

**DETERMINACIÓN DE LA DEGRADACIÓN DE ACEITE USADO DE MOTORES
DIÉSEL MEDIANTE ESPECTROMETRÍA DE FLUORESCENCIA**

Autor
José Omar Contreras Castellanos

**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
DEPARTAMENTO DE MECÁNICA, MECATRÓNICA E INDUSTRIAL
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
PAMPLONA, 2016**

**DETERMINACIÓN DE LA DEGRADACIÓN DE ACEITE USADO DE MOTORES
DIÉSEL MEDIANTE ESPECTROMETRÍA DE FLUORESCENCIA**

JOSÉ OMAR CONTRERAS CASTELLANOS

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar por el título de:
Ingeniero en Mecatrónica**

Director:

**MSc. JUAN CARLOS DELGADO SANABRIA
Docente Universidad de Pamplona**

**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
DEPARTAMENTO DE MECÁNICA, MECATRÓNICA E INDUSTRIAL
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
PAMPLONA, 2016**

Dedicatória:

AGRADECIMIENTOS

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

RESUMEN

Este trabajo plasma el desarrollo de un sistema de bajo costo, que evalúa la degradación del aceite en motores diésel, haciendo uso de una herramienta rápida, fiable y económica como es la espectrometría, que actualmente se usa para el estudio físico-químico y análisis de muchas sustancias, obteniendo resultados inmediatos sobre las muestras tomadas directamente desde el motor del vehículo, con el fin de que se aproveche al máximo la vida útil del lubricante. La implementación de esta herramienta se debe a que los diferentes métodos existentes para esta aplicación son más costosos y/o demoran sus resultados.

En la arquitectura del sistema se planteó el diseño de las diferentes piezas, respetando las características básicas presentes en la espectrometría, esto fue posible realizando diversos bosquejos del prototipo mediante el uso del software de diseño asistido por computadora (CAD) e implementados en un modelo experimental del espectrómetro. Dichas piezas fueron ajustadas y acopladas a una caja de paso para instalaciones eléctricas Dexson de "Schneider-Electric" debidamente adaptada para este proyecto con el fin de disminuir costos y ganar robustez.

Con el aprovechamiento del nuevo proceso de manufactura presente en la Universidad de Pamplona como lo es la impresión 3D, se realizó un planteamiento no solo estético del aparato, sino también un diseño ergonómico de las piezas que forman parte del proyecto, ganando robustez en el equipo y permitiendo el desensamble de piezas para poder realizar el respectivo mantenimiento del equipo sin ningún problema.

El procedimiento mediante el cual se evalúa el estado en que se encuentra el lubricante, se lleva a cabo de la siguiente manera: Se adquiere y diluye una pequeña muestra del lubricante con aceite virgen en recipientes de vidrio, una vez obtenida la muestra homogénea se deposita en el aparato en el cual se desarrolla el estudio espectrométrico, debido a la incidencia de un haz de luz fija de 405 ± 10 nanómetros sobre dicho recipiente. Posteriormente se captura la imagen del espectro generado por el aparato, en la cual se analiza la intensidad de la luz, utilizando algunos comandos que ofrece el programa Matlab; Estableciendo el porcentaje de degradación presente en la muestra de aceite examinada, exponiéndola mediante una interfaz desarrollada con este mismo software, en la que se puede visualizar el espectro generado, la gráfica de longitud de onda vs intensidad y la concentración de hollín presente en la muestra. De esta manera, el usuario conseguirá un análisis

eficiente y rápido de las condiciones en las que se encuentra el lubricante presente en el motor del automóvil, sin necesidad de que éste se encuentre fuera de servicio.

Cabe resaltar que las muestras para analizar son tomadas en tubos de ensayo en vidrio de medidas específicas comerciales con tapa rosca, debido a su rentabilidad y que permiten un análisis espectrométrico fiable.

CONTENIDO

RESUMEN.....	6
INTRODUCCIÓN.....	13
1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	15
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	15
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	15
1.3. OBJETIVOS.....	16
2. ANTECEDENTES DEL PROYECTO.....	17
2.1. MARCO TEÓRICO.....	17
2.2. ESTADO DEL ARTE.....	28
3. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL ESPECTRÓMETRO.....	33
3.1. ARQUITECTURA DEL ESPECTRÓMETRO.....	33
3.1.1. PRINCIPIO DE OPERACIÓN.....	34
3.1.2. COMPONENTES DEL ESPECTRÓMETRO.....	34
3.2. DISEÑO DEL ESPECTRÓMETRO.....	45
3.2.1. DISEÑO DE PIEZAS.....	47
3.2.2. DISEÑO DE CIRCUITO ELÉCTRICO.....	52
3.3. FABRICACIÓN DEL ESPECTRÓMETRO.....	54
3.3.1. FABRICACIÓN Y ENSAMBLE DE PIEZAS.....	55
3.3.2. ESTIMACIÓN DE COSTOS.....	60
4. PROGRAMACIÓN Y CALIBRACIÓN DEL SISTEMA.....	63
4.1. PROGRAMACIÓN E INTERFAZ.....	63
4.2. PARAMETRIZACIÓN Y ANÁLISIS.....	68
4.3. CALIBRACIÓN.....	72
4.4. PRUEBA DEL SISTEMA.....	79
CONCLUSIONES.....	81
BIBLIOGRAFÍA.....	83
ANEXOS.....	87

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Circuito del aceite en los motores de combustión.....	17
Figura 2. Espectro electromagnético.....	19
Figura 3. Esquema de bloques de un espectrómetro.....	21
Figura 4. Análisis espectrométrico.....	21
Figura 5. Estudio espectrométrico por el método de fluorescencia.....	24
Figura 6. Irradiación en la muestra.....	25
Figura 7. Transmitancia en la región UV-VIS de aceite fresco, usado y desechado.....	26
Figura 8. Absorbancia en la región UV-VIS de aceite fresco, usado y desechado.....	27
Figura 9. AFS200T Atomic fluorescence spectrometer.....	28
Figura 10. Esquema de un espectrómetro de doble haz.....	29
Figura 11. Spectroil m/c-w analizador de partículas de desgaste en aceites.....	30
Figura 12. Espectrómetros en la actualidad.....	31
Figura 13. Esquema general para el análisis del aceite de motor.....	33
Figura 14. Arquitectura básica de un espectrómetro.....	34
Figura 15. Esquema de un monocromador.....	36
Figura 16. Laser pointer de 405nm.....	36
Figura 17. Objeto dispersor.....	37
Figura 18. Rejillas de Difracción.....	39
Figura 19. DVD Implementado como rejilla de difracción.....	39
Figura 20. Sensores ópticos.....	41
Figura 21. Arquitectura de los sensores ópticos.....	42
Figura 22. Comparación de velocidad de sensores.....	43
Figura 23. WebCam lifecam hd-3000.....	44
Figura 24. Recipiente para muestreo.....	44
Figura 25. Caja Dexson para instalaciones eléctricas.....	45
Figura 26. Diseño CAD, vista explosionada de las partes.....	46
Figura 27. Prototipo experimental.....	47
Figura 28. Diseño CAD, base interna del espectrómetro.....	47
Figura 29. Diseño CAD, alineación de las etapas.....	48
Figura 30. Diseño CAD, pieza interna del contenedor de la muestra.....	49

Figura 31. Diseño CAD, pieza externa del contenedor de la muestra.....	50
Figura 32. Diseño CAD, ensamble del contenedor de muestras.....	51
Figura 33. Diseño CAD, partes internas acopladas.....	51
Figura 34. Diseño CAD, gradilla para muestras.....	52
Figura 35. Esquema del circuito fijador de voltaje.....	53
Figura 36. Caja debidamente adecuada.....	54
Figura 37. Cámara fijada a la base del espectrómetro.....	55
Figura 38. Láser fijado a la base del espectrómetro.....	56
Figura 39. Rejilla de difracción fijada al espectrómetro.....	56
Figura 40. Visualización de partes ensambladas a la base (1).....	57
Figura 41. Visualización de partes ensambladas a la base (2).....	57
Figura 42. Ensamble contenedor de muestra y tapa del espectrómetro.....	58
Figura 43. Ensamble completo de contenedor y tapa del espectrómetro.....	58
Figura 44. Circuito fijador de voltaje.....	59
Figura 45. Ensamble final de las partes.....	59
Figura 46. Imagen final del espectrómetro.....	60
Figura 47. Espectro generado por el equipo fabricado.....	64
Figura 48. Toma de vector para análisis.....	65
Figura 49. Comparativa de los canales de imagen y escala de grises.....	65
Figura 50. Entorno guide para crear interfaz.....	66
Figura 51. Interfaz del sistema.....	67
Figura 52. Ventana de dialogo para salir de la interfaz.....	67
Figura 53. Aceite base: SAE-50.....	69
Figura 54. Muestras con diferente concentración.....	69
Figura 55. Muestras con concentración parametrizada.....	70
Figura 56. Grafica data vs hollín, implementando el vector de intensidad.....	71
Figura 57. Espectro generado a partir de la calibración de rejilla.....	72
Figura 58. Grafica de data vs hollín, para la calibración del sistema.....	74
Figura 59. Análisis concentración de 15%.....	75
Figura 60. Análisis concentración de 24%.....	75
Figura 61. Análisis concentración de 35%.....	76
Figura 62. Análisis concentración de 43%.....	76
Figura 63. Análisis concentración de 56%.....	76

Figura 64. Análisis concentración de 66%.....	77
Figura 65. Análisis concentración de 74%.....	77
Figura 66. Análisis concentración de 85%.....	77
Figura 67. Análisis concentración de 94%.....	78
Figura 68. Análisis concentración de 101%.....	78
Figura 69. Prueba concentración de hollín 22%.....	79
Figura 70. Prueba concentración de hollín 60%.....	79
Figura 71. Prueba concentración de hollín 71%.....	80

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Subdivisión del espectro visible.....	20
Tabla 2. Espectrómetros según la región espectral del trabajo.....	22
Tabla 3. Componentes del equipo.....	61
Tabla 4. Componentes del regulador de voltaje.....	61
Tabla 5. Máquinas y herramientas empleadas.....	62
Tabla 6. Lubricantes Terpel Maxter multigrado CL-4 SAE 15W40.....	68
Tabla 7. Data primer análisis.....	71
Tabla 8. Data área 1.....	72
Tabla 9. Data área 2.....	73
Tabla 10. Data área 3.....	73
Tabla 11. Data área 4.....	73
Tabla 12. Resultado de muestras.....	78
Tabla 13. Resultado de pruebas.....	80

INTRODUCCIÓN

Este trabajo plasma el desarrollo un equipo de bajo costo que permita realizar un análisis eficaz de la contaminación presente en los aceites lubricantes de motores diesel, cuando éste aún sea empleado para cumplir su función específica.

Debido a la remota probabilidad de adquirir información concreta sobre el estado del lubricante presente en los motores de combustión interna, surgió el planteamiento de desarrollar un equipo espectrométrico con el fin de suplir dicha insuficiencia y aportar de cierto modo un sistema que favorezca al mantenimiento predictivo del funcionamiento del motor, contribuyendo positivamente a que el avance tecnológico se involucre cada vez y con mayor fuerza en todas las áreas de la ciencia.

Aunque en la actualidad existen equipos que realicen dicha evaluación, generalmente son mecanismos poco asequibles, debido a que realizar este análisis en dichos aparatos acarrea costos considerables, demoran sus resultados y son limitados los talleres que cuentan con esta herramienta.

Se opta por utilizar la espectrometría para este fin, debido al impacto y avance que ha obtenido los últimos años, al punto de ser implementada en diversas áreas debido a que permite detectar y diferenciar elementos y compuestos químicos según las características del espectro. Exponiendo de manera breve, un espectrómetro permite realizar la medición de una luz monocromática mediante una rejilla de difracción que separa dicha luz por color para que sea tomada como una imagen por un sensor óptico y llevada a un sistema informático donde se genera el espectro, para que finalmente este, evalúe la relación entre longitud de onda y la intensidad presente en cada onda, generalmente este análisis se desarrolla en el rango comprendido entre 380 – 780 nanómetros (rango de luz visible).

En los capítulos expuestos en este trabajo se explican los principios básicos de espectrometría de emisión de luz visible involucrados en el desarrollo del proyecto revelando sintéticamente como se genera un espectro electromagnético a partir de una fuente de luz, así como de qué manera se relaciona el comportamiento de la data obtenida por el sistema con la degradación por carbonilla que el lubricante presenta, mediante el tratamiento digital de imagen.

Además de exponer el principio de funcionamiento del aparato, se exponen los factores tenidos en cuenta para el diseño y fabricación de las partes, puesta a punto y calibración del mismo.

La resolución lograda por el equipo, presenta una efectividad aproximada de análisis del 97%, que permite establecer la concentración de hollín presente en el lubricante; por lo que este sistema desarrollado puede ser implementado para el seguimiento de automotores y deliberar si estos operan normalmente. De manera que se tiene un sistema fiable con un método no invasivo para el mantenimiento predictivo.

1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El cambio de lubricante es obligatorio, para todo tipo de motor de automóvil, independientemente sea de combustión de gasolina o diesel, habitualmente en los talleres automotrices donde se asiste para la revisión y mantenimiento técnico-mecánico de los automotores, se recomienda a los usuarios de los vehículos que para un eficiente aprovechamiento del lubricante del motor, este debe ser cambiado cada cierta cantidad de kilómetros recorridos por el vehículo, dependiendo del estado en el que se encuentra el motor (entre 5000 - 10000 km) dependiendo del diagnóstico dado por el técnico, desconociendo el porcentaje de degradación al que dicho lubricante se encuentra, lo cual, en el peor de los casos, podría ocasionar daños en el motor debido a que sus partes pueden estar operando bajo fricción o rozamiento indeseado, al no tener en cuenta las condiciones en las que este se encuentra. Por otra parte dicho cambio podría darse de una manera prematura para vehículos en los que las condiciones del motor son excelentes.

Actualmente existen diversos métodos que se emplean para el estudio de degradación de aceite, pero acceder a ellos se dificulta por varios factores, ya que algunos de estos son costosos, demoran sus resultados y/o su locación es específica y remota, debido a que este análisis no se desarrolla en cualquier taller automotriz.

1.2. JUSTIFICACIÓN

La construcción de un prototipo de bajo costo que involucra el estudio de la degradación o contaminación del aceite mediante la espectrometría de emisión de luz visible, toma un papel importante en el mantenimiento predictivo del automóvil, permitiendo que con este sistema implementado en los talleres automotrices, las condiciones de funcionalidad de los motores se extiendan.

Este análisis de contaminación del aceite, permite obtener un resultado rápido y confiable del porcentaje de degradación o concentración de hollín contenida en el lubricante, de modo que se pueda aprovechar por completo el periodo de vida útil del aceite, es decir que aún cumpla con su función de lubricar sin permitir que las partes del motor se desgasten por trabajar bajo rozamiento, que pueda ocasionar daños en el motor, procedimiento que es relativamente de bajo costo, con respuesta inmediata y muy sencillo de implementar por cualquier usuario.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar la degradación de aceite usado de motores diésel utilizando espectrometría de fluorescencia.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

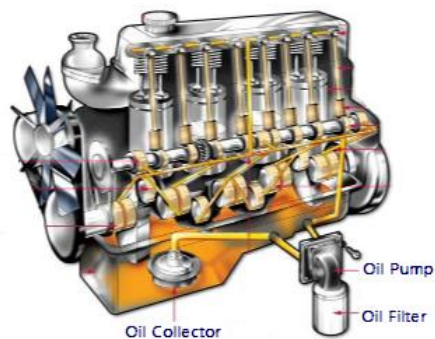
- Documentar las pruebas realizadas con anterioridad a aceites usados, en relación a valores espectrométricos.
- Diseñar y Construir el equipo requerido para la evaluación de las muestras.
- Desarrollar la programación de la interfaz mediante el software MatLab.
- Determinar las condiciones óptimas para la toma y análisis de muestras.
- Generar el sistema para determinar el comportamiento.

2. ANTECEDENTES DEL PROYECTO.

2.1. MARCO TEÓRICO.

El aceite de motor de automóvil es un subproducto refinado del petróleo que juega un papel vital en los motores de combustión interna. Sirve como lubricante que reduce la fricción entre las partes del motor en movimiento relativo (ver figura 1), este minoriza el desgaste de metales, absorbe el calor generado por la combustión y rozamiento de componentes mecánicos, lavado de impurezas y minimiza el proceso de corrosión. De esta manera, disminuyen el desgaste de los componentes y por tanto garantizan un buen funcionamiento del mismo [1].

FIGURA 1. CIRCUITO DEL ACEITE EN LOS MOTORES DE COMBUSTIÓN.



FUENTE: <http://noticias.coches.com/wp-content/uploads/2016/01/sistema-lubricacion-automovil.jpg>

Así mismo el aceite base de lubricante puede provenir tanto de fuentes naturales como de procesos sintéticos, para cumplir con las crecientes necesidades de las maquinarias industriales y basado en algunas de sus propiedades, se recomienda el aceite sintético por considerarlo superior [1]; Generalmente derivado del petróleo crudo, sus ventajas incluyen alta pureza, viscosidad aceptable, un mejor rendimiento a altas temperaturas y lo más importante un menor consumo de combustible. El coste global de utilizar aceite sintético es menor debido a su tiempo de vida prolongado y a la necesidad de realizar los cambios de aceite con menor frecuencia [2].

Por otro lado, los motores modernos han sido objeto de varias mejoras que les permiten operar a alta velocidad, con cargas mayores y temperaturas elevadas; sin embargo, el aceite base fue incapaz de cumplir con estos requisitos y produjo

algunos problemas técnicos, que condujeron a la implementación de ciertos aditivos para mejorar aún más el rendimiento del aceite base (lubricante multigrado) [2]. Estos aditivos incluyen modificadores de viscosidad, antioxidantes, detergentes metálicos, dispersantes sin cenizas y depresores del punto de autoignición [3], con el fin de que este conserve el motor bien lubricado en situaciones en las que el desgaste es mayor, tal como lo es el arranque. El proceso de degradación se inicia con el agotamiento de los aditivos, seguido por la oxidación de algunos componentes del aceite base (Durante este último, el aceite está contaminado) [3].

Con el paso del tiempo los aditivos básicos se agotan, por lo que el aceite del motor experimenta una degradación térmica y fases de oxidación que generan productos ácidos en la matriz, acelerando la contaminación del aceite, conduciendo a una matriz más viscosa y por lo tanto aumenta la corrosión y se reduce la lubricación. Generalmente la oxidación del aceite es un proceso complejo y difícil de dilucidar [4]. Es importante saber el tiempo de vida del lubricante, debido a que un remplazo retardado del mismo ocasiona el deterioro en las partes del motor [5], mientras que un recambio de aceite de manera prematura resulta costoso para el consumidor.

Cabe resaltar que la hora exacta de cambio de aceite es sin embargo difícil de predecir, siendo de gran interés desde una perspectiva económica y punto de vista ecológico. Con el fin de realizar una decisión rápida y precisa sobre el momento apropiado para realizar el cambio de aceite, la evaluación de su calidad es altamente deseable. Para este fin se han propuesto a lo largo del tiempo, una variedad de sensores físico-químicos con las estrategias espectroscópicas y métodos cromatográficos, para evaluar la condición del aceite y sus limitaciones futuras que también han sido investigados [5]. Cada uno de los enfoques mencionados anteriormente tiene sus propias ventajas y desventajas para el seguimiento del envejecimiento de aceite [4]. En los lubricantes reciclados generalmente los niveles de agua y sedimentos son mucho más altos que en el aceite virgen; Por lo tanto, mediante implementación de los diferentes métodos anteriormente nombrados, se analiza la magnitud de las diferencias que se producen entre el aceite virgen y el reciclado [6].

Debidamente con el tiempo, se han desarrollado diferentes técnicas que permiten obtener la concentración de hollín que presentan los lubricantes de motor, con el fin de establecer un criterio acertado sobre el estado específico del aceite como herramienta de diagnóstico técnico en el mantenimiento predictivo no solo de los automotores, sino que se ha llevado a la maquinaria y equipamiento industrial. El monitoreo de aceites es una herramienta valiosa para el mantenimiento predictivo, ya que a través de este se puede alcanzar funcionalmente la vida útil del motor [7]. Actualmente algunas de las técnicas más utilizadas para determinar la degradación del lubricante son:

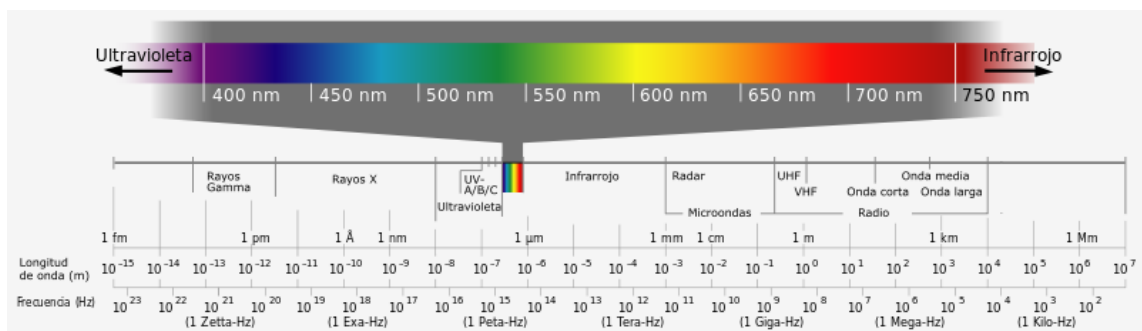
- Conteo de partículas
- Examen microscópico
- Análisis Espectrométricos
- Fluorescencia de rayos x
- Microscopia electrónica SEM
- Ferrografía analítica
- Índice de acidez
- Viscosidad cinemática
- Reserva alcalina

De las que generalmente la Ferrografía analítica y el análisis espectrométrico son los de mayor auge, debido a que se aprovecha de ellos para obtener información de desgaste de componentes y otros tipos de desgaste, así como también oxidación, nitración, sulfatación, carbonilla, entre otros.

2.1.1. ESPECTROMETRÍA.

La espectroscopia surgió con el estudio de la interacción entre la radiación y la materia como función de la longitud de onda (λ); En un principio se refería al uso de la luz visible dispersa según su longitud de onda. Más tarde el concepto se amplió enormemente para comprender cualquier medida en función de la longitud de onda o de frecuencia [8], desde rayos gamma y rayos X hasta el infrarrojo lejano (ver figura 2). La espectrometría es la técnica espectroscópica para tasar la concentración o la cantidad de especies determinadas. En estos casos, el instrumento que realiza tales medidas es un espectrómetro o espectrógrafo, a menudo esta aplicación se usa en física y química analítica para la identificación de sustancias mediante el espectro emitido o absorbido por las mismas [9].








FIGURA 2. ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO.



FUENTE: http://images.slideplayer.es/16/5252657/slides/slide_7.jpg

La anterior ilustración muestra la distribución energética del conjunto de las ondas electromagnéticas que conforman el espectro. Estableciendo un orden ascendente de longitud de onda, el espectro electromagnético está formado por rayos gamma, rayos X, rayos ultravioleta, luz visible, rayos infrarrojos, microondas y ondas de radio. El espectro visible está compuesta por radiaciones de longitud de onda comprendidas entre 400 y 700 nanómetros ($4 \times 10^{-7} - 7 \times 10^{-7}$ m), éste, es la pequeña parte del espectro electromagnético a la que es sensible el ojo humano. Algunas personas son capaces de percibir desde 380 hasta 780 nm, que son los valores pertenecientes al espectro de luz visible que se divide teóricamente en los rangos mostrados en la siguiente tabla.

TABLA 1. SUBDIVISIÓN DEL ESPECTRO VISIBLE.

COLOR	FRECUENCIA (THz)	LONGITUD DE ONDA
 VIOLETA	668 – 789	380 - 420 nm
 AZUL	630 – 668	420 - 475 nm
 CIANO	606 – 630	475 - 495 nm
 VERDE	526 – 606	495 - 570 nm
 AMARILLO	508 – 526	570 - 590 nm
 NARANJA	484 – 508	590 - 620 nm
 ROJO	400 – 484	620 - 750 nm

FUENTE: Juan R. Damián Zamacona, *Diseño y construcción de un espectrofotómetro ultravioleta-visible para uso didáctico (Tesis de maestría), México DF, UNAM. 2006. P 15.*

Un espectrómetro es un aparato diseñado para medir los factores de reflectancia y/o transmitancia espectrales, su objetivo es comparar y cuantificar cada longitud de onda el flujo radiante reflejado o transmitido a través de la muestra, con el haz de luz incidente en la misma, debido a esto cuando la sustancia a analizar presenta una concentración considerable de agentes contaminantes, se efectúa la absorción de energía debido a la descomposición de luz [10]. Todas las sustancias pueden absorber energía radiante, hasta el vidrio de los recipientes para las muestras que parece ser completamente transparente, absorbe ligeramente longitudes de onda pertenecientes al espectro visible.

Además el espectrómetro tiene la capacidad de separar un haz de radiación electromagnética (REM) [11], con el fin de facilitar la identificación, calificación y cuantificación de su energía. Su eficiencia, resolución y rango espectral dependen

directamente de las distintas variables manejadas en el diseño y la selección de componentes presentes en el equipo. Éste, generalmente presenta el esquema de la Figura 3, los elementos que lo conforman pueden variar algunas veces dependiendo del tamaño, tipo de espectrómetro, precisión, calidad, robustez, entre otros, que se desee obtener pero en general los elementos mostrados a continuación darán a conocer una perspectiva sobre cómo es el funcionamiento del espectrómetro a desarrollar.

