

SISTEMA PARA EVALUAR IN-SITU LA CONTAMINACIÓN POR DERIVADOS DEL
PETRÓLEO

GUILLERMO JOSE MARTINEZ MIRANDA

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURA
MAESTRIA EN INGENIERIA AMBIENTAL
PAMPLONA

2016

SISTEMA PARA EVALUAR IN-SITU LA CONTAMINACIÓN POR DERIVADOS DEL
PETRÓLEO

GUILLERMO JOSE MARTINEZ MIRANDA

INGENIERO MECÁNICO

1094245493

M. Sc. JUAN CARLOS DELGADO SANABRIA

DIRECTOR

Trabajo de grado presentado para optar por el título de:

MAGISTER EN INGENIERIA AMBIENTAL

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA

FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURA

MAESTRIA EN INGENIERIA AMBIENTAL

PAMPLONA

2016

*Dedicado a Dios por impulsarme en
cada obstáculo de la vida, por enseñarme
que la insistencia siempre trae sus frutos.*

Agradecimientos

Infinitas gracias doy a mi Dios por acompañarme en esta etapa que culmina ahora, a mis padres Lucila Miranda Villamizar y Luis Guillermo Martínez (Q.E.P.D), por su incondicional apoyo, a Fabio Isidro y mis hermanas Adriana Martínez y Sylvana Isidro, a mi novia Diana Santamaría por ser mi motivación.

A M.Sc. Juan Carlos Delgado por ser mi director de tesis y generar lineamientos claros para lograr este informe, a PhD. Jacipt Ramón por dirigir mis pasos durante toda la carrera, a PhD. Simón Fygueroa por su compromiso para culminar mi trabajo de grado.

También quiero agradecer a vicerrectoría de investigaciones de la Universidad de Pamplona por financiar mi proyecto y facilitarme los materiales adecuados.

Agradezco a todos mis amigos y familiares que de alguna forma me aportaron consejos para culminar la Maestría en Ingeniería Ambiental.

Tabla de contenido

	Pág.
1. Introducción	17
2. Formulación del problema	18
3. Justificación	19
4. Objetivos	20
4.1. Objetivo general	20
4.2. Objetivos específicos	20
5. Antecedentes	21
5.1. Antecedentes investigativos	21
5.1.1. Antecedentes a nivel internacional	21
5.1.1.1. <i>Espectrómetro infrarrojo portátil</i>	22
5.1.2. A nivel nacional	23
5.1.3. A nivel departamental	24
5.2. Antecedentes legales	25
6. Derivados del petróleo, propiedades y riesgos	25
6.1. ¿Qué es el petróleo?	25
6.2. Contaminantes industriales	25
6.3. Consecuencias del manejo inadecuado de los derivados del petróleo	26
6.3.1. Riesgos para la salud humana	26
6.3.2. Riesgos en ecosistemas	27
6.3.3. Afectación en la calidad del aire	27
6.3.4. Afectación de suelos y aguas subterráneas y superficiales	28
6.3.5. Pérdida de flora y fauna	28
6.4. Métodos de estudio existentes para detectar derivados del petróleo en muestras de suelo	28
7. Procedimiento para un programa de muestreo	29
7.1. Elementos de un programa de muestreo	29
7.1.1. Localización de puntos de muestreo	29
7.1.2. Número de puntos de muestreo	30
7.1.3. Número de muestras por punto de muestreo	30
8. Espectrómetro, diseño y programación	31
8.1. Espectrómetro	31
8.2. Espectro de luz visible	31
8.3. Líneas de Fraunhofer	32
8.4. Diseño y construcción del espectrómetro	33
8.4.1. Materiales	33
8.4.2. Ensamble del espectrómetro	34
8.5. Diseño del software para el sistema de monitoreo	34
8.5.1. Partes de la ventana interactiva GUIDE en MATLAB	35
8.5.1.1. <i>Botones (Pushbutton 1, 2 y 3)</i>	35
8.5.1.2. <i>Recuadro cámara web</i>	36
8.5.1.3. <i>Recuadro imagen en negativo</i>	36
8.6. Curva de calibración	37

8.6.1. Curva de calibración para derivados del petróleo	38
9. Metodología de ensayo rápido in situ	48
9.1. Zonas de estudio	49
9.1.1. Vista satelital de la zona de estudio	52
9.1.2. Inspección del terreno	55
9.1.2.1. Zona a: Carrera 8, Barrio Chapinero, Pamplona, venta de gasolina	55
9.1.2.2. Zona b: Carrera 8, barrio Chapinero, Pamplona, taller de motos	55
9.1.2.3. Zona c: Carrera 8, barrio Chapinero, Pamplona, local de venta de lubricantes	56
9.1.2.4. Zona d: Km 1 vía Bucaramanga-Pamplona, venta de gasolina	57
9.1.2.5. Zona e: Km 1 vía Pamplona-Cúcuta, estación de servicio Terpel	57
9.1.2.6. Zona f: La Don Juana, Mina de carbón	58
9.1.3. Programación del muestreo	58
9.1.3.1. Localización de los puntos de muestreo	59
9.1.3.2. Número de puntos de muestreo para cada zona	59
9.1.3.2.1. Número de puntos de muestreo para la Zona a	59
9.1.3.2.2. Número de puntos de muestreo para la Zona b	60
9.1.3.2.3. Número de puntos de muestreo para la Zona c	60
9.1.3.2.4. Número de puntos de muestreo para la Zona d	61
9.1.3.2.5. Número de puntos de muestreo para la Zona e	61
9.1.3.2.6. Número de puntos de muestreo para la Zona f	62
9.1.3.3. Número de muestras por punto de muestreo para las zonas estudiadas	63
9.1.4. Protocolo para el análisis de muestras	63
9.1.4.1. Muestreo	64
9.1.4.2. Fluorescencia	65
9.1.4.3. Análisis de la muestra	66
9.1.4.3.1. Adquirir imagen	66
9.1.4.3.2. Guardar imagen	67
9.1.4.3.3. Perfil de intensidad	68
10. Resultados y análisis	72
10.1. Aplicación del método para evaluar el grado de contaminación ambiental en diferentes lugares de Pamplona	72
10.2. Muestras de referencia	73
10.2.1. Aceite mineral	73
10.2.2. Suelo sin contaminación	74
10.2.3. Muestra de suelo contaminado	75
10.2.4. Muestra con una gota de aceite lubricante usado	76
10.2.5. Caracterización de los grados de concentración.	77
10.3. Resultados para la Zona d, Km 1 vía Bucaramanga-Pamplona, venta de gasolina	77
10.3.1. Concentración de derivados del petróleo en la zona d	78

10.4. Resultados para la Zona e, Km 1 vía Pamplona-Cúcuta, estación de servicio Terpel	79
10.4.1. Concentración de derivados del petróleo en la zona e	80
10.5. Análisis comparativo	81
11. Conclusiones	83
12. Recomendaciones	84
13. Referencias	85
14. Anexos	87

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. <i>Tipos de exposición en la población por contaminación de hidrocarburos.</i>	27
Tabla 2. <i>Materiales.</i>	33
Tabla 3. <i>Intensidad para cada uno de los grados de concentración.</i>	48
Tabla 4. <i>Ajuste de grados de concentración con respecto al porcentaje.</i>	72
Tabla 5. <i>Grado de concentración para las muestras de la Zona d.</i>	78
Tabla 6. <i>Grado de concentración para las muestras de la Zona e.</i>	81

Lista de figuras

	Pág.
<i>Figura 1.</i> Espectrómetro infrarrojo portátil utilizado en Australia	23
<i>Figura 2.</i> Modelo de distribución de puntos de muestreo.	30
<i>Figura 3.</i> Espectro visible por el ojo humano	32
<i>Figura 4.</i> Clasificación de las líneas de Fraunhofer	32
<i>Figura 5.</i> Montaje final del espectrómetro.	34
<i>Figura 6.</i> Ventana interactiva GUIDE en MATLAB.	35
<i>Figura 7.</i> Botones de la ventana interactiva	36
<i>Figura 8.</i> Recuadro cámara web.	36
<i>Figura 9.</i> Recuadro imagen en negativo.	37
<i>Figura 10.</i> Muestras para la curva de calibración.	38
<i>Figura 11.</i> Espectro generado para la muestra de grado 9.	39
<i>Figura 12.</i> Gráfica Intensidad vs Longitud de onda para la muestra de grado 9.	39
<i>Figura 13.</i> Espectro generado para la muestra de grado 8.	40
<i>Figura 14.</i> Gráfica Intensidad vs Longitud de onda para la muestra de grado 8.	40
<i>Figura 15.</i> Espectro generado para la muestra de grado 7.	41
<i>Figura 16.</i> Gráfica Intensidad vs Longitud de onda para la muestra de grado 7.	41
<i>Figura 17.</i> Espectro generado para la muestra de grado 6.	42
<i>Figura 18.</i> Gráfica Intensidad vs Longitud de onda para la muestra de grado 6.	42
<i>Figura 19.</i> Espectro generado para la muestra de grado 5.	43
<i>Figura 20.</i> Gráfica Intensidad vs Longitud de onda para la muestra de grado 5.	43
<i>Figura 21.</i> Espectro generado para la muestra de grado 4.	44
<i>Figura 22.</i> Gráfica Intensidad vs Longitud de onda para la muestra de grado 4.	44
<i>Figura 23.</i> Espectro generado para la muestra de grado 3.	45
<i>Figura 24.</i> Gráfica Intensidad vs Longitud de onda para la muestra de grado 3.	45
<i>Figura 25.</i> Espectro generado para la muestra de grado 2.	46
<i>Figura 26.</i> Gráfica Intensidad vs Longitud de onda para la muestra de grado 2.	46
<i>Figura 27.</i> Espectro generado para la muestra de grado 1.	47
<i>Figura 28.</i> Gráfica Intensidad vs Longitud de onda para la muestra de grado 1.	47
<i>Figura 29.</i> Gráfica curva de calibración Intensidad vs Concentración.	48
<i>Figura 30.</i> Zona a, venta de gasolina.	49
<i>Figura 31.</i> Zona b, anden al lado de un taller de motos.	50
<i>Figura 32.</i> Zona c, anden al lado de un taller de cambio de aceite.	50
<i>Figura 33.</i> Zona d, venta de gasolina en el km 1 vía Bucaramanga.	51
<i>Figura 34.</i> Zona e, pasos abajo de la E.D.S Coopmotilon TERPEL.	51
<i>Figura 35.</i> Zona f, zona de carga de una mina de carbón en La Don Juana.	52
<i>Figura 36.</i> Zonas de estudio a, b y c.	52
<i>Figura 37.</i> Zona de estudio d.	53
<i>Figura 38.</i> Zona de estudio e.	54
<i>Figura 39.</i> Zona de estudio f.	54
<i>Figura 40.</i> Zona a, parte trasera.	55
<i>Figura 41.</i> Zona b, contaminación visible	56
<i>Figura 42.</i> Zona c, cambio de aceite sin el cuidado adecuado.	56
<i>Figura 43.</i> Zona d, manchas de aceite al borde de la carretera.	57

<i>Figura 44.</i> Zona e, pasos debajo de la E.D.S.	58
<i>Figura 45.</i> Zona f, residuos de carbón en la zona de carga por tolvas.	58
<i>Figura 46.</i> Distribución sistemática regular.	59
<i>Figura 47.</i> Zona a, puntos de muestreo del 1 al 10.	59
<i>Figura 48.</i> Zona a, puntos de muestreo del 11 al 15.	60
<i>Figura 49.</i> Zona b, puntos de muestreo del 1 al 10.	60
<i>Figura 50.</i> Zona c, puntos de muestreo del 1 al 10.	61
<i>Figura 51.</i> Zona d, puntos de muestreo del 1 al 30.	61
<i>Figura 52.</i> Zona e, puntos de muestreo del 1 al 5.	62
<i>Figura 53.</i> Zona f, puntos de muestreo del 1 al 30	62
<i>Figura 54.</i> Puntos de muestreo del 31 al 50.	63
<i>Figura 55.</i> Toma de una muestra con hisopos.	64
<i>Figura 56.</i> Disolución de la muestra en aceite mineral	65
<i>Figura 57.</i> Fluorescencia por contaminación.	66
<i>Figura 58.</i> Botón Adquirir imagen	66
<i>Figura 59.</i> Recuadros Web cam y Captura.	67
<i>Figura 60.</i> Ventana guardar.	67
<i>Figura 61.</i> Nombrar un archivo en formato .jpg	68
<i>Figura 62.</i> Dirección del archivo guardado.	68
<i>Figura 63.</i> Ventana abrir.	69
<i>Figura 64.</i> Abrir un determinado tipo de archivo.	69
<i>Figura 65.</i> MATLAB crea la matriz de valores a partir de una imagen a color.	70
<i>Figura 66.</i> Imagen en escala de grises.	70
<i>Figura 67.</i> Línea horizontal para crear el perfil de intensidad.	71
<i>Figura 68.</i> Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda.	71
<i>Figura 69.</i> Espectro generado para el aceite mineral	73
<i>Figura 70.</i> Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para el aceite mineral	73
<i>Figura 71.</i> Espectro generado para suelo sin contaminación.	74
<i>Figura 72.</i> Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para suelo sin contaminación	74
<i>Figura 73.</i> Espectro generado para la muestra de suelo contaminado	75
<i>Figura 74.</i> Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la muestra de suelo contaminado	75
<i>Figura 75.</i> Espectro generado para la muestra con una gota de aceite lubricante usado	76
<i>Figura 76.</i> Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la muestra con una gota de aceite lubricante usado	76
<i>Figura 77.</i> Espectro generado para la prueba 26d.	77
<i>Figura 78.</i> Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 26d.	77
<i>Figura 79.</i> Grados de concentración, Zona d.	79
<i>Figura 80.</i> Espectro generado para la prueba 1e.	79
<i>Figura 81.</i> Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 1e.	80
<i>Figura 82.</i> Grados de concentración, Zona e.	81

Lista de anexos

	Pág.
<i>Anexo 1.</i> Función GUIDE creada en MATLAB.	87
<i>Anexo 2.</i> Espectro generado para la prueba 1a	90
<i>Anexo 3.</i> Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 1a	90
<i>Anexo 4.</i> Espectro generado para la prueba 2a	91
<i>Anexo 5.</i> Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 2a	91
<i>Anexo 6.</i> Espectro generado para la prueba 3a	92
<i>Anexo 7.</i> Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 3a	92
<i>Anexo 8.</i> Espectro generado para la prueba 4a	93
<i>Anexo 9.</i> Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 4a	93
<i>Anexo 10.</i> Espectro generado para la prueba 5a	94
<i>Anexo 11.</i> Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 5a	94
<i>Anexo 12.</i> Espectro generado para la prueba 6a	95
<i>Anexo 13.</i> Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 6a	95
<i>Anexo 14.</i> Espectro generado para la prueba 7a	96
<i>Anexo 15.</i> Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 7a	96
<i>Anexo 16.</i> Espectro generado para la prueba 8a	97
<i>Anexo 17.</i> Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 8a	97
<i>Anexo 18.</i> Espectro generado para la prueba 9a	98
<i>Anexo 19.</i> Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 9a	98
<i>Anexo 20.</i> Espectro generado para la prueba 10a	99
<i>Anexo 21.</i> Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 10a	99
<i>Anexo 22.</i> Espectro generado para la prueba 11a	100
<i>Anexo 23.</i> Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 11a	100
<i>Anexo 24.</i> Espectro generado para la prueba 12a	101
<i>Anexo 25.</i> Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 12a	101
<i>Anexo 26.</i> Espectro generado para la prueba 13a	102
<i>Anexo 27.</i> Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 13a	102
<i>Anexo 28.</i> Espectro generado para la prueba 14a	103
<i>Anexo 29.</i> Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 14a	103
<i>Anexo 30.</i> Espectro generado para la prueba 15a	104
<i>Anexo 31.</i> Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 15a	104
<i>Anexo 32.</i> Espectro generado para la prueba 1b	105
<i>Anexo 33.</i> Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 1b	105
<i>Anexo 34.</i> Espectro generado para la prueba 2b	106
<i>Anexo 35.</i> Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 2b	106
<i>Anexo 36.</i> Espectro generado para la prueba 3b	107
<i>Anexo 37.</i> Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 3b	107
<i>Anexo 38.</i> Espectro generado para la prueba 4b	108
<i>Anexo 39.</i> Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 4b	108
<i>Anexo 40.</i> Espectro generado para la prueba 5b	109
<i>Anexo 41.</i> Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 5b	109
<i>Anexo 42.</i> Espectro generado para la prueba 6b	110
<i>Anexo 43.</i> Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 6b	110

