUESTA: 1:23		46
			2	2		63
			3	3		92
			4	4		123
		5	5	154		
6	CON AGITACIÓN MANUAL DURANTE EL ANÁLISIS		26/24/19			
	Nº DE PRUEBAS	TIEMPOS DE DATOS (Min)		FRAME		
	1	RESPUESTA: 1:23		46		
	2	2:12		70		
	3	3		92		
	4	4		120		
5	5	150				
7	LARGA DURACIÓN (1 HORA)		26/24/19			
	Nº DE PRUEBAS	TIEMPOS DE DATOS (Min)		FRAME		
	1	RESPUESTA: 1:40		48		
	2	5		117		
	3	20		504		
	4	40		1026		
5	60	1424				



REPSOL DIÉSE TURBO UHPD 10W40	PARTÍCULAS DE HIERRO < 10 um	8	CONTAMINACIÓN CON 0,5 GRAMOS			28/26/21
			Nº DE PRUEBAS	TIEMPOS DE DATOS (Min)	FRAME	
			1	RESPUESTA: 4:33	49	
			2	5	53	
			3	8	78	
		4	10	96		
		9	CON AGITACIÓN MANUAL DURANTE EL ANÁLISIS			27/26/21
			Nº DE PRUEBAS	TIEMPOS DE DATOS (Min)	FRAME	
			1	RESPUESTA: 3:56	47	
			2	5	57	
			3	8	89	
		4	10	111		
		10	LARGA DURACIÓN (1 HORA)			27/26/21
			Nº DE PRUEBAS	TIEMPOS DE DATOS (Min)	FRAME	
			1	RESPUESTA: 4:04	49	
2	5		58			
3	20		214			
4	40		410			
5	60	606				
11	CONTAMINACIÓN CON 1 GRAMOS			28/26/21		
	Nº DE PRUEBAS	TIEMPOS DE DATOS (Min)	FRAME			
	1	RESPUESTA: 6:49	55			
	2	8	62			
3	10	75				
12	CON AGITACIÓN MANUAL DURANTE EL ANÁLISIS			28/26/22		
	Nº DE PRUEBAS	TIEMPOS DE DATOS (Min)	FRAME			
	1	RESPUESTA: 6:35	47			
	2	8	55			
3	10	68				
13	LARGA DURACIÓN (1 HORA)			28/26/21		
	Nº DE PRUEBAS	TIEMPOS DE DATOS (Min)	FRAME			
	1	RESPUESTA: 6:28	43			
	2	20	122			
	3	40	237			
4	60	358				
14	REPOSO (PARTÍCULAS ASENTADAS)			26/24/19		
	Nº DE PRUEBAS	TIEMPOS DE DATOS (Min)	FRAME			
	1	RESPUESTA: 1:42	52			
	2	5	131			
	3	8	205			
4	10	254				
15	MUESTRA MEZCLADA (AGITACIÓN MANUAL DE 2 MIN)			28/26/21		
	Nº DE PRUEBAS	TIEMPOS DE DATOS (Min)	FRAME			
	1	RESPUESTA: 6:43	52			
	2	8	59			
	3	10	70			
4	15	101				

		ANÁLISIS DEL ACEITE 10W40 USADO, OBTENCIÓN DEL CÓDIGO ISO 4406					
REPSOL DIÉSE TURBO UHPD 10W40	PARTÍCULAS DE HIERRO < 10 um	16	Nº DE PRUEBAS	TIEMPOS DE DATOS (Min)	FRAME	22/20/16	
			1	RESPUESTA: 0:22 seg	46		
			2	2	236		
			3	3	352		
			4	4	469		
			5	5	585		
			6	8	939		
			7	10	1174		
		AUMENTO DE UNA MASA ADICIONAL DE 0.2 GRAMOS DE PARTÍCULAS DE HIERRO < 10 um, DURANTE EL PROCESO DE ANÁLISIS					
		17	Nº DE PRUEBAS	TIEMPOS DE DATOS (Min)	FRAME	24/22/15	
			1	RESPUESTA: 31 seg	43		
			2	2	163		
			3	3	240		
			4	4	315		
			5	5	387		
			6	Aumento de una masa de 0,2 gramos de partículas de hierro < 10 um, a los 6 min			
			7	8	540	26/24/18	
			8	10	596		
		9	15	740			
		PRUEBA DE UNA HORA DE DURACIÓN					
		18	Nº DE PRUEBAS	TIEMPOS DE DATOS (Min)	FRAME	27/25/19	
1	RESP: 2:02		43				
2	3		61				
3	4		82				
4	5		100				
5	8		157				
6	10		197				
7	20		399				
8	40		807				
9	60	1231					