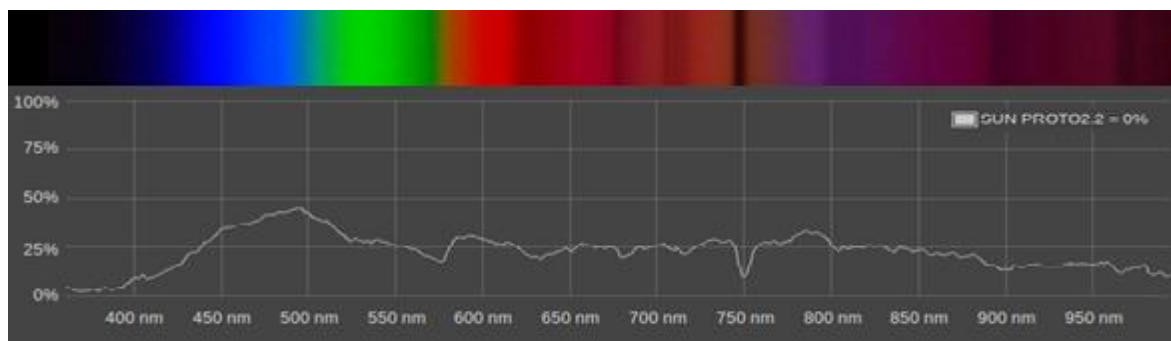
FIGURA 3. ESQUEMA DE BLOQUES DE UN ESPECTRÓMETRO.



FUENTE: AUTOR.

El principal objetivo de este proyecto, es la obtención de un análisis efectivo que envuelve un estudio cuantitativo de la fuerza o intensidad que presenta cada longitud de onda generada por el sistema desarrollado, que generalmente opta una salida típica que expone en la parte superior el espectro de luz obtenido y una gráfica que relaciona la longitud de onda (eje horizontal) y la intensidad que presenta cada longitud de onda (eje vertical) en la parte inferior como lo muestra la siguiente ilustración.

FIGURA 4. ANÁLISIS ESPECTROMÉTRICO.



FUENTE: <https://publiclab.org/wiki/spectrometer>.

2.1.2. TIPOS DE ESPECTROMETRÍA.

Los espectrómetros pueden clasificarse de diversas maneras, siendo los más relevantes tanto, según el intervalo de espectro electromagnético en la que se trabaja (Tabla 2), como el método óptico en el análisis físico-químico que emplea al momento de medir la radiación electromagnética que interactúa con la materia, la cual puede ser reflejada, difractada, refractada, polarizada o dispersada por la materia al interactuar con la radiación electromagnética [12]. Dividiéndose en métodos espectroscópicos y no espectroscópicos que miden el cambio en la dirección de propagación de luz.

TABLA 2. ESPECTRÓMETROS SEGÚN LA REGIÓN ESPECTRAL DE TRABAJO.

MARCADOR	TIPO DE ESPECTRÓMETRO	LONGITUD DE ONDA (nm)
<i>XUV</i>	Ultravioleta extremo	10 - 200
<i>UV</i>	Ultravioleta	200 - 380
<i>VIS</i>	Luz visible	380 - 780
<i>NIR</i>	Infrarrojo cercano	780 - 3000
<i>MIR</i>	Infrarrojo medio	3000 - 15000
<i>FIR</i>	Infrarrojo lejano	15000 - 800000

FUENTE: DOMÍNGUEZ MIRANDA, Antonio. Diseño de un espectrofotómetro de dos mediciones simultáneas para recubrimientos inhomogéneos, Mexico DF, UNAM 2012, P13.

Por otra parte, los métodos espectroscópicos se dividen a su vez en espectroscópicos de absorción, cuando miden la radiación retenida por átomos moléculas o iones y los espectroscópicos de emisión, cuando miden la radiación emitida por los mismos, su clasificación depende ya sea del tipo de radiación absorbida o emitida. Es por ello que se pueden conseguir espectrómetros de absorción de rayos X, de absorción en ultravioleta, de absorción en el visible, de absorción en el infrarrojo, etc. En el caso de los espectrómetros de emisión se pueden tener emisión de rayos X, de fluorescencia atómica, de fluorescencia molecular, de fluorescencia en el visible, de fluorescencia en el infrarrojo, entre otros [10]. La mayoría de los métodos espectroscópicos se diferencian en atómicos o moleculares, dependiendo de su punto de aplicación, junto con esta diferencia se pueden distinguir los tipos de espectrometría según su naturaleza de interacción:

2.1.2.1. ESPECTROMETRÍA DE ABSORCIÓN.

La espectrometría de absorción hace referencia a las técnicas que emplean la interacción de la radiación electromagnética con la materia. En ella se compara la intensidad de un haz de luz medida antes y después de la interacción con una muestra, en ella ocurrirá una absorción y los correspondientes cambios de luz son captados por el fotodetector [13]. Las palabras transmisión y remisión se refieren a la dirección de los haces de luz medidos antes y después de la absorción. Las descripciones experimentales por lo general asumen que hay una única dirección de incidencia de la luz sobre la muestra, y que un plano perpendicular a esta dirección pasa por la muestra. En la transmisión, la luz es dispersada desde la muestra hacia un detector en el lado opuesto de la muestra (refracción). En la remisión (reflexión), la luz es dispersada desde la muestra hacia un detector en el mismo lado de la muestra [14].

2.1.2.2. ESPECTROMETRÍA DE EMISIÓN

La espectrometría de emisión es una técnica que usa el rango de los espectros electromagnéticos en los cuales una sustancia irradia (emite luz) durante su transición desde un estado excitado a un estado de inferior energía en la salida de la muestra. Cada elemento emite un conjunto característico de longitudes de onda discretas [14]. Mediante la observación de estas longitudes de onda puede determinarse la composición elemental de la muestra.

La diferencia principal con la absorción es que no tiene una fuente luminosa y la ubicación de la muestra es diferente. La luz policromática de la muestra se dirige al monocromador, que barre sobre la región espectral especificada proporcionando luz monocromática al fotodetector, a longitudes de onda conocidas e intensidades indicativas del espectro de emisión.

2.1.2.3. ESPECTROMETRÍA DE FLUORESCENCIA

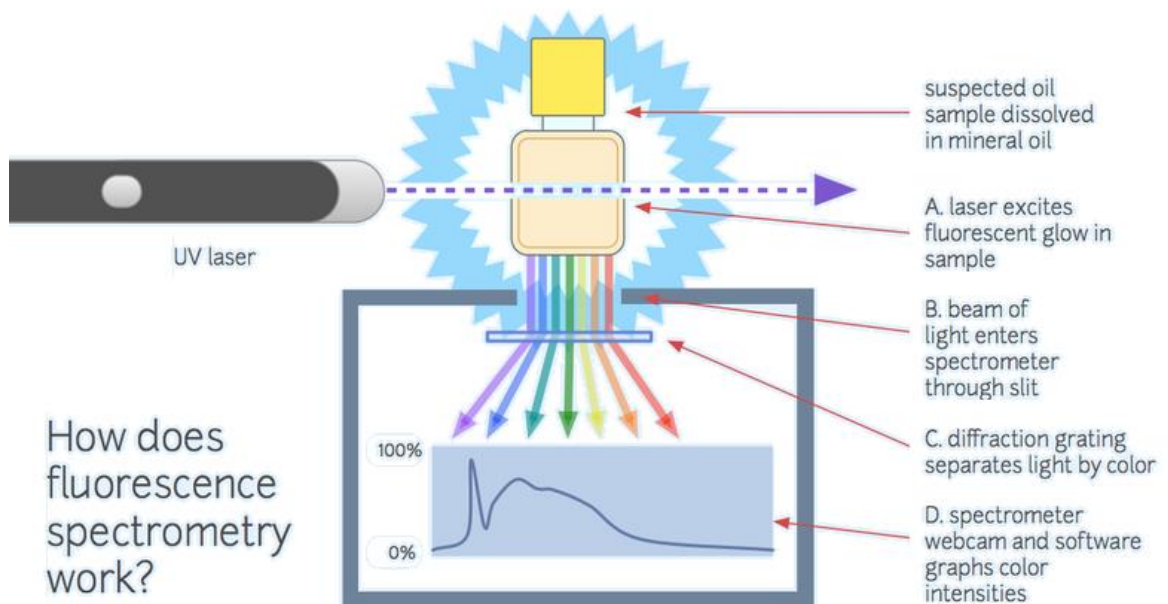
Este método también llamado fluorimetría o espectrofluorimetría [15], es un tipo de espectroscopia electromagnética que analiza la fluorescencia de una muestra. Se trata de utilizar un haz de luz monocromática, por lo general luz ultravioleta o cercana a ella, que excita los electrones de las moléculas de ciertos compuestos presentes en la muestra, dichas moléculas son excitadas por la absorción de radiación electromagnética provocando que liberen su exceso de energía en forma

de fotones, lo que permite que emitan luz en una menor intensidad, generalmente luz visible que es aprovechada para ser analizada.

Una parte de la luz incidente es absorbida por la muestra, la luz fluorescente para ciertas longitudes de onda es emitida en todas las direcciones. Parte de esta luz fluorescente pasa a través de un filtro y una rejilla de difracción para luego llegar al detector, que se encuentra a 90° con respecto al haz de luz incidente (ver figura 5), con el fin de minimizar el riesgo de que la luz incidente reflejada o transmitida llegue al detector [9]. Esta técnica se ha hecho popular en aplicaciones bioquímicas y médicas, puede ser usada con transferencia de energía entre partículas fluorescentes, y visualización de la vida media de fluorescencia, complementándose con la espectrometría UV-Visible.

No obstante, los métodos de fluorescencia se aplican con menor frecuencia que los métodos de absorción debido a la limitación de compuestos químicos que pueden presentar fluorescencia.

FIGURA 5. ESTUDIO ESPECTROMÉTRICO POR EL MÉTODO DE FLUORESCENCIA.



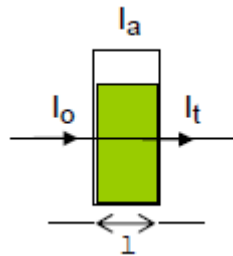
FUENTE: https://i.publiclab.org/system/images/photos//original/Screen_Shot_07-24PM.png

La espectrometría UV-visible se refiere a técnicas donde se mide cuanta luz de una longitud de onda particular (color) es absorbida por una muestra, debido a que el color a menudo puede correlacionarse con la presencia de una sustancia química particular, partiendo de la absorbancia y/o transmitancia.

2.1.3. TRANSMITANCIA Y ABSORBANCIA

Cuando un rayo de luz de una determinada longitud de onda (luz monocromática) de intensidad (I_o) incide perpendicularmente sobre una disolución de un compuesto químico que absorbe luz, el compuesto también absorberá una parte de la radiación incidente (I_a) y dejará pasar el resto (I_t) según su transmitancia [12], relacionándose de la forma: ($I_o = I_a + I_t$) Tal y como se muestra en la ilustración

FIGURA 6. IRRADIACIÓN EN LA MUESTRA



FUENTE: [16].

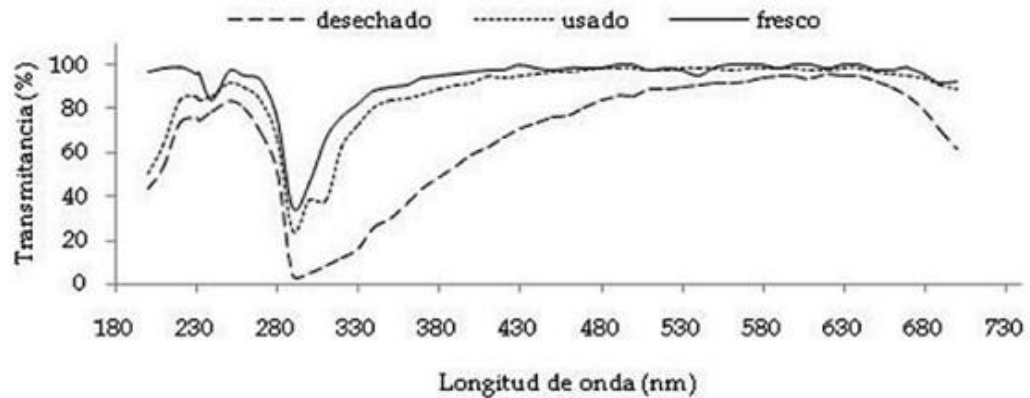
TRANSMITANCIA (T)

La transmitancia de una sustancia es la relación entre la cantidad de luz transmitida que llega al detector, una vez que esta ha atravesado la muestra traslúcida, I_t y la cantidad de luz que incidió sobre ella I_o , normalmente se representa en tanto por ciento:

$$\% T = (I_t / I_o) \times 100.$$

Así mismo la transmitancia óptica (ver figura 7) nos da una medida física de la relación de intensidad frente a una determinada longitud de onda incidente y transmitida al pasar por la muestra. La relación entre el porcentaje de transmitancia y la concentración de la muestra no es lineal, pero asume una relación logarítmica inversa [9].

FIGURA 7. TRANSMITANCIA EN LA REGIÓN UV-VIS DE ACEITE FRESCO, USADO Y DESECHADO.



FUENTE: <http://www.scielo.org.co/img/revistas/biote/v15n1/v15n1a07f2.jpg>.

ABSORBANCIA (A)

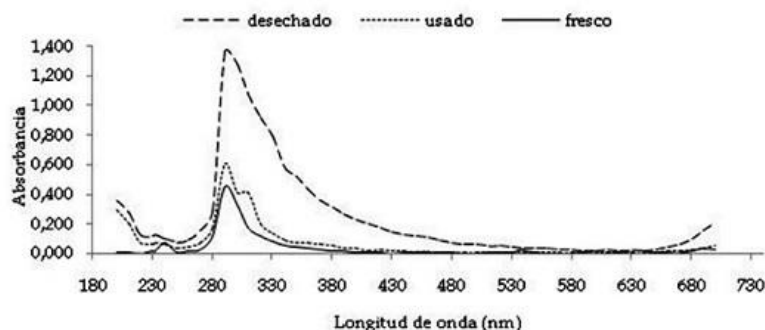
La absorbancia es un concepto más relacionado con la muestra puesto que indica la cantidad de luz absorbida por la misma, y se define como el logaritmo recíproco de la transmitancia, es decir:

$$A = \log 1/T = -\log T = -\log I_t/I_o$$

Dicha ecuación es válida si la luz incidente sobre la muestra es monocromática y el análisis se desarrolla sobre recipientes con sección transversal uniforme con un volumen estándar para las muestras. A mayor intensidad de color, mayor será la absorbancia de la solución.

La absorbancia óptica (ver figura 8), se usa ampliamente en cálculos cualitativos, cuantitativos y estructurales. Por ejemplo, el ADN absorbe luz en el rango ultravioleta (por eso la luz del sol es peligrosa), y por tanto la cantidad de ADN en una muestra puede ser determinada midiendo la absorbancia de la luz ultravioleta [12]. La muestra absorbe parte de la radiación incidente en este espectro y promueve la transición hacia un estado excitado, transmitiendo un haz radiante de menor energía. En esta técnica se mide la cantidad de luz absorbida en función de la longitud de onda utilizada. La absorción de las radiaciones ultravioletas, visibles e infrarrojas depende de la estructura de las moléculas, y es característica de cada sustancia química.

FIGURA 8. ABSORBANCIA EN LA REGIÓN UV-VIS DE ACEITE FRESCO, USADO Y DESECHADO.



FUENTE: [<http://www.scielo.org.co/img/revistas/biote/v15n1/v15n1a07f3.jpg>]

2.1.4. LEY DE LAMBERT-BEER.

Esta ley declara que la cantidad de luz absorbida por un cuerpo depende de la concentración en la solución, es decir, que expresa la relación entre absorbancia de luz monocromática y concentración del cromóforo*.

$$A = \log I/I_0 = \epsilon \cdot c \cdot l$$

Donde (l) corresponde al espesor recorrido por la radiación, (c) la mínima ecuación que relaciona la concentración y (ϵ) el factor de calibración que relaciona la concentración y la absorbancia de los estándares [9]. Las dimensiones del factor resultan ser términos de unidades de concentración molar y se denomina coeficiente de extinción molar.

La absorbancia de una solución es directamente proporcional a su concentración, a mayor número de moléculas mayor interacción de la luz con ellas; también depende de la distancia que recorre la luz por la solución, por ello es de vital importancia que las muestras examinadas se encuentren depositadas en recipientes con sección transversal uniforme y de igual manera la concentración de sustancia sea equivalente de una con otra.

La ley de Lambert-Beer se cumple para soluciones diluidas; para valores de (C) altos, (ϵ) varía con la concentración, debido a fenómenos de dispersión de la luz.

2.2 ESTADO DEL ARTE.

La amplia instrumentación desarrollada a lo largo del tiempo para el análisis de espectroscopia óptica, ha permitido que esta herramienta, introduzca los métodos de radiación espectral en áreas tan diversas y aplicaciones determinadas como la inspección de alimentos [16], producción y control farmacéutico [17], control metalúrgico [18], y para el principio de análisis de contaminantes [19], solo por citar algunos de los ejemplos, indicando que sus aplicaciones más destacadas se encuentran en el control de calidad de productos y materiales. Las técnicas espectroscópicas han tenido una acogida exponencial en el área de la investigación y en el análisis puntual de materiales y contaminación de sustancias dentro de la industria, debido a que es un método de análisis no destructivo y no invasivo (se pueden estudiar organismos vivos), en el que se pueden monitorear procesos en tiempo real [20], requiriendo para ello diminutas concentraciones de muestra, con un corto tiempo de preparación de la misma.

La importancia de los espectrómetros en la investigación es evidenciada por sus múltiples aplicaciones, en las que sobresale la identificación de elementos químicos, ya que el espectro emitido por un elemento químico, le diferencia inequívocamente del resto de elementos [21]; Ejemplo de ello es el AFS200T Atomic Fluorescence Spectrometer (ver figura 9), elaborado por Skyray, que es utilizado para el análisis de elementos como: As, Sb, Hg, Se, Pb, Sn, Si, Zn, Cd, entre otros, favorecido por usar doble canal de fluorescencia atómica, exhibiendo un índice de desvío comprendido entre 0.02% y 0.05% [22].

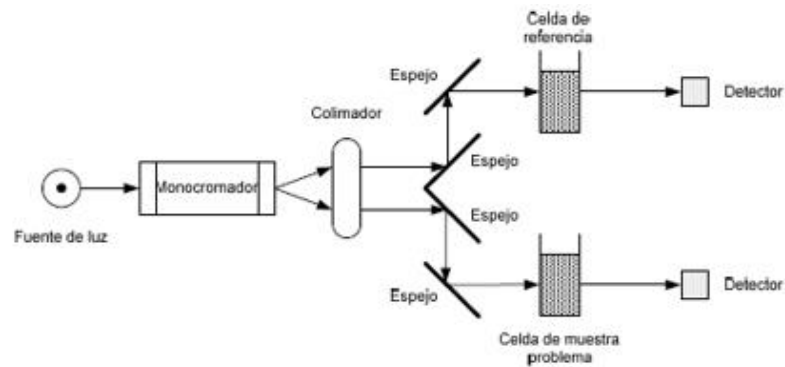
FIGURA 9. AFS200T ATOMIC FLUORESCENCE SPECTROMETER.



FUENTE: http://img.directindustry.es/images_di/photo-mg/54641-3687823.jpg

Los espectrómetros de doble canal compensan interiormente las variaciones de intensidad luminosa, mediante un artificio físico de desdoblamiento para obtener dos ases ópticos que generalmente son espejos que reflejan la luz de la fuente, permitiendo desarrollar la medición entre las fuerzas de radiación producidas en los detectores del haz que pasa a través de la celda de referencia y el haz que atraviesa la muestra. Una representación de este método de análisis se ilustra en la figura.

FIGURA 10. ESQUEMA DE UN ESPECTRÓMETRO DE DOBLE HAZ.



FUENTE: DOMÍNGUEZ MIRANDA, Antonio. Diseño de un espectrofotómetro de dos mediciones simultáneas para recubrimientos inhomogeneos, Mexico DF, UNAM 2012, P14.

Sin embargo, no solo se desarrollaron versiones de espectrómetros con doble haz que lo convertirían en un modelo de alto rendimiento, sino que comienzan a fabricarse sistemas controlados por microprocesadores para automatizar el dispositivo y así mejorar su velocidad de respuesta [23]. Posteriormente llegó la adición de un software externo que proporciona control mediante PC y pantallas de información con los espectros, que conlleva a un análisis óptimo con un sistema más flexible que permite realizar análisis cualitativos y cuantitativos. Por ello que sus implementación se han ampliado considerablemente y sus aplicaciones en la ciencia y medicina.

La Inclusión de sistemas expertos, ha permitido que equipos como el spectroil M/C-W (ver figura 11), se haya convertido en un instrumento estándar en la mayoría de laboratorios y programas de seguimiento en el análisis y monitoreo en tiempo real de metales de desgaste, contaminantes, aditivos en lubricantes, fluidos hidráulicos y líquidos refrigerantes, como parte de mantenimiento predictivo [24]. Siendo aplicable para cualquier sistema de lubricación de bucle cerrado, como los motores de gasolina y diésel, turbinas de gas, transmisiones, cajas de cambio, compresores y sistemas hidráulicos, brindando una advertencia temprana de un desgaste anormal.

FIGURA 11. SPECTROIL M/C-W ANALIZADOR DE PARTICULAS DE DESGASTE EN ACEITES.



FUENTE: http://img.directindustry.es/images_di/photo-m2/153083-8089395.jpg

Por otra parte, la disponibilidad creciente de los generadores láser ha dado impulso a una amplia gama de técnicas espectroscópicas. Los primeros láseres se emplearon en espectroscopia Raman [25] con excelentes resultados en sensibilidad y resolución espectral.

Hoy en día se ha conseguido compactar estos equipos [26], no solo en un tamaño considerablemente reducido (ver figura 12) que no solo les permite ser un sistema portátil, sino que cuentan con sistemas policromadores de alta precisión [27], ajustados y fijados de manera permanente, cuentan con características espectrales que permiten extender el rango visible de 190 – 1100 nm, autocorrección de dispersión de luz, software adaptable mediante paquetes especiales que satisfacen las necesidades del usuario, cámara de muestras independiente con sistemas multicanal (MCS) [28], para desarrollar análisis simultáneos teniendo diseños prácticos y exclusivos, implementando diversos métodos para excitar las moléculas en las muestras como fluorescencia en el rango visible, fluorescencia de rayos x y fluorescencia en el infrarrojo.

Se puede señalar que éstos tienen una gran demanda en la industria farmacéutica, el ámbito de salubridad de alimentos y la minería, por nombrar algunas áreas, nace el auge de producción con el fin de acaparar las necesidades requeridas por las mismas, de allí la necesidad de producción de los diferentes fabricantes con la adición de características únicas y distintas, hacia aplicaciones específicas con el fin de generar competencia en el mercado

FIGURA 12: ESPECTRÓMETROS EN LA ACTUALIDAD: a) UV5-BIO , b) ICP2060T, c) EDX-LE



FUENTE: a) http://produktdesign.ch/wp-content/uploads/2015/09/MT_Spektroskopie_1.jpg
b) http://img.directindustry.es/images_di/photo-m/54641-3687817.jpg
c) http://www.globalspec.com/npapics/29/97541_110120119709_ExhibitPic.gif

Uno de los importantes factores de éxito del espectrómetro hoy en día, es que este, es un equipo que se produce en fabricación serial, lo cual ha permitido una reducción sensible de los costes sin que estos pierdan precisión, flexibilidad, robustez y garantía. Aunque el costo de estos sigue siendo significativo. Sin embargo estos nuevos espectrómetros han salido poco a poco del laboratorio, y se están empleando en grandes empresas para control de calidad [29], en instalaciones de campo o en grandes plantas industriales y automotrices, debido a que esta herramienta se emplea en la monitorización de pruebas de lubricante, en el mantenimiento predictivo como diagnóstico de fallos mecánicos proporcionado por el análisis de aceite, ya que este, es un método de prueba no destructivo para predecir un posible fallo inminente, determinando de igual manera la vida restante del lubricante para una reducción de costes por mantenimiento [30].

No obstante, debido al avance tecnológico de los últimos años, se ha alcanzado un nivel muy alto en las técnicas de fabricación de circuitos integrados y la tecnología de guías de ondas, debido a ello, se ha permitido desarrollar espectrómetros en miniatura [32], con un área de pocos milímetros cuadrados. También se crean estructuras que actúan como placas de difracción, más la electrónica asociada; todo en un mismo encapsulado [31]. Este tipo de desarrollos tiene su mayor demanda y respaldo económico en el campo de las comunicaciones.

Investigadores en el área de la óptica [33] han desarrollado espectrómetros con partes mecánicas en miniatura, incluidas en el circuito integrado de control, que permiten variar la profundidad de los surcos de una red de difracción para ajustar el sistema. Complementando dicho sistema con un detector de arreglo lineal, de celdas acopladas por carga, que crean un plano focal del espectrómetro, es así como el espectro se captura. Desde entonces las mejoras de los espectrómetros se reflejan en su miniaturización física, mejora de resolución espectral y desaparición de partes móviles.