<i>Anexo 44.</i> Espectro generado para la prueba 7b	111
<i>Anexo 45.</i> Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 7b	111
<i>Anexo 46.</i> Espectro generado para la prueba 8b	112
<i>Anexo 47.</i> Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 8b	112
<i>Anexo 48.</i> Espectro generado para la prueba 9b	113
<i>Anexo 49.</i> Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 9b	113
<i>Anexo 50.</i> Espectro generado para la prueba 10b	114
<i>Anexo 51.</i> Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 10b	114
<i>Anexo 52.</i> Espectro generado para la prueba 1c	115
<i>Anexo 53.</i> Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 1c	115
<i>Anexo 54.</i> Espectro generado para la prueba 2c	116
<i>Anexo 55.</i> Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 2c	116
<i>Anexo 56.</i> Espectro generado para la prueba 3c	117
<i>Anexo 57.</i> Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 3c	117
<i>Anexo 58.</i> Espectro generado para la prueba 4c	118
<i>Anexo 59.</i> Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 4c	118
<i>Anexo 60.</i> Espectro generado para la prueba 5c	119
<i>Anexo 61.</i> Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 5c	119
<i>Anexo 62.</i> Espectro generado para la prueba 6c	120
<i>Anexo 63.</i> Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 6c	120
<i>Anexo 64.</i> Espectro generado para la prueba 7c	121
<i>Anexo 65.</i> Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 7c	121
<i>Anexo 66.</i> Espectro generado para la prueba 8c	122
<i>Anexo 67.</i> Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 8c	122
<i>Anexo 68.</i> Espectro generado para la prueba 9c	123
<i>Anexo 69.</i> Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 9c	123
<i>Anexo 70.</i> Espectro generado para la prueba 10c	124
<i>Anexo 71.</i> Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 10c	124
<i>Anexo 72.</i> Espectro generado para la prueba 1d	125
<i>Anexo 73.</i> Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 1d	125
<i>Anexo 74.</i> Espectro generado para la prueba 2d	126
<i>Anexo 75.</i> Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 2d	126
<i>Anexo 76.</i> Espectro generado para la prueba 3d	127
<i>Anexo 77.</i> Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 3d	127
<i>Anexo 78.</i> Espectro generado para la prueba 4d	128
<i>Anexo 79.</i> Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 4d	128
<i>Anexo 80.</i> Espectro generado para la prueba 5d	129
<i>Anexo 81.</i> Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 5d	129
<i>Anexo 82.</i> Espectro generado para la prueba 6d	130
<i>Anexo 83.</i> Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 6d	130
<i>Anexo 84.</i> Espectro generado para la prueba 7d	131
<i>Anexo 85.</i> Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 7d	131
<i>Anexo 86.</i> Espectro generado para la prueba 8d	132
<i>Anexo 87.</i> Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 8d	132
<i>Anexo 88.</i> Espectro generado para la prueba 9d	133
<i>Anexo 89.</i> Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 9d	133

<i>Anexo 90.</i> Espectro generado para la prueba 10d	134
<i>Anexo 91.</i> Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 10d	134
<i>Anexo 92.</i> Espectro generado para la prueba 11d	135
<i>Anexo 93.</i> Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 11d	135
<i>Anexo 94.</i> Espectro generado para la prueba 12d	136
<i>Anexo 95.</i> Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 12d	136
<i>Anexo 96.</i> Espectro generado para la prueba 13d	137
<i>Anexo 97.</i> Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 13d	137
<i>Anexo 98.</i> Espectro generado para la prueba 14d	138
<i>Anexo 99.</i> Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 14d	138
<i>Anexo 100.</i> Espectro generado para la prueba 15d	139
<i>Anexo 101.</i> Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 15d	139
<i>Anexo 102.</i> Espectro generado para la prueba 16d	140
<i>Anexo 103.</i> Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 16d	140
<i>Anexo 104.</i> Espectro generado para la prueba 17d	141
<i>Anexo 105.</i> Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 17d	141
<i>Anexo 106.</i> Espectro generado para la prueba 18d	142
<i>Anexo 107.</i> Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 18d	142
<i>Anexo 108.</i> Espectro generado para la prueba 19d	143
<i>Anexo 109.</i> Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 19d	143
<i>Anexo 110.</i> Espectro generado para la prueba 20d	144
<i>Anexo 111.</i> Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 20d	144
<i>Anexo 112.</i> Espectro generado para la prueba 21d	145
<i>Anexo 113.</i> Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 21d	145
<i>Anexo 114.</i> Espectro generado para la prueba 22d	146
<i>Anexo 115.</i> Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 22d	146
<i>Anexo 116.</i> Espectro generado para la prueba 23d	147
<i>Anexo 117.</i> Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 23d	147
<i>Anexo 118.</i> Espectro generado para la prueba 24d	148
<i>Anexo 119.</i> Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 24d	148
<i>Anexo 120.</i> Espectro generado para la prueba 25d	149
<i>Anexo 121.</i> Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 25d	149
<i>Anexo 122.</i> Espectro generado para la prueba 27d	150
<i>Anexo 123.</i> Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 27d	150
<i>Anexo 124.</i> Espectro generado para la prueba 28d	151
<i>Anexo 125.</i> Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 28d	151
<i>Anexo 126.</i> Espectro generado para la prueba 29d	152
<i>Anexo 127.</i> Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 29d	152
<i>Anexo 128.</i> Espectro generado para la prueba 30d	153
<i>Anexo 129.</i> Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 30d	153
<i>Anexo 130.</i> Espectro generado para la prueba 2e	154
<i>Anexo 131.</i> Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 2e	154
<i>Anexo 132.</i> Espectro generado para la prueba 3e	155
<i>Anexo 133.</i> Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 3e	155
<i>Anexo 134.</i> Espectro generado para la prueba 4e	156
<i>Anexo 135.</i> Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 4e	156

<i>Anexo 136.</i>	Espectro generado para la prueba 5e	157
<i>Anexo 137.</i>	Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 5e	157
<i>Anexo 138.</i>	Espectro generado para la prueba 1f	158
<i>Anexo 139.</i>	Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 1f	158
<i>Anexo 140.</i>	Espectro generado para la prueba 2f	159
<i>Anexo 141.</i>	Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 2f	159
<i>Anexo 142.</i>	Espectro generado para la prueba 3f	160
<i>Anexo 143.</i>	Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 3f	160
<i>Anexo 144.</i>	Espectro generado para la prueba 4f	161
<i>Anexo 145.</i>	Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 4f	161
<i>Anexo 146.</i>	Espectro generado para la prueba 5f	162
<i>Anexo 147.</i>	Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 5f	162
<i>Anexo 148.</i>	Espectro generado para la prueba 6f	163
<i>Anexo 149.</i>	Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 6f	163
<i>Anexo 150.</i>	Espectro generado para la prueba 7f	164
<i>Anexo 151.</i>	Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 7f	164
<i>Anexo 152.</i>	Espectro generado para la prueba 8f	165
<i>Anexo 153.</i>	Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 8f	165
<i>Anexo 154.</i>	Espectro generado para la prueba 9f	166
<i>Anexo 155.</i>	Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 9f	166
<i>Anexo 156.</i>	Espectro generado para la prueba 10f	167
<i>Anexo 157.</i>	Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 10f	167
<i>Anexo 158.</i>	Espectro generado para la prueba 11f	168
<i>Anexo 159.</i>	Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 11f	168
<i>Anexo 160.</i>	Espectro generado para la prueba 12f	169
<i>Anexo 161.</i>	Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 12f	169
<i>Anexo 162.</i>	Espectro generado para la prueba 13f	170
<i>Anexo 163.</i>	Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 13f	170
<i>Anexo 164.</i>	Espectro generado para la prueba 14f	171
<i>Anexo 165.</i>	Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 14f	171
<i>Anexo 166.</i>	Espectro generado para la prueba 15f	172
<i>Anexo 167.</i>	Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 15f	172
<i>Anexo 168.</i>	Espectro generado para la prueba 16f	173
<i>Anexo 169.</i>	Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 16f	173
<i>Anexo 170.</i>	Espectro generado para la prueba 17f	174
<i>Anexo 171.</i>	Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 17f	174
<i>Anexo 172.</i>	Espectro generado para la prueba 18f	175
<i>Anexo 173.</i>	Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 18f	175
<i>Anexo 174.</i>	Espectro generado para la prueba 19f	176
<i>Anexo 175.</i>	Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 19f	176
<i>Anexo 176.</i>	Espectro generado para la prueba 20f	177
<i>Anexo 177.</i>	Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 20f	177
<i>Anexo 178.</i>	Espectro generado para la prueba 21f	178
<i>Anexo 179.</i>	Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 21f	178
<i>Anexo 180.</i>	Espectro generado para la prueba 22f	179
<i>Anexo 181.</i>	Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 22f	179

<i>Anexo 182.</i>	Espectro generado para la prueba 23f	180
<i>Anexo 183.</i>	Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 23f	180
<i>Anexo 184.</i>	Espectro generado para la prueba 24f	181
<i>Anexo 185.</i>	Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 24f	181
<i>Anexo 186.</i>	Espectro generado para la prueba 25f	182
<i>Anexo 187.</i>	Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 25f	182
<i>Anexo 188.</i>	Espectro generado para la prueba 26f	183
<i>Anexo 189.</i>	Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 26f	183
<i>Anexo 190.</i>	Espectro generado para la prueba 27f	184
<i>Anexo 191.</i>	Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 27f	184
<i>Anexo 192.</i>	Espectro generado para la prueba 28f	185
<i>Anexo 193.</i>	Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 28f	185
<i>Anexo 194.</i>	Espectro generado para la prueba 29f	186
<i>Anexo 195.</i>	Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 29f	186
<i>Anexo 196.</i>	Espectro generado para la prueba 30f	187
<i>Anexo 197.</i>	Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 30f	187
<i>Anexo 198.</i>	Espectro generado para la prueba 31f	188
<i>Anexo 199.</i>	Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 31f	188
<i>Anexo 200.</i>	Espectro generado para la prueba 32f	189
<i>Anexo 201.</i>	Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 32f	189
<i>Anexo 202.</i>	Espectro generado para la prueba 33f	190
<i>Anexo 203.</i>	Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 33f	190
<i>Anexo 204.</i>	Espectro generado para la prueba 34f	191
<i>Anexo 205.</i>	Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 34f	191
<i>Anexo 206.</i>	Espectro generado para la prueba 35f	192
<i>Anexo 207.</i>	Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 35f	192
<i>Anexo 208.</i>	Espectro generado para la prueba 36f	193
<i>Anexo 209.</i>	Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 36f	193
<i>Anexo 210.</i>	Espectro generado para la prueba 37f	194
<i>Anexo 211.</i>	Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 37f	194
<i>Anexo 212.</i>	Espectro generado para la prueba 38f	195
<i>Anexo 213.</i>	Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 38f	195
<i>Anexo 214.</i>	Espectro generado para la prueba 39f	196
<i>Anexo 215.</i>	Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 39f	196
<i>Anexo 216.</i>	Espectro generado para la prueba 40f	197
<i>Anexo 217.</i>	Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 40f	197
<i>Anexo 218.</i>	Espectro generado para la prueba 41f	198
<i>Anexo 219.</i>	Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 41f	198
<i>Anexo 220.</i>	Espectro generado para la prueba 42f	199
<i>Anexo 221.</i>	Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 42f	199
<i>Anexo 222.</i>	Espectro generado para la prueba 43f	200
<i>Anexo 223.</i>	Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 43f	200
<i>Anexo 224.</i>	Espectro generado para la prueba 44f	201
<i>Anexo 225.</i>	Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 44f	201
<i>Anexo 226.</i>	Espectro generado para la prueba 45f	202
<i>Anexo 227.</i>	Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 45f	202

<i>Anexo 228.</i> Espectro generado para la prueba 46f	203
<i>Anexo 229.</i> Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 46f	203
<i>Anexo 230.</i> Espectro generado para la prueba 47f	204
<i>Anexo 231.</i> Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 47f	204
<i>Anexo 232.</i> Espectro generado para la prueba 48f	205
<i>Anexo 233.</i> Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 48f	205
<i>Anexo 234.</i> Espectro generado para la prueba 49f	206
<i>Anexo 235.</i> Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 49f	206
<i>Anexo 236.</i> Espectro generado para la prueba 50f	207
<i>Anexo 237.</i> Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 50f	207
<i>Anexo 238.</i> Decreto 321 de 1999.	208

1. Introducción

La destilación del petróleo produce gran variedad de derivados, los cuales han hecho parte tanto del beneficio de máquinas en general como de la explotación de materias primas. Si se habla de pos consumo y reciclaje, en muy pocas ciudades colombianas se hace el debido seguimiento de los derivados del petróleo.

Se observa que no hay control de estos contaminantes en la región; las entidades e independientes que manejan estos derivados del petróleo ya sean gasolina, aceites y lubricantes, entre otros, en algunos casos los venden a bajo precio a los campesinos. Por otro lado, un derrame muy rara vez es controlado y al final todo ese aceite recolectado va a dar a las aguas superficiales y a los suelos.

Las consecuencias para a la salud humana son bastante desalentadoras. Las enfermedades respiratorias y nerviosas se dan por consumo de alimentos y agua expuestos a esta clase de contaminación, mientras el deterioro se entiende por la superficie terrestre.

El sistema de monitoreo in situ de derivados del petróleo busca detectar fácilmente en donde se da mal uso a estos derivados y con qué frecuencia. Al tener una zona afectada se pueden tomar medidas de prevención y mejorar no solo los beneficios propios sino la calidad de vida de los demás.

Es de vital importancia tener en cuenta que factores pueden estar generando gases de efecto invernadero, residuos y consumo general de energía en el medio ambiente. Los derivados del petróleo obtenidos por la destilación de esta materia prima, hacen parte también de los compuestos más destructores del medio ambiente, por ejemplo, según (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo territorial, 2006), en el caso del aceite lubricante automotor, una gota puede contaminar 1000 litros de agua y si se habla de suelos, se encarga de hacerle perder su fertilidad y capacidad de buenas cosechas.

El sistema para evaluar in-situ la contaminación por derivados del petróleo, consta de tres partes fundamentales que son: el equipo, el cuál funciona por medio de la fluorescencia atómica y la espectrometría; por otra parte, el software, creado en la interfaz de MATLAB, que sigue los pasos lógicos para realizar el análisis de un muestra determinada y por último, el protocolo de muestreo, para llevar a cabo el estudio aplicativo a cualquier zona que presente contaminación visible.

2. Formulación del problema

El aceite lubricante usado, se utiliza como “mata polvo” en andenes o calles destapadas y el principal inconveniente está representado por la permeabilidad que puede lograr un derivado del petróleo en el suelo, deteriorando su fertilidad, pH, entre otras propiedades, como también, ser transportado por la lluvia a canales que terminan en los ríos, siendo afluentes utilizados para consumo doméstico.

Dentro de los derivados del petróleo, el aceite lubricante, posee óxidos de hierro y partículas metálicas debidas al desgaste del funcionamiento automotor, siendo éstos, compuestos letales para la salud humana. Por otro lado, para el carbón, en una región donde se llevan a cabo cargamentos de volquetas, puede generar resultados relevantes y preocupantes, ya que la zona de carga de la mina existente en La Don Juana, queda al pie del río Pamplonita.

Por otra parte, en las ciudades principales del país, según (FAU, 2013) se realiza el debido seguimiento de los aceites usados por parte del Fondo de Aceites Usados (FAU), incluyendo desde su recolección hasta el tratamiento del mismo para nuevos usos industriales, sin embargo para la región de los Santanderes, en donde se encuentra la ciudad de Pamplona, solo se lleva a cabo en la ciudad de Bucaramanga, en consecuencia las demás ciudades y pueblos no cuentan con un sistema adecuado de pos consumo, y el uso que se le da a éste derivado del petróleo puede llegar a ser, para el medio ambiente, uno de los factores más degradantes.

3. Justificación

Las partículas metálicas suspendidas en los aceites lubricantes usados son causantes de enfermedades respiratorias, nerviosas y producen cáncer localizado en diferentes zonas del cuerpo especialmente en el sistema digestivo.

Los derivados del petróleo no solo afectan la salud humana, la fauna y flora, sino también pocas gotas de cualquier destilado, pueden destruir grandes cantidades del elemento vital para la salud humana como lo es el agua.

Los establecimientos y operarios de los mismos, no conocen el alcance negativo que puede tener el manejo inadecuado de los productos petrolíferos que tradicionalmente son utilizados para la lubricación y funcionamiento de los automotores, en otras palabras el daño ambiental se lleva a cabo inconscientemente.

La región comprendida por la ciudad de Pamplona y alrededores, necesita un sistema que pueda generar una visión clara y sencilla de los problemas y daños al medio ambiente que se han estado produciendo durante décadas, en donde se puedan realizar pruebas rápidas in situ, con un sistema a partir de la espectrometría, y seguido, crear un informe detallado de la contaminación existente, clasificada en grados de concentración de un determinado derivado del petróleo presente en suelos.

4. Objetivos

2.1. Objetivo general

Realizar un sistema de monitoreo in-situ, que permita evaluar la contaminación ambiental producida por los residuos generados por los derivados del petróleo.