Figura 124. Resumen de la Fase III



CAPITULO VI

6. CONCLUSIONES

- Se puede concluir que se ha seleccionado, acoplado e implementado de manera satisfactoria el sensor on-line de tipo óptico utilizado comúnmente en motores y componentes industriales, en las instalaciones del Laboratorio de Lubricantes y Combustibles del Departamento de Máquinas y Motores Térmicos de la Universidad Politécnica de Valencia. El sensor on-line demostró ser una herramienta de diagnóstico eficiente y eficaz para la detección de agentes contaminantes en los fluidos, ya que ha sido sometido a diferentes tipos de pruebas experimentales con diferentes cantidades de contaminación y volúmenes de muestra, desarrollando perfectamente su función.
- Se ha creado un “Manual de operación y mantenimiento” apegado a las Normas de limpieza del sensor establecidas por ISO 11171. Además contiene precauciones de operación, proceso de instalación, una tabla de Troubleshooting (Solución de problemas) en base a la experiencia de la operación del equipo en laboratorio para transmitir los inconvenientes más comunes al operario y finalmente un plan de mantenimiento preventivo para la inspección y cuidado del equipo de conteo y clasificación de partículas.
- Se ha establecido un código de limpieza ISO 4406 de referencia (16/14/10) con el líquido disolvente “Éter de petróleo” para considerar limpio el sistema y un código ISO 4406 de referencia (16/14/10) con un aceite para motor “Repsol elite evolution fuel economy 5w30” para considerar “Encerado” el sistema y proceder a la realización de las pruebas siguientes, garantizando la correcta obtención de datos de conteo y clasificación de partículas. Además se podrá economizar la compra del fluido de calibración que incluso requiere de una preparación estandarizada.
- Se ha podido determinar que la presencia de burbujas en el proceso de análisis del aceite lubricante altera la cuantificación de partículas y por ende la obtención del código de limpieza ISO 4406, a mayor generación de burbujas mayor será el grado de contaminación del código de limpieza.
- Cuando existe demasiada contaminación en la muestra, el sensor on-line tiende a demorar más tiempo (> 5 minutos) en la obtención de resultados. Debido a la excesiva



cantidad de partículas contaminantes en cada imagen procesada por el sensor e incluso si la cantidad de partículas es exageradamente mayor el software del sensor on-line no lo cuantifica asumiendo que el fluido está evidentemente “muy sucio”.

- Se puede concluir que al monitorizar por un largo periodo de tiempo (> 1 hora) un fluido contaminado con una determinada cantidad de partículas contaminantes, estas tienden a asentarse en el fondo del bote con el pasar del tiempo, principalmente las partículas de mayor tamaño por el efecto de la gravedad lo cual hace que el código de limpieza ISO 4406 obtenido en la respuesta del análisis, tienda a disminuir en sus cantidades de partículas en cada tamaño e incluso experimentar saltos del código al finalizar el periodo de análisis.
- También se ha podido determinar que la obtención del código de limpieza ISO 4406 en un fluido en reposo (con las partículas asentadas en el fondo del bote) es diferente a la obtención del código ISO 4406 obtenido al agitar manualmente por un periodo de tiempo establecido (2 minutos) el mismo fluido, por lo que se recomienda agitar bien la muestra para conseguir homogeneizar y suspender las partículas en el fluido y así garantizar la veracidad de los resultados.
- Se puede concluir que al analizar durante un periodo de tiempo un fluido con una cantidad baja de contaminación (0.1 gramos de partículas de Fe < 10 um) tienden a asentarse las partículas con mayor dificultad que cuando un fluido está más contaminado (1 gramo de partículas de Fe <10 um), debido a que las partículas se mantienen suspendidas por el movimiento que genera el mismo fluido en su funcionamiento. Además no se recomienda una agitación manual durante el proceso de análisis del fluido, ya que puede falsear los resultados.
- Se ha podido determinar que el sensor on-line es capaz de cuantificar las partículas de una muestra real de aceite lubricante para motor considerado como “sucio” e incluso puede percibir si existe una adición de partículas contaminantes durante el proceso de análisis ya que modifica el código de limpieza ISO 4406 mientras es analizado, reflejando esta adición en el reporte gráfico proporcionado por el software donde es evidente la variación de la línea correspondiente a las partículas.



7. REFERENCIAS

- [1] <http://www.directindustry.es/prod/stauff/product-5551-1184693.html>
- [2] <http://www.ac-fluid.co.uk/ABAKUS-MOBIL-FLUID-for-oil>
- [3] <https://www.pamas.de/es.html>
- [4] <http://kittiwake.com/icount-laser-CM20>
- [5] <https://www.beckman.com/liquid-particle-counters/hiac-8011-plus>
- [6] <https://www.spectrosci.com>
- [7] <http://atten2.com/productos/oilwear/>
- [8] <http://www.directindustry.es/prod/stauff/product-5551-29903.html>
- [9] <http://www.directindustry.es/prod/ifm-electronic/product-544-1457441.html>
- [10] <https://www.iso.org/standard/20511.html>
- [11] <https://www.lubricantes-sash.com/es>
- [12] <https://www.recambium.com/aceite-lubricante-motor/aceite-repsol-elite-evolution-fuel-economy-5w30.html>
- [13] http://acceso.siweb.es/content/26734/Fichas_Tecnicas/RpVehiculospesados/RP_DIESEL_TURBO_UHPD_10W40.pdf