Actualmente los espectrómetros comerciales en miniatura se han concentrado más en alcanzar otras zonas del espectro electromagnético, esto es debido a que los detectores CCD igualmente han tenido una modernización que les permite capturar imágenes en el infrarrojo lejano [34], más allá de los 1100 nm, lo que antes requería de enfriamiento del detector para disminuir el ruido térmico. También se han centrado en aumentar las prestaciones de sus instrumentos, como son las opciones de conectividad [35], WiFi, bus CAN, Ethernet, entre otras.

Gracias a la metodología de fluorescencia como evaluador de la concentración de contaminante, se convierte en una herramienta valiosa para el mantenimiento predictivo, ya que esta técnica se propone para el cribado de biodiesel y diesel con respecto al aceite base, utilizando espectroscopia de datos de infrarrojo cercano y análisis multivariante [36].

Las mezclas de diésel con algodón, girasol y aceites de soja se emplearon para estudios, donde dos enfoques fueron evaluados en la construcción del modelo de clasificación, utilizando completamente espectro suave y un modelado independiente de clase analógica, mediante Análisis de Componentes Principales y Análisis discriminante lineal (PCA-LDA). Otros enfoques se desarrollaron empleando algoritmo genético (GA) y algoritmo de proyección sucesiva (SPA) [37].

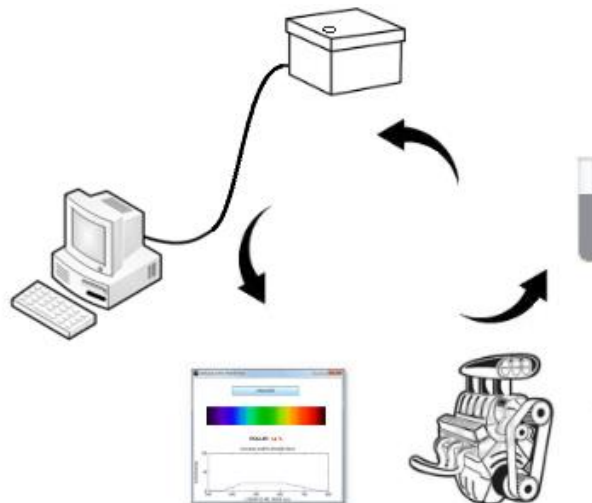
Los resultados mostraron que los espectros preprocesados mediante quimiometría son una alternativa viable de los métodos convencionales que implican el consumo en gran volumen de reactivos. De lo cual se determinó que los métodos de análisis de datos multivariantes utilizados sobre variables seleccionadas, mostraron un mejor rendimiento que los métodos que utilizaban espectro completo [36]. Por ello que el análisis de aceite, como una de las herramientas dentro del mantenimiento predictivo, permite obtener una indicación precisa del estado de un sistema lubricado y en concreto de un motor de combustión interna alternativo, sin necesidad de que éste se encuentre fuera de servicio.

3. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL ESPECTRÓMETRO.

3.1. ARQUITECTURA DEL ESPECTRÓMETRO.

Este proyecto se centra en la construcción de un espectrómetro de bajo costo que permita desarrollar una evaluación a los aceites encargados de lubricar los motores diésel, determinando la concentración de hollín o carbonilla presente en el mismo, mediante un proceso no complejo, que permita tener resultados inmediatos del análisis. El esquema de la figura 13, nos muestra el corto procedimiento que se requiere para llevar a cabo la evaluación del lubricante.

FIGURA 13. ESQUEMA GENERAL PARA EL ANÁLISIS DEL ACEITE DE MOTOR.



FUENTE: AUTOR.

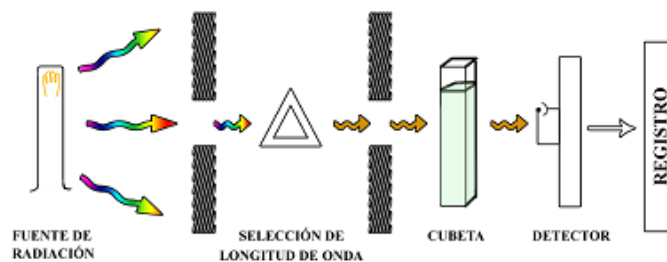
Explicando la anterior ilustración que plantea el procedimiento a seguir para el análisis en el equipo que implementa las bases características de funcionamiento de un espectrómetro que permita detectar la radiación de fluorescencia que se genera en la muestra, dicha muestra se toma directamente del motor del vehículo, para que posteriormente sea introducida en aparato y poder realizar la evaluación en un equipo computacional. Este lleva a cabo el tratamiento y análisis del espectro generado en el aparato, mediante modelamientos matemáticos del tratamiento digital de imagen y así, generar el resultado en el monitor de dicho equipo

Antes de comenzar con el diseño de las partes que integran el prototipo, se hace necesario caracterizar el comportamiento y explicar el principio de funcionamiento de las etapas presentes en el espectrómetro.

3.1.1. PRINCIPIO DE OPERACIÓN.

El principio de operación del equipo que se propone a desarrollar y siguiendo los fundamentos de la espectrometría y espectroscopia se presenta en el esquema de la Figura 14. Como se explica en el marco teórico los elementos pueden cambiar dependiendo del tipo de espectrómetro, que se desea fabricar, pero en general los elementos mostrados a continuación darán a conocer un panorama amplio sobre cómo es que funcionan estos aparatos.

FIGURA 14. ARQUITECTURA BÁSICA DE UN ESPECTRÓMETRO.



Fuente: <https://www.flickr.com/photos/67235095@N07/6120665761>

El flujo radiante emitido por la fuente pasa al monocromador, lo dispersa y transmite una banda estrecha de longitudes de onda a través de la rejilla de salida, que incide sobre el objeto a medir. El sistema detector recibe el flujo radiante generado por el objeto, formando una señal proporcional que se transmite al ordenador para el cálculo de los resultados [39].

3.1.2 COMPONENTES DEL ESPECTRÓMETRO.

Todo tipo de espectrómetros y espectrofotómetros dentro de su construcción, cuentan con las etapas expresadas en la figura 14, de las que se hablará con el fin de expresar sus características y el papel que juegan al ser utilizados en el proyecto que se desarrolló.

3.1.2.1. FUENTE DE LUZ.

El primer elemento a analizar es la fuente de luz la cual debe de producir idealmente una radiación intensa sobre un rango espectral lo más amplio que se pueda, esta debe cumplir con las condiciones de estabilidad, direccionalidad, distribución de energía espectral continua y vida de funcionamiento prolongada. Para este proyecto se tendrá en cuenta las características de dos tipos de fuente que se expresan a continuación.

Comúnmente las fuentes de iluminación perceptibles por el ojo humano (luz visible), proporcionan una radiación continua con pequeños cortes de longitud de onda, por debajo de 350 nm si su recubrimiento es de vidrio y por debajo de 300nm si el material que la recubre es de sílice [21]. Es debido a esto que este tipo de lámparas son usadas en el rango espectral a partir de 300nm hasta espectros del infrarrojo cercano.

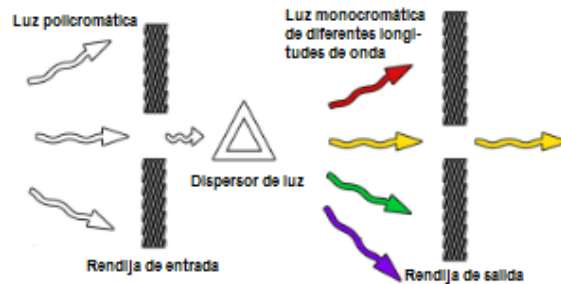
Una desventaja de utilizar las lámparas incandescentes normales, es que con el paso tiempo disminuye la intensidad luminosa, debido a que la evaporación de partículas del filamento, ocasionan que el recubrimiento se oscurezca. Para contrarrestar dicho fenómeno, es necesario establecer un ciclo regenerativo de halógeno [21].

Es importante que la potencia de luz se mantenga estable en el rango de longitud de onda empleada para el espectrómetro. En la región ultravioleta se usan varios tipos de fuentes de descarga eléctrica tales como lámparas de hidrógeno que producen un espectro continuo abarcando entre 190nm y 375nm[41], mientras que el espectro de emisión del deuterio presenta una emisión continua por debajo de los 400nm. Siendo ideales para la espectrometría de fluorescencia debido a que las sustancias tienen mejor respuesta a este tipo de fuente.

3.1.2.2. MONOCROMADOR.

Una de las partes más importantes de un espectrómetro es su dispositivo dispersor de luz, el cual permite puntualizar la intensidad luminosa para longitudes de onda específicas o bandas estrechas de longitudes de onda seleccionadas. El monocromador recibe luz policromática proveniente de la fuente lumínica a través de una rendija de entrada, modificando geométrica y ópticamente dicha radiación, y la dirige a través de una rendija de salida (ver figura 15)

FIGURA 15. ESQUEMA DE UN MONOCROMADOR.



FUENTE: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/be/Monocromador.jpg>

Existen diferentes formas de lograr la finalidad de un monocromador como por ejemplo filtros ópticos, filtros de interferencia, prismas o rejillas de difracción. Un filtro óptico es un medio que sólo permite el paso de luz con ciertas propiedades a través de él, suprimiendo o atenuando la luz restante. Los filtros ópticos más comunes son los filtros de color, es decir, aquellos que sólo dejan pasar luz de una determinada longitud de onda [41]. Estos se utilizan en los espectrómetros más simples. Otro tipo de filtros son los interferométricos, quienes emplean los principios de interferencia óptica para rechazar la radiación de longitudes de onda que queden fuera de una banda pasante determinada, mediante radiación selectiva.

Para minimizar el espacio que ocupa dentro del espectrómetro los dos parámetros anteriormente nombrados y con la prioridad de reducir costos en la fabricación del aparato, se plantea la implementación de una fuente monocromática de 405 ± 10 nanómetros ilustrado en la figura 16. Con el fin de reducir el problema de disminución de intensidad que presentan las fuentes nombradas en el epígrafe anterior. Otra característica que se aprovecha con la implementación de este laser, es que favorece el consumo de energía ya que éste, trabaja con una alimentación baja de voltaje.

FIGURA 16. LASER POINTER DE 405nm.



FUENTE: AUTOR.

Al implementar una fuente de longitud de onda fija directamente sobre la muestra, permite que la fluorescencia emitida luego de pasar por esta, sea lo suficientemente potente para ser captada por el detector, por ello, se espera que el sistema no presente problemas fotométricos, es por ello que la etapa principal o de mayor importancia en el espectrómetro, es la dispersión cromática de la fluorescencia emitida por la muestra, dicha dispersión depende de varios factores que se deben tener en cuenta al momento de que esta sea implementada.

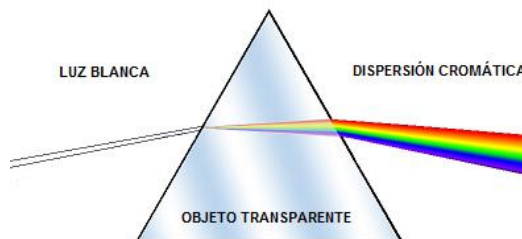
3.1.2.3. DISPERSIÓN CROMÁTICA.

La dispersión de la luz es una deformación de color que se produce cuando un rayo de luz compuesta por varias ondas electromagnéticas de distintas frecuencias (por ejemplo luz blanca) atraviesa un medio transparente y se refracta, mostrando a la salida de éste las respectivas longitudes de onda que constituyen dicha luz.

En otras palabras, dicha dispersión proviene de la disminución en la velocidad de propagación de la luz cuando atraviesa el medio, debido a que el material absorbe una pequeña cantidad de luz y luego la reemite con una frecuencia cercana a la frecuencia de oscilación natural.

Las variaciones en la velocidad de propagación dependen del índice de refracción del material y hacen que la luz se refracte de diferentes maneras según la frecuencia de luz incidente. En el caso de una doble refracción (ver figura 17) se distinguen de manera organizada los colores que componen la luz blanca: la desviación es progresiva, proporcional a la frecuencia de la onda. Por tanto, la luz roja es desviada de su trayectoria original en menor medida que la luz azul [10].

FIGURA 17. OBJETO DISPERSOR.



FUENTE: https://energiapuntocero.files.wordpress.com/2013/06/dispersion_prism.jpg

DISPERSIÓN DE ESPECTRO CON PRISMA.

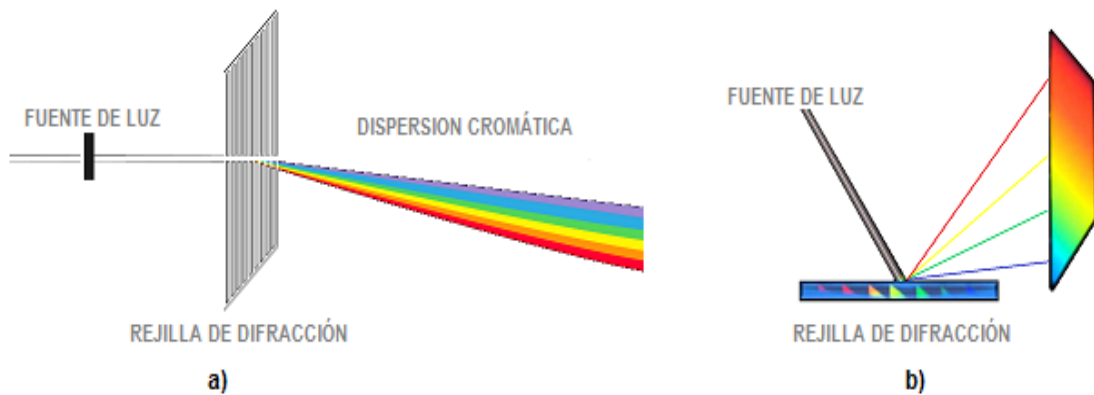
Los prismas más utilizados en los espectrómetros son fragmentos con forma de cuñas de vidrio, cuarzo, cloruro de sodio u otro material que permita que la radiación que penetra en él, se disperse en mayor o menor medida debido al índice de refracción que este tenga, estos se pueden encontrar compuestos por dos prismas: Uno dextrógiro y el otro levógiro físicamente unidos, con el fin de desdoblar el haz paralelo en distintas longitudes de onda. El prisma más comúnmente utilizado debido a su tamaño es el prisma Litrow [42], el cual logra desdoblar el espectro debido a que una de sus caras es un espejo y este refleja la luz que incide en él. Debido a su longeva implementación, es probablemente el tipo de monocromador más conocido, ya que las longitudes de onda pueden ser seleccionadas, tanto moviendo la ranura de salida o rotando el prisma.

DISPERSIÓN DE ESPECTRO CON REJILLA DE DIFRACCIÓN.

En la actualidad es el sistema de difracción de espectro más utilizado en los espectrómetros debido a su tamaño y coste que en comparación con un prisma, es mucho menor. Se describe como un componente óptico con un patrón regular, que separa el espectro electromagnético en varios haces que viajan en diferentes direcciones. Las trayectorias de esos haces depende de la cantidad de líneas paralelas equidistantes con las que cuenta la rejilla y la longitud de onda de la luz incidente, de modo que la red actúa como un elemento dispersivo. Para las regiones ultravioleta y visible la rejilla debe tener entre 300 – 2000 líneas/mm, y para análisis en el infrarrojo entre 10 – 200 líneas/mm. El haz de luz transmitido o reflejado según el tipo de rejilla empleado (ver figura 18), se difracta en direcciones específicas de acuerdo al periodo espacial de la rejilla y a la longitud de onda de la luz que incide en ella [42].

Al aumentar el número de ranuras por unidad de superficie, la dispersión angular de órdenes de difracción se incrementa, lo cual permite que la detección del espectro, para su posterior análisis, sea el más óptimo. Las rejillas como medio de dispersión de espectro, son considerablemente mejores que los prismas, debido a la factibilidad que tiene la implementación de las mismas, no solo por su tamaño reducido y gran calidad de operación; sino que se consiguen a un valor Asequible al bolsillo, Debido a que en la actualidad se ha desarrollado tecnologías para la elaboración de rejillas de difracción en grandes cantidades. Esto ha permitido sustituir por completo el uso de los prismas como elementos dispersores de espectro electromagnético.

FIGURA 18. REJILLAS DE DIFRACCIÓN: (a) TRANSMISIÓN, (b) REFLEXIÓN.



FUENTE: AUTOR.

En la determinación y la fabricación del proyecto se acude a la implementación de una rejilla de difracción por transmisión, que no es más que una fracción de 20x25 mm de un DVD-R virgen (ver figura 19), ya que este ofrece más de 1300 líneas/mm [43], el cual permite realizar el estudio de intensidad lumínica en el rango de espectro visible, aprovechando su elevada resolución, dispersión cuasi lineal, costo relativamente bajo y pocas pérdidas de radiación por absorción.

FIGURA 19. DVD, IMPLEMENTADO COMO REJILLAS DE DIFRACCIÓN.



FUENTE: AUTOR.

Para la obtención de una rejilla de difracción válida para el espectrómetro, se realizó el corte en 1/4 del DVD. Excavando una de sus esquinas para separar las dos capas que lo conforman, con el fin de conseguir una fracción de color púrpura transparente y sin aluminio adherido a él, para la separación del aluminio, el cual es su material reflectante, se introdujo la fracción del DVD en agua tibia durante unos minutos y así, el material fue removido sin ningún problema, todo el procedimiento se realiza sujetando solo los bordes del CD (sin tocar directamente los lados), debido a que se podría perder las propiedades de difracción del mismo. Una vez desarrollado el procedimiento anterior se recorta desde el borde exterior hacia abajo una porción de 20x 25 mm.

3.1.2.4. DETECTORES.

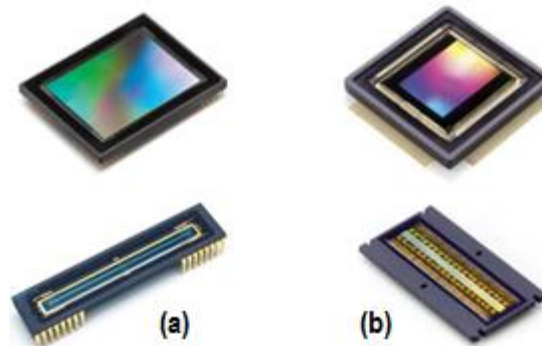
Los detectores de luminiscencia, también llamados sensores o transductores de luz son aquellos elementos que proporcionan una salida eléctrica utilizable en respuesta a una radiación electromagnética incidente en la porción del espectro ultravioleta, visible o infrarrojo cercano, es decir, que tienen una respuesta eléctrica en función de la cantidad de luz incidente. En algunas partes son conocidos como detectores de luz, fotosensores, fotocélulas o fotodetectores [10].

Con la idea de medir la energía radiante que se genera en la muestra, se utilizan detectores que producen un efecto medible al ser estimulados por una energía óptica radiante. Funcionan de diversos modos, siendo los detectores selectivos los de mayores aplicaciones, debido a que producen efectos eléctricos en lugar de producir calor como sucede con los detectores no selectivos [44]

Un detector ideal debe tener: Alta sensibilidad en la región espectral, respuesta lineal, respuesta inmediata, intervalo amplio de longitud de onda poca interferencia de ruido, mínima señal de salida en ausencia de radiación, entre otros.

Hoy en día existen dos tipos de tecnologías utilizadas para la fabricación de detectores ópticos ya sean compactos o réflex, dependiendo de su configuración. Ambos tipos de sensores están formados por semiconductores de metal-óxido (MOS) y están distribuidos en forma de matriz. Estos acumulan carga eléctrica en cada una de las celdas de esta matriz (pixel). La carga eléctrica almacenada en cada celda, dependerá analógicamente de la cantidad de luz que incida sobre el pixel.

FIGURA 20. SENSORES ÓPTICOS.



FUENTE: <https://www.teledynedalsa.com/imaging/knowledge-center/appnotes/ccd-vs-cmos>.

La anterior ilustración, muestra las dos arquitecturas más comúnmente empleadas para el tratamiento digital dentro de la espectrometría, estas son las utilizadas por los sensores CCD o Dispositivo de Cargas Acopladas (figura 20(a)), y los sensores CMOS o MOS complementario (figura 20(b)). Aunque en su esencia, los CCD y CMOS funcionan de una manera muy similar, existen algunas características que diferencian a ambas tecnologías.

SENSORES CCD.

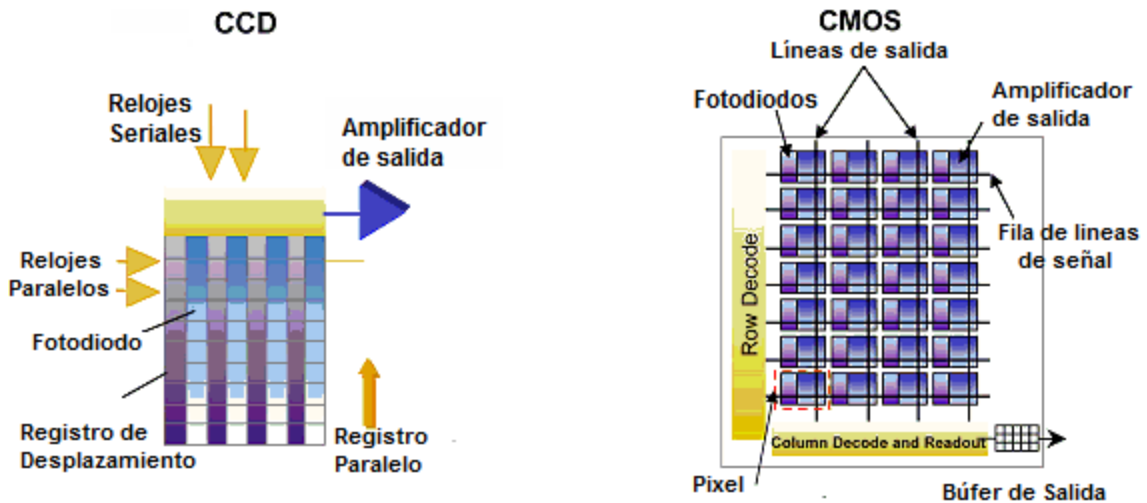
En el caso de los sensores CCD se hace una lectura correspondiente a cada pixel, para su posterior traducción en forma de datos mediante un convertidor analógico-digital, para ello se debe implementar un chip adicional que se encargue del tratamiento de la información proporcionada por el sensor. Esto es sin duda una gran desventaja que presenta este tipo de sensor, debido a que requiere mayor gasto y se convierte en un equipo con una mayor dimensión [44].

Se destaca por su respuesta uniforme, en la que relaciona la respuesta de un pixel sometido al mismo nivel de excitación de los demás, desarrollando una señal de respuesta suave que ocasiona que la velocidad de procesamiento de información sea muy lenta en comparación con los CMOS. Aunque esta tecnología fue la mejor opción como sensor de imagen en aplicaciones de broadcast durante muchos años [45], estos tienen como desventaja el alto consumo de energía y por ende calentamiento del equipo que ocasiona luego de un tiempo determinado señal de ruido en la información generada.

SENSORES CMOS.

En el caso de los sensores CMOS, la carga de cada pixel es muestreada individualmente y digitalizada independientemente en cada celda debido a los transistores contenidos en la misma, lo cual hace innecesario un chip externo que desarrolle dicha función [44]. Con esto conseguimos reducir costes y equipos más pequeños. Una muestra de lo que se explica en este párrafo y realizando una comparativa con el sensor CDD se ilustra en la figura 22 que nos muestra la arquitectura de ambos sensores

FIGURA 21. ARQUITECTURA DE LOS SENSORES ÓPTICOS.

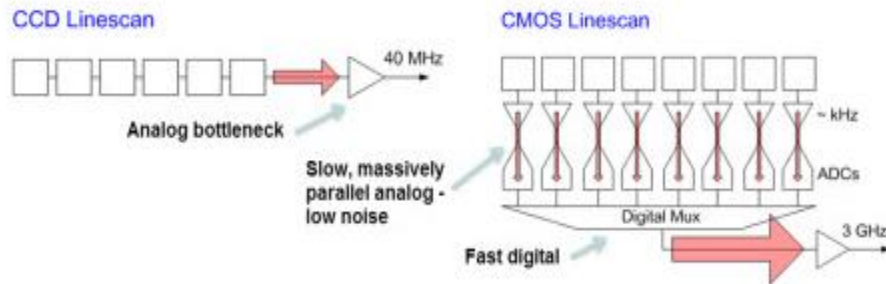


FUENTE: <http://image.slidesharecdn.com/unbresearchpresentation0-0-phapp02/95/from-biological-to-smart-cmos-imaging-architectural-approach-4-638.jpg>

La anterior ilustración muestra la operatividad de estos tipos detectores ópticos en los que se puede ver la organización de datos que presenta el sensor CMOS, debido a esto se fortalecen las grandes ventajas que ofrece este tipo de dispositivo, como lo son su economía, mayor calidad debido a que estos sensores son más sensibles a la luz en condiciones pobres de iluminación. Esto se debe principalmente a que los amplificadores de señal se encuentran en el mismo pixel, por lo que hay un menor consumo de energía a igualdad de alimentación. Todo lo contrario que ocurre en los sensores CCD. Por otra parte si un pixel se satura debido a la luz que incide en él, este no procede problemas a los demás como si sucede en los otros detectores.