2.2. Objetivos específicos.

- Fabricar el equipo de monitoreo in situ para detectar la contaminación por derivados de petróleo (aceite lubricante, gasolina, A.C.P.M y carbón).
- Desarrollar un software, utilizando la herramienta MATLAB, que permita controlar el funcionamiento adecuado del equipo de monitoreo.
- Proponer una metodología para una prueba rápida de detección de derivados del petróleo en suelos, basada en la técnica de fluorescencia atómica.
- Aplicar el método a diferentes lugares de Pamplona, para evaluar el grado de contaminación ambiental en dichas zonas a partir de la curva de calibración del equipo.

5. Antecedentes

Frente a la problemática ambiental que genera el manejo inadecuado de hidrocarburos, ya sean derrames de petróleo, riego inconsciente de aceite lubricante usado como “mata polvo” o manipulación inadecuada de gasolina, generan una huella negativa para suelos y aguas superficiales de las que se beneficia el ser humano.

Existen antecedentes presentados a nivel internacional, nacional y departamental, que incluyen la necesidad de utilizar un sistema de monitoreo in situ de contaminación por derivados del petróleo, en especial para las personas preocupadas por el medio ambiente, que en la mayoría de los casos no tienen la capacidad de llevar a cabo procedimientos complejos en laboratorios especializados en detección de destilados petrolíferos.

Así también, se rige una normativa nacional que condiciona y penaliza, acciones contrarias al cuidado del medio ambiente, dirigida por el Sistema Nacional de atención y prevención de desastres.

5.1. Antecedentes investigativos

5.1.1. Antecedentes a nivel internacional

Los derrames de petróleo o bien, de sus derivados, representan un grave problema de contaminación en diferentes partes del mundo. Estos accidentes han contribuido en gran manera al aumento en la contaminación por hidrocarburos en zonas costeras, afectando negativamente áreas de manglar, la flora, la fauna y la salud humana.

Los hidrocarburos del petróleo se adhieren a las branquias de los peces, afectando su respiración. También se adhieren y destruyen las algas y el fitoplancton y afectan la alimentación y reproducción de la vida acuática en general (plantas, insectos y peces) (Reeves 2005). Causan la muerte o inducen mutaciones de los mangles como se describe en detalle más adelante.

Olguín (como se citó en Reeves, 2005) afirma que los hidrocarburos se pueden encontrar en el agua flotando libremente, en emulsión, disueltos o adsorbidos a sólidos suspendidos. Los hidrocarburos con mayor número de carbonos tienden a flotar y están en forma libre. Por el contrario, las moléculas más pequeñas tienden a formar emulsiones con el agua y son más difíciles de remover.

Diversos procesos relacionados con el clima contribuyen a la atenuación natural de descargas de petróleo en agua de mar, tales como evaporación, foto-oxidación, emulsión, dispersión y biodegradación (Olguín *et al.* 2007). Sin embargo, Kingston (2002), expone que en la mayoría de los derrames de petróleo, dicha capacidad de autodepuración no es suficiente para remediar los sitios contaminados e incluso los productos de la foto-oxidación son compuestos ácidos y fenólicos, los cuales en alguno de los casos, son más tóxicos que los hidrocarburos originales.

Además, Ke *et al.* (2002) asegura que, a medida que transcurre el tiempo, los hidrocarburos derramados en ambientes marinos o acuáticos se adhieren fuertemente a los sedimentos debido a su baja solubilidad en agua y a su carácter hidrofóbico.

Para los manglares, su alta productividad y su abundante detritus orgánico, los hacen un sitio preferencial para la acumulación de hidrocarburos (Olguín *et al.* 2007). Se ha reportado que la concentración de HPA en suelos de manglar en China, mostró una fuerte

correlación con el contenido de carbono orgánico (Olguín *et al.* 2007). En Queensland, Australia, se investigó la contaminación por hidrocarburos en suelos de manglar, en cuyas zonas aledañas fueron depositados desechos de aceite. Olguín *et al.* (2007) afirman que se encontró una zona contaminada de 15-30 m de ancho y 200 m de largo, conteniendo concentraciones de hidrocarburos hasta en un 17 % del peso seco de los suelos superficiales. Los hidrocarburos también fueron detectados en los sedimentos de un arroyo aledaño como consecuencia del lavado periódico de los sedimentos contaminados de los bosques del manglar. El análisis del perfil de los sedimentos indicó que los hidrocarburos penetraron a una profundidad de 40 cm.

Estudios recientes en manglares de Hong Kong, según Olguín *et al.* (como se citó en Tam, 2005) indicaron que los suelos superficiales (2-3 cm) presentaron concentraciones de HPA en el rango de 66 a 3758 ng g⁻¹ del peso seco del suelo y se observaron 16 HPA incluidos en la lista de contaminantes prioritarios de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA). Los perfiles de sedimentos revelaron que la capa superficial presentó concentraciones de HPA más bajas que las capas más profundas (15-20 cm) y la composición de HPA también cambió en las diferentes profundidades (Ke *et al.* 2005). Otro estudio también en Hong Kong, encontró concentraciones entre 60-80 µg g⁻¹ de hidrocarburos totales de petróleo (HTP) y de 60-70 µg g⁻¹ de mezclas de hidrocarburos no separadas (MHNS) en los suelos de los bosques de manglares de Sheung Park Nai Swamp.

Olguín *et al.* (2007) afirma que en México, se ha estimado que el estado de Veracruz cuenta con 460.47 km² de manglar, lo que representa un 14 % de los manglares del Golfo de México. Sin embargo, dada su ubicación geográfica, una de las mayores amenazas sobre este ecosistema, son los accidentes relacionados a la industria petrolera que se desarrolla a lo largo de la zona costera. Según datos del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática existen más de 3,000 km de ductos que transportan diariamente, a diversos puntos de la República Mexicana, más de 1,073 millones de barriles de petróleo y 2,622 millones de pies cúbicos de gas. Los accidentes más comunes son la ruptura de ductos, los derrames de plataformas y accidentes de buques tanque. Sin embargo, aunque hace algunas décadas se realizaron estudios sobre la contaminación por metales pesados y por hidrocarburos en algunos sistemas costeros del Golfo de México, y se determinaron algunos sitios de contaminación con hidrocarburos por rupturas de ductos principalmente en el occidente del estado de Tabasco, se requiere actualizar el conocimiento sobre el nivel de impacto que causan actualmente los derrames de petróleo sobre los manglares más importantes de la costa de Veracruz y en general, del Golfo de México.

Uno de los pocos estudios actuales, según Olguín (como se citó en García-López *et al.* 2006), se realizó también en el estado de Tabasco y localizó 52 derrames de petróleo, la mayoría sobre histosoles y manglar, principalmente en el núcleo del campo La Venta, en donde el 75 % de la superficie estudiada registró niveles de contaminación por hidrocarburos de ligera a moderada.

5.1.1.1. Espectrómetro infrarrojo portátil.

Según (Equipos y Laboratorio de Colombia S.A.S. (2015)), un equipo de científicos de la Agencia Científica Nacional de Australia (CSIRO), ha desarrollado una técnica novedosa para la detección y cuantificación rápida de hidrocarburos del petróleo en

suelo firme, sedimentos, o roca.

Desarrollada en colaboración con la empresa australiana Ziltek Pty Ltd, la técnica hace posible cuantificar la presencia de hidrocarburos del petróleo usando simplemente un espectrómetro infrarrojo portátil para tomar lecturas en el sitio de interés, sin la necesidad de recoger muestras para trasladarlas a un laboratorio, ni de realizar algún tipo de procesamiento.



Figura 1. Espectrómetro infrarrojo utilizado en Australia. (Equipos y Laboratorio de Colombia S.A.S. (2015)).

La técnica puede ser usada para la prospección petrolera. También es útil para evaluar y monitorizar lugares contaminados, tales como terrenos costeros afectados por derrames de petróleo en aguas cercanas, y áreas industriales para las que se planea una reurbanización.

Los hidrocarburos del petróleo son recursos valiosos, pero, tal como nos recuerda Sean Forrester de la CSIRO, también pueden ser contaminantes medioambientales bastante nocivos. Son capaces de permanecer en el entorno durante periodos largos de tiempo y resultan potencialmente dañinos para vegetales y animales, incluyendo al Ser Humano. Contar con mejores herramientas para detectarlos hace posible una respuesta más rápida. (Equipos y Laboratorio de Colombia S.A.S. (2015)).

5.1.2. A nivel nacional

En Colombia, según López *et al.* (2006), el transporte de crudo y sus derivados se ha visto afectado considerablemente durante los últimos 18 años por una permanente actividad terrorista contra los oleoductos e instalaciones petroleras. Entre los años 1986 y 1998 las incursiones violentas de los grupos al margen de la ley ocasionaron el derramamiento de cerca de dos millones de barriles de petróleo, 7.6 veces el petróleo que se derramó en el desastre del buque Exxon Valdés entre Alaska y Canadá el 24 de Marzo de 1989, sobre ciénagas, pantanos, ríos, quebradas y suelos en su mayoría con vocación agrícola, pecuaria y pesquera; hasta dicha fecha el estimativo de las áreas afectadas fue de 6000 hectáreas de terrenos con potencial agrícola y pecuario, 2600 kilómetros de ríos y quebradas y 1600

hectáreas de ciénagas y humedales, originando grandes impactos negativos de carácter económico social y ambiental.

Hasta noviembre de 1998 en Colombia se presentaron 920 ataques contra la infraestructura petrolera, 575 de ellos en el oleoducto Caño limón - Coveñas, que mediante roturas y abolladuras han perjudicado no solo a los ecosistemas y fuentes de producción y abastecimiento de las comunidades aledañas al oleoducto, sino a regiones por donde este transita. Las áreas perjudicadas por los derrames de petróleo se ubican principalmente en la zona alta de la llanura Araucana, en la región de la cuenca del río Catatumbo, en la llanura del valle medio y medio bajo del río Magdalena; departamentos de Santander, Cesar y Sucre, principalmente, y en los departamentos del Putumayo y Nariño (López *et al.* 2006).

Entre los años 2000 y 2003, López *et al.* (2006) afirma que los ataques terroristas disminuyeron considerablemente con respecto a los años anteriores. En el año 2001, los grupos al margen de la ley realizaron 263 ataques, para el año 2002 la cifra llegó a 74 incursiones y para el primer semestre del 2003 la cantidad llegó a 60. Aunque los ataques han disminuido, los impactos ambientales permanecen en los diferentes ecosistemas afectados y se ven representados en las consecuencias ambientales.

Por otra parte, Castelblanco *et al.* (2011), afirman que las operaciones llevadas a cabo en la industria petrolera generan materiales tóxicos y lesivos al medio ambiente, debido a esto, el hombre en su sabiduría ha llevado a cabo procesos para mitigar, controlar y arreglar los medios contaminados, estos procesos tienen como fin la biorremediación, la cual hace referencia al uso de sistemas biológicos para acelerar el proceso natural de biodegradación. Los sistemas más utilizados son microorganismos y plantas.

Estas degradaciones ocurren en la naturaleza; sin embargo, la velocidad de estas es muy baja. Mediante una adecuada manipulación, los sistemas biológicos pueden ser optimizados para aumentar la velocidad de cambio o degradación y así emplearlos en sitios altamente contaminados. En general las manipulaciones involucran producción e inmovilización de enzimas en determinados soportes y cambios genéticos a algunas cepas bacterianas. (Castelblanco *et al.* 2011).

En la biorremediación in-situ, se intenta acelerar el proceso en el mismo ambiente modificando las condiciones ambientales o por inoculación microbiana, esta última se está convirtiendo en un método de aplicación masiva por su menor costo referente a otros métodos de limpieza. Se trata de acelerar los procesos naturales de degradación mediante el suministro de oxígeno y nutrientes durante cierto periodo. (Castelblanco *et al.* 2011).

5.1.3. A nivel departamental

Maldonado *et al.* (2007) afirman que, como una hecatombe ecológica, ambiental, sanitaria, social y económica para la región nororiental de Colombia fue considerada por los expertos en el tema, el incidente generado por el derrame de 9.316 barriles de petróleo crudo del oleoducto Caño Limón Coveñas de propiedad, administración y operación de ECOPEPETROL S.A., sobre el río Pamplonita, registrado el día 2 de junio del 2007 a las 3:05 a.m. a la altura de la abscisa Km. 238 en el corregimiento La Don Juana, municipio de Chinácota, Norte de Santander, Colombia.

Como consecuencia de la contaminación con crudo, según Maldonado *et al.* (2007) no solo se afectó la principal fuente de abastecimiento del acueducto de Cúcuta durante 9 días

consecutivos, sino que creó problemas de suministro y por ende sanitarios en la población no abastecida, aparte paralizó económicamente a toda la ciudad y además según el Dr. José Gabriel Román Subdirector ambiental de CORPONOR afectó a los peces, macro invertebrados y un resto de vegetación que habitaban en el cauce del río Pamplonita, mientras que las aves desaparecieron a lo largo de 90 Km. que fueron contaminados, afectando la cadena alimenticia y quedando este río sin bioindicadores para su monitoreo, después de esta Masacre ambiental.

Para controlar la calidad del agua del río Pamplonita durante el incidente petrolero, Aguas Kapital Cúcuta decidió monitorear específicamente estos parámetros, tomando muestras periódicas, conjuntas con el personal de ECOPETROL S.A. Estas fueron analizadas por métodos estándar en laboratorios certificados del Instituto Colombiano del Petróleo (ICP) y del Laboratorio SGS de Barranquilla. (Maldonado *et al.* 2007).

5.2. Antecedentes legales

Dentro de la constitución política de Colombia se contempla el decreto 321 de 1999 por el cual se adopta el Plan Nacional de Contingencia (PNC) contra derrames de Hidrocarburos, Derivados y Sustancias Nocivas, según (Ministerio del Interior, 1999), se especifican bases jurídicas, planes operativos, planes informáticos, prevenciones, obligaciones y recursos necesarios para llevar la adecuada manipulación de hidrocarburos derramados. El decreto generado el 22 de Febrero de 1999 se encuentra en el *Anexo 237*.

6. Derivados del petróleo, propiedades y riesgos

La destilación del petróleo puede lograr gran variedad de derivados desde los más pesados y viscosos hasta los más volátiles. En este caso de estudio se enfocara a aquellos derivados que comúnmente son utilizados en automotores entre ellos los más conocidos, gasolina, aceite lubricante y A.C.P.M. entre otros. Estos productos también tienen un alto índice de contaminación en caso de no ser manipulados correctamente. A continuación se especifican algunas propiedades y contaminantes industriales que afectan los suelos, la salud humana, fauna y flora.

6.1. ¿Qué es el petróleo?

En general existe una tendencia a una asimilación de los términos hidrocarburos y petróleo, aun cuando guardan una estrecha relación en su naturaleza difieren en su significado. Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., (2004) afirma que el petróleo es una mezcla compleja de muchos hidrocarburos gaseosos, líquidos y sólidos, con un número de carbonos en sus moléculas que varían aproximadamente entre 1 y 50.

6.2. Contaminantes industriales

Los contaminantes de origen industrial, ya sea en materias primas, productos, subproductos o residuos, suelen estudiarse separando, fundamentalmente por razones de estado, movilidad y estabilidad, en el grupo de los compuestos inorgánicos y

orgánicos. Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., (2004) afirma que los contaminantes químicos inorgánicos de mayor importancia en el ámbito de los estudios de suelos contaminados son: Arsénico (As), Cadmio (Cd), Zinc (Zn), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Manganeseo (Mn), Mercurio (Hg) y Plomo (Pb).

6.3. Consecuencias del manejo inadecuado de los derivados del petróleo

El manejo inadecuado de los derivados del petróleo trae consecuencias negativas ya sean riesgos que puede correr la salud humana, impacto ambiental tanto en aguas como en suelos, pérdida de fertilidad de suelos y remoción del componente biótico entre otros. Seguido de desglosan aquellos puntos de interés más relevantes que pueden ser prevenidos con los resultados del sistema de monitoreo.

6.3.1. Riesgos para la salud humana

Castro (2007) afirma que las diferentes sustancias químicas, que pueden llegar desde el medio ambiente al cuerpo humano, tienen naturaleza química diferente y en base a ella influyen el cuadro clínico, siendo las de tipo liposoluble más activas, dada la constitución lipídica de las membranas de las células. Otros factores como la dosis, la concentración y ritmo de incorporación al cuerpo humano, junto con los factores del individuo como tipo, nivel de salud, edad, tolerancia, susceptibilidad, etc., pueden definir el porqué de la gravedad y evolución clínica, o respuesta al tratamiento en cada caso.

Los destilados del petróleo según Castro (2007), tienen efectos tóxicos mucho mayores cuando son aspirados al árbol traqueo bronquial, que cuando simplemente se han ingerido. Los productos destilados del petróleo, como la gasolina, son solventes de las grasas y alteran la función de los nervios produciendo depresión, coma y en ocasiones convulsiones. La aspiración directa de estas sustancias a los pulmones durante su ingestión parece ser la causa principal de irritación pulmonar. Los efectos de la exposición a cualquier sustancia tóxica dependen de la dosis, duración y de la manera como la persona se expone y de las características propias del individuo.

Los hidrocarburos representan una gran variedad de compuestos que tienen en su estructura sólo carbono e hidrógeno. Se incluyen dentro de un grupo más general como son los disolventes orgánicos, sustancias que a temperatura ambiente se encuentran en estado líquido y pueden desprender vapores, por lo que la vía de intoxicación más frecuente es la inhalatoria aunque también se puede producir por vía digestiva y cutánea. Estos vapores son absorbidos rápidamente a través de los pulmones, cruzan fácilmente las membranas celulares y por su gran solubilidad en grasas, alcanzan concentraciones altas en el sistema nervioso central (Sánchez, 2006, citado por Castro, 2007).

Tabla 1.

Tipos de exposición en la población por contaminación de hidrocarburos (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., 2004).

Tipos de exposición	Peligros/Síntomas agudos	Primeros auxilios
Inhalación	Vértigo, somnolencia, vómitos, pérdida del conocimiento	Acercar a la persona a un ambiente donde pueda respirar aire limpio, requiere reposo
Piel	Absorción, enrojecimiento, quemaduras cutáneas	Quitar las ropas contaminadas Aclarar y lavar la piel con abundante agua y jabón
Ojos	Enrojecimiento, dolor, quemaduras profundas graves	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad) y proporcionar asistencia medica
Ingestión	Dolor abdominal, sensación de quemazón, diarrea, nauseas, shock o colapso	Enjuagar la boca y proporcionar asistencia medica

6.3.2. Riesgos en ecosistemas

Según SEMARNAP, (1996), los efectos tóxicos de los hidrocarburos en el ambiente dependerán de:

- La cantidad y composición del petróleo
- La frecuencia y tiempo de exposición
- El estado físico del derrame
- Las características del sitio donde sucedió el derrame
- Variables ambientales como temperatura, humedad y oxígeno
- El uso de dispersantes químicos (está restringido su uso)
- La sensibilidad de la biota específica del ecosistema impactado.

Los riesgos en los ecosistemas se resumen en la afectación de la calidad del aire, suelos y aguas subterráneas y superficiales, y pérdida de flora y fauna.

6.3.3. Afectación en la calidad del aire

Este impacto, según Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., (2004), se genera principalmente por la operación y tránsito vehicular que diariamente se desplaza al interior de la estación de servicio, y zonas cercanas, así mismo se

presenta contaminación por emisión de gases generados por la combustión de hidrocarburos en la operación los vehículos, los gases generados por la combustión de hidrocarburos, corresponden a óxidos de nitrógeno, óxidos de carbono y ozono.

6.3.4. Afectación de suelos y aguas subterráneas y superficiales.

Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., (2004) asegura que un derrame de hidrocarburos altera la calidad física, química y bacteriológica del agua, los cuales inducen la presencia de contaminantes y alta carga orgánica en el medio. El derrame hacia cuerpos de agua no solo representa un problema para las corrientes naturales, sino que puede traer problemas para los cuerpos de agua y alcantarillado de la ciudad si no se toman medidas correctivas y preventivas a tiempo. Es un impacto de naturaleza negativa con vulnerabilidad severa.

6.3.5. Pérdida de flora y fauna

Se refleja en la remoción gradual y acumulada que el hombre hace actualmente sobre el componente biótico, en especial el relacionado con la cobertura vegetal, causando la pérdida de la misma y daños de los individuos arbóreos acabando igualmente con la avifauna y meso fauna presente en el lugar (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., 2004).

6.4. Métodos de estudio existentes para detectar derivados del petróleo en muestras de suelo.

Arce *et al.* (2004) afirma que a la fecha, existen cuatro clases importantes para detectar derivados del petróleo en muestras de suelo:

- Extracción por reflujo (Soxhlet)
- Extracción agitación-centrifugación
- Fraccionamiento de hidrocarburos
- Espectrómetro infrarrojo portátil.

Estos cuatro métodos según Arce *et al.* (2004), son los principales y más utilizados en el mundo. Los tres primeros se caracterizan por ser procesos complejos que se llevan a cabo en laboratorios con condiciones estrictas de temperaturas y solventes específicos para la disolución y separación de hidrocarburos de una muestra de suelo determinada.

El último método denominado Espectrómetro infrarrojo portátil es una nueva tecnología implementada en Australia en donde dicho equipo realiza muestras instantáneas de suelo y detecta la presencia de derivados del petróleo por medio del espectro visible.

Es en este punto donde nace la necesidad de implementar un sistema de monitoreo

in situ que funcione por medio del análisis de un espectro de luz generado, condicionado a tener bajo costo, y fácil de manipular.

7. Procedimiento para un programa de muestreo

La investigación de un evento de contaminación por hidrocarburos, según IHOBE (1998), tiene por propósito identificar y evaluar los riesgos que implican la presencia del contaminante vertido para la salud humana y los ecosistemas. Una rápida y acertada evaluación permite determinar las medidas a adoptar para la eliminación o minimización de los riesgos. Interesa conocer la naturaleza y extensión de la contaminación e identificar tanto los receptores del riesgo como los factores locales específicos que afectan a la exposición de éstos a la contaminación en las diferentes matrices ambientales.

IHOBE (citado por Castro, 2007) expone que la recopilación de antecedentes de la fuente contaminante y el entorno a la misma, permiten tener un primer acercamiento del grado de contaminación del sitio investigado. La contaminación por hidrocarburos puede ser visible en derrames superficiales o en grandes volúmenes. Por el contrario, en derrames o fugas subterráneas o de bajo volumen no siempre es observable en el corto plazo, debido a su capacidad de infiltración en el suelo, es por esto que en la mayor parte de los casos será necesario recurrir a la toma de muestras y a su análisis para poder obtener resultados concluyentes acerca de la concentración y distribución de los hidrocarburos en las diferentes matrices ambientales.

7.1.Elementos de un programa de muestreo

Un diseño de muestreo, según Castro (2007), debe considerar tres elementos básicos; (1) la localización de los puntos de muestreo; (2) el número de puntos de muestreo y (3) el número de muestras en cada punto de muestreo. Dichos elementos se definirán de acuerdo a los objetivos de la investigación y a la información disponible, siempre siguiendo la norma de máxima fiabilidad a mínimo coste.

7.1.1. Localización de puntos de muestreo

Castro (2007) afirma que la localización de los puntos de muestreo se apoya fundamentalmente en la información previa obtenida del sitio a caracterizar, que permita establecer las hipótesis correspondientes relativas a la distribución tanto horizontal como vertical de la contaminación.

La delimitación del área de muestreo debe cubrir la fuente de contaminación y las posibles vías de transporte que puedan utilizar los contaminantes para su dispersión. El radio de alcance puede variar desde unos cientos de metros, derrames puntuales de bajo volumen, a varios kilómetros en caso de una ruptura de un ducto de conducción de hidrocarburos. El relieve tiene un rol fundamental

sobre la velocidad y volumen de los contaminantes dispersados. (Castro, 2007).

Los muestreos de hidrocarburos, en general, según SERMANAT (2003), son del tipo dirigido, es decir, un muestreo que se lleva a cabo sobre puntos específicamente determinados, cuando se cuenta con información previa del sitio, se conoce el producto derramado y es evidente la extensión de la afectación, su aplicación está basada en el criterio de un profesional sobre la base observaciones visuales en terreno y conocimiento de la sustancia vertida. Varela (2007) afirma que la utilización de muestreos estadísticos es raramente utilizada en el seguimiento de la contaminación por hidrocarburos. En la mayoría de los casos los derrames de hidrocarburos en el medio ambiente son identificables por simple observación visual o ensayo organoléptico. La dificultad surge cuando parte del derrame ha infiltrado en el terreno y contaminado un acuífero.

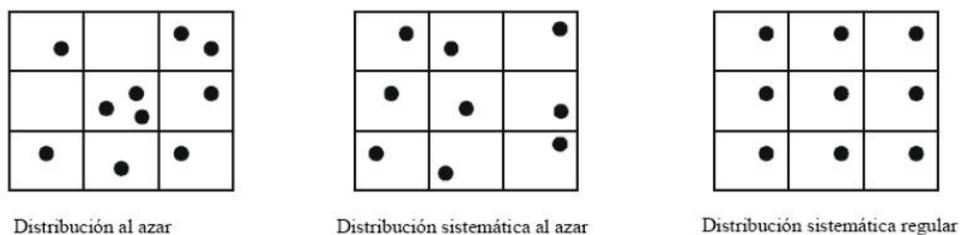


Figura 2. Modelo de distribución de puntos de muestreo. (Varela, 2007).

7.1.2. Número de puntos de muestreo

El número de puntos de muestreo, según Castro (2007), está determinado fundamentalmente por el objetivo o alcance de la investigación. La exactitud necesaria en la caracterización de la contaminación es el factor más influyente en la delimitación del número de puntos de muestreo. Otro factor a considerar es la información disponible sobre la distribución de la contaminación en el área de estudio (homogénea o heterogénea), es decir, la representatividad de cada punto de muestreo con respecto al área total.

7.1.3. Número de muestras por punto de muestreo

El número de muestras es directamente proporcional al área del estudio. En la mayoría de los casos, según Castro (2007), la localización de los puntos de muestreo se realiza en dos dimensiones, considerando una dispersión superficial del contaminante.

Cuando el programa de muestreo incluye muestras en tres dimensiones o profundidad para el estudio de suelos, el número de muestras por punto de muestreo podrá corresponder en algunos casos más de una muestra, tomadas en la misma vertical a distintas profundidades, en caso de existir o interesar esta estratificación.

La probabilidad de detectar una contaminación de en un sitio contaminado depende de tres factores fundamentales:

- a) El número de muestras tomadas.
- b) La superficie estimada del área contaminada.
- c) El área total del emplazamiento investigado.

Para aumentar esta probabilidad se recomienda dirigir los esfuerzos hacia la realización de una recopilación previa de información exhaustiva en lugar de aumentar el número de puntos de muestreo, ya que de esta forma será posible una mejor delimitación del área de estudio.

8. Espectrómetro, diseño y programación

La espectrometría se realiza por medio del análisis del espectro de luz generado por un movimiento ondulatorio; este último representara la variable independiente medida en nanómetros (nm) y la variable dependiente se medirá por medio de la intensidad de cada color dentro del espectro generalmente en porcentaje.

El estudio buscará demostrar que algunas muestras expuestas a un haz de luz, presentan picos altos o una intensidad mayor en determinado color del espectro y seguido, si la prueba es positiva, dar la posibilidad de diferenciar un derivado del petróleo de otro.

8.1. Espectrómetro

Según James, (2007), el espectrómetro, espectrofotómetro o espectrógrafo, es un aparato capaz de analizar el espectro de frecuencias característico de un movimiento ondulatorio. Se aplica a diferentes instrumentos que operan sobre un amplio campo de longitudes de onda.

Un espectrómetro óptico o espectroscopio, es un instrumento que sirve para medir las propiedades de la luz en una determinada porción del espectro electromagnético. La variable que se mide generalmente es la intensidad luminosa, pero se puede medir también, por ejemplo, el estado de polarización electromagnética. La variable independiente suele ser la longitud de onda de la luz, generalmente expresada en submúltiplos del metro, aunque algunas veces pueda ser expresada en cualquier unidad directamente proporcional a la energía del fotón, como la frecuencia o el electrón-voltio que mantienen una relación inversa con la longitud de onda. Se utilizan espectrómetros en espectroscopia para producir líneas espectrales y medir sus longitudes de onda e intensidades. (James, 2007).

8.2. Espectro de luz visible

Thomas, (2005) afirma que se llama espectro visible a la región del espectro

electromagnético que el ojo humano es capaz de percibir. A la radiación electromagnética en este rango de longitudes de onda se le llama luz visible o simplemente luz. No hay límites exactos en el espectro visible: un típico ojo humano responderá a longitudes de onda de 400 a 700 nm, aunque algunas personas pueden ser capaces de percibir longitudes de onda desde 380 hasta 780 nm.

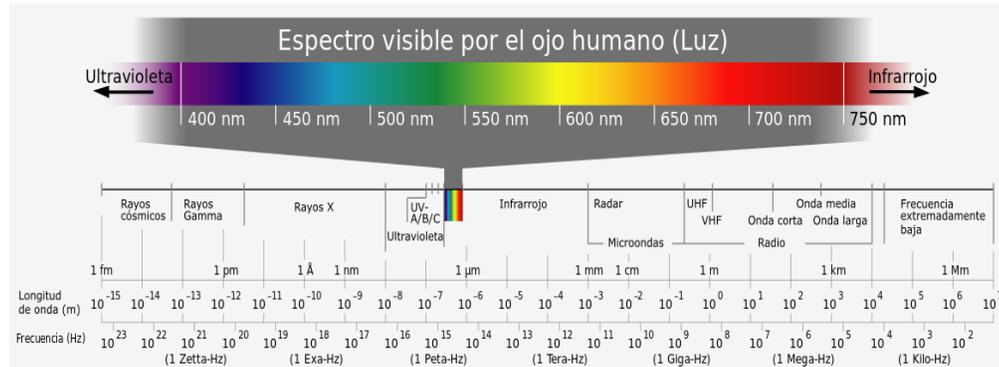


Figura 3. Espectro visible por el ojo humano. (Thomas, 2005).

8.3. Líneas de Fraunhofer

En espectrometría, González, (2006) afirma que es la ciencia que combina la física y óptica, las líneas de Fraunhofer son un conjunto de líneas espectrales nombradas en honor al físico alemán Joseph von Fraunhofer (1787-1826) que fue el primero que las estudió. Las líneas se observaron originalmente como bandas oscuras en el espectro solar.

El químico inglés William Hyde Wollaston fue la primera persona, en 1802, en observar la aparición de una cierta cantidad de bandas oscuras en el espectro solar. En 1814, Fraunhofer redescubrió las líneas de forma independiente y comenzó un estudio sistemático y medición cuidadosa de la longitud de onda de estas bandas. En total, describió alrededor de 570 líneas y asignó a las bandas principales las letras de la A a la K, y a las más delgadas con otras letras.

Más adelante, Kirchhoff y Bunsen descubrieron que cada elemento químico tenía asociado un conjunto de líneas espectrales, y dedujeron que las bandas oscuras en el espectro solar las causaban los elementos de las capas más externas del Sol mediante absorción. Algunas de las bandas observadas también las causan las moléculas de oxígeno de la atmósfera terrestre. (González, 2006).



Figura 4. Clasificación de las líneas de Fraunhofer. (González, 2006).

Dentro de la clasificación resaltada en la imagen anterior, podemos encontrar los siguientes elementos químicos con su determinada longitud de onda:

- 1. Calcio a 431nm
- 2. Hidrogeno beta (alto contenido energético) a 486nm
- 3. Hierro a 527nm
- 4. Sodio a 589nm
- 5. Hidrogeno alfa (bajo contenido energético) a 656nm. (González, 2006)

8.4. Diseño y construcción del espectrómetro

El diseño y construcción del espectrómetro se realizó de manera que se caracterizara principalmente por su bajo costo. A continuación se detallan los materiales utilizados para su construcción y el acabado final del mismo.

8.4.1. Materiales

Los materiales utilizados para la construcción del espectrómetro, fueron escogidos dando prioridad a la cámara web, ya que se necesita una resolución alta, para capturar lo más claro posible, el espectro generado para una determinada prueba. También los recipientes de vidrio para la toma de muestras, los cuales tienen una forma cuadrada para no estropear la difracción de los colores. Por otra parte el láser debe tener una longitud de onda específica ubicada en el rango mínimo visible (405 nm), para generar los demás colores en caso de una contaminación existente.

Tabla 2.

Materiales.

Materiales	Especificaciones
Cámara web	Wide cam F100 webcam timelapse
Láser violeta	100mW, 405nm
Rejilla de difracción	DVD tradicional
Switch	Switch de dos posiciones
Caja de pilas	AAA alcalina
Recipientes	En vidrio medidas 5.3x2.8x2.8cm con tapa
Diluyente	Aceite mineral con bajo contenido de carbonos
Hisopos	Hisopos tradicionales
Prototipo	Caja de madera

- a) Cámara web: Para el desarrollo del proyecto se utilizó una cámara web Full HD 1080p Genius USB.
- b) Laser violeta: Este laser posee una longitud de onda de 405nm, ideal para el proyecto ya que es la longitud de onda visible más baja que puede captar el ojo humano.
- c) Rejilla de difracción: Se utilizó una porción de DVD ya que sus propiedades

para difractar la luz son excelentes.