En cuanto a la velocidad de procesamiento de datos, el sensor CMOS es claramente superior al CCD (ver figura 23) debido a que todo el procesado se realiza dentro del propio sensor, ofreciendo mayor velocidad [44]. Es esta una de las principales razones por las que los sensores CMOS implementado en cámaras y celulares permiten grabar vídeos a velocidades de hasta 1000 fps.

FIGURA 22. COMPARACION DE VELOCIDAD DE SENSORES.



FUENTE: https://www.teledynedalsa.com/images/imaging/CCDvsCMOSLine_450w.jpg

Es por ello que estos tipos de sensores abordan hasta la visión artificial ya que los parámetros claves para dicha aplicación son alta velocidad y poco ruido. Y como se expresa en la figura 23 el barrido lineal de datos se limita para los sensores CCD debido al cuello de botella analógico que se presenta a la salida del mismo, fenómeno que no ocurre en los sensores CMOS. Por ello se comprende que dichos sensores (CMOS) incluyen una mejor sensibilidad, bajo consumo de energía, menos calor, y una mayor integración, con potencial para una mayor resolución, rango dinámico ampliado, y velocidades de cuadro más altas [45].

Por los expuestos anteriormente y favorecidos por sus características, se determina implementar la cámara web: lifecam HD-3000 de Microsoft, para la obtención del espectro electromagnético generado por la muestra. Esta webcam cuenta con sensor CMOS, formato de pantalla 16:9 que permite tener una toma de datos extendida para el valor de espectro, tecnología truecolor la cual proporciona automáticamente imágenes de colores brillantes y vívidos en situaciones de baja iluminación, entre otros. La siguiente imagen ilustra cómo se consigue dicha cámara en el mercado y el esquema de la tarjeta que contiene el sensor CMOS, siendo ésta la de más interés para su implementación en el proyecto.

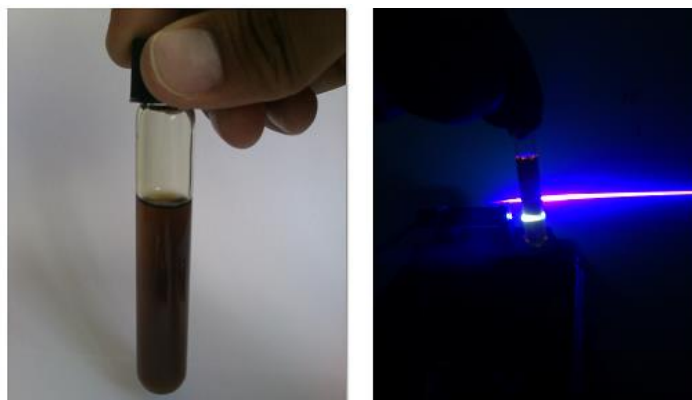
FIGURA 23. WEBCAM: LIFECAM HD300.



FUENTE: https://www.microsoft.com/hardware/products/lifecam-hd3000_large.jpg

Cabe resaltar que los recipientes seleccionados para las muestras, fueron los tubos de ensayo de 16x100 mm (10ml) fondo redondo en vidrio con tapa rosca (figura 24 izquierda), debido a que sus paredes delgadas permiten una emisión de luz considerable y por ende, la fluorescencia desarrollada se visualiza claramente (figura 24 derecha), normalmente para este fin, son utilizados recipientes de cuarzo, los cuales por su alto costo, fueron descartados para este proyecto.

FIGURA 24. RECIPIENTE PARA MUESTREO.



FUENTE: AUTOR.

Otros aspectos fueron tenidos en cuenta a la hora de seleccionar estos recipientes, puesto que se pueden conseguir en cualquier empresa de suministros de laboratorio químico con la descripción anteriormente descrita y su costo es relativamente bajo comparándolo con los recipientes normalmente utilizados para la espectrometría. Pudiendo ser reutilizados posteriormente a un lavado eficaz.

3.2 DISEÑO DEL ESPECTRÓMETRO.

Partiendo de los principios básicos expuestos en el epígrafe 3.1.2. El cual describe las partes o etapas que conforman un espectrómetro, y con el interés de obtener un sistema robusto, compacto y relativamente de bajo costo, que físicamente cumpla con las expectativas propuestas para este proyecto, se establece el uso y adaptación de una caja de paso para instalaciones eléctricas Dexson (ver figura 25) de “Schneider-Electric” debidamente adaptada para este proyecto con el fin de que una vez finalizado el mismo, se obtenga un sistema funcional y estético.

FIGURA 25. CAJA DEXSON PARA INSTALACIONES ELECTRICAS.



FUENTE: AUTOR.

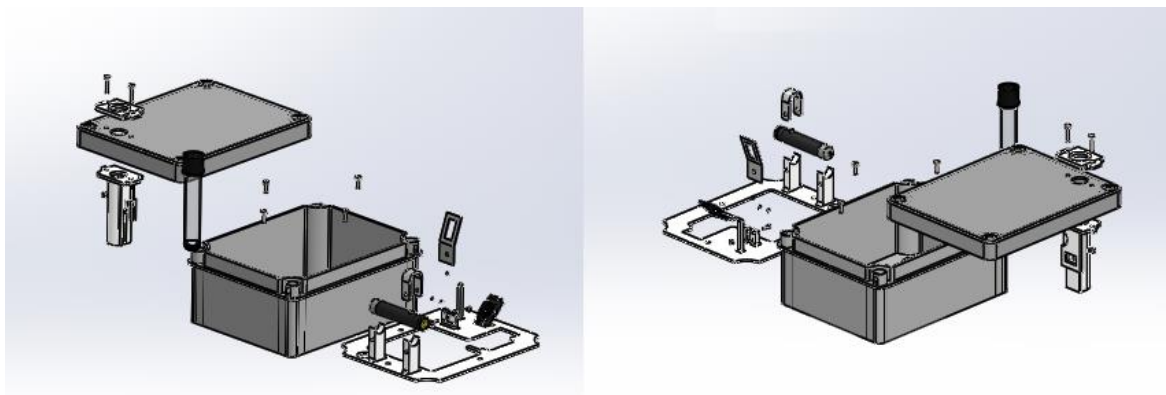
Esta compacta caja de polipropileno aísla casi completamente la luz externa, al mismo tiempo que aporta un espacio interno de 138mm de ancho, 80mm de alto y 179mm de profundidad que determina su escogencia, esto es debido, a que interiormente esta debe contener la fuente de luz monocromática, el contenedor del recipiente con la muestra, la rejilla de difracción, la tarjeta de la cámara web e igualmente se deben respetar unas distancias entre ellos.

A la hora de desarrollar el prototipo, es de vital importancia dentro del diseño ingenieril tener en cuenta las etapas posteriores a ella como el ensamblado, la puesta a punto y los análisis de funcionalidad, ya que un buen diseño ingenieril conlleva a un desarrollo exitoso del proyecto. El uso de un programa de diseño asistido por computador (CAD) como Solidworks toma un valor agregado debido a

que permite modificar las piezas, una a una mientras se realizan diferentes bocetos del sistema, de una forma más dinámica hasta encontrar el bosquejo apropiado que permita aprovechar al máximo las etapas presentes en el mismo, teniendo en cuenta el desensamble de piezas para futuras modificaciones y fácil mantenimiento.

En el aprovechamiento de los recursos que brinda la universidad, en cuanto a procesos de manufactura de piezas, se dispone de la impresora 3D Makerbot Replicator Z18 para la fabricación de piezas con geometría compleja, en material biodegradable PLA (ácido poliláctico), de manera que potencia las condiciones de acoplamiento unas con otras, de las diferentes piezas que hacen parte de las etapas presentes en el espectrómetro.

FIGURA 26. DISEÑO CAD, VISTA EXPLOSIONADA DE LAS PARTES.



FUENTE: AUTOR.

Cabe recalcar que los parámetros que intervienen en el diseño final (ver figura 26) como dimensión de piezas, separación entre las mismas y ángulos de incidencia, fueron analizados y establecidos con base en un prototipo experimental (ver figura 27), con el cual se adquirieron dichas magnitudes que permiten generar un espectro potente de la muestra, para obtener una varianza lógica y significativa según la concentración de contaminante presente en la muestra.

FIGURA 27. PROTOTIPO EXPERIMENTAL.



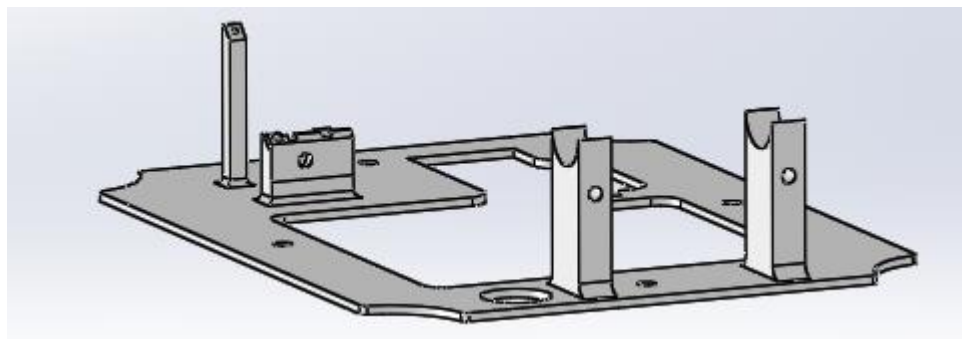
FUENTE: AUTOR.

3.2.1. DISEÑO DE PIEZAS.

3.2.1.1. BASE INTERNA DEL ESPECTRÓMETRO.

Con esta pieza (ver figura 28), se busca obtener una rigidez en las partes más relevantes del espectrómetro al momento de llevar a cabo el ensamble de las mismas, por ello se saca provecho de cuatro orificios que presenta la caja Dexson en su interior, las cuales permiten fijar dicha pieza mediante tornillos de 1/8". En ella estarán dispuestas la fuente de luz (laser), rendija dispersora y el sensor de la webcam.

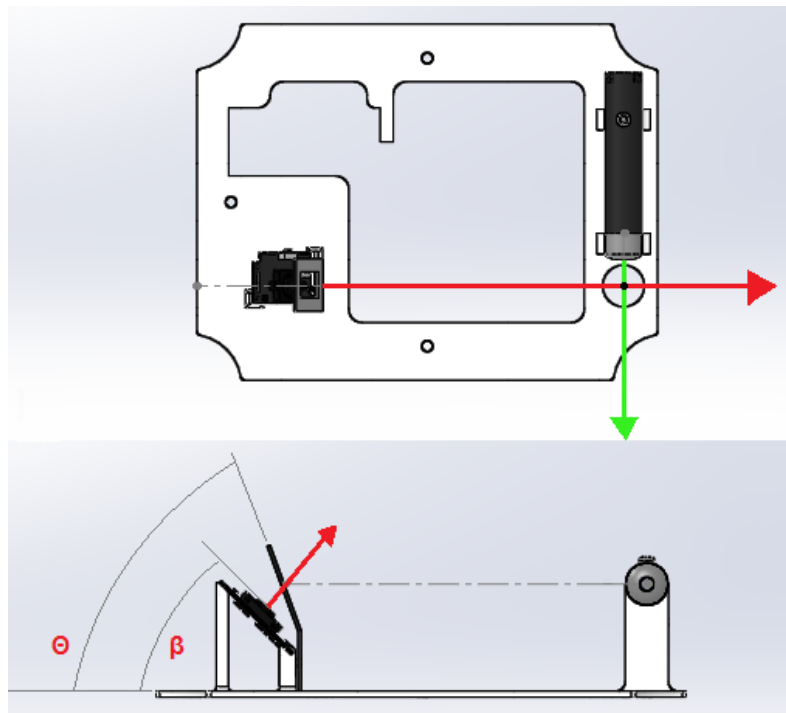
FIGURA 28. DISEÑO CAD, BASE INTERNA DEL ESPECTRÓMETRO.



FUENTE: AUTOR.

El boceto diseñado se acopla perfectamente a la geometría que presenta la caja en su interior. El objetivo de esta pieza es lograr rigidez, al mantener fijas las principales etapas del espectrómetro sin malgastar el material de su fabricación, de ahí que se presenta solo las bases donde se acoplarán dichas partes y un vacío en resto de la piza la cual no tendrá ninguna función. Su prioridad se presenta en permitir la alineación de dichos componentes como se muestra en la figura.

FIGURA 29. DISEÑO CAD, ALINEACIÓN DE LAS ETAPAS.



FUENTE: AUTOR.

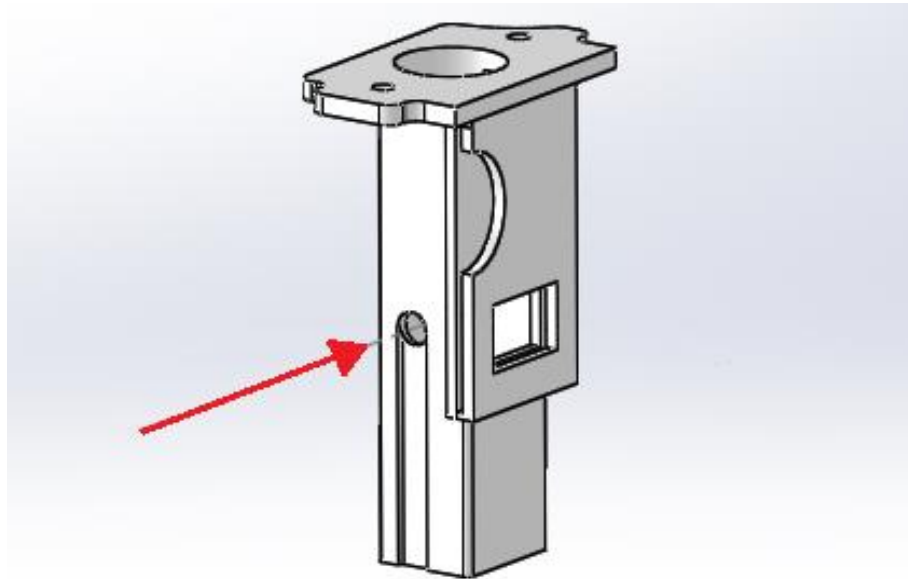
La anterior figura muestra dos vistas del interior del aparato, en la parte superior de figura se evidencia la incidencia de la dirección de propagación de la fuente de luz (verde) y dirección de enfoque de la cámara (rojo), en este punto de coincidencia es donde serán ubicadas la muestras para el análisis. Como se mencionó anteriormente los parámetros del diseño, se obtuvieron mediante el prototipo experimental el cual proporcionó las distancias entre partes, el mejor ángulo de difracción para la rejilla y el ángulo más óptimo para el cámara, los cuales permiten la obtención de una imagen potente del espectro, dichos ángulos fueron: $\Theta \approx 73^\circ$ y $\beta \approx 45^\circ$, como se ilustra en la parte inferior de la misma imagen.

3.2.1.2. CONTENEDOR DEL RECIPIENTE DE LA MUESTRA.

El diseño de este componente es tal vez el de mayor cuidado, debido a que debe permitir la interacción entre el exterior y el interior del espectrómetro sin permitir que luz externa indeseable difiera en el análisis, para ello se determina dividir dicha etapa en dos piezas acopladas, a través de la tapa de la caja empleada para este proyecto, sobre el punto de incidencia mostrado en la anterior ilustración.

Es importante recalcar que la parte interna de esta etapa, corresponde en sí al contenedor del recipiente, el cual permite que la luz sea emitida hacia la muestra mediante un orificio situado en la parte media del cuerpo de la pieza, con el fin de aislar dicha luz del resto del espectrómetro, como se muestra en la imagen.

FIGURA 30. DISEÑO CAD, PIEZA INTERNA DEL CONTENEDOR DE LA MUESTRA.



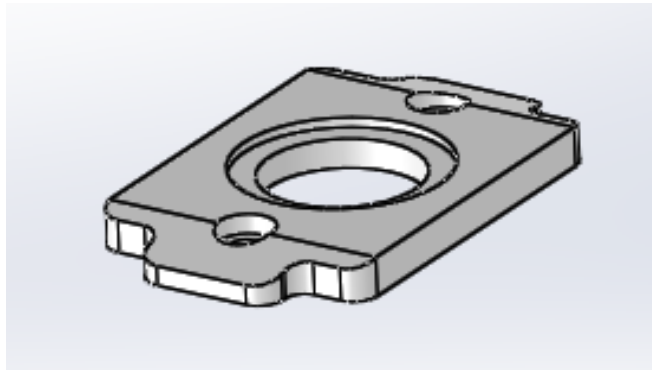
FUENTE: AUTOR.

Cabe resaltar que las dimensiones y forma de esta pieza, dependen directamente de la geometría de los recipientes expuesta en la página 44. Como se observa en la figura, la pieza cuenta con tres orificios en la parte superior, de los cuales, los dos pequeños se diseñan con el fin de fijar la pieza y el grande es donde se deposita el recipiente que contiene el fluido.

Igualmente se dispone de una hendidura perpendicular a la dirección de incidencia del láser, es decir en la dirección donde se encuentra el sensor de imagen, dicha hendidura se ubica para introducir láminas delgadas con rendijas de diferentes medidas, con el fin de filtrar o limitar la radiación fluorescente emitida por la muestra hasta encontrar la lámina más apropiada que cumpla con este fin, ya que cuando la luz monocromática incide directamente en muestras poco contaminadas, el espectro generado es muy potente y esto no permiten llevar a cabo un análisis coherente y estable con valores relativos de concentración de hollín.

Para complementar la etapa del contenedor del recipiente e insistiendo en el aprovechamiento de material de fabricación sin malgastarlo, se diseña una sencilla pieza que permita fijar la parte interna del mismo, con el fin de tener un sistema rígido y confiable. Dicha pieza se muestra en la siguiente ilustración.

FIGURA 31. DISEÑO CAD, PIEZA EXTERNA DEL CONTENETOR DE LA MUESTRA.

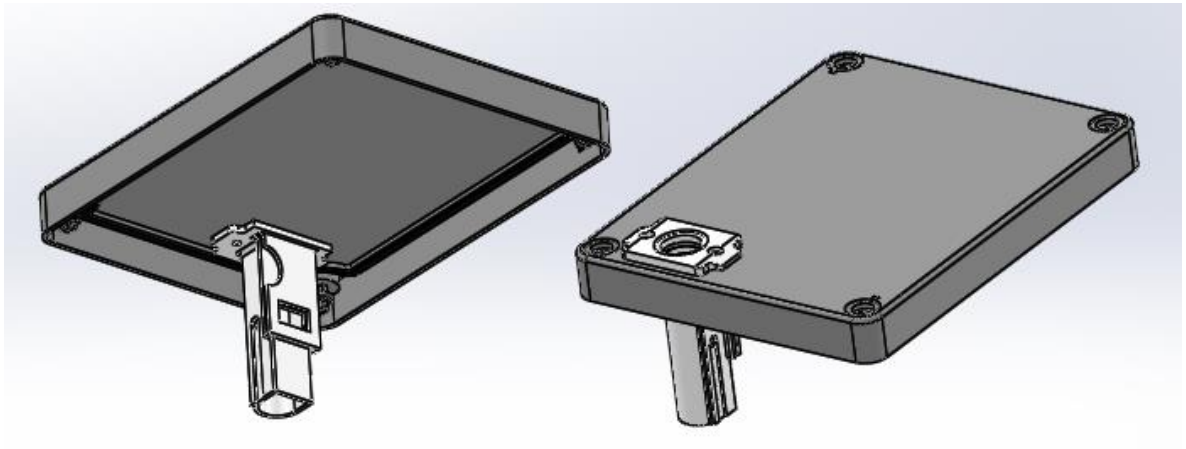


FUENTE: AUTOR.

Sin embargo, el decir que esta es la etapa de mayor cuidado, se centra principalmente en el acoplamiento de la tapa de la caja, debido a que el proceso de perforación debe hacerse en el punto exacto y para ello se deben tomar las dimensiones reales de la caja, que permitan un modelamiento digital muy preciso de la misma, para que al momento del ensamblaje se corrobore la linealidad de las partes y no se presenten problemas de descalibración.

Así mismo la adaptación de la tapa y ensamble de partes permite ver un diseño compacto que muestra una rigidez importante que es lo deseado en este proyecto como se observa en la figura.

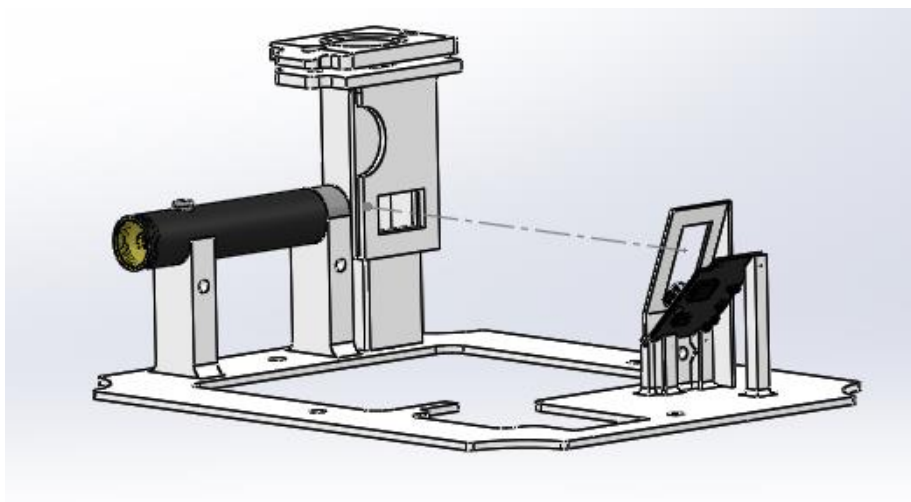
FIGURA 32. DISEÑO CAD, ENSAMBLE DEL CONTENEDOR DE MUESTRAS.



FUENTE: AUTOR.

De igual manera en la siguiente imagen se ilustra cómo queda internamente el espectrómetro, mostrando la relación que presentan las partes que lo conforman, donde se visualiza la perpendicularidad que se desarrolla entre la incidencia y emisión de luz en la muestra, cumpliendo con el principio fundamental establecido para el análisis espectrométrico de fluorescencia.

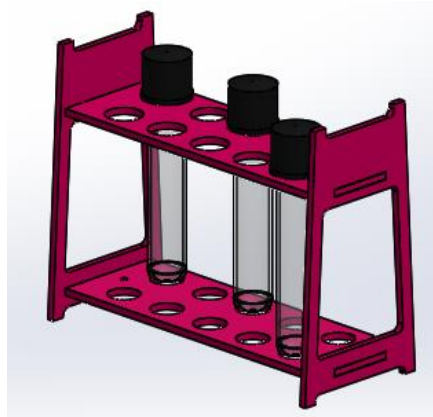
FIGURA 33. DISEÑO CAD, PARTES INTERNAS ACOPLADAS.



FUENTE: AUTOR.

Con la idea de trabajar cómodamente con el sistema a fabricar, el cual deberá analizar muestras de lubricantes de motor. Se diseña una pequeña gradilla con el fin de favorecer la dinámica de análisis en el momento de calibración de dicho sistema, debido a que permite tener un orden de muestras y en la cual estas podrán reposar. Dicha gradilla plantea fabricar en acrílico mediante el centro mecanizado con el que cuenta el departamento MMI de la universidad, su diseño se muestra en la siguiente figura.

FIGURA 34. DISEÑO CAD, GRADILLA PARA MUESTRAS.



FUENTE: AUTOR.

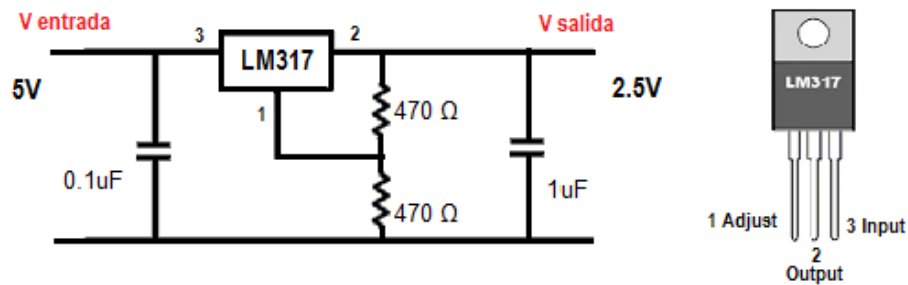
3.2.2 DISEÑO DE CIRCUITO ELÉCTRICO.

Dentro de las características técnicas del láser y para que este funcione en su estado estable de intensidad, se requiere de una alimentación de voltaje de entre 2,5 – 3,0 Voltios, este dispositivo funciona normalmente con dos baterías AA que le aportan 2,5 V para que opere en condiciones normales, pero es un limitante de rendimiento debido a que estas con el tiempo se descargan, lo que provocaría lecturas erróneas del aparato y se vuelve tedioso el estar recargando cada determinado tiempo las baterías. Esto podría ocasionar desajuste de las partes que lo conforman debido a estar abriendo y cerrando el aparato, con la probabilidad de descalibrar el mismo.

Debido a esto y sacando provecho de la conexión de la webcam mediante puerto USB, se establece la implementación de un circuito que regule el voltaje en 2,5V para la alimentación del láser, ya que este, tiene un consumo de energía muy bajo y el puerto ofrece un voltaje de salida de 5V y 500mA, suficientes para alimentar ambos dispositivos (webcam y láser).