- d) Switch: ideal para mantener encendido o apagado el láser ya que no viene con esa opción.
- e) Caja de pilas: Se utilizó una caja de pilas AAA, fuente de energía requerida por el láser.
- f) Recipientes de vidrio: Se utilizaron recipientes de vidrio tipo esmalte de forma cuadrada con medidas de 5.3x2.8x2.8cm con tapa.
- g) Aceite mineral: Se escogió como diluyente de las muestras de suelo este aceite debido a que es incoloro y no reactivo frente a la longitud de onda del láser.
- h) Hisopos: Utilizados para la recolección de muestras.
- i) Prototipo: se utiliza para introducir el sistema del espectrómetro y generar una oscuridad total para la calidad de las imágenes.

8.4.2. Ensamble del espectrómetro

En la imagen del montaje a continuación se puede apreciar que la cámara y la rejilla de difracción, deben quedar a 45° de inclinación con respecto al haz de luz del láser y el espacio adecuado para colocar las muestras.

Por otra parte todo el sistema se pintó de color negro para no generar un espectro borroso.



Figura 5. Montaje final del espectrómetro.

8.5. Diseño del software para el sistema de monitoreo

El software para llevar a cabo la captura del espectro visible de las muestras y

generar con claridad la gráfica de Intensidad (%) vs Longitud de onda (nm), se realizó en MATLAB . La función detallada se encuentra en el *Anexo 1* del capítulo 14.

Una vez generada la función completa para llevar a cabo el sistema de monitoreo, se puede activar la ventana interactiva.

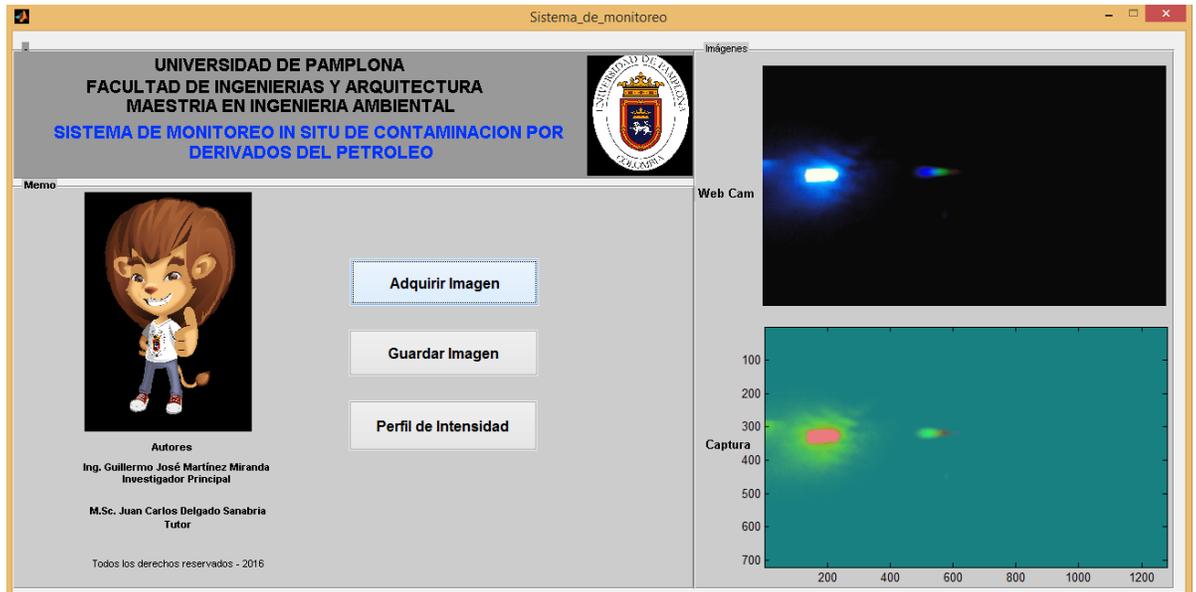


Figura 6. Ventana interactiva GUIDE en MATLAB.

8.5.1. Partes de la ventana interactiva GUIDE en MATLAB

Para entender mejor la ventana interactiva GUIDE en MATLAB creada, de detalla a continuación cada una de sus partes funcionales.

8.5.1.1. Botones (*Pushbutton1,2 y 3*)

En esta ventana interactiva aparecen tres botones en donde cada uno cumple una función diferente:

- Adquirir imagen: El programa realiza una captura de imagen con la cámara web Full HD 1080p USB.
- Guardar imagen: El programa abre la ventana guardar como para archivar la imagen en el fichero de archivos de MATLAB
- Perfil de Intensidad: El programa abre el archivo anteriormente capturado, genera una ventana con un cursor, para trazar la región donde deseamos lograr el perfil de intensidad y seguido automáticamente genera la gráfica de Intensidad vs Longitud de onda.

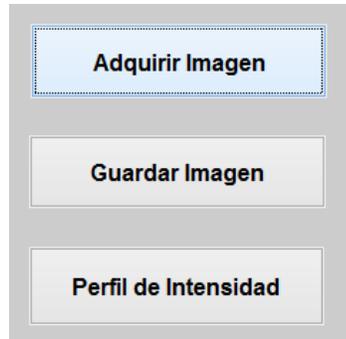


Figura 7. Botones de la ventana interactiva

8.5.1.2. Recuadro cámara web

En este recuadro ubicado en la esquina superior derecha de la ventana, se muestra la imagen en vivo de la cámara web, en formato RGB (color).



Figura 8. Recuadro cámara web.

8.5.1.3. Recuadro imagen en negativo

Este recuadro ubicado en la esquina inferior derecha, muestra la captura de la cámara web en negativo, ya que este tipo de formato genera una visión más clara del espectro generado por el haz de luz del láser.

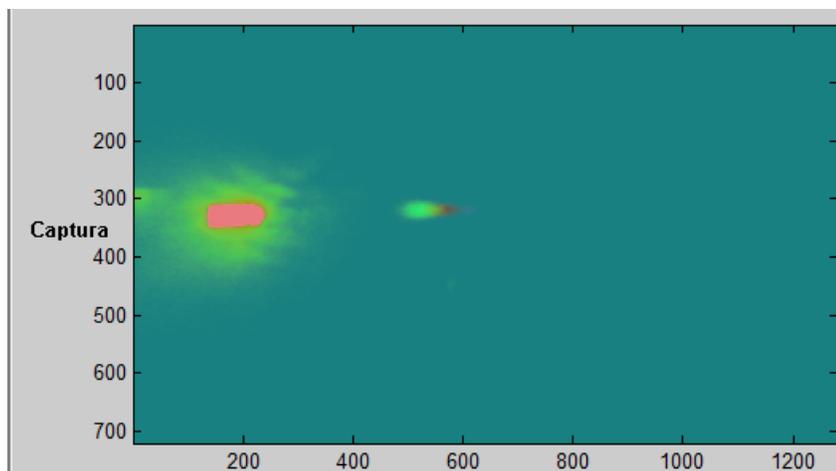


Figura 9. Recuadro imagen en negativo.

8.6. Curva de calibración

Un procedimiento analítico muy utilizado en análisis cuantitativo, según Danzer y Currie (1998) es el llamado de calibración que implica la construcción de una “curva de calibración”. Una curva de calibración es la representación gráfica de una señal que se mide en función de la concentración de un análisis. La calibración incluye la selección de un modelo para estimar los parámetros que permitan determinar la linealidad de esa curva y, en consecuencia, la capacidad de un método analítico para obtener resultados que sean directamente proporcionales a la concentración de un compuesto en una muestra, dentro de un determinado intervalo de trabajo.

Harris (2001) asegura que, por lo general, para el análisis mediante espectrofotometría, es posible preparar curvas de calibración permanentes. Esto se refiere a que una curva de calibración puede usarse con varios lotes de análisis, durante varios meses. Se prepara una nueva curva de calibración, cuando los patrones muestran un cambio en la pendiente o cuando se comienza a usar un nuevo lote de reactivos.

Las curvas de calibración pueden ser lineales y no lineales. Según Harris (2001), en la mayoría de casos, cuando la curva es lineal se aplica la Ley de Beer. Para definir la curva de calibración que mejor representa la relación entre la intensidad (I) y la concentración (C) se pueden usar cálculos de regresión lineal, planteados en la Ec. (1), de la siguiente manera:

$$\text{Dado que } I = mC + b \quad (1)$$

Donde:

I = intensidad

C = concentración

Se puede demostrar que:

$$m = \frac{n\sum IC - \sum I \sum C}{n\sum C^2 - (\sum C)^2} \quad (2)$$

$$b = \frac{\sum I}{n} - m \frac{\sum C}{n} \quad (3)$$

Donde:

m = la pendiente de la curva de calibración (también conocida como factor de calibración).

b = la intersección del valor de absorbancia o del eje y.

n = el número de observaciones (lote de valores de C y de A). (Harris, 2001).

Aunque estos cálculos pueden realizarse manualmente, Harris (2001) aconseja que resulta mucho más conveniente utilizar una computadora o una calculadora manual para elaborar el análisis de regresión.

En algunos casos, se puede corregir el blanco; entonces, de cierto modo se cambia el procedimiento analítico para utilizar solamente el factor de calibración. En otras palabras, en un lote de análisis se procesan tanto las muestras como el blanco, luego se sustrae el valor de intensidad del blanco del mismo valor de muestra. La concentración de la muestra se calcula por medio de la Ec. (4) de la siguiente manera:

$$C = \frac{I}{\text{factor de calibración}} \quad (4) \quad (\text{Harris, 2001}).$$

8.6.1. Curva de calibración para derivados del petróleo

Se consideraron 10 muestras para realizar la curva de calibración. Los recipientes tienen una capacidad volumétrica de 10ml, en donde, la muestra 10, indica 9ml de aceite mineral y 1ml de aceite lubricante usado. Seguido la muestra 9, posee 9ml de aceite mineral y 1ml de la muestra 10, la muestra 8 contiene 9ml de aceite mineral y 1ml de la muestra 9 y así sucesivamente hasta llegar a la muestra 1.



Figura 10. Muestras para la curva de calibración.

La prueba 10 representa el valor de 10^{-1} ml del reactivo en este caso el aceite lubricante usado. También se tiene en cuenta que para valores relacionados a esta muestra, tienen un grado de concentración 10 o una intensidad de 100%, así sucesivamente para la prueba 9, mostrada en la *Figura 10*, representa 10^{-2} ml y un grado de concentración 9.

Las muestras fueron analizadas en el espectrómetro, de manera que cada una de ellas representa un porcentaje o pico de intensidad correspondiente. A continuación se

muestran los valores en la gráfica de Intensidad vs longitud de onda generada por el software creado. Cabe resaltar que la muestra 10, posee la mayor concentración de contaminación y no permite generar la fluorescencia del láser; por esa razón se tomó como una intensidad del 100%.

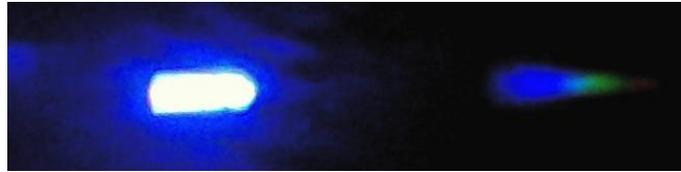


Figura 11. Espectro generado para la muestra de grado 9.



Figura 12. Gráfica Intensidad vs Longitud de onda para la muestra de grado 9.

En cuanto a la gráfica de la *Figura 12*, correspondiente a la muestra de grado 9, se puede apreciar un pico de intensidad de 100 %, con respecto a una longitud de onda, aproximadamente de 515 nm.



Figura 13. Espectro generado para la muestra de grado 8.



Figura 14. Gráfica Intensidad vs Longitud de onda para la muestra de grado 8.

En relación a la gráfica de la *Figura 14*, correspondiente a la muestra de grado 8, se puede apreciar un pico de intensidad de 78 %, con respecto a una longitud de onda, aproximadamente de 461 nm.

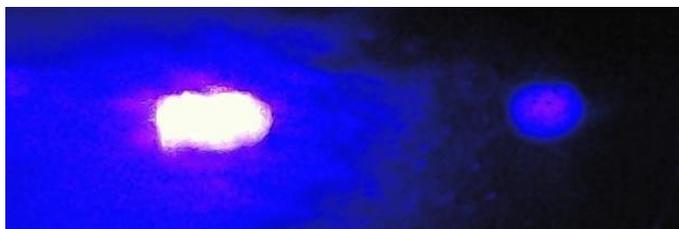


Figura 15. Espectro generado para la muestra de grado 7.



Figura 16. Gráfica Intensidad vs Longitud de onda para la muestra de grado 7.

Según la gráfica de la *Figura 16*, correspondiente a la muestra de grado 7, se puede apreciar un pico de intensidad de 71 %, con respecto a una longitud de onda, aproximadamente de 440 nm.

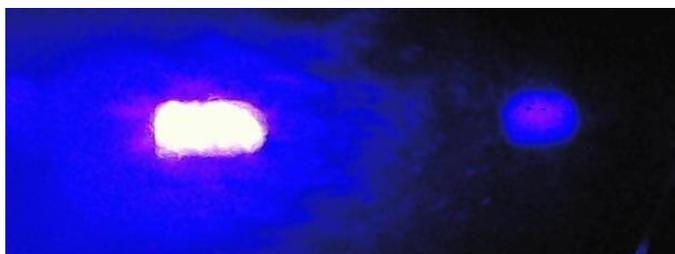


Figura 17. Espectro generado para la muestra de grado 6.



Figura 18. Gráfica Intensidad vs Longitud de onda para la muestra de grado 6.

Respecto a la gráfica de la *Figura 18*, correspondiente a la muestra de grado 6, se puede apreciar un pico de intensidad de 59 %, con respecto a una longitud de onda, aproximadamente de 455 nm.

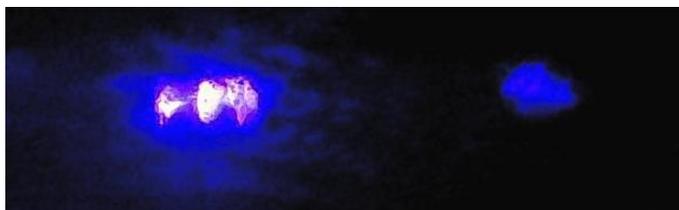


Figura 19. Espectro generado para la muestra de grado 5.



Figura 20. Gráfica Intensidad vs Longitud de onda para la muestra de grado 5.

En relación a la gráfica de la *Figura 20*, correspondiente a la muestra de grado 5, se puede apreciar un pico de intensidad de 53 %, con respecto a una longitud de onda, aproximadamente de 446 nm.



Figura 21. Espectro generado para la muestra de grado 4.



Figura 22. Gráfica Intensidad vs Longitud de onda para la muestra de grado 4.

En cuanto a la gráfica de la *Figura 22*, correspondiente a la muestra de grado 4, se puede apreciar un pico de intensidad de 45 %, con respecto a una longitud de onda, aproximadamente de 447 nm.



Figura 23. Espectro generado para la muestra de grado 3.



Figura 24. Gráfica Intensidad vs Longitud de onda para la muestra de grado 3.

Según la gráfica de la *Figura 24*, correspondiente a la muestra de grado 3, se puede apreciar un pico de intensidad de 41 %, con respecto a una longitud de onda, aproximadamente de 472 nm.



Figura 25. Espectro generado para la muestra de grado 2.



Figura 26. Gráfica Intensidad vs Longitud de onda para la muestra de grado 2.

Respecto a la gráfica de la *Figura 26*, correspondiente a la muestra de grado 2, se puede apreciar un pico de intensidad de 38 %, con respecto a una longitud de onda, aproximadamente de 444 nm.



Figura 27. Espectro generado para la muestra de grado 1.



Figura 28. Gráfica Intensidad vs Longitud de onda para la muestra de grado 1.

En cuanto a la gráfica de la *Figura 28*, correspondiente a la muestra de grado 1, se puede apreciar un pico de intensidad de 27 %, con respecto a una longitud de onda, aproximadamente de 461 nm.

Los picos de intensidad generados por cada muestra se pueden tabular para así, lograr la curva de calibración, la regresión lineal de la función y el coeficiente de correlación lineal.

Tabla 3.
Intensidad para cada uno de los grados de concentración.

Concentración	Intensidad (%)
Grado 1	0,27
Grado 2	0,38
Grado 3	0,41
Grado 4	0,45
Grado 5	0,53
Grado 6	0,59
Grado 7	0,71
Grado 8	0,78
Grado 9	1
Grado 10	1

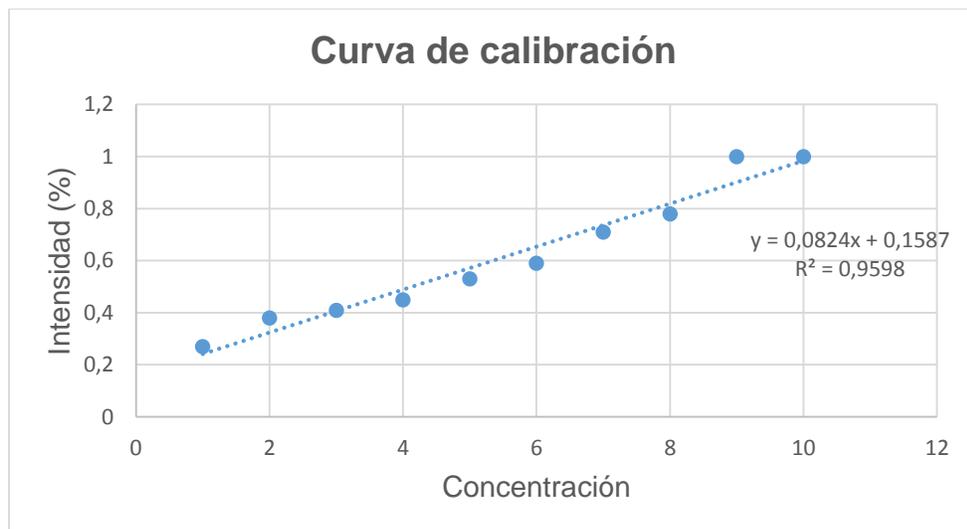


Figura 29. Gráfica curva de calibración Intensidad vs Concentración.

En la Figura 29, se puede apreciar una correlación de los datos, en mayor parte, entre los grados 4 y 8 de concentración, en donde el coeficiente tiende a 1 (0,9598), siendo este, una característica ideal del espectrómetro para la mayor exactitud posible de los resultados.

9. Metodología de ensayo rápido in situ

En vista de la problemática ambiental generada por la disposición; muchas veces inconsciente de los derivados del petróleo especialmente el aceite lubricante usado, la gasolina y el carbón, siendo estos los hidrocarburos estudiados en este informe, se planteó un ensayo in situ, estableciendo las zonas de estudio, vista satelital, la inspección del terreno como antecedente histórico del manejo inadecuado de hidrocarburos y un programa de muestreo específico en relación con cada una de las áreas escogidas.

9.1.Zonas de estudio

Para el desarrollo de este informe, se escogieron seis zonas en total, en donde cinco de ellas están localizadas en la ciudad de Pamplona y la última en la región de La Don Juana vía Pamplona-Cúcuta.

Se escogieron estas zonas debido a que muestran una contaminación visible en el suelo donde se manipulan, clasificadas dependiendo del derivado del petróleo manejado comercialmente como lo es el aceite lubricante usado, la gasolina y A.C.P.M. Por otra parte la última zona presenta residuos de carbón siendo este, otro derivado del petróleo que a pesar de no haber sido utilizado, generó resultados importantes en relación con los grados de concentración.

Estas regiones fueron clasificadas de la siguiente manera:

- Zona a. Carrera 8, Barrio Chapinero, Pamplona, venta de gasolina.
- Zona b. Carrera 8, Barrio Chapinero, Pamplona, taller de motos.
- Zona c. Carrera 8, Barrio Chapinero, Pamplona, local de venta de lubricantes.
- Zona d. Km 1 vía Bucaramanga, Pamplona, venta de gasolina.
- Zona e. Km 1 vía Pamplona-Cúcuta, Pamplona, estación de servicio Terpel.
- Zona f. La Don Juana, Mina de carbón.



Figura 30. Zona a, venta de gasolina.



Figura 31. Zona b, anden al lado de un taller de motos.



Figura 32. Zona c, anden al lado de un taller de cambio de aceite.



Figura 33. Zona d, venta de gasolina en el km 1 vía Bucaramanga.



Figura 34. Zona e, pasos abajo de la E.D.S Coopmotilon TERPEL.



Figura 35. Zona f, zona de carga de una mina de carbón en La Don Juana.

9.1.1. Vista satelital de la zona de estudio.

Reconocimiento de las zonas de estudio anteriormente mencionadas, se ubican en una vista satelital de las mismas.

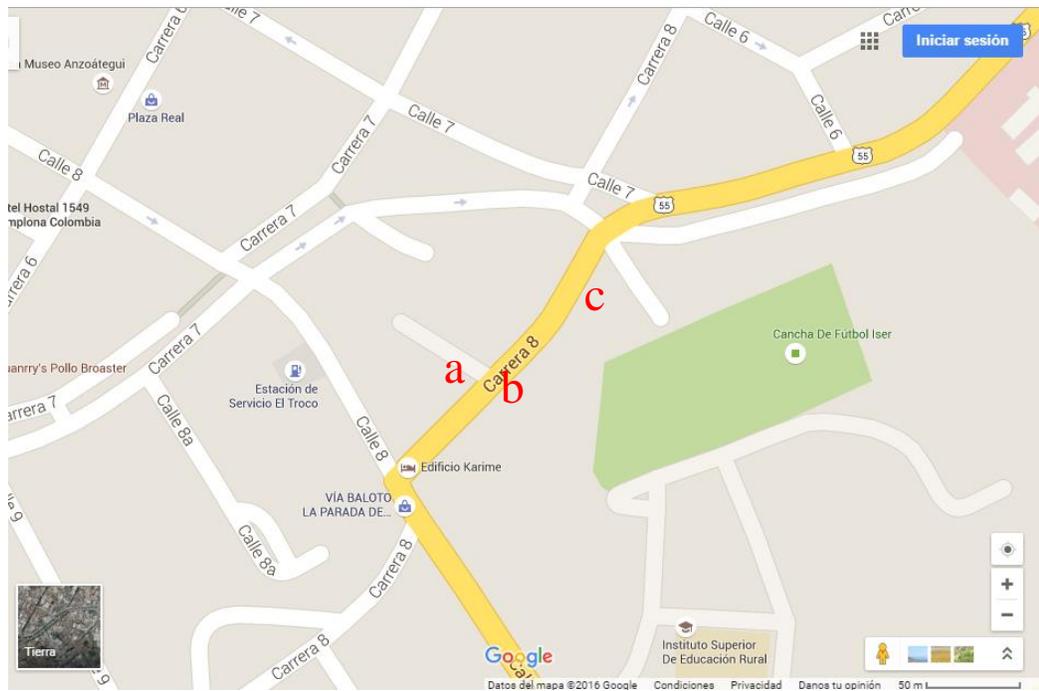


Figura 36. Zonas de estudio a, b y c. (Carrera 8, Googlemaps, (2016))

El la figura anterior podemos apreciar las primeras tres zonas de estudio entre estas:

- a) Zona a. Carrera 8, Barrio Chapinero, Pamplona, venta de gasolina.
- b) Zona b. Carrera 8, Barrio Chapinero, Pamplona, taller de motos.
- c) Zona c. Carrera 8, Barrio Chapinero, Pamplona, local de venta de lubricantes.



Figura 37. Zona de estudio d. (Vía Bucaramanga, Googlemaps, (2016))

En la *Figura 37*, se puede apreciar la ubicación de la Zona d. Km 1 vía Bucaramanga, Pamplona, venta de gasolina.



Figura 38. Zona de estudio e. (Vía Bogotá, Googlemaps, (2016))

En la imagen anterior se puede apreciar la Zona e. Km 1 vía Pamplona-Cúcuta, Pamplona, estación de servicio Terpel.

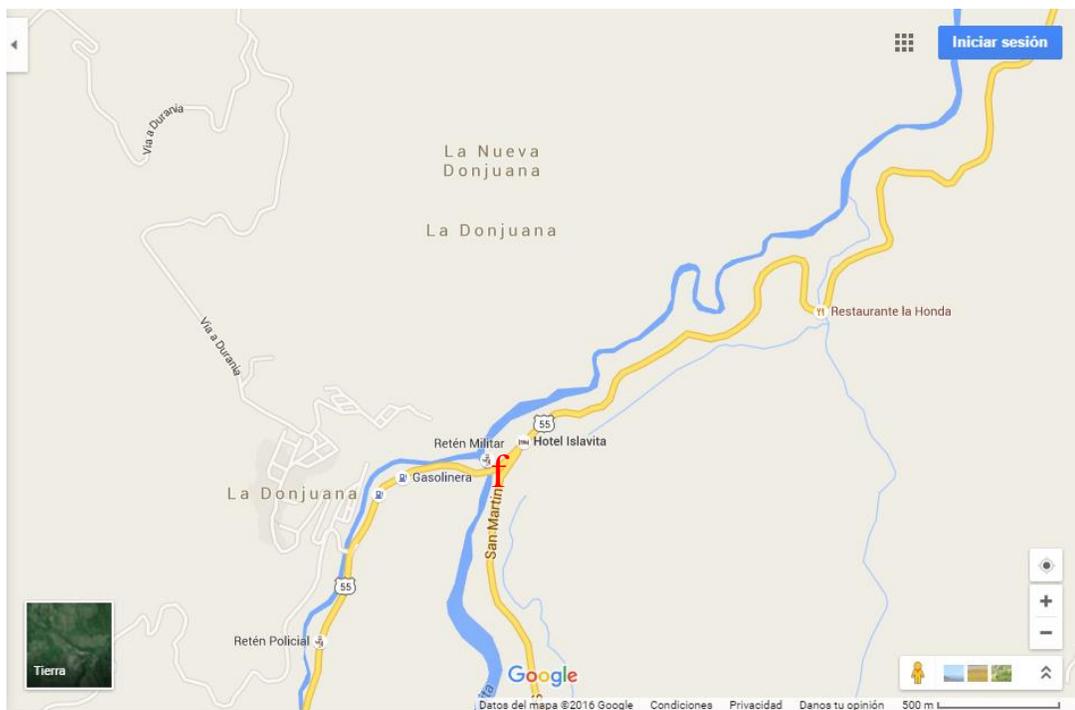


Figura 39. Zona de estudio f. (La Don Juana, Googlemaps, (2016))

En la figura anterior podemos apreciar la Zona f. La Don Juana, Mina de carbón.

9.1.2. Inspección del terreno

Se tuvo en cuenta a que se debe la mancha de hidrocarburo en el suelo ya sea por venta de gasolina, cambio de aceite lubricante en automotores o área de carga de mina de carbón por medio de tolvas.

9.1.2.1.Zona a: Carrera 8, Barrio Chapinero, Pamplona, venta de gasolina.

En este pequeño establecimiento solo se ofrece la venta de dicho hidrocarburo y a raíz de esto, al suministrarlo a los automotores o motos, se presenta el desperdicio de una mínima cantidad que cae en terreno destapado. Ahora, el desperdicio se ha hecho durante más de una década de funcionamiento del establecimiento, punto en contra del medio ambiente tanto en filtración, como en transporte de partículas metálicas nocivas para la salud por acción de la lluvia.



Figura 40. Zona a, parte trasera.

9.1.2.2.Zona b: Carrera 8, Barrio Chapinero, Pamplona, taller de motos.

Debido a que la ciudad no presenta ningún sistema de recolección de aceites lubricantes usados, se ha venido botando por más de 15 años en ese andén en función de matapolvo.



Figura 41. Zona b, contaminación visible

9.1.2.3. Zona c: Carrera 8, Barrio Chapinero, Pamplona, local de venta de lubricantes

Representa otro andén al lado de un establecimiento que ofrece cambio de aceite para automotores en donde se realiza la misma acción que en la zona b, con una intensidad más abundante.

Esta práctica en dicha zona, se viene haciendo desde principio del año en curso.



Figura 42. Zona c, cambio de aceite sin el cuidado adecuado.

9.1.2.4.Zona d: Km 1 vía Bucaramanga-Pamplona, venta de gasolina

Esta zona corresponde a los establecimientos que suministran gasolina en el Km 1 vía Bucaramanga, funcionando desde hace más de una década, en donde también, se realiza el mantenimiento de buses antiguos.

El suelo de estudio representa manchas incidentes tanto de gasolina, como de aceite lubricante usado en una considerable distancia y por esa razón, se tuvo en cuenta para un estudio con un mayor número de puntos de muestreo.



Figura 43. Zona d, manchas de aceite al borde de la carretera.

9.1.2.5.Zona e: Km 1 vía Pamplona-Cúcuta, estación de servicio Terpel.

Esta zona es la más pequeña en estudio. Contempla un espacio reducido aprovechando el relieve inclinado, para realizar pruebas en caso de que hubiese escapes de derivado del petróleo debido a lluvia, pasos debajo de la EDS. TERPEL en la vía Pamplona-Cúcuta Km 1.



Figura 44. Zona e, pasos debajo de la E.D.S.

9.1.2.6. Zona f: La Don Juana, Mina de carbón.

Esta zona en específico no es un derivado del petróleo en estado líquido como las anteriores. Se trata de la primera mina de carbón encontrada en la Don Juana, vía Cúcuta-Pamplona, siendo este uno de los casos que dan crédito al proyecto debido a la facilidad de detección de este hidrocarburo sin necesidad de haber sido quemado.



Figura 45. Zona f, residuos de carbón en la zona de carga por tolvas.

9.1.3. Programación del Muestreo

El muestreo de cada zona se hizo de acuerdo a la extensión del área estudiada

y la contaminación visible en la superficie de la misma.

9.1.3.1. Localización de los puntos de muestreo

Para todas las zonas de estudio es escogió el modelo de distribución sistemática regular, que consiste en realizar un grillado de determinada medida por unidad cuadrada y en el centro de cada punto se tomó una muestra.

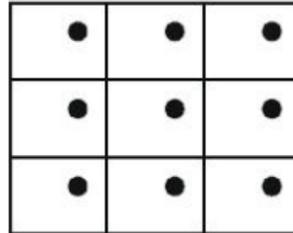


Figura 46. Distribución sistemática regular.

9.1.3.2. Número de puntos de muestreo para cada zona

Para el objetivo y alcance de la investigación se tomó el número adecuado de puntos para cada zona debido a que las áreas de estudio presentan manchas heterogéneas a simple vista, por esa razón algunas muestras representan más contaminación que otras y algunas una contaminación bastante baja.

9.1.3.2.1. Número de puntos de muestreo para la Zona a.

En la Zona A se escogieron 15 puntos de muestreo distribuidos de la siguiente manera con una separación de grillado de 1m.



Figura 47. Zona a, puntos de muestreo del 1 al 10.



Figura 48. Zona a, puntos de muestreo del 11 al 15.

9.1.3.2.2. Número de puntos de muestreo para la Zona b

Asimismo, dentro de la zona b se escogieron 10 puntos de muestreo con separación de grillado de 1m de la siguiente manera.



Figura 49. Zona b, puntos de muestreo del 1 al 10.

9.1.3.2.3. Número de puntos de muestreo para la Zona c

De la misma manera, en la Zona c, se escogieron 10 puntos de muestreo con separación de grillado de 1m de la siguiente manera.



Figura 50. Zona c, puntos de muestreo del 1 al 10.

9.1.3.2.4. Número de puntos de muestreo para la Zona d

También, en la Zona d, se escogieron 30 puntos de muestreo debido a que abarca un área más grande que las anteriores y visiblemente se puede apreciar el deterioro del suelo por manchas de hidrocarburos, con separación de grillado de la siguiente manera.



Figura 51. Zona d, puntos de muestreo del 1 al 30.

9.1.3.2.5. Número de puntos de muestreo para la Zona e

Dentro de la Zona e se tomaron solo 5 puntos de muestreo a la orilla de la carretera, pasos debajo de la EDS TERPEL, vía Pamplona-Cúcuta km 1, con una separación de grillado de 3m de la siguiente manera.



Figura 52. Zona e, puntos de muestreo del 1 al 5.

9.1.3.2.6. Número de puntos de muestreo para la Zona f

Por último, la Zona f, siendo una de las zonas más relevantes del estudio, se escogieron 50 puntos de muestreo, con una separación de grillado de 1m de la siguiente manera.

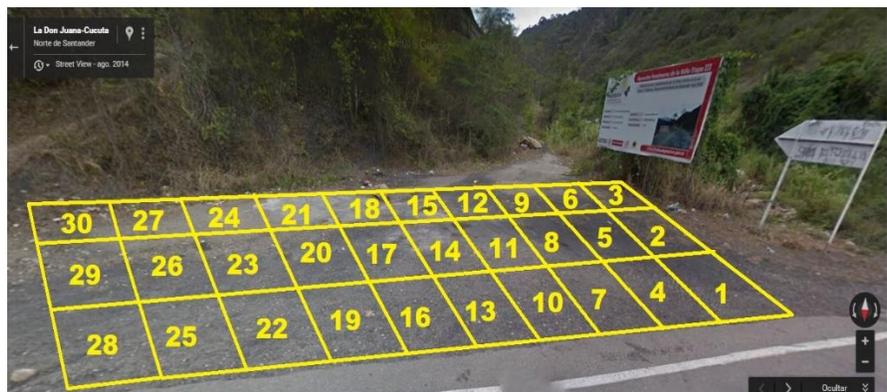


Figura 53. Zona f, puntos de muestreo del 1 al 30 (La Don Juana, Google Maps, (2016))



Figura 54. Puntos de muestreo del 31 al 50.

9.1.3.3. Número de muestras por punto de muestreo para las zonas estudiadas

El número de muestras por punto de muestreo se hizo proporcional al número de puntos de muestreo.