Con el fin de fijar el voltaje deseado, se empleó el circuito que se muestra en la figura 35, que cuenta con el regulador de voltaje LM317, comúnmente utilizado para regular fuentes variables debido a sus características técnicas (anexas), el diseño muestra el esquema implementado y valores de dispositivos con los que se logra los 2,5 voltios, obtenidos a realizar los respectivos cálculos.

FIGURA 35.ESQUEMA DEL CIRCUITO FIJADOR DE VOLTAJE.



FUENTE: AUTOR.

Haciendo provechosa la etapa electrónica para fijar el voltaje de alimentación del láser, se recurre a la implementación de un switch a la salida de dicha etapa, ya que se hace necesario controlar el láser en cada análisis, es decir, encender y/o apagar la fuente de luz desde el exterior del aparato.

Teniendo en cuenta el diseño de las partes que forman el proyecto: piezas para fabricar y etapa electrónica nombradas en este capítulo, los dispositivos ya conseguidos en el mercado y lo expuesto en el párrafo anterior, se determina realizar dos perforaciones en la parte posterior de la caja del espectrómetro, con el fin de tener control manual del encendido del láser y un segundo agujero que permitir la conexión entre el equipo de computación y el sistema desarrollado (paso del cable de datos USB).

Los planos de las partes utilizadas y piezas diseñadas se muestran de manera detallada en anexos junto con la ficha técnica de los dispositivos utilizados.

3.3. FABRICAIÓN DEL ESPECTRÓMETRO.

Como ya se expuso anteriormente, la fabricación de las piezas con Geometría compleja se realizan mediante la Makerbot Z18 (Impresora 3D), con la que se obtienen con exactitud las piezas desarrolladas en el programa de diseño, debido a su fiabilidad y automatización, la cual permite que cualquier pieza de la realidad virtual sea desarrollada por esta. Muestra de ello se presenta en las etapas expuestas a en las figuras (37 - 44).

Como complemento para conseguir un sistema óptimo que sea capaz de realizar los objetivos planteados en el proyecto, y considerando que el sistema interno del espectrómetro no está aislado completamente de luz externa debido a claridad que este presenta se define solucionar dicho traspíé, aplicando una capa de pintura negro mate sobre la caja y por ende a todas y cada una de las piezas con el fin de obtener un filtro para la luz externa cuando esta sea potente.

FIGURA 36. CAJA DEBIDAMENTE ADECUADA.



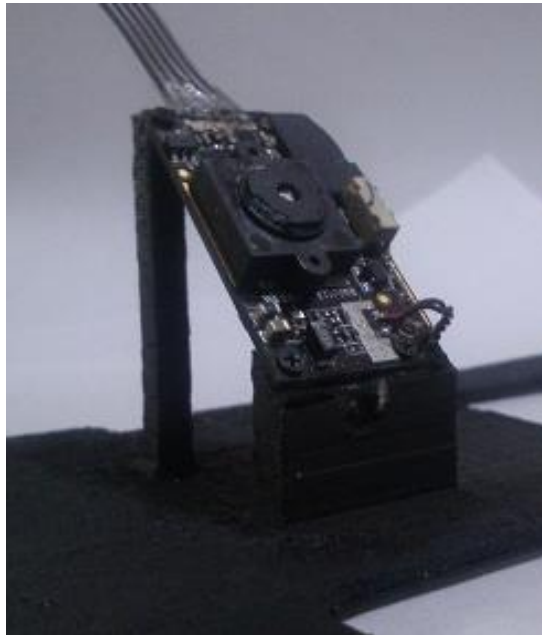
FUENTE: AUTOR.

La anterior ilustración corresponde a la adaptación de la caja Dexson para el proyecto debidamente pintada, en ella se muestra el acople hecho del switch y el cable de datos USB para la conexión con el computador.

3.3.1. FABRICACIÓN Y ENSAMBLE DE PIEZAS.

Así como la anterior figura revela el acople de presentación del sistema (como se verá el espectrómetro), se muestran los ensambles entre las piezas y debido equipamiento perteneciente a las etapas presentes en el aparato.

FIGURA 37. CAMARA FIJADA A LA BASE DEL ESPECTRÓMETRO.

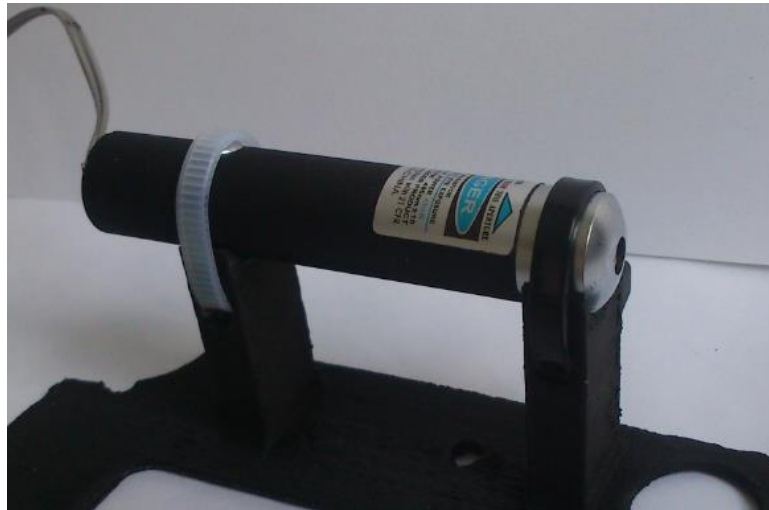


FUENTE: AUTOR

Para fijar la cámara a la base se utilizaron los tornillos con los que ésta cuenta internamente en su carcasa, tenidos en cuenta en el diseño CAD, así como los orificios con los que esta cuenta.

Siguiendo con el ensamble de las partes, se fija la fuente de luz (láser), a la base del espectrómetro con abrazaderas plásticas (ver figura 38), esto con el fin de darle un ajuste que le impida movimientos no requeridos y ganar seguridad, permitiendo que cuando este falle, su extracción se facilite.

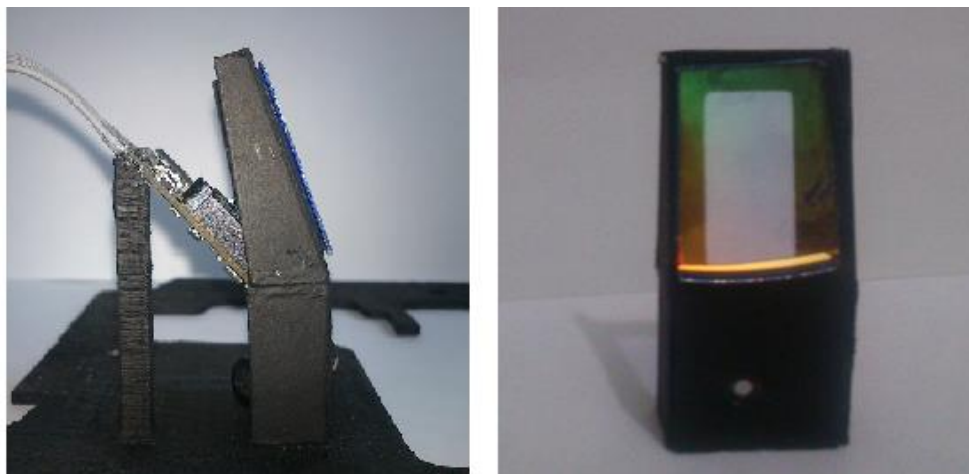
FIGURA 38. LÁSER FIJADO A LA BASE DEL ESPECTRÓMETRO.



FUENTE: AUTOR.

Igual de importante a las etapas anteriormente nombradas, se selecciona como rejilla de difracción la porción de DVD que muestre uniformidad en su estructura (sin manchas) debidamente analizada con ayuda de la cámara, para determinar y escoger la que mejor se acople a la necesidad del proyecto

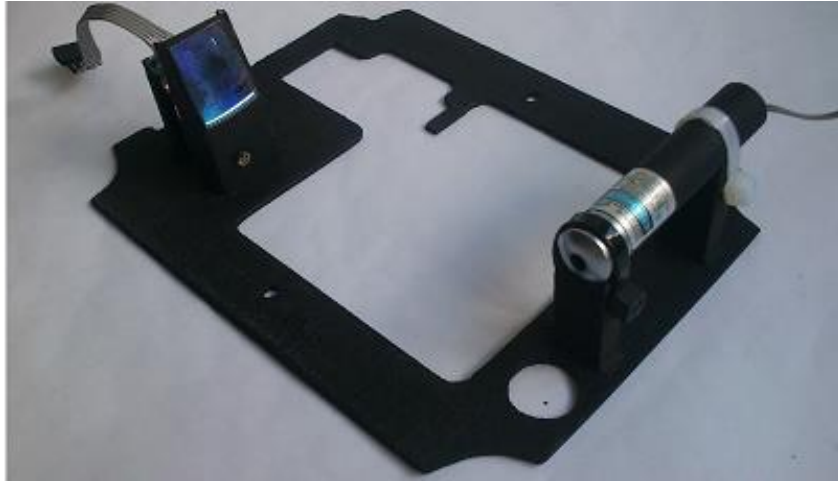
FIGURA 39. REJILLA DE DIFRACCIÓN FIJADA AL ESPECTRÓMETRO.



FUENTE: AUTOR.

Una vez desarrollado el ensamble del láser, sensor óptico y rejilla policromadora, en las figuras 40 y 41, se muestra toda la etapa perteneciente al acoplamiento de la base interna del espectrómetro.

FIGURA 40. VISUALIZACIÓN DE PARTES ENSAMBLADAS A LA BASE (1).



FUENTE: AUTOR.

FIGURA 41. VISUALIZACIÓN DE PARTES ENSAMBLADAS A LA BASE (2).



FUENTE: AUTOR.

FIGURA 42. ENSAMBLE CONTENEDOR DE MUESTRA Y TAPA DEL ESPECTRÓMETRO.



FUENTE: AUTOR

De igual manera se ilustra en las figuras 42 y 43, el ensamble de las piezas interna y externa del contenedor recipientes y la tapa del aparato, mostrando exactamente lo propuesto en el diseño CAD debidamente fijada con tornillos y tuercas que ofrecen la rigidez esperada para el conjunto.

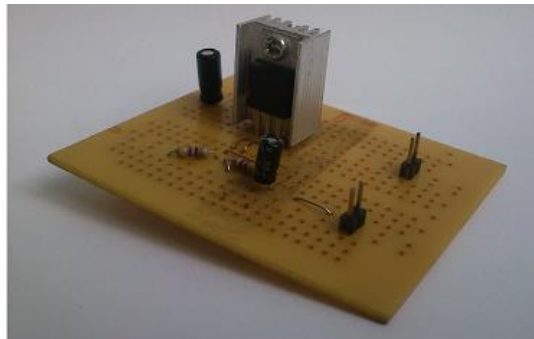
FIGURA 43. ENSAMBLE COMPLETO DE CONTENEDOR Y TAPA DEL ESPECTRÓMETRO.



FUENTE: AUTOR.

Equivalentemente el desarrollo del circuito eléctrico que permite obtener un voltaje fijo para la alimentación de la fuente de luz monocromática, se ilustra en la imagen que a continuación se presenta, en ella se puede ver claramente que es un circuito básico y montaje sencillo debido a que se realizó en una baqueta universal, con el fin de agilizar su implementación.

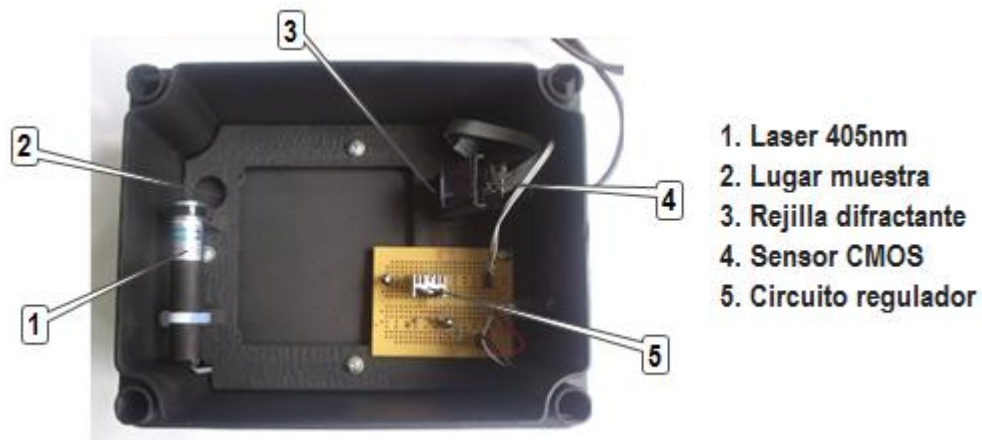
FIGURA 44. CIRCUITO FIJADOR VE VOLTAJE.



FUENTE: AUTOR

Una vez montadas las partes que conforman el espectrómetro, se procede a ensamblar las partes internas con la caja acoplada mostrando (ver figura 45) la versatilidad de un aparato compacto, que es lo que se deseaba conseguir.

FIGURA 45. ENSAMBLE FINAL DE LAS PARTES.



FUENTE: AUTOR.

Finalmente acopladas las partes a la base del aparato, se procede a añadir y fijar la etapa restante, para ello, son aprovechados los pasadores de giro que trae dicha caja en la parte superior de sus cuatro esquinas, ganando seguridad, robustez y firmeza, dando por culminado la fabricación del espectrómetro; reflejándose, un aparato compacto y estético.

FIGURA 46. IMAGEN FINAL DEL ESPECTRÓMETRO.



FUENTE: AUTOR.

3.3.2. ESTIMACIÓN DE COSTOS.

Este ítem presenta la base más fundamental del proyecto, debido a que primeramente se quiere obtener es un equipo de bajo costo, que cumpla con las expectativas propuestas para el funcionamiento eficaz del mismo. Es por ello que se estudió un sistema que no requiriera de componentes de valor elevado, ni materiales difíciles de conseguir en el mercado.

Debido a lo planteado anteriormente se exponen los materiales y equipamiento empleados para el desarrollo del proyecto, así como los costos generados en la fabricación de este equipo.

TABLA 3. COMPONENTES DEL EQUIPO.

componente	Cantidad	Valor
Lifecam HD300 Microsoft	1	120.000
Caja Dexson 15X19 cm	1	19.000
Laser Pointer 405 nm	1	35.000
Carrete de PLA Makerbot	1/2	105.000
Tubos de ensayo tapa rosca	15	70.000
Tornillos 1/8 x 1/2'	4	400
Tornillos 1/8 x 1'	2	400
Tuercas 1/8	2	400
Pintura en aerosol	1	8.000
Acrílico	25 x 15 x 0.3 cm	12.000

FUENTE: AUTOR**TABLA 4. COMPONENTES DEL REGULADOR DE VOLTAJE.**

componente	Cantidad	Valor
Regulador LM317	1	4.500
Capacitor 1,0uF	1	300
Capacitor 0,1uF	1	300
Resistencias 470 Ω	2	200
Baquela universal	1	2.000
Disipador	1	2.500
Switch	1	2.500
Cable bus recto	1m	3.000
Regleta macho	1	1.000
Regleta hembra	1	1.000
DVD - R	1	2.000
Estaño	1m	1.000
Termo-incogible	1m	1.000

FUENTE: AUTOR.

TABLA 5. MÁQUINAS Y HERRAMIENTAS EMPLEADAS.

componente	Tiempo de uso
Makerbot Replicator Z18	6 horas
Fresadora CNC	1 hora
Taladro	1 hora
Mototool	2 horas
Lima	1 hora
Destornilladores	3 horas
Bisturí	1 hora
Cautín	1 hora

FUENTE: AUTOR.

4. PROGRAMACIÓN Y CALIBRACIÓN DEL SISTEMA.

Este capítulo ilustra el protocolo tenido en cuenta para la puesta a punto del proyecto, tanto en lo físico, con el objetivo de generar un espectro fuerte que diferencie claramente la intensidad presente en las muestras, como en la parte computacional en la que se buscó minimizar las fuentes de ruido en la transmisión de datos y así aumentar el grado de fiabilidad del sistema.

Por otra parte, para establecer una excelente calibración, se tuvo en cuenta aspectos del funcionamiento concernientes al espectrómetro y ajenos al mismo, En este sentido se tomaron en cuenta factores importantes tales como, el agente diluyente utilizado para la muestra, así como la concentración que esta debía presentar. Por otra parte y como parámetro no físico, se tuvo en cuenta la calibración sistemática mediante programación, en el cual se relaciona el espectro generado, con la concentración de carbonilla que presenta el lubricante.

4.1. PROGRAMACIÓN E INTERFAZ.

El presente estudio expone el modo de análisis presente en el sistema, el cual despliega el tratamiento digital de imagen al que se somete el espectro obtenido por el sistema físico, brindando un algoritmo que infiere en la funcionalidad del conjunto, al unificar el aparato y la pc mediante el programa, de modo que el sistema se transforme en un instrumento virtual para el análisis de lubricante.

Es importante destacar, que para la adquisición de imágenes y sus posteriores análisis, se aprovechó de las herramientas ofrecidas por Matlab para el tratamiento digital de imagen, las cuales brindan un amplio despliegue de comandos que facilitan la evaluación de datos tomados por el espectrómetro, teniendo en cuenta los principios investigados, sobre análisis de radiación electromagnética para espectros en el rango visible.

Como se habló en el capítulo anterior, se dispuso de un prototipo experimental que permitió evaluar y corroborar los ángulos de difracción e incidencia que permitieron obtener un espectro claro y potente. Un ejemplo de ello se muestra en la figura 47, la cual ilustra uno de los espectros generados por el aparato construido, al introducir en él una pequeña muestra de aceite virgen.

FIGURA 47. ESPECTRO GENERADO POR EL EQUIPO FABRICADO.



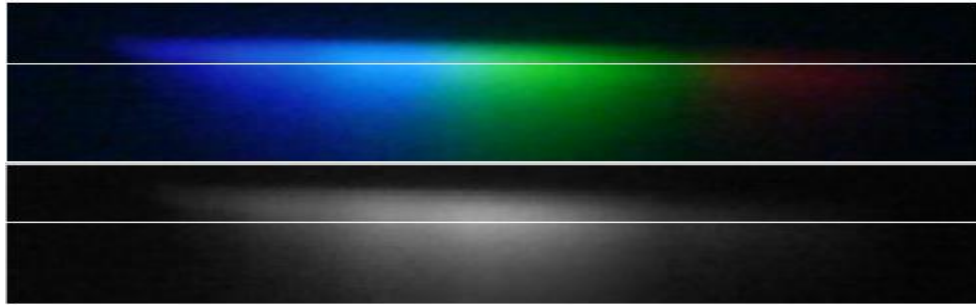
FUNTE: AUTOR.

Una vez adquirida la imagen del espectro, se dispone de la información cualitativa y cuantificada que éste presenta, para que así mismo y con base en ella, sea utilizada en el análisis de intensidad, teniendo en cuenta que la estructura de datos proporciona tres matrices con información irrelevante, la cual determinan la luminosidad fluorescente emitida por la muestra. Es decir que la imagen se conforma por tres canales (matices) Rojo, Verde y Azul, que componen la variación de color y la fuerza que esta presenta.

Esto indica que se dispone de tres matrices que contienen la información para el desarrollo del estudio. Pese a esto no se garantiza una evaluación coherente del espectro, ya que observando detalladamente la figura anterior, se ve claramente que el canal rojo es muy opaco y al ser evaluado, para que posteriormente se compare con los otros dos canales, este arroja diferencias significativas. Como consecuencia se condiciona la necesidad de relacionar la data en un solo canal que promedie los valores contenidos en cada pixel, para la obtención y utilización de solo una matriz, denominada escala de grises, la cual proyecta valores entre 0 y 255 en cada pixel, donde negro=0, significa la opacidad contenida en la imagen y blanco=255, hace referencia a la intensidad presente en la muestra; siendo esta información la requerida para desarrollar la evaluación de la imagen.

Vale la pena decir que el espectro adquirido difiere su información de un pixel a otro, debido a que este ocupa tan solo un pequeño espacio de la imagen generalmente predominada por la opacidad. Como consecuencia de ello, se determinó utilizar un vector fila para el estudio, con el fin de obtener un análisis más favorable y disminuir el costo computacional.

FIGURA 48. TOMA DE VECTOR PARA ANÁLISIS.

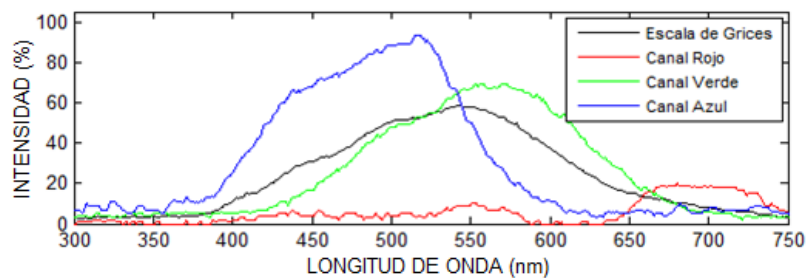


FUNTE: AUTOR.

Recalcando lo referido anteriormente y como se ilustra en la figura 48, la imagen en escala de grises, determinó de mejor manera el vector que presenta la mayor intensidad, debido a que los pixeles más claros representan mayor luz y sus valores son altos, mientras que los pixeles opacos absorben la radiación de la luz. Por ello la luminosidad describe cuan claro o limpio de contaminantes se encuentra el lubricante, mientras la opacidad determina el factor de degradación del mismo.

No obstante con esta determinación, se pudo verificar el comportamiento que exhibe, cada pixel del vector seleccionado, al ser relacionado directamente con la longitud de onda a la que éste hace parte (ver figura 49). Y Así desplegar una comparativa, del comportamiento de los canales que conforman la imagen y la escala de grises, corroborando la opción más sintetizada que se seleccionó para el desarrollo del estudio.

FIGURA 49. COMPARATIVA DE LOS CANALES DE IMAGEN Y LA ESCALA DE GRISES.

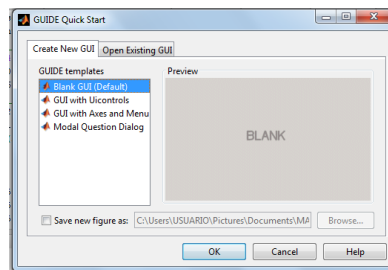


FUNTE: AUTOR.

En términos generales se declaró la escala de grises como el método más eficiente para obtener el comportamiento más estable de la señal generada y a raíz de esta selección se determina el valor representativo de la muestra (escalar), el cual fue establecido por el área bajo la curva que ésta plasmó en la gráfica. Dicho valor es el que se asocia como fuerza de radiación que presenta la muestra.

El propósito de una integración entre espectrómetro-usuario, que permita un trabajo fácil y rápido de procesamiento y análisis eficiente, se dispuso del desarrollo de una interfaz gráfica de usuario GUI (por su acrónimo en inglés) que ofrece MatLab, con la finalidad de que el usuario establezca un contacto directo con la funcionalidad del sistema desarrollado.

FIGURA 50. ENTORNO GUIDE PARA CREAR INTERFAZ.

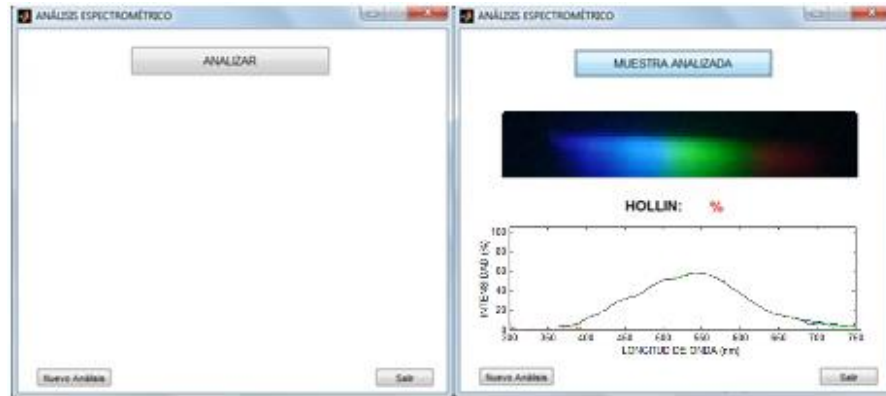


FUENTE: AUTOR.

La figura 50, muestra el entorno de trabajo de GUIDE para la creación de interfaz de usuarios, el cual se espera que permita una comunicación sencilla, debido a que el procedimiento es corto que no contiene un menú extenso de aplicaciones y tampoco requiere de introducir variables. Es por ello que se emplea un entorno sencillo de un diseño amigable incluso para usuarios con pocos conocimientos en las áreas del análisis de lubricante, espectrometría o programación.

Es por ello que el diseño empleado para este proyecto, consta de una interfaz sencilla, en la que se muestran los parámetros más importantes involucrados en el análisis del lubricante, como lo son primeramente la concentración de hollín establecida para la muestra, así como también, el espectro creado y la gráfica de longitud de onda vs intensidad generada a partir de dicho espectro, así como se ilustra en la figura 51.

FIGURA 51. INTERFAZ DEL SISTEMA.