Los grillados fueron hechos en dos dimensiones tomando muestras de la superficie. Por esa razón se tomó una muestra por cada punto de muestreo, siendo suficiente para resultados extensos en áreas pequeñas.

9.1.4. Protocolo para el análisis de muestras

Para el análisis de las muestras, se especifican a continuación, algunos pasos ordenados de manera que se puedan obtener los mejores resultados. En relación con el capítulo 8, en primera instancia se realiza el muestreo de la zona con los debidos materiales para extraer las cantidades ideales de suelo. Seguido, las muestras se someten a un análisis de fluorescencia atómica, catalogando las muestras

contaminadas con una fluorescencia alta y por último, los pasos para el correcto funcionamiento del software creado en MATLAB, y así, generar la gráfica de Intensidad vs Longitud de onda que permite dar una crítica de la contaminación existente.

9.1.4.1. Muestreo

Las muestras se hicieron con ayuda de hisopos, en cada uno de los puntos de muestreo de cada zona, mostrados en el apartado anterior.

Para cada prueba se necesita una porción mínima de suelo ya que una cantidad considerable puede opacar el resultado y la intensidad del láser. En otras palabras el hisopo debería tomar solo algunas moronas de suelo, siendo esta cantidad, suficiente para revelar la intensidad de la contaminación.



Figura 55. Toma de una muestra con hisopos.

Teniendo la muestra de suelo podemos pasar a disolverla en aceite mineral. Este aceite fue escogido con diluyente debido a que necesitábamos un derivado del petróleo que fuese incoloro y ligero, ya que ésta clase de aceite posee bajo número de átomos de carbono (15 carbonos) en comparación con los aceites lubricantes para motor, gasolina, etc. (Marsh, (1987)).



Figura 56. Disolución de la muestra en aceite mineral

9.1.4.2. Fluorescencia

Una vez las muestras estén disueltas en aceite mineral y libres de burbujas, podemos colocarlas frente al haz de luz del láser violeta de 405nm, si la muestra tiene algo de contaminación por derivado del petróleo, generara una línea fluorescente revelada por la presencia de hierro, oxido, hidrogeno, entre otros componentes químicos dentro de la misma, siendo características naturales del aceite usado por desgaste de partes mecánicas, en las cuales, según Marsh (1987), los carbonos en número elevado para estos derivados (entre 30 y 50 átomos) se revelan al entrar en contacto con una longitud de onda cercana a la ultravioleta.

En la *Figura 57*, se muestra la reacción de las muestras frente al laser de 405nm. De izquierda a derecha: muestra de suelo contaminado, muestra con una gota de aceite lubricante usado, aceite mineral virgen.



Figura 57. Fluorescencia por contaminación.

9.1.4.3. Análisis de una muestra

Al colocar la muestra dentro del espectrómetro, activamos el Switch del láser y seguido se deben considerar una serie de pasos ya que la ventana interactiva GUIDE en MATLAB, está programada para seguir pasos lógicos con cada muestra.

9.1.4.3.1. Adquirir imagen

Una vez abierta la ventana interactiva desde MATLAB, podemos pasar al primer botón llamado Adquirir imagen, el cual capturara la imagen que se esté transmitiendo en vivo desde la web cam en el espectrómetro.



Figura 58. Botón Adquirir imagen

Dando click en este botón, la parte derecha de la ventana debería quedar de la siguiente manera en donde, el recuadro superior seguiría transmitiendo en vivo desde la web cam y el de inferior debería mostrar la captura en formato negativo con el fin de dar claridad al espectro visible e intensidad generada.

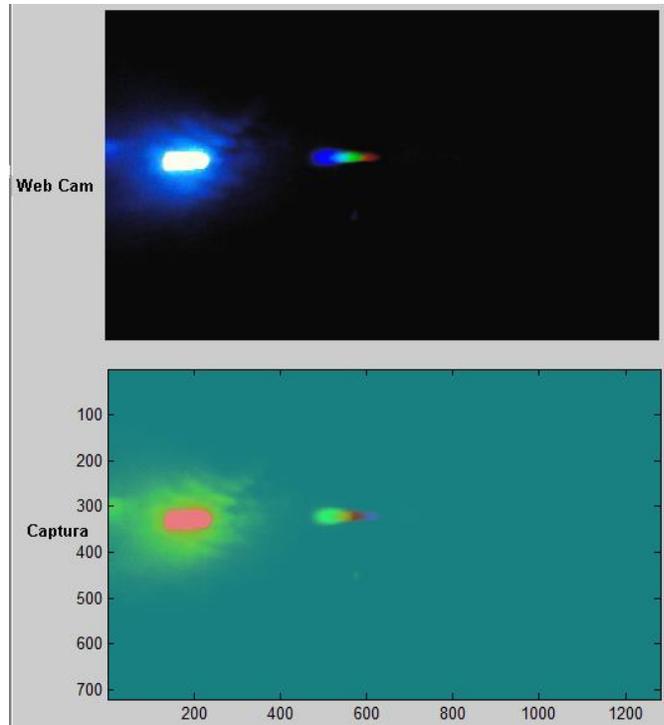


Figura 59. Recuadros Web cam y Captura.

9.1.4.3.2. Guardar imagen

Este botón tiene la función de guardar la captura anterior. Al dar click en este botón, aparecerá la ventana guardar en la pantalla.

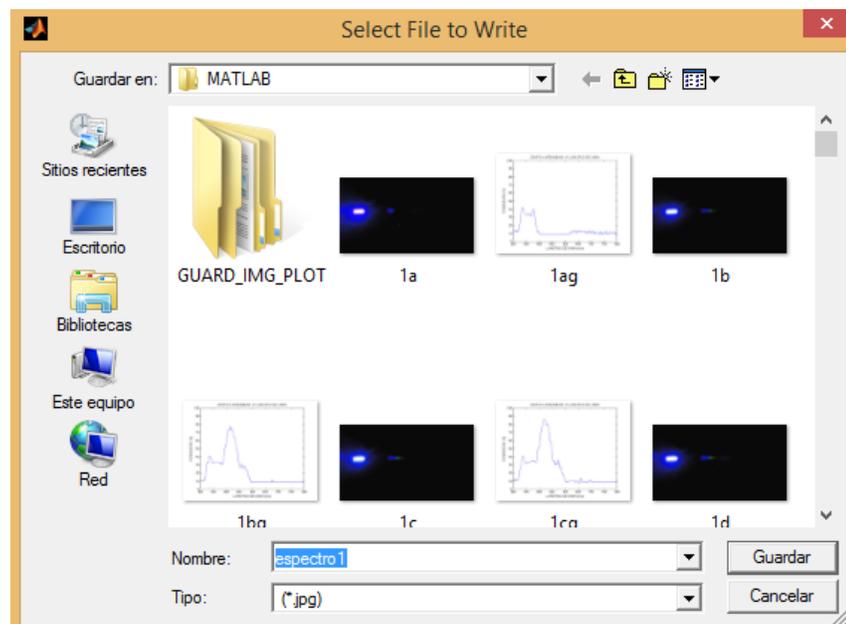


Figura 60. Ventana guardar.

Colocar un nombre cualquiera para la captura que quedara archivada en el fichero de MATLAB y el tipo de archivo seleccionar .jpg

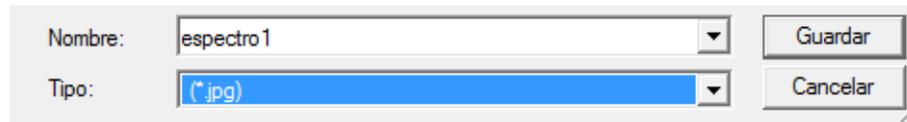


Figura 61. Nombrar un archivo en formato .jpg

Luego dar click en el botón guardar y aparecerá una ventana indicando en donde quedo guardado nuestro archivo.

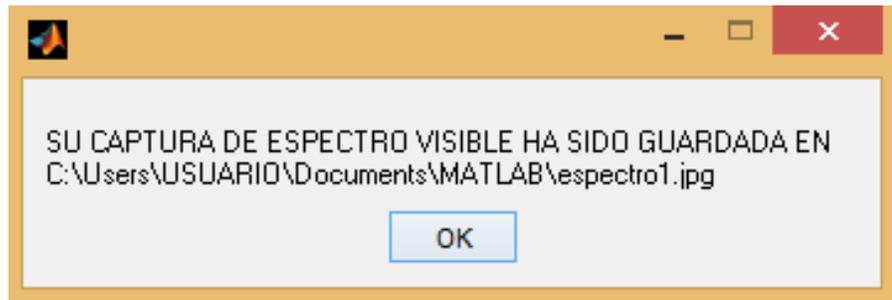


Figura 62. Dirección del archivo guardado.

Una vez guardada la imagen en el fichero de MATLAB podemos apagar el láser con el switch.

9.1.4.3.3. Perfil de intensidad

Este botón tiene la función de generar la gráfica de Intensidad vs Longitud de onda mediante otros pasos específicos. En primera instancia, dar click en el botón Perfil de intensidad, que nos dirige a la ventana abrir del fichero de archivos de MATLAB.

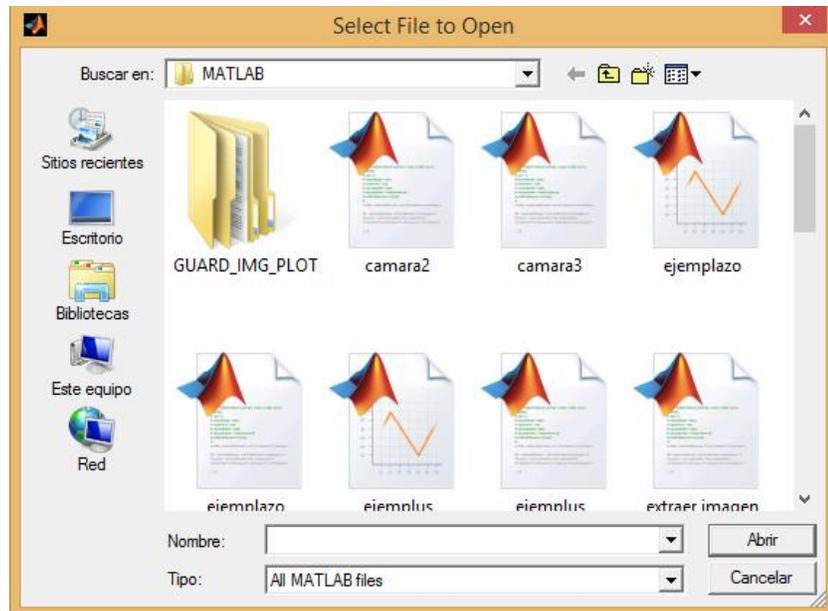


Figura 63. Ventana abrir.

Debido a que la captura la guardamos como un archivo de extensión .jpg, debemos seleccionar en Tipo, All files. Una vez encontrado el archivo lo seleccionamos y damos click en abrir.

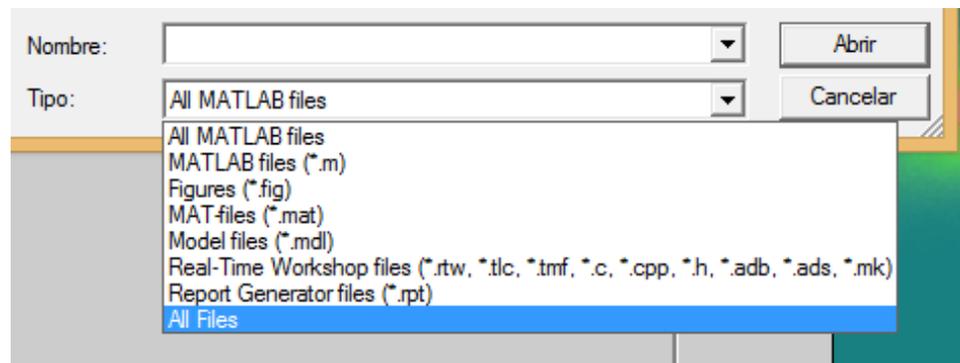


Figura 64. Abrir un determinado tipo de archivo.

En este momento MATLAB crea una matriz con valores de cada pixel de la imagen, y los convierte en escala de grises debido a que la función para hallar el perfil de intensidad en el programa no se puede llevar a cabo en formato RGB (color).

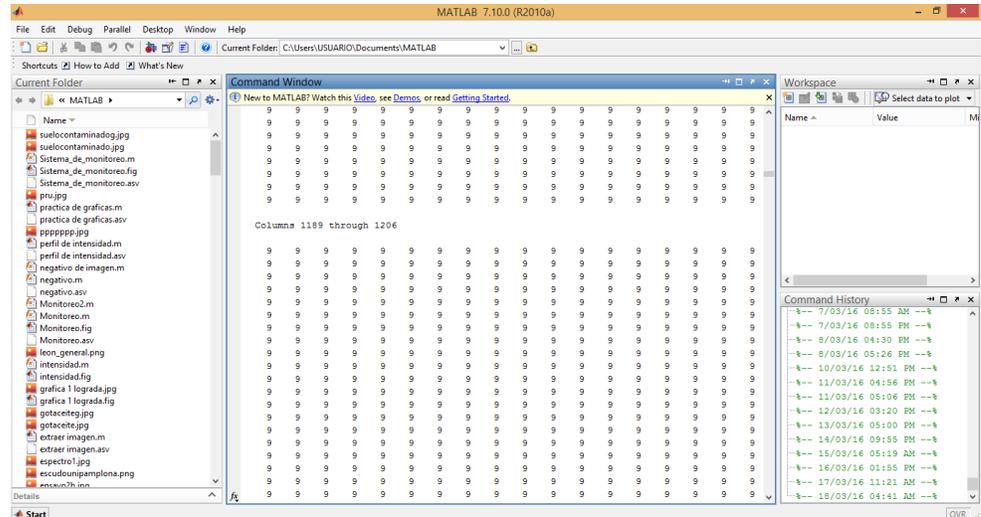


Figura 65. MATLAB crea la matriz de valores a partir de una imagen a color.

Pasados 5 segundos mientras MATLAB crea la matriz de valores numéricos, deberá aparecer en el recuadro Web Cam de la ventana interactiva, la imagen en la escala de grises y el cursor en forma de cruz.



Figura 66. Imagen en escala de grises.

Luego deberíamos trazar una línea horizontal sobre la parte clara de la imagen como se muestra en la Figura 67. Dando un click a la izquierda y doble click a la derecha para terminar.

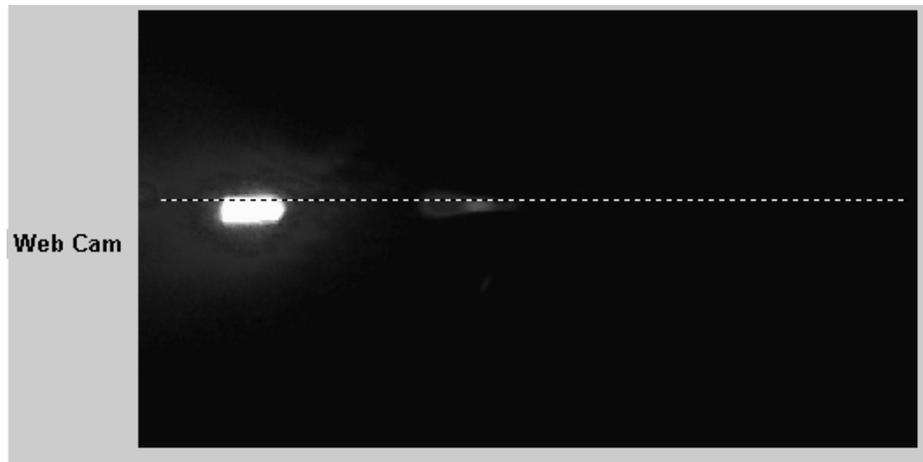


Figura 67. Línea horizontal para crear el perfil de intensidad.

Al terminar de trazar la línea y dar doble click nos debe aparecer automáticamente la gráfica de Intensidad (%) vs Longitud de onda (nm), la cual nos dará una visión clara si la muestra está contaminada con algún derivado del petróleo. Si queremos guardarla damos click en file, save.

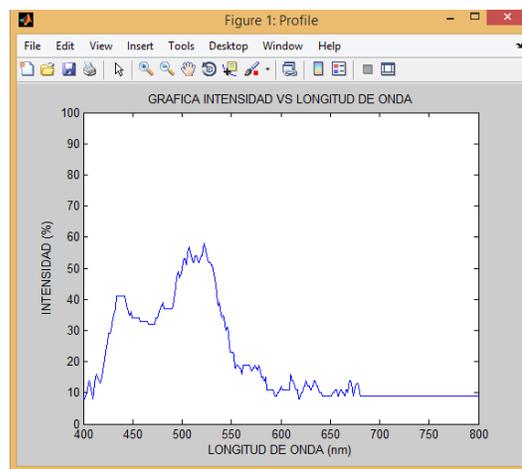


Figura 68. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda.