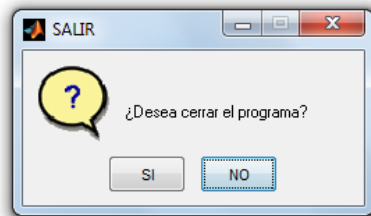


FUENTE: AUTOR.

La anterior ilustración muestra los estados de la aplicación, la puesta a punto para desarrollar la toma de datos y cuando esta, ya ha desarrollado la evaluación al lubricante. Como protocolo para realizar el análisis cabe resaltar que se debe verificar que el láser ya se encuentre encendido, ya que de encontrarse apagada la fuente de alimentación de éste, las lecturas desarrolladas por el sistema, son absurdas.

Por último y si el usuario lo requiere, la interfaz presenta una opción para realizar seguidamente otro análisis, así como también una discusión al momento de cerrar la aplicación (figura 52), con el fin de confirmar que ésta haya sido cerrada conscientemente, para que no se pierdan los análisis en caso contrario. La programación del análisis y la interfaz se localiza en los anexos del proyecto.

FIGURA 52. VENTANA DE DIALOGO PARA SALIR DE LA INTERFAZ.



FUENTE: AUTOR.

4.2. PARAMETRIZACIÓN Y ANÁLISIS.

En primer lugar, para llevar a cabo la corroboración de que el sistema de análisis de lubricante esté desarrollando resultados coherentes y permisibles, se dispuso como primera medida documentar y organizar las muestras físicas del lubricante terpel MAXTER MULTIGRADO CI-4 SAE 15W40 y sus correspondientes análisis de laboratorio, de los que se ha evaluado viscosidad, desgaste de metales, hollín, oxidación, entre otros, con fines de mantenimiento predictivo, oportunamente seleccionadas (ver tabla 6) como aceites referenciales para la calibración del sistema.

TABLA 6. LUBRICANTES TERPEL MAXTER MULTIGRADO CL-4 SAE 15W40.

Muestra	Equipo	HOLLÍN (abs/mm)
247	RIG133 ENGINE # 4	0.15
236	Motoniveladora 16H-02	0.24
347	CAMION 777D-06	0.35
262	B. A. VOLVO B 10M M061-28	0.43
336	ESCAVADORA KOBELCO - SK 210	0.56
324	B. A. VOLVO B 10M M039	0.66
316	B. A. VOLVO B 10M M030	0.74
313	B. A. VOLVO M138	0.85
318	B. A. VOLVO M166	0.94
190	B. A. VOLVO M129	1.01

FUENTE: BANCO DE ACEITES, INGENIERÍA MECÁNICA - UNIVERSIDAD DE PAMPLONA

Cabe resaltar que las unidades para la determinación de hollín que se maneja normalmente en laboratorios es absorbancia por milímetro (abs/mm), cuyos valores varían entre 0 y 1. Debido a que el método de análisis empleado por el sistema, no es idéntico al manejado por el laboratorio se determinó asignar dicho valor en porcentaje, con el propósito de facilitar el manejo de unidades.

En segundo lugar se tuvo en cuenta parámetros importantes como la sustancia en que se diluye la muestra de aceite, así como la concentración que esta debía presentar.

Por dichas razones para la primera característica, se desarrollaron muestras con diferentes disolventes que fueron de fácil acceso, en los que se evaluó la intensidad del espectro generado por todas y cada una de las sustancias, mediante el

espectrómetro fabricado, comparando las áreas que estos fluidos generaban. Los diluyentes analizados fueron el metanol, gasolina, aceite base y aceite virgen de diferentes propiedades, siendo el SAE 50 (ver imagen 53) el que generó el mejor espectro y obviamente obtuvo el mayor valor de área.

FIGURA 53. ACEITE BASE: SAE-50.



FUNTE: AUTOR.

Desde la perspectiva visual, este aceite es más viscoso, pese a ello permitió detectar los tres canales principales del espectro visible: azul, verde y rojo, este último con una intensidad relativamente más baja que los demás posiblemente por aditivos que este presenta, pero indiscutiblemente fue quien destacó su selección.

Una vez determinado el agente diluyente se analizaron diferentes concentraciones que de igual manera se evaluaron en el espectrómetro para determinar la más óptima que deben presentar las muestras (figura 54), de modo que permitan lecturas claras y distanciadas unas con otras, en intensidad de espectro.

FIGURA 54. MUESTRAS CON DIFERENTE CONCENTRACIÓN.



FUNTE: AUTOR.

Durante este periodo de prueba donde se realizaron múltiples ensayos, se observó que una mínima cantidad de aceite contaminado, oscurecía instantáneamente la muestra, debido a ello, se opta por determinar la cantidad de aceite usado, empleando una varilla limpia de 3mm de diámetro, con la que se estableció aprovechar la quinta gota que cae de ella por tres ocasiones, lo que correspondió a 0,02778 ml, valor tomado mediante el conteo de gotas, en el cual se relacionó que 1ml equivale a 36 gotas, puesto que no se cuenta con herramientas para toma de volúmenes reducidos. Dichas gotas se diluyen en 10ml de aceite SAE 50, lo que equivale a una concentración de 0,00278 muestra/base. La figura 55, corresponde al procedimiento desarrollado para todas las concentraciones de hollín seleccionadas de la tabla 6.

FIGURA 55. MUESTRAS CON CONCENTRACIÓN PARAMETRIZADA.



FUNTE: AUTOR.

Finalizados el algoritmo de obtención de área, agente diluyente y concentración de las muestras, se comenzaron a desarrollar series sucesivas de toma de data de las áreas de las muestras de lubricantes Terpel MAXTER MULTIGRADO documentadas en la tabla 6, con el fin de obtener la ecuación que relacione el valor del área representativa de cada muestra con el porcentaje de hollín que presenta la misma. Dichas muestras fueron escogidas con el fin de tener la data de concentración de hollín presente en los aceites, en intervalos dispersos entre 10-100 %, para evaluar el sistema y corroborar que esté arrojando valores coherentes ya que estas, fueron sometidas a sistemas evaluativos como la mancha de aceite, que debido, a ser un análisis de espectrometría de absorción atómica, arroja valores con un alto grado de exactitud.

Ambicionado por disminuir el ruido presente en la señal que conlleva a lecturas desviadas y con motivo de obtener un valor estabilizado de referencia para cada muestra, es decir, que este, no difiera de una medida con otra, se optó por adquirir diversas imágenes cada 0,5 con la intención de lograr un valor promediado, y así, establecer una data coherente y fiable. Esto surgió, debido a que internamente el sensor presenta una pequeña variación, producto del autoenfoco. Teniendo en cuenta lo expuesto en este párrafo, se llevaron a cabo cuatro muestreos consecutivos, con los que se realizó su respectiva tabulación, desplegada en la siguiente tabla.

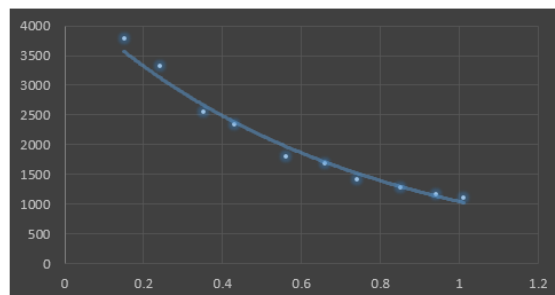
TABLA 7. DATA PRIMER ANÁLISIS.

Hollín	0.15	0.24	0.35	0.43	0.56	0.66	0.74	0.85	0.94	1.01
Muestreo 1	3799	3309	2586	2384	1817	1648	1421	1295	1190	1112
Muestreo 2	3772	3310	2525	2292	1835	1738	1419	1251	1165	1121
Muestreo 3	3784	3396	2573	2381	1813	1714	1438	1313	1151	1128
Muestreo 4	3790	3317	2521	2336	1780	1640	1413	1258	1175	1095
Promedio	3786	3333	2551	2348	1811	1685	1423	1279	1170	1114

FUENTE: AUTOR.

Con base a la data obtenida en la tabla anterior, más específicamente los valores de la última fila, correspondientes al valor promediado de área bajo la curva para cada concentración, se desarrolla la gráfica de concentración de hollín vs Data (ver figura 56), con el fin de analizar si estas siguen una línea de tendencia de tipo exponencial, debido a lo expuesto en el marco teórico específicamente en el epígrafe 2.1.3, en el que se expresa que la cantidad de luz absorbida por la muestra se define como el logaritmo recíproco de la transmitancia.

FIGURA 56. GRÁFICA DATA vs HOLLÍN, IMPLEMENTANDO EL VECTOR DE INTENSIDAD.



FUENTE: AUTOR.

4.3. CALIBRACIÓN.

Asimilado el comportamiento que tuvieron algunas de las muestras, que presentan un desvío a la tendencia como las muestras de 15, 24, 35, y 56 %, se plantó la idea de evaluar no solo el vector más intenso que presenta el espectro, sino que se complemente con un barrido de pixeles cercanos a dicho vector (fracción de filas), así como fragmentar el espectro para que el análisis se desarrolle en los pixeles que hacen parte del rango de luz visible, es decir, 380-780 nm, con lo que se tienen varias áreas de análisis y así determinar cuál o cuáles son las que adquieren el mejor comportamiento. De igual manera se decidió cambiar la rejilla de emisión de fluorescencia que se encuentra en la pieza interna del contenedor del recipiente, la cual limita la emisión de luz hacia la webcam; Esto con la justificación de obtener un espectro con mayor intensidad.

FIGURA 57. ESPECTRO GENERADO A PARTIR DE LA CALIBRACION DE REJILLA.



FUENTE: AUTOR.

Con el aprovechamiento del nuevo espectro generado y con base en lo planteado en los párrafos anteriores se desarrolla una toma de datos más extensa, de esta forma lograr una calibración eficiente del sistema con los resultados arrojados.

TABLA 8. DATA AREA 1.

Hollín	0.15	0.24	0.35	0.43	0.56	0.66	0.74	0.85	0.94	1.01
Muestreo 1	5631	5274	4929	4718	4337	4138	3804	3522	3250	3040
Muestreo 2	5647	5247	4914	4723	4331	4116	3832	3495	3173	2986
Muestreo 3	5655	5190	4887	4685	4304	4083	3776	3441	3217	2966
Muestreo 4	5634	5237	4910	4709	4324	4112	3804	3486	3213	2997
Muestreo 5	5639	5288	4936	4749	4338	4091	3819	3509	3237	3002
Muestreo 6	5664	5315	4926	4741	4345	4112	3816	3556	3213	3079
Promedio	5645	5259	4917	4721	4330	4109	3809	3502	3217	3012

FUENTE: AUTOR.

TABLA 9. DATA AREA 2.

Hollín	0.15	0.24	0.35	0.43	0.56	0.66	0.74	0.85	0.94	1.01
Muestreo 1	5605	5258	4939	4703	4350	4135	3841	3536	3287	3063
Muestreo 2	5597	5229	4913	4711	4362	4107	3878	3504	3200	2992
Muestreo 3	5635	5176	4898	4676	4326	4084	3831	3458	3243	2955
Muestreo 4	5612	5221	4917	4697	4346	4109	3850	3499	3243	3003
Muestreo 5	5616	5278	4942	4736	4353	4089	3859	3516	3269	2999
Muestreo 6	5647	5306	4941	4738	4362	4113	3862	3563	3253	3120
Promedio	5619	5245	4925	4710	4350	4106	3854	3513	3249	3022

FUENTE: AUTOR.**TABLA 10. DATA AREA 3.**

Hollín	0.15	0.24	0.35	0.43	0.56	0.66	0.74	0.85	0.94	1.01
Muestreo 1	7047	6465	5975	5721	5236	4976	4562	4258	3965	3734
Muestreo 2	7038	6441	5939	5698	5271	5018	4610	4208	3888	3702
Muestreo 3	7108	6307	5902	5687	5161	4909	4576	4170	3898	3684
Muestreo 4	7064	6404	5939	5702	5223	4968	4583	4212	3917	3707
Muestreo 5	7060	6576	6049	5761	5254	4858	4581	4264	3960	3700
Muestreo 6	7134	6567	6028	5775	5162	4930	4566	4269	3900	3780
Promedio	7075	6460	5972	5724	5218	4943	4580	4230	3921	3718

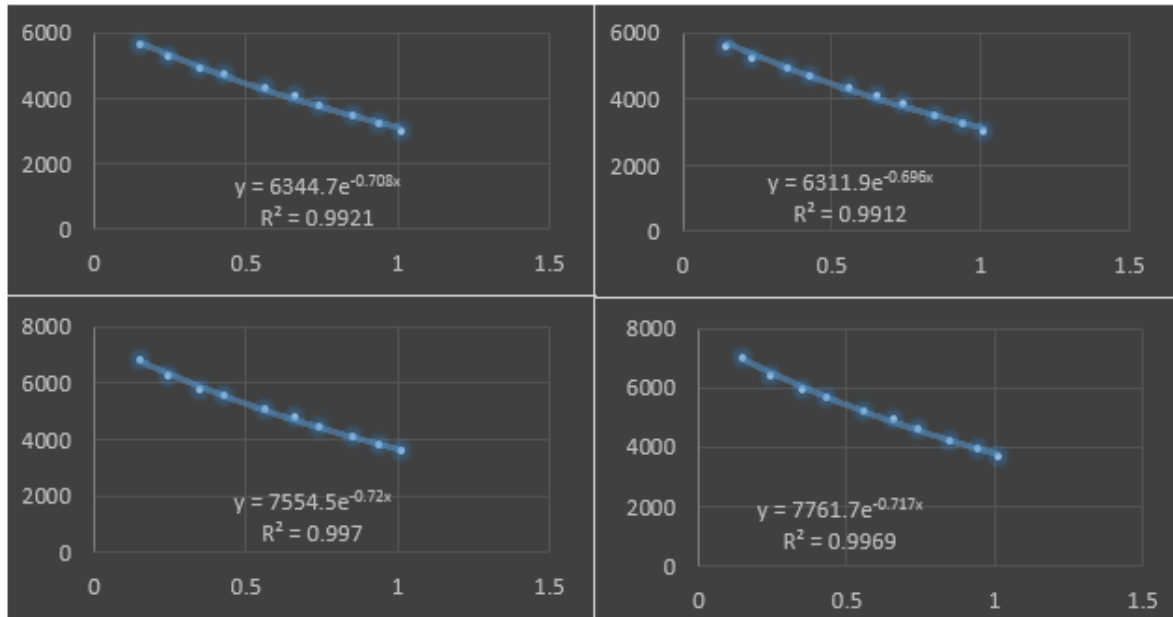
FUENTE: AUTOR.**TABLA 11. DATA AREA 4.**

Hollín	0.15	0.24	0.35	0.43	0.56	0.66	0.74	0.85	0.94	1.01
Muestreo 1	7002	6424	5963	5677	5236	4951	4587	4264	4003	3749
Muestreo 2	7004	6410	5918	5680	5323	5003	4644	4204	3899	3702
Muestreo 3	7068	6271	5899	5650	5171	4892	4636	4168	3912	3649
Muestreo 4	7025	6368	5927	5669	5243	4949	4622	4212	3938	3700
Muestreo 5	7007	6566	6049	5731	5268	4840	4619	4245	3996	3697
Muestreo 6	7116	6564	6036	5757	5171	4910	4614	4255	3938	3722
Promedio	7037	6434	5965	5694	5235	4924	4620	4225	3948	3703

FUENTE: AUTOR.

Partiendo de la información adquirida y tabulada en las tablas (8-11), se dispone de realizar las respectivas gráficas, para evaluar el comportamiento de la data adquirida, mostradas en las siguientes gráficas.

FIGURA 58. GRÁFICAS DE DATA vs HOLLÍN, PARA LA CALIBRACIÓN DEL SISTEMA.



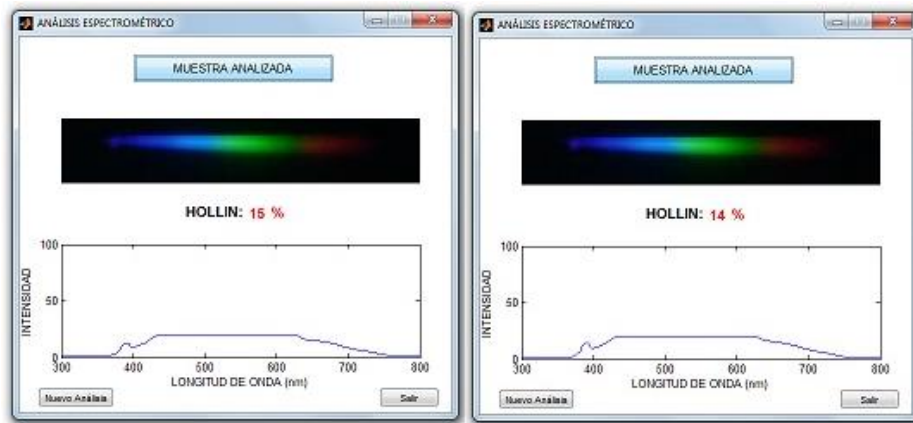
FUENTE: AUTOR.

Desde la perspectiva arrojada por las gráficas y analizando la línea de tendencia que éstas generaron, el muestreo adopta en más de un 99% dicha tendencia de tipo exponencial, en las cuatro metodologías implementadas, lo que discierne que el sistema está operando de forma coherente y razonable.

En cuanto a la intención de optimizar la fase final del proyecto, se saca provecho de las ecuaciones obtenidas en la regresión de datos establecidas para cada área de espectro estudiada y con ellas se relacionan los resultados originados, para que el porcentaje de degradación producido por el sistema sea correcto o que esté comprendido en una tolerancia mínima del mismo.

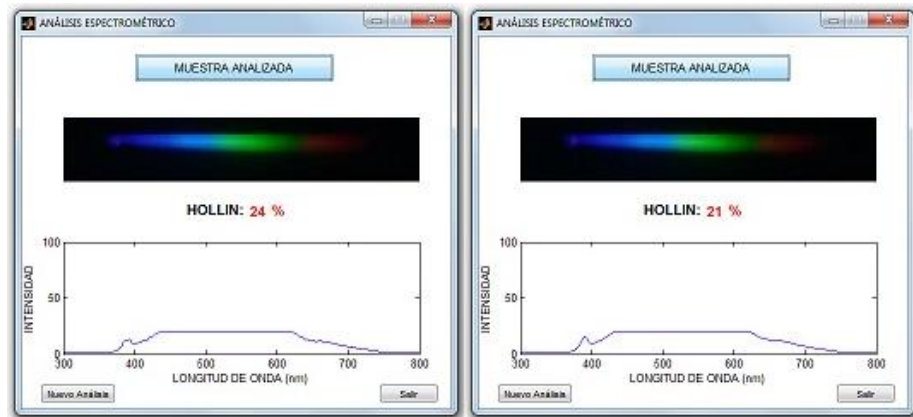
Para ir concluyendo y corroborar que el procedimiento de análisis sea correcto o se acerque a los valores de hollín establecidos para las muestras de lubricante Terpel MAXTER MULTIGRADO, se evaluaron nuevamente las muestras seleccionadas, implementando la interfaz y el programa debidamente calibrado, para de esta manera, determinar la tolerancia permisible que el sistema presenta.

FIGURA 59. ANÁLISIS CONCENTRACION DE 15%.



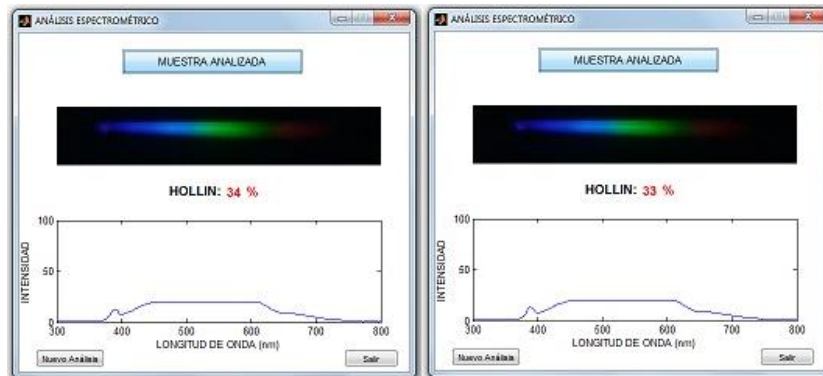
FUENTE: AUTOR.

FIGURA 60. ANÁLISIS CONCENTRACION DE 24%.



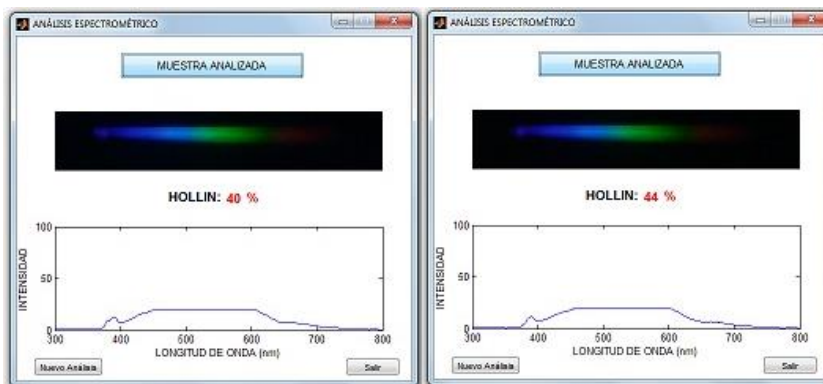
FUENTE: AUTOR.

FIGURA 61 ANÁLISIS CONCENTRACION DE 35%.



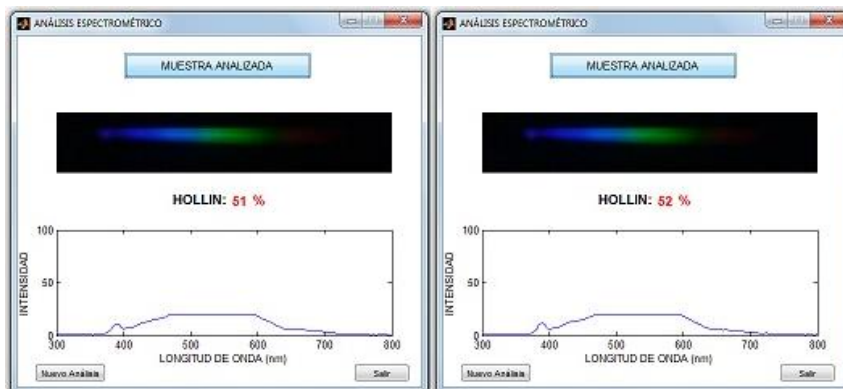
FUENTE: AUTOR.

FIGURA 62 ANÁLISIS CONCENTRACION DE 43%.



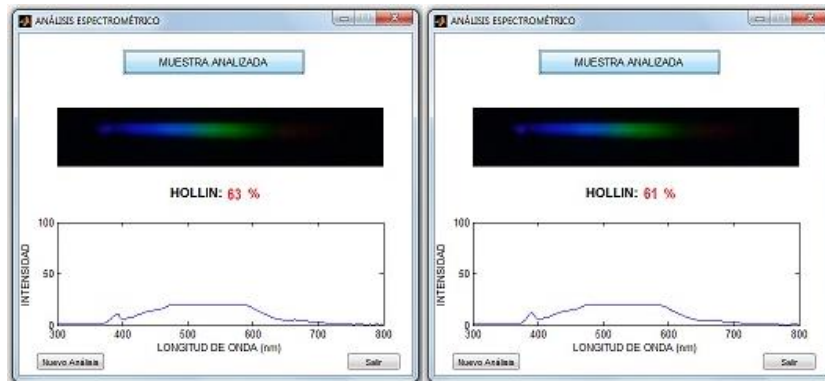
FUENTE: AUTOR.

FIGURA 63 ANÁLISIS CONCENTRACION DE 56%.



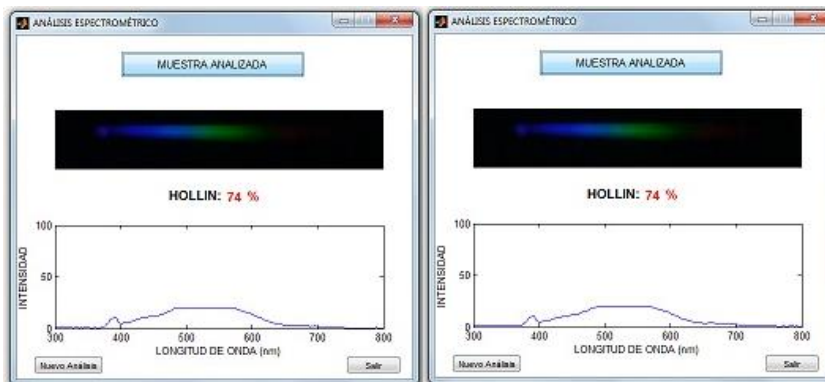
FUENTE: AUTOR.

FIGURA 64 ANÁLISIS CONCENTRACION DE 66%.



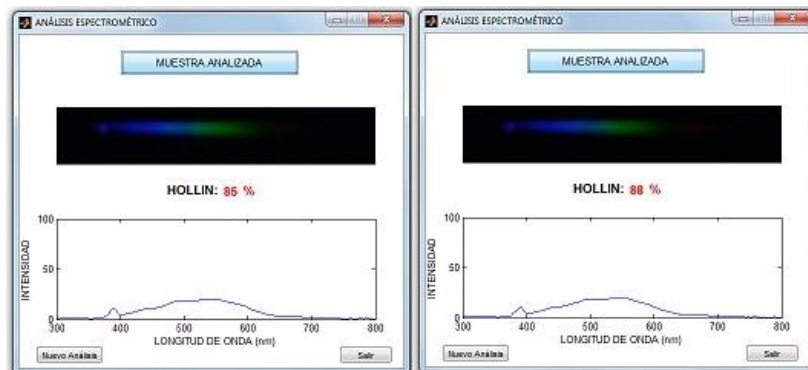
FUENTE: AUTOR.

FIGURA 65 ANÁLISIS CONCENTRACION DE 74%.



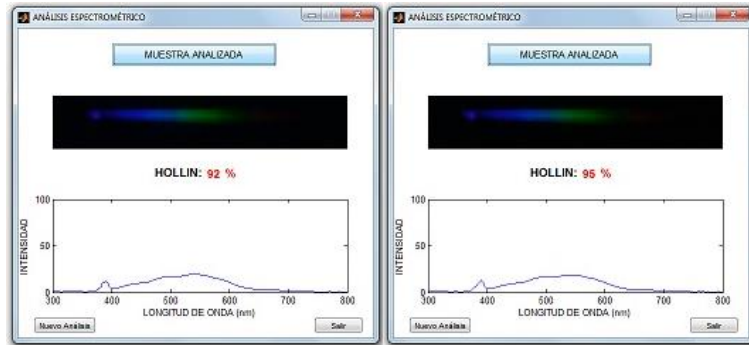
FUENTE: AUTOR.

FIGURA 66 ANÁLISIS CONCENTRACION DE 85%.



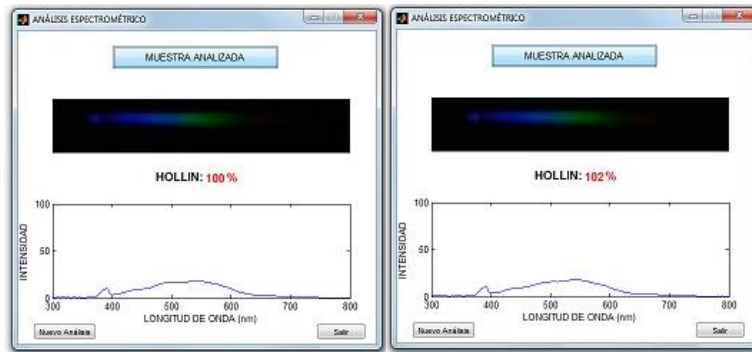
FUENTE: AUTOR.

FIGURA 67. ANÁLISIS CONCENTRACION DE 94%.



FUENTE: AUTOR.

FIGURA 68 ANÁLISIS CONCENTRACION DE 101%.



FUENTE: AUTOR.

Cabe destacar que los análisis realizados, arrojaron datos muy cercanos a los datos de referencia obtenidos por el laboratorio, en donde se visualizó que dos de las muestras, tuvieron resultados desviados hasta un 4% (ver tabla 12), esto pudo ser debido, a que el análisis espectrométrico hecho en el laboratorio, halla arrojado datos desviados.

TABLA 12. RESULTADO DE MUESTRAS.

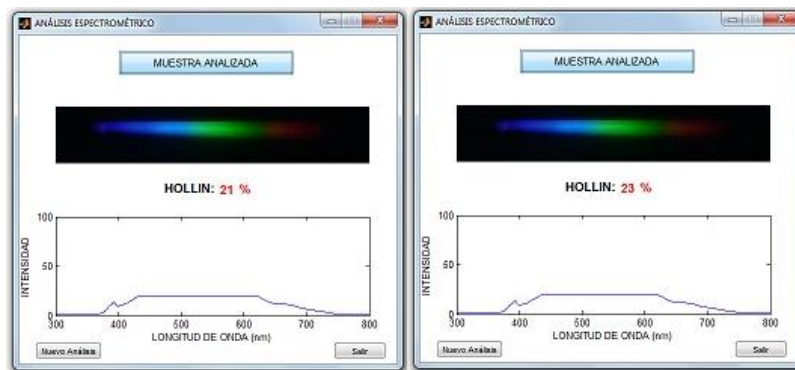
	CONCENTRACIÓN DE HOLLÍN (%)									
Laboratorio	15	24	35	43	56	66	74	85	94	101
prueba1	15	24	34	40	51	60	74	85	92	100
prueba 2	14	21	33	44	52	61	74	88	96	102

FUENTE: AUTOR.

4.4. PRUEBA DEL SISTEMA.

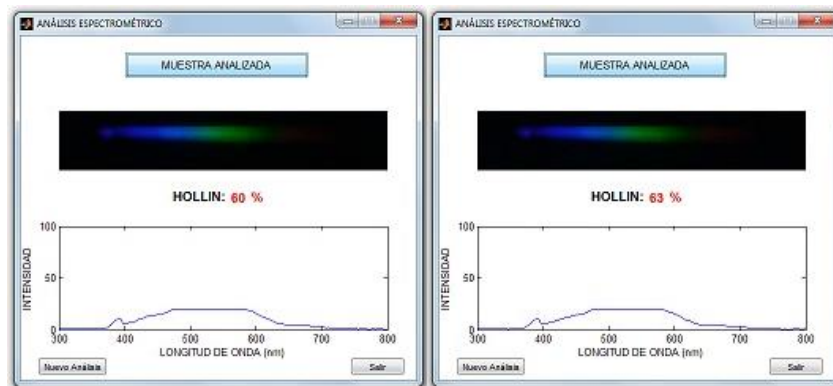
Como etapa final del trabajo, se realizó el análisis de tres muestras adicionales de lubricante terpel MAXTER MULTIGRADO, tomadas aleatoriamente del banco de aceites, dichas muestras hacían referencia a concentraciones de hollín del 22%, 60% y 71% (figuras 69-71), las cuales arrojaron resultados cercanos a los valores referentes, con los que se comprobó que con el sistema desarrollado, se obtiene un análisis fiable sobre la concentración de carbonilla que presenta el lubricante.

FIGURA 69. PRUEBA CONCENTRACION DE HOLLIN DEL 22%.



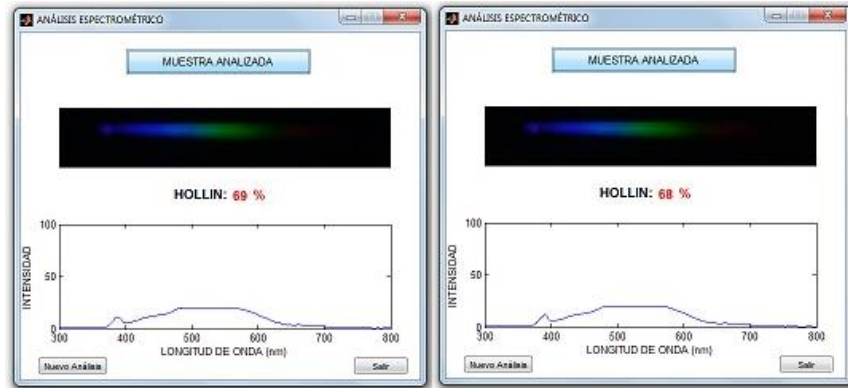
FUENTE: AUTOR.

FIGURA 71. PRUEBA CONCENTRACION DE HOLLIN DEL 60%.



FUENTE: AUTOR.

FIGURA 72. PRUEBA CONCENTRACION DE HOLLÍN DEL 71%.



FUENTE: AUTOR.

Tabulando la data obtenida por las pruebas realizadas, en el análisis de las tres nuevas muestras se tiene que:

TABLA 13. RESULTADO DE PRUEBAS.

	CONCENTRACIÓN DE HOLLÍN (%)		
Laboratorio	22	60	71
prueba1	21	60	69
prueba 2	23	63	68

FUENTE: AUTOR.

Haciendo una recopilación de los análisis elaborados y promediando el desvío que estos arrojaron en la tabla 12 y 13, y tomando como referencia los datos obtenidos de laboratorio, se llega a la conclusión que el sistema opera con un margen de error de aproximadamente el 2%.

Con esto se determina que el equipo puede ser implementado para llevar a cabo seguimiento de equipo automotor, en los que no solo se evalúa la concentración de contaminación por carbonilla, sino que podrá determinar si un motor está en malas condiciones operacionales cuando éste (motor) contamine de manera rápida el lubricante.

5. CONCLUSIONES

Es importante aclarar, que los resultados del proyecto se encuentran inmersos en los capítulos 3 y 4 del libro, ya que, en la prueba del sistema (epígrafe anterior), fueron arrojando dichos resultados. Así pues, se brindan las conclusiones de acuerdo a los objetivos específicos, planteados para el proyecto:

- La documentación de las muestras físicas del lubricante terpel MAXTER MULTIGRADO CI-4 SAE 15W40 y sus correspondientes análisis de laboratorio, fueron la base de éxito del proyecto, debido a que con ellas se logró calibrar el algoritmo de tratamiento de imagen con el que se obtuvieron resultados sensibles.
- Debido a su sencillez, la espectrometría de fluorescencia la cual fue la base para el análisis dentro de este proyecto, permitió fabricar un espectrómetro de un costo considerablemente bajo, que ofrece resultados similares a los arrojados por equipos cuyo precio en el mercado excede 10 veces su valor.
- Con el uso de un prototipo experimental para la detección de espectro, este permitió obtener las distancias y ángulos de sus componentes, con los que la difracción de luz y adquisición de espectro, mostraron una consistencia en su intensidad.
- La adaptación de la caja Dexson como carcasa del espectrómetro, permitió un diseño de prototipo compacto y aislado de luz externa que facilitó la fabricación del aparato.
- El aprovechamiento de la impresión 3D, para la fabricación de piezas con geometría compleja, de las cuales en este proyecto se visualizan la base de espectrómetro y contenedor de recipiente, permitió que dichas piezas en físico presentaran las dimensiones requeridas, con las que se logró un equipo compacto.
- La versatilidad del diseño desarrollado, permitió un montaje de equipo sin ningún problema, lo cual fue provechoso al momento de corroborar y mejorar la adquisición de espectro, como por ejemplo cambios de rejilla policromadora y variación de paso de fluorescencia, presente en la etapa del contenedor del recipiente.
- El diseño e implementación del regulador de voltaje, permitió tener una alimentación estable para la fuente monocromática, con lo que se logró una emisión de luz constante, permitiendo así, eficientes lecturas del espectro.

- La implementación de un algoritmo programático eficiente para el análisis de lubricante, fue exitoso debido a las herramientas ofrecidas por Matlab, para el tratamiento digital de imagen con los que ayudaron a relacionar el espectro generado por el equipo y la concentración de carbonilla presente en la muestra.
- Se desarrolló una interfaz sencilla y amigable para el usuario, que permite con tan solo un click, ejecutar el análisis de lubricante y mostrar las características tenidas en cuenta para la aplicación.
- Al ensayar con varias sustancias, buscando la que mejor sirviera de diluyente, se determinó que el aceite base SAE 50 es quien permite u ofrece mayor fluorescencia.
- La concentración de aceite usado requerida para al análisis, se mostró favorable, dado que para la aplicación de ésta, se requiere de tan solo tres gotas de aceite usado, lo que equivale a una cantidad mínima para el volumen contenido en el motor.
- Para la calibración del sistema se empleó una regresión tipo exponencial, aprovechando el comportamiento tomado por las muestras de laboratorios terpel, con lo que se consiguieron ecuaciones características, que fueron implementadas en un nuevo análisis, que proporcionó resultados esperados por el sistema (figuras 59 - 68).
- Una vez calibrado, se corroboró el comportamiento que el sistema entregaba, mediante el análisis aleatorio de muestras del banco de aceites en las que se conocía la degradación presente en ellas, logrando evaluar su exactitud, determinando un margen de error de aproximadamente el 2%.

BIBLIOGRAFÍA

- [1]. RUDNICK, Leslie R. Synthetics, mineral oils, and bio-based lubricants: chemistry and technology. CRC press, 2013.
- [2]. MORTIER, Roy M.; ORSZULIK, Stefan T.; FOX, Malcolm F. Chemistry and technology of lubricants. Blackie, 1992.
- [3]. GUAN, L., et al. Application of dielectric spectroscopy for engine lubricating oil degradation monitoring. *Sensors and Actuators A: Physical*, 2011, vol. 168, no 1, p. 22-29.
- [4]. AGOSTON, A.; ÖTSCH, C.; JAKOBY, Bernhard. Viscosity sensors for engine oil condition monitoring—Application and interpretation of results. *Sensors and Actuators A: Physical*, 2005, vol. 121, no 2, p. 327-332.
- [5] MUJAHID, Adnan; DICKERT, Franz L. Monitoring automotive oil degradation: analytical tools and onboard sensing technologies. *Analytical and bioanalytical chemistry*, 2012, vol. 404, no 4, p. 1197-1209.
- [6] AL-GHOUTI, Mohammad A.; AL-ATOUM, Lina. Virgin and recycled engine oil differentiation: A spectroscopic study. *Journal of environmental management*, 2009, vol. 90, no 1, p. 187-195.
- [7] CARPIO, Luis Buchelli; GRANIZO, Vicente Garcia. Detección temprana de fallas en motores de combustión interna a diesel mediante la técnica de análisis de aceite. *Revista Ciencia Unemi*, 2015, vol. 8, no 15, p. 84-95.
- [8] Conceptos generales de espectrometría., [Citado el 27 de Agosto de 2015] Disponible en < <http://www.espectrometria.com/> >
- [9] DÍAZ, Nieves Abril, et al. 8. Espectrofotometría: Espectros de absorción y cuantificación colorimétrica de biomoléculas. Departamento de Bioquímica y Biología Molecular. Facultad de Medicina. Córdoba, 2005.
- [10] DOMÍNGUEZ MIRANDA, Antonio. Diseño de un espectrofotómetro de dos mediciones simultáneas para recubrimientos inhomogéneos, (Tesis doctoral) Mexico DF, UNAM 2012, P88.
- [11] PECSOK, Robert L. SHIELDS, Donal. Modern methods of chemical analysis. Editorial Limusa. 1976
- [12] OLSEN, Eugene D. Métodos ópticos de análisis. Reverté, 1990
- [13] DAMIÁN ZAMACONA, Juan R. Diseño y construcción de un espectrofotómetro ultravioleta-visible para uso didáctico (Tesis de maestría), México DF, UNAM. 2006.

[14] Métodos espectrométricos. [Citado el 19 de Mayo de 2016] Disponible en <http://www.espectrometria.com/mtodos_espectromtricos >

[15] Espectrometría de fluorescencia. [Citado el 19 de Mayo de 2016] Disponible en <http://www.espectrometria.com/espectrometra_de_fluorescencia >

[16]. ADAM, M, CHEW, M, WASSERAM S, MCCOLLUM A, MCDONALD R. E., and MOSSOBA M. M, "Determination of trans Fatty Acids in Hydrogenated Vegetable Oils by Attenuated Total Reflection Infrared Spectroscopy : Two Limited Collaborative studies," Oil Chem. Soc., vol. 75, p. 3, 1998.

[17] NG, C. W.; CHEUNG, N. H. Detection of sodium and potassium in single human red blood cells by 193-nm laser ablative sampling: a feasibility demonstration. Analytical chemistry, 2000, vol. 72, no 1, p. 247-250.

[18] ORZI, Daniel JO; BILMES, Gabriel M. Identification and measurement of dirt composition of manufactured steel plates using laser-induced breakdown spectroscopy. Applied spectroscopy, 2004, vol. 58, no 12, p. 1475-1480.

[19] FANG, Xiao; AHMAD, S. Rafi. An optical technique for in situ monitoring of trace metals in effluent. Environmental technology, 2005, vol. 26, no 11, p. 1271-1276.

[20] BAETEN, Vincent; DARDENNE, Pierre. Spectroscopy: developments in instrumentation and analysis. Grasas y aceites, 2002, vol. 53, no 1, p. 45-63.

[21] PEREZ-MORET, Yohan. Diseño y construcción de un espectrómetro óptico por USB. Yohan Pérez-Moret, 2012.

[22] ficha técnica del: AFS200T Atomic Fluorescence Spectrometer/skyray 2013, [Citado el 30 de mayo de 2016] Disponible en <http://www.skyrayinstrument.com/PDF/Brochure_AFS200T.pdf>

[23] Historia de la espectrofotometría. [Citado el 27 de Mayo de 2016] Disponible en <http://www.ehowenespanol.com/historia-espectrofotometria-sobre_474099/ >

[24] Spectroil M/C-W, OIL ANALYSIS SPECTROMETER, Spectro Scientific, [Citado el 10 de mayo del 2016] disponible en <http://www.kreismaschinen.com/yahoo_site_admin1/assets/docs/Datasheet_Spectroil_M_C-W.32475300.pdf>

[25] RYGULA, A., et al. Raman spectroscopy of proteins: a review. Journal of Raman Spectroscopy, 2013, vol. 44, no 8, p. 1061-1076.

[26] KENDA, A., et al. A compact spectrometer based on a micromachined torsional mirror device. En Sensors, 2004. Proceedings of IEEE. IEEE, 2004. p. 1312-1315.

- [27] FERNANDEZ, Esteban Gutierrez; SICARD, Michaël. Diseño óptico de un nuevo policromador multilongitud de onda para un sistema lid. 2006.
- [28] QIU, Ran. A multichannel rotating electrospray ionization mass spectrometry (MRESI): instrumentation and plume interactions. RSC Advances, 2015, vol. 6, no 43, p. 36615-36622.
- [29] ARRUBARRENA GAMBOA, Julen, et al. Espectroscopia NIR y RAMAN para el control de calidad en industria farmacéutica. 2014.
- [30] DI, Sun; HAIJUN, Wei; HAIFENG, Liao. Recent Patents on Oil Analysis Technologies of Mechanical Equipment. Recent Patents on Mechanical Engineering, 2013, vol. 6, no 1, p. 11-25.
- [31] REDDING, Brandon, et al. Compact spectrometer based on a disordered photonic chip. Nature Photonics, 2013, vol. 7, no 9, p. 746-751
- [32] CHEBEN, P., et al. Recent advances in silicon microphotonic devices. Revista cubana de física, 2008, vol. 25, p. 75-80.
- [33] MANZARDO, Omar, et al. Optics and actuators for miniaturized spectrometers. En Optical MEMS, 2000 IEEE/LEOS International Conference on. IEEE, 2000. p. 23-24.
- [34] WANG, Lei, et al. Comparative Analysis of GF-1 WFV, ZY-3 MUX, and HJ-1 CCD Sensor Data for Grassland Monitoring Applications. Remote Sensing, 2015, vol. 7, no 2, p. 2089-2108.
- [35] BYRDWELL, William Craig. Construction of a wireless communication contact closure system for liquid chromatography with multiple parallel mass spectrometers and other detectors. Journal of laboratory automation, 2014, vol. 19, no 5, p. 461-467.
- [36] SILVA, Gildo WB, et al. Biodiesel/diesel blends classification with respect to base oil using NIR spectrometry and chemometrics tools. Journal of the American Oil Chemists' Society, 2012, vol. 89, no 7, p. 1165-1171..
- [37] GÓMEZ ESTRADA, Y. A. (2013). Contribución al desarrollo y mejora para la cuantificación de la degradación en aceites lubricantes usados de MCIA a través de la técnica de espectrometría infrarroja por transformada de Fourier (FT-IR) (Tesis Doctoral).
- [38] Rejilla de difracción – trozo de dvd [Citado el 27 de Mayo de 2016] Disponible en <<http://electronicayciencia.blogspot.com.co/2010/07/difraccion-en-un-dvd.html>>
- [39] Instrumentos para la medida practica del color – Capitulo 5. [Citado el 9 de Junio de 2016] Disponible en <http://www.unirioja.es/cu/fede/color_de_vino/capitulo05.pdf>
- [41] CANEVE, L. Laser-induced breakdown spectroscopy analysis of asbestos. Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy, 2005, vol. 60, no 7, p. 1115-1120.

[42] GILABERT, Eduardo J. Medica del color, Servicio de publicaciones Reproval S.L, Universidad Politecnica de valencia- España 1992.

[43] PALMER, Christopher A.; LOEWEN, Erwin G. Diffraction grating handbook. Springfield, Ohio, USA: Newport Corporation, 2005.

[44] sensores con tecnología CCD vs CMOS, Xataka, [citado el 1 de junio del 2016], disponible en <<http://www.xatakafoto.com/camaras/sensores-con-tecnologia-ccd-vs-cmos>>

[45] Knowledge Center >pplication Notes and Technology Primers >>CCD vs CMOS [Citado el 2 de junio de 2016] Disponible en <<https://www.teledynedalsa.com/imaging/knowledge-center/appnotes/ccd-vs-cmos/>>

ANEXOS

HOJA TECNICA DISPOSITIVO ELÉCTRICO.

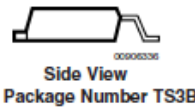
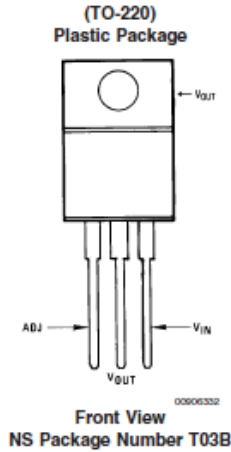
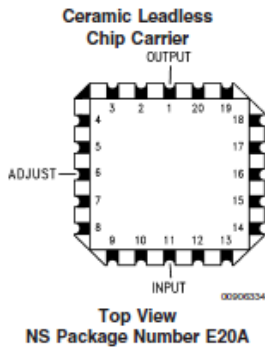


July 2004

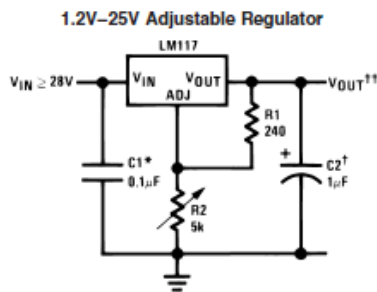
LM117/LM317A/LM317 3-Terminal Adjustable Regulator

General Description

The LM117 series of adjustable 3-terminal positive voltage regulators is capable of supplying in excess of 1.5A over a 1.2V to 37V output range. They are exceptionally easy to use and require only two external resistors to set the output voltage. Further, both line and load regulation are better than standard fixed regulators. Also, the LM117 is packaged in standard transistor packages which are easily mounted and handled.



Typical Applications



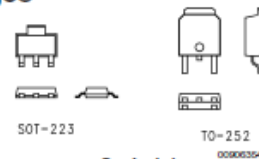
Full output current not available at high input-output voltages
 *Needed if device is more than 6 inches from filter capacitors.
 †Optional—Improves transient response. Output capacitors in the range of 1µF to 1000µF of aluminum or tantalum electrolytic are commonly used to provide improved output impedance and rejection of transients.

$$V_{OUT} = 1.25V \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) + I_{ADJ}(R_2)$$

LM117 Series Packages

Part Number Suffix	Package	Design Load Current
K	TO-3	1.5A
H	TO-39	0.5A
T	TO-220	1.5A
E	LCC	0.5A
S	TO-263	1.5A
EMP	SOT-223	1A
MDT	TO-252	0.5A

SOT-223 vs. D-Pak (TO-252) Packages



LM117/LM317A/LM317 3-Terminal Adjustable Regulator

HOJA TECNICA DISPOSITIVO ELECTRÓNICO.

Microsoft® Hardware for Business

Conferencing In True-to-Life HD Video

This webcam helps you reduce travel cost and communicate clearly.

Features

True 720p HD Video

Post true HD video to online video sites.

16:9 Widescreen

For cinematic video recording.

Clear, High Quality Video

Noise Cancelling Microphone
Crystal-clear audio and built-in unidirectional microphone with acoustic noise cancellation.

Universal Attachment Base

Work on your desktop, laptop, or notebook.

3-Year Limited Hardware Warranty²

Microsoft® LifeCam HD-3000 for Business



System Requirements

Windows: 7, Windows Vista®, Windows XP (with Service Pack 2 (SP2) or higher), VGA video calling; Intel Dual-Core 1.6 GHz or higher, 1 GB of RAM; 720p HD recording: Intel Dual-Core 3.0 GHz or higher, 2 GB of RAM

1.5 GB free	CD
USB 2.0 Required	Windows-compatible speakers or headphones

You must accept the enclosed License Agreement during software Setup before you can use the software accompanying this product.

Internet functions and Software Installation also require:
Internet Explorer 7.0; 25 MB hard-disk space typically required. Broadband required. Toll charges may apply.

¹ For HD video chat, both users must have Windows Live Messenger 2011 or Microsoft Lync™ installed (requires Windows Vista or Windows 7), Intel Quad Core 2.0GHz (or higher) processor, compatible HD webcam, and high-speed Internet access. HD display recommended.
² Limited Warranty and License Agreement available at: www.microsoft.com/hardware/warranty

© 2011 Microsoft Corporation. All other trademarks are property of their respective owners.

Microsoft Ship Date
March 2011

for Business

Microsoft Part Number
T4H-00002

UPC Code
885370228106

Estimated for Business Price
\$39.95

Weight: XX.XX lbs
Dimensions: 5.31"L x
5.31"W x 2.17"D

Masterpack - Qty 5
Weight: 2.50 lbs
Dimensions: 11.13"L x
5.75"W x 5.88"D

50-Pack for Enterprise

Microsoft Part Number
59K-00001

UPC Code
885370313246

Estimated 50-Pack Price
\$1,799.95

Masterpack - Qty 50
Weight: 13.71 lbs
Dimensions: 21.14"L x
12.28"W x 6.89"D




The same great product,
packaged for business.

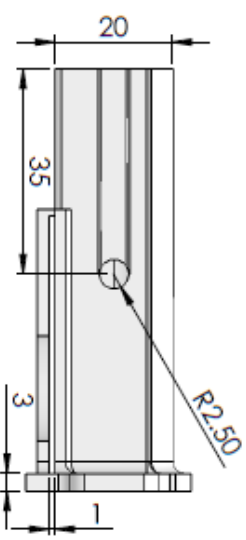
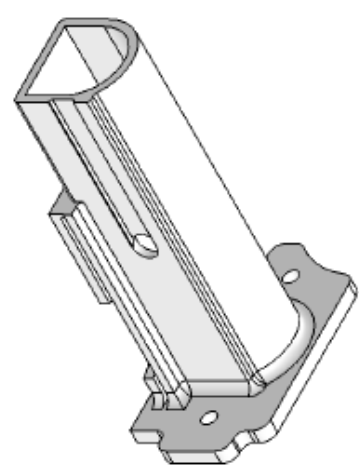
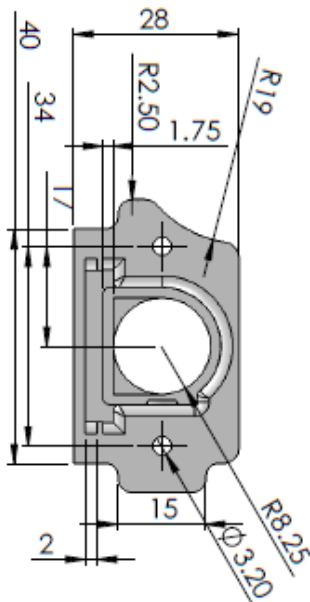
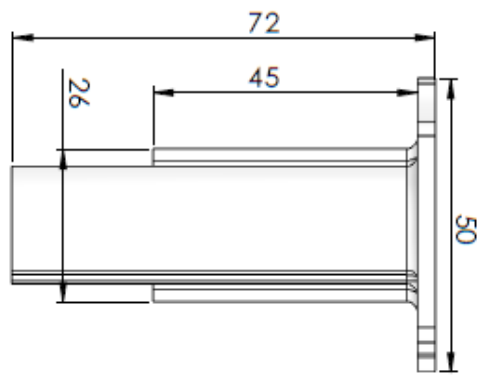
Microsoft®
Hardware
for Business


The data contained herein is subject to change. This document is provided for informational purposes only. Microsoft makes no warranty, expressed or implied, in this document. (MSL_21022011)

PLANOS DE DISEÑO.

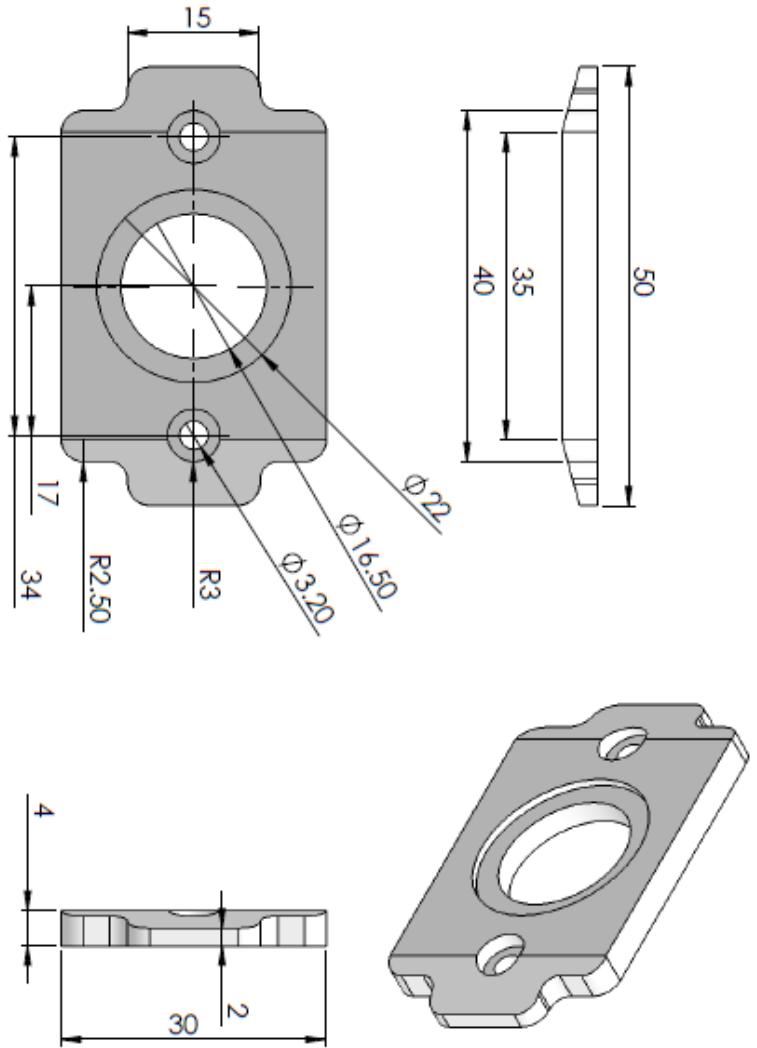
 Universidad de PAMPLONA <small>La Academia al Servicio de la Vida</small>	ING MECATRÓNICA	
	ESPECTRÓMETRO Dibujo: José Omar Contreras Castellanos Revisó: Dimensiones en: mm Materiales: Polipropileno Fecha: 12- OCT - 2015	Tolerancias: ±0.5 Fecha: 12- OCT - 2015
ESPECTRÓMETRO FINALIZADO		CANTIDAD :


PredefinidoC:\Users\USUARIO\Pictures\Documents\tes\Desing\



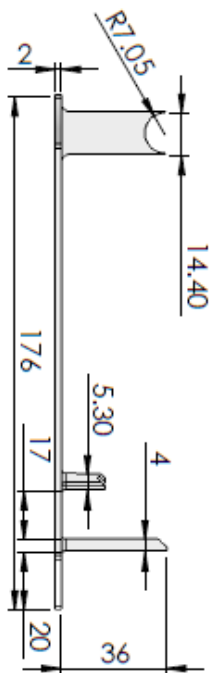
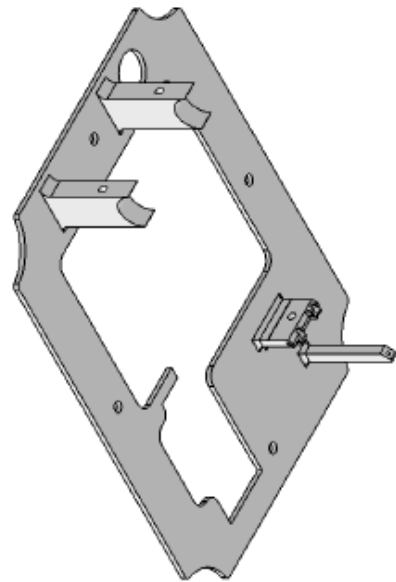
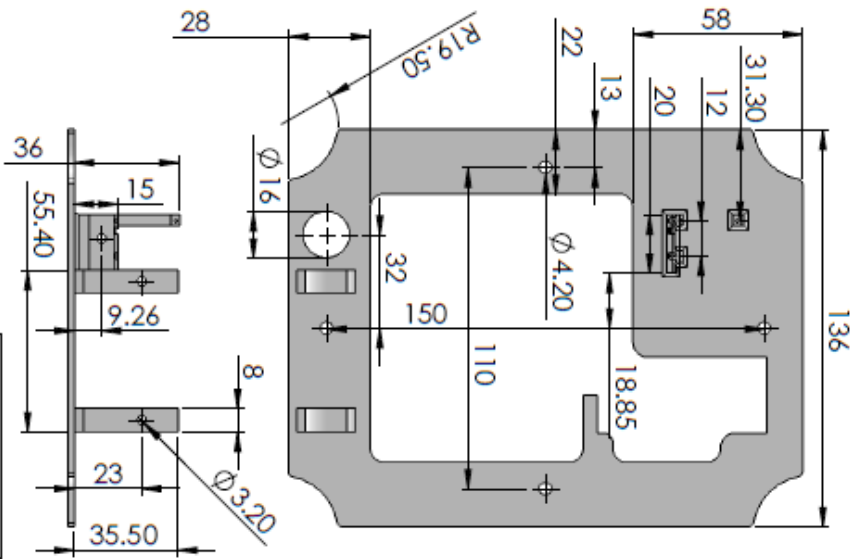
 <p>Universidad de PAMPLONA La Academia al servicio de la vida</p>		<p>ESPECTRÓMETRO</p>		<p>CONTENEDOR DE MUESTRA INTERNO</p>	
<p>Dibujó: José Omar Contreras Castellanos</p>		<p>Revisó:</p>		<p>CANTIDAD : 1</p>	
<p>Dimensiones en: mm</p>		<p>Tolerancias: ±0.5</p>			
<p>Materiales: PLA</p>		<p>Fecha: 12-OCT-2015</p>			
<p>ING. MECATRÓNICA</p>					


PredefinidoC:\Users\USUARIO\Pictures\Documents\tesis\Desing\



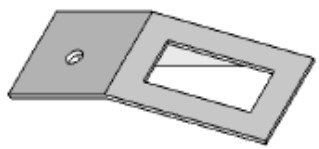
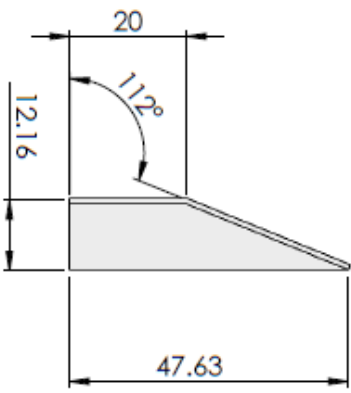
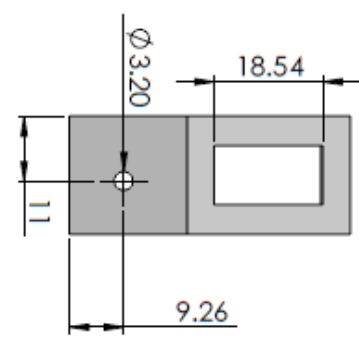
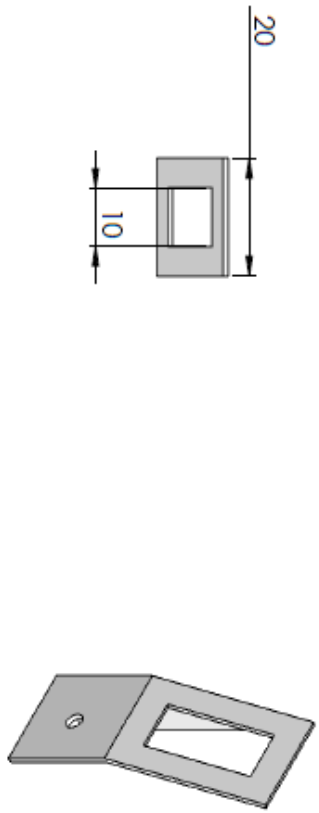
 <p>Universidad de PAMPLONA La Academia al Servicio de la Vida</p>	ESPECTRÓMETRO		CONTENEDOR DE MUESRTA EXTERNO
	Dibujó: José Omar Contreras Castellanos		
ING MECATRÓNICA	Revisó:		
	Dimensiones en: mm	Tolerancias: ±0.5	
Materiales: PLA	Fecha: 12-OCT-2015	CANTIDAD : 1	


Predefinido:C:\Users\USUARIO\Pictures\Documents\jesk\Desing\

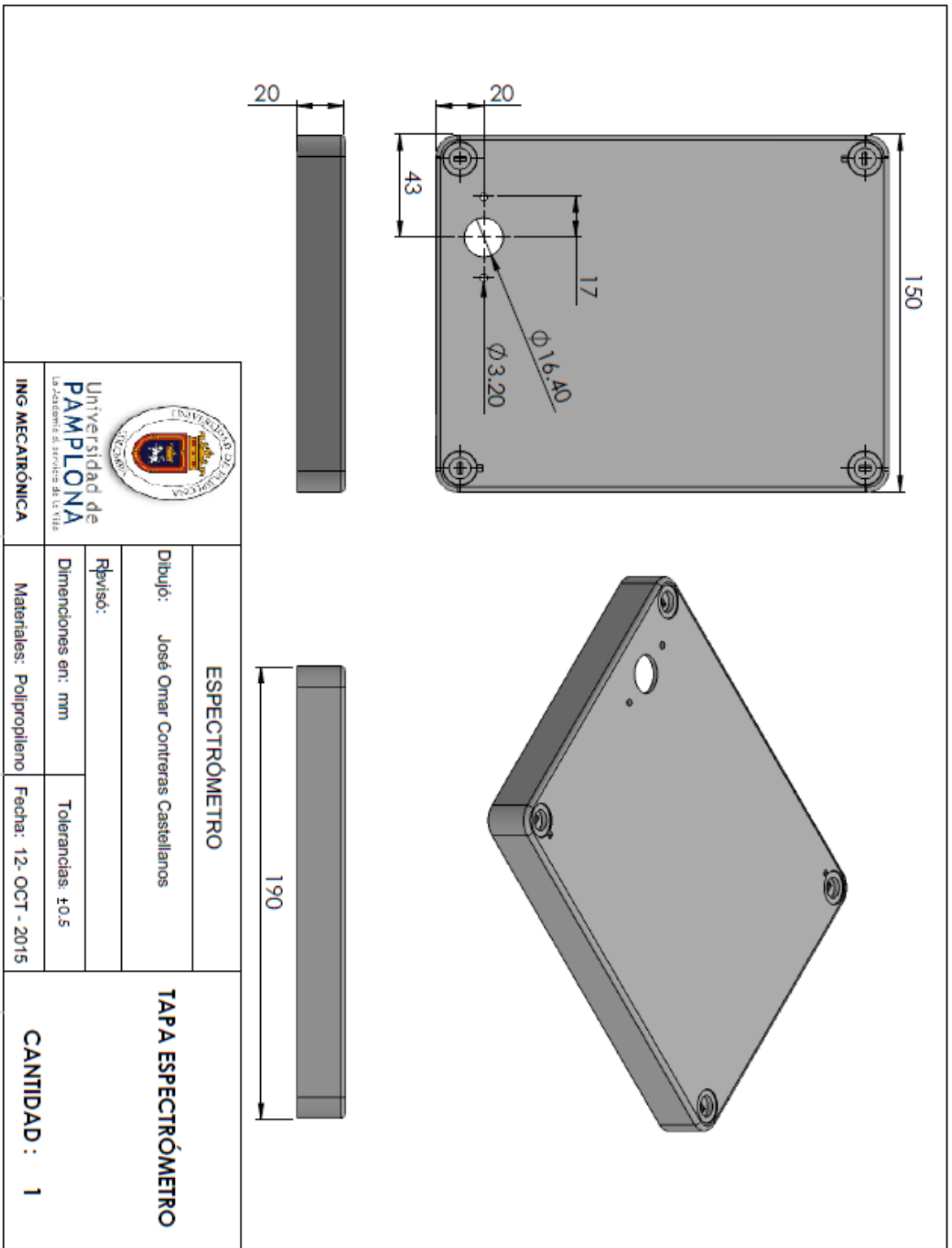


 Universidad de PAMPLONA La Academia al servicio de la vida	ESPECTRÓMETRO		BASE ESPECTRÓMETRO
	Dibujo: José Omar Contreras Castellanos		
ING MECATRÓNICA	Revisó:		
	Dimensiones en: mm	Tolerancias: ± 0.5	
	Materiales: PLA	Fecha: 12-OCT-2015	
			CANTIDAD : 1

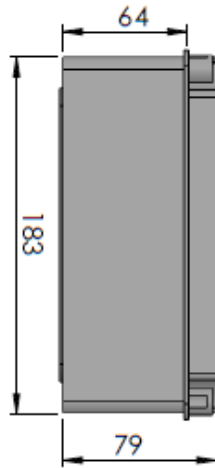
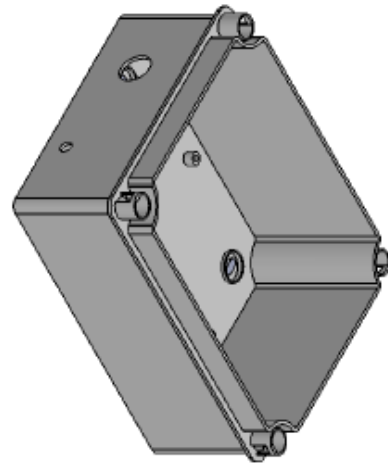
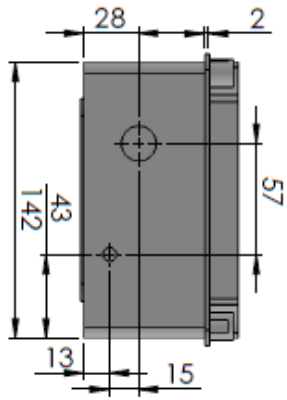
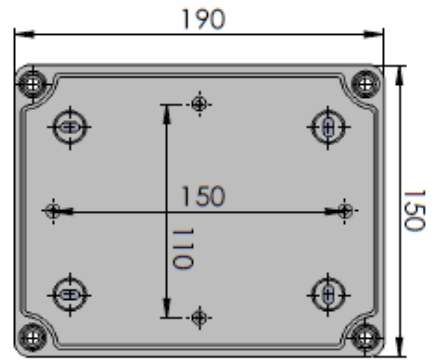
PredefinidoC:\Users\USUARIO\Pictures\Documents\test\Desing\




 <p>Universidad de PAMPLONA La Academia al Servicio de la Vida</p>		<p>ING MECATRÓNICA</p>		<p>ESPECTRÓMETRO</p>		<p>REJILLA DIFRACTORA</p>	
						<p>CANTIDAD : 1</p>	
<p>Dibujó: José Omar Contreras Castellanos</p>		<p>Revisó:</p>		<p>Dimensiones en: mm</p>		<p>Tolerancias: ±0.5</p>	
<p>Materiales: PLA</p>		<p>Fecha: 12- OCT - 2015</p>					



PredefinidoC:\Users\JSUARRO\Pictures\Documents\tesk\Desing\

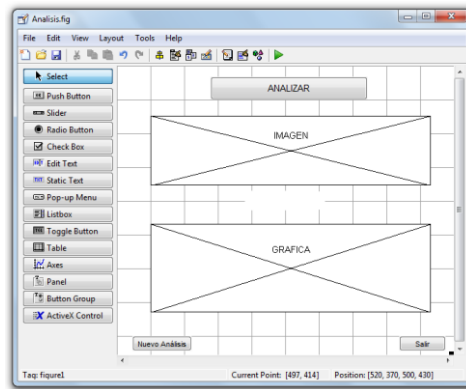


 Universidad de PAMPLONA La Academia al servicio de la vida		ESPECTRÓMETRO		CAJA ESPECTRÓMETRO	
ING. MECATRÓNICA		Dibujo: José Omar Contreras Castellanos		CANTIDAD : 1	
		Revisó:			
		Dimensiones en: mm			
		Tolerancias: ±0.5			
		Materiales: Polipropileno		Fecha: 12- OCT - 2015	

PredefinidoC:\Users\USUARIO\Pictures\Documents\test\Desing\

PROGRAMACIÓN.

ESQUEMA DE LA APLICACIÓN (.fig).



CÓDIGO DE LA APLICACIÓN (.m).

```
function varargout = Analisis(varargin)
% ANALISIS MATLAB code for Analisis.fig
% ANALISIS, by itself, creates a new ANALISIS or raises the existing
% singleton*.
%
% H = ANALISIS returns the handle to a new ANALISIS or the handle to
% the existing singleton*.
%
% ANALISIS('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...) calls the local
% function named CALLBACK in ANALISIS.M with the given input arguments.
%
% ANALISIS('Property','Value',...) creates a new ANALISIS or raises the
% existing singleton*. Starting from the left, property value pairs are
% applied to the GUI before Analisis_OpeningFcn gets called. An
% unrecognized property name or invalid value makes property application
% stop. All inputs are passed to Analisis_OpeningFcn via varargin.
%
% *See GUI Options on GUIDE's Tools menu. Choose "GUI allows only one
% instance to run (singleton)".
%
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES

% Edit the above text to modify the response to help Analisis

% Last Modified by GUIDE v2.5 19-May-2016 15:08:24

% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',    mfilename, ...
```



```

        'gui_Singleton', gui_Singleton, ...
        'gui_OpeningFcn', @Analisis_OpeningFcn, ...
        'gui_OutputFcn', @Analisis_OutputFcn, ...
        'gui_LayoutFcn', [], ...
        'gui_Callback', []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if narginout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT

% --- Executes just before Analisis is made visible.
function Analisis_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% varargin   command line arguments to Analisis (see VARARGIN)

% Choose default command line output for Analisis
handles.output = hObject;

% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

% UIWAIT makes Analisis wait for user response (see UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);

% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = Analisis_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
% varargout  cell array for returning output args (see VARARGOUT);
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;

% --- Executes on button press in ANALISIS.
function ANALISIS_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to ANALISIS (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

CAMARA = videoinput('winvideo',1);
% preview(CAMARA);
CAMARA.ReturnedColorSpace='rgb';
pause(1);

```

```

IM_1=getsnapshot(CAMARA);
Imag= imcrop(IM_1, [320, 260, 500, 90] );
IM_11=imcrop(IM_1, [5, 290, 800, 5] );
IMG11= rgb2gray(IM_11);
IV1=IMG11(3,:);
pause(0.5);
IM_2=getsnapshot(CAMARA);
IM_12=imcrop(IM_2, [5, 290, 800, 5] );
IMG12= rgb2gray(IM_12);
IV2=IMG12(3,:);
pause(0.5);
IM_3=getsnapshot(CAMARA);
IM_13=imcrop(IM_3, [5, 290, 800, 5] );
IMG13= rgb2gray(IM_13);
IV3=IMG13(3,:);
pause(0.5);
IM_4=getsnapshot(CAMARA);
IM_14=imcrop(IM_4, [5, 290, 800, 5] );
IMG14= rgb2gray(IM_14);
IV4=IMG14(3,:);
pause(0.5);
IM_5=getsnapshot(CAMARA);
IM_15=imcrop(IM_5, [5, 290, 800, 5] );
IMG15= rgb2gray(IM_15);
IV5=IMG15(3,:);
axes(handles.IMAGEN);
imshow(Imag);

mstr=(IMG11+IMG12+IMG13+IMG14+IMG15)/5;
mstrr=mean(mstr,1);

mstra=mstrr/2.55;
Area3=round(sum(mstrr)/2.55);
grapa=mstra(400:750);
Area1=round(sum(grapa));
IVect=(IV1+IV2+IV3+IV4+IV5)/5;
Area4=round(sum(IVect)/2.55);
Vec_Por=IVect(400:750);
porcion=sum(Vec_Por);
Area2=round(porcion/2.55);
y=((Area1+Area2)/2);
axes(handles.GRAFICA);
plot(mstra);
axis ([300 800 0 100]);
title('ESTUDIO ESPECTROMÉTRICO');
xlabel('LONGITUD DE ONDA (nm)');
ylabel('INTENSIDAD ');
Ap01 = exp(-(Area1-1880.4)/1699);
Ap02= exp(-(Area2-1997.4)/1639);
Ap1 =(log(Area1/6332))/(-0.709);
Ap2 =(log(Area2/6298))/(-0.696);
Ap3 =(log(Area3/7851.3))/(-0.735);
Ap4 =(log(Area4/7799))/(-0.725);

```

```

Am2=(Ap1+Ap2)/2;
Am4=(Ap1+Ap2+Ap3+Ap4)/4;
Am3=(Ap1+Ap2+Ap3)/3;

App =(log(Area3/7965.8))/(-0.749);
ABC = round((App+Am3+Am4)/0.03);

set(handles.text1,'string', ABC );
set(handles.text3,'string', '% ');
set(handles.text4,'string', 'HOLLIN: ');
set(handles.ANALISIS,'String','MUESTRA ANALIZADA');
%------

% --- Executes on button press in pushbutton3.

function pushbutton3_Callback(hObject, eventdata, handles)
close (gcbf);
% hObject handle to pushbutton3 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% --- Executes on button press in pushbutton4.
function pushbutton4_Callback(hObject, eventdata, handles)
CBA=' ';
set(handles.text1,'string', CBA );
set(handles.text3,'string', CBA );
set(handles.text4,'string', CBA );
set(handles.ANALISIS,'String','ANALIZAR');

cla(handles.GRAFICA,'reset')
set(handles.GRAFICA,'XColor',[1 1 1]);
set(handles.GRAFICA,'YColor',[1 1 1]);
cla(handles.IMAGEN,'reset')
set(handles.IMAGEN,'XColor',[1 1 1]);
set(handles.IMAGEN,'YColor',[1 1 1]);

% hObject handle to pushbutton4 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% --- Executes when user attempts to close figure1.
function figure1_CloseRequestFcn(hObject, eventdata, handles)
opc=questdlg('¿Desea cerrar el programa?',...
'SALIR','SI','NO','NO');
if strcmp(opc,'NO')
return;
end
delete(hObject);

```