10. Resultados y análisis

10.1. Aplicación del método para evaluar el grado de contaminación ambiental en diferentes lugares de Pamplona.

La guía metodológica generada para lograr los resultados que se plantearon en el capítulo 9, ha logrado una visión clara de la contaminación en las seis zonas de estudio, en donde unas presentan mayor concentración de derivados del petróleo que otras, considerando que cada establecimiento o región estudiada tiene diferentes costumbres de los operarios o residentes involucrados en la contaminación.

Según las gráficas arrojadas por el software creado, en base a los grados de concentración de la curva de calibración, se puede representar la incidencia de un derrame de algún derivado del petróleo, calculando la concentración a partir de la Ec. (4), tomando como factor de calibración el valor de m en la Ec. (5), (0,0824) y la intensidad será el valor pico de intensidad para cada una de las muestras.

$$y = 0,0824x + 0,1587 \quad (5)$$

Asimismo, para el resultado de la regresión lineal, se realizó el ajuste de los grados de concentración con respecto a la Ec. (5), para las zonas de estudio.

Tabla 4.
Ajuste de grados de concentración con respecto al porcentaje.

Intensidad (%)	Grados de concentración
0	0
10	1,21
20	2,42
30	3,64
40	4,85
50	6,06
60	7,28
70	8,49
80	9,71
90	10,92
100	12,13

En relación a la Tabla 4, se muestran los resultados para cuatro muestras como referencia, las cuales son: aceite mineral, suelo sin contaminación, muestra con suelo contaminado y muestra con una gota de aceite lubricante usado. Del mismo modo, se realizó un análisis comparativo para dos zonas relevantes, entre estas: La zona d, Km 1 vía Bucaramanga, Pamplona, venta de gasolina, ya que presenta la mayor contaminación entre todos los casos de estudio y la zona e, Km 1 vía Pamplona-Cúcuta, estación de servicio Terpel, la cual presentó una contaminación nula.

10.2. Muestras de referencia

10.2.1. Aceite mineral

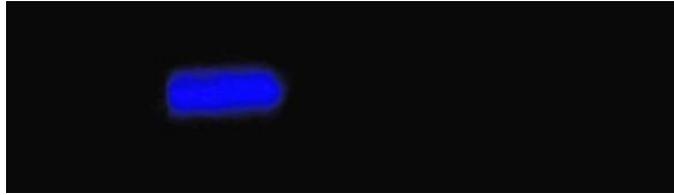


Figura 69. Espectro generado para el aceite mineral



Figura 70. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para el aceite mineral

Aplicando la Ec (4) y sustituyendo el valor del pico de intensidad, se tiene:

$$I = 0$$

$$B = 0,0824$$

$$C = \frac{0}{0,0824} = 0$$

En relación con la gráfica de la *Figura 70*, se puede apreciar que no existe un pico de intensidad. En relación con la intensidad generada por la muestra de aceite mineral y aplicando la Ec. (4), el valor de la concentración de derivado del petróleo presente en la muestra es de 0, clasificada dentro de los grados 0 y 1 como una concentración nula.

10.2.2. Suelo sin contaminación

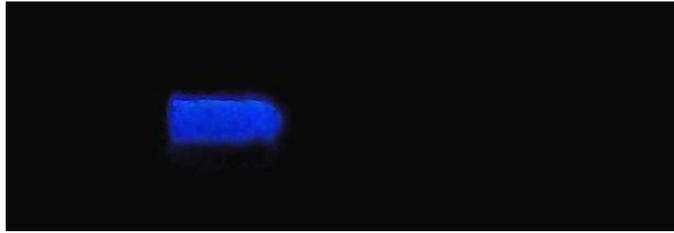


Figura 71. Espectro generado para suelo sin contaminación.



Figura 72. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para suelo sin contaminación.

Aplicando la Ec (4) y sustituyendo el valor del pico de intensidad, se tiene:

$$I = 0$$

$$B = 0,0824$$

$$C = \frac{0}{0,0824} = 0$$

Respecto a la gráfica de la *Figura 72*, se puede apreciar que no existe un pico de intensidad. En relación con la intensidad generada por la muestra de suelo sin contaminación, y aplicando la Ec. (4), el valor de la concentración de derivado del petróleo presente en la muestra es de 0, clasificada dentro de los grados 0 y 1 como una concentración nula.

10.2.3. Muestra de suelo contaminado

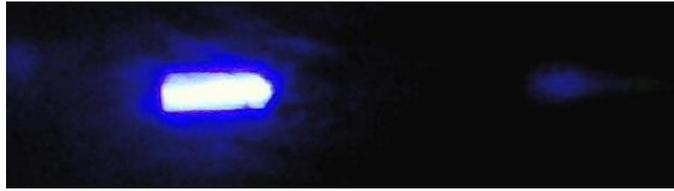


Figura 73. Espectro generado para una muestra de suelo contaminado.



Figura 74. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para una muestra de suelo contaminado.

Aplicando la Ec (4) y sustituyendo el valor del pico de intensidad, se tiene:

$$I = 0,40$$

$$B = 0,0824$$

$$C = \frac{0,40}{0,0824} = 4,85$$

En cuanto a la gráfica de la *Figura 74*, se puede apreciar un pico de intensidad de 40 %, con respecto a una longitud de onda de aproximadamente 455 nm. En relación con la intensidad generada por la muestra de suelo contaminado, y aplicando la Ec. (4), el valor de la concentración de derivado del petróleo presente en la muestra es de 4,85, clasificada dentro de los grados 4 y 5.

10.2.4. Muestra con una gota de aceite lubricante usado



Figura 75. Espectro generado para una muestra con una gota de aceite lubricante usado.



Figura 76. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para una muestra con una gota de aceite lubricante usado.

Aplicando la Ec (4) y sustituyendo el valor del pico de intensidad, se tiene:

$$I = 0,56$$

$$B = 0,0824$$

$$C = \frac{0,56}{0,0824} = 6,83$$

Según la gráfica de la Figura 76, se puede apreciar un pico de intensidad de 56 %, con respecto a una longitud de onda de aproximadamente 510 nm. En relación con la intensidad generada por la muestra con una gota de aceite lubricante usado, y aplicando la Ec. (4), el valor de la concentración de derivado del petróleo presente en la muestra es de 6,83, clasificada dentro de los grados 6 y 7.

10.2.5. Caracterización de los grados de concentración

Dentro de los resultados de cada zona, se presenta un análisis para la muestra más relevante y una discusión general para todas las zonas de estudio, clasificando los grados de concentración entre 0 y 4 (verde), como una concentración baja, entre 4,01 y 8 (amarillo), como una concentración media y entre 8,01 y 12 (rojo) como una concentración alta de derivado del petróleo presente en la muestra.

10.3. Resultados de la Zona d, Km 1 vía Bucaramanga-Pamplona, venta de gasolina

Respecto a la Zona d, se consideraron 30 puntos de muestreo, siendo un área afectada, más grande que las anteriores. Las pruebas más relevantes fueron las muestras 26d, 27d y 28d. Para mostrar un resultado preciso, se presenta a continuación, la muestra 26d en la *Figura 77*. Las gráficas de Intensidad vs Longitud de onda de las muestras restantes de la zona, se pueden encontrar en los Anexos 72 al 129 del capítulo 14.



Figura 77. Espectro generado para la prueba 26d.



Figura 78. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 26d.

Aplicando la Ec (4) y sustituyendo el valor del pico de intensidad, se tiene:

$$I = 1$$

$$B = 0,0824$$

$$C = \frac{1}{0,0824} = 12,13$$

En cuanto a la gráfica de la *Figura 78*, se puede apreciar un pico de intensidad total de 100 %, con respecto a un rango de longitud de onda aproximadamente entre 510 y 525 nm. En relación con la intensidad generada por la muestra 26d, y aplicando la Ec. (4), el valor de la concentración de derivado del petróleo presente en la muestra es de 12,13, clasificada como una concentración plenamente alta.

10.3.1. Concentración de derivados del petróleo en la zona d

Igualmente, en la Zona d, se hallaron los grados de concentración para cada una de las muestras en la *Tabla 5*, con el fin de dar claridad a la incidencia de la contaminación existente, mostrada en la *Figura 79*, la cual tiene la distribución de muestreo planteada en el capítulo 10.

Tabla 5.

Grado de concentración para las muestras de la Zona d.

Muestra	Intensidad (%)	Grado de concentración	Muestra	Intensidad (%)	Grado de concentración
1	89	10,8	16	41	4,97
2	72	8,73	17	50	6,06
3	43	5,21	18	49	5,94
4	70	8,49	19	57	6,91
5	46	5,58	20	41	4,97
6	50	6,06	21	46	5,58
7	75	9,1	22	43	5,21
8	59	7,16	23	52	6,31
9	76	9,22	24	95	11,52
10	82	9,95	25	65	7,88
11	64	7,76	26	100	12,13
12	69	8,37	27	100	12,13
13	58	7,03	28	100	12,13
14	53	6,43	29	88	10,67
15	54	6,55	30	86	10,43

		11,52	6,91	6,43	9,22	8,49			
		7,88	4,97	6,55	9,95	5,58			
		12,13	5,58	4,97	7,76	6,06			
		12,13	5,21	6,06	8,37	9,1			
10,43	10,67	12,13	6,31	5,94	7,03	7,16	5,21	8,73	10,8

Figura 79. Grados de concentración, Zona d.

La zona d, arrojó 13 muestras con una concentración alta en contaminación de derivados del petróleo, con grados mayores a 8,37. Estas muestras de contaminación alta, están relacionadas en la parte derecha de la *Figura 79*, con el canal de la carretera donde seguramente, se deshacen del cambio de aceite automotor, ya que el suelo a simple vista, se ve oscuro y manchado con lubricante usado. En la región donde se encuentran las muestras 4d, 7d, 9d, 10d y 12d, pertenecen al lugar donde se realiza el cambio de aceite lubricante y mantenimiento a buses antiguos, indicando que no se están tomando medidas de prevención para derrames. En la región izquierda donde se encuentran las muestras de la 24d a la 30d, pertenecen al pie de un establecimiento dedicado a la venta de gasolina y A.C.P.M, en donde la recepción y suministro de los hidrocarburos que se manipulan, no son controlados a la hora de un derrame.

Las 17 muestras restantes, pertenecen a los grados de concentración media, registrando valores desde 4,97 hasta 7,88. A pesar de registrar grados intermedios, es claro concluir, que la contaminación existente en la zona d, es la más alta entre todas las zonas de estudio, caracterizada por el descuido que tienen los operarios y la falta de control por entidades ambientales. También se puede decir que es una zona, que por ubicación y relieve, tiene una pendiente y es un factor positivo a la hora de filtrarse cada derivado del petróleo en las superficies.

10.4. Resultados de la Zona e, Km 1 vía Pamplona-Cúcuta, estación de servicio Terpel

En ésta zona solo se consideraron 5 puntos de muestreo, con el fin de averiguar, si algunos pasos abajo de la E.D.S. Coopmotilon TERPEL, se encontraban residuos de derivados del petróleo. Todas las muestras registraron un grado de concentración nulo o igual a 0. A continuación, a manera de ejemplo, la muestra 1e. Las gráficas de Intensidad vs Longitud de onda de las muestras restantes de la zona, se pueden encontrar en los Anexos 130 al 137 del capítulo 14.

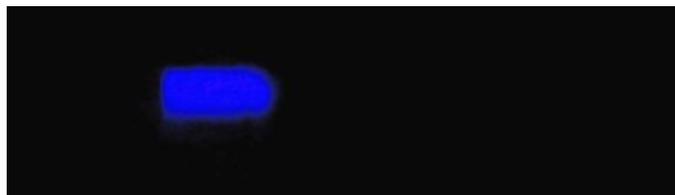


Figura 80. Espectro generado para la prueba 1e.



Figura 81. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 1e.

Aplicando la Ec (4) y sustituyendo el valor del pico de intensidad, se tiene:

$$I = 0$$

$$B = 0,0824$$

$$C = \frac{0}{0,0824} = 0$$

Según la gráfica de la *Figura 81*, se puede apreciar un pico de intensidad nulo de 0%. En relación con la intensidad generada por la muestra 1e, y aplicando la Ec. (4), el valor de la concentración de derivado del petróleo presente en la muestra es de 0, clasificada como una concentración plenamente nula.

10.4.1. Concentración de derivados del petróleo en la zona e

Además, dentro de la Zona e, se hallaron los grados de concentración para cada una de las muestras en la Tabla 6, con el fin de dar claridad a la incidencia de la contaminación existente, mostrada en la *Figura 82*, la cual tiene la distribución de muestreo planteada en el capítulo 10.

Tabla 6.
Grado de concentración para las muestras de la Zona e.

Muestra	Intensidad (%)	Grado de concentración
1	0	0
2	0	0
3	0	0
4	0	0
5	0	0

0
0
0
0
0

Figura 82. Grados de concentración, Zona e.

En ésta zona, en relación con la *Figura 82*, se presenta una contaminación nula, en la cual, no se reportó ningún grado de concentración para las muestras realizadas. Queda claro que empresas como TERPEL, llevan a cabo sus programas medioambientales y están comprometidos con implementaciones que garanticen una notable huella verde.

10.5. Análisis comparativo

En relación con las dos zonas comparadas, la contaminación por derivados del petróleo es evidente donde no existen entidades medioambientales, al tanto del debido uso y suministro de estos hidrocarburos.

TERPEL es una empresa perfilada como una de las grandes distribuidoras de derivados del petróleo, para el funcionamiento de automotores en Suramérica y cuenta con planes medioambientales para prevención de desastres y huella de carbono; sus empleados reciben capacitaciones regulares para atender a sus clientes y prevenir escapes de hidrocarburos al ser manipulados; en otras palabras, se preocupan por tener todo bajo control para no generar daños ambientales.

Por otra parte, los establecimientos “pimpineros”, no cuentan con un conocimiento básico de daño ambiental. Estas personas al recibir, almacenar y distribuir los derivados del petróleo que manipulan, no tienen ningún cuidado en caso de derramar al suelo, no porque deseen afectarlo, sino porque no tienen idea de qué tan perjudicial puede serlo para el medio ambiente y la salud humana.

Las entidades medioambientales del departamento, no llevan a cabo programas de capacitación, para que estas personas adquieran conocimiento y prevención frente a esta problemática, ya que en caso contrario, no sucedería. Por otro lado, si se presentara un derrame extenso, las entidades ambientales son las primeras en llegar, para llevar a cabo un proceso penal al establecimiento involucrado.

La zona d, ubicada en el Km 1 vía Bucaramanga-Pamplona, en donde se vende gasolina, A.C.P.M, y se realiza el cambio de aceite lubricante a buses antiguos, representa claramente, el desconocimiento por parte de los operarios del establecimiento frente a la contaminación de derivados del petróleo, registrando grados de concentración altos y medios en toda el área en donde prestan sus servicios.

A manera de ejemplo, la zona e, ubicada en el Km 1 vía Pamplona-Cúcuta, pasos abajo de la estación de servicio TERPEL, registró un grado de contaminación nulo en todas las muestras realizadas, a pesar de ofrecer servicios como cambio de aceite lubricante, reparación de automotores, suministro de gasolina y A.C.P.M y lavado de autos, buses y camiones. Esta empresa demuestra claramente que el compromiso con el medio ambiente, se puede llevar a cabo y así, lograr la estabilidad ambiental de la región.

11. Conclusiones

El sistema de monitoreo in-situ de contaminación por derivados del petróleo, permitió obtener resultados eficientes que dieron una visión clara de los contaminantes que existían en cada muestra de suelo y la intensidad con la que pueden intervenir en la destrucción del medio ambiente. Cabe resaltar específicamente el logro de cada uno de los objetivos trazados para este informe.

- La construcción del equipo, generó resultados claros, con respecto a las imágenes de espectros visibles capturados y su calibración es óptima para las muestras que contienen derivados del petróleo.
- Se creó un programa en MATLAB que permite procesar las imágenes de espectros capturados desde una web cam, para lograr una visión clara en gráficas de Intensidad vs Longitud de onda.
- La curva de calibración planteada, aportó credibilidad a los resultados, especificando en que grados de concentración se puede encontrar una muestra determinada con respecto al porcentaje de intensidad que arroja el software creado, teniendo como características óptimas, la exactitud y alcance del mismo, logrando detectar concentraciones de grado 1 (0,000000001 ml de derivado del petróleo presente en una muestra).
- Se presentó una metodología con una serie de pasos sencillos que permiten determinar la concentración de las muestras analizadas.
- Para la toma de muestras se optó por el muestreo de distribución sistemática regular, ya que se pretende abarcar zonas extensas.
- Se demuestra que con la metodología y software propuestos, se puede llegar a diferenciar las zonas afectadas por contaminación, determinando los grados de concentración, como se muestra para el estudio en la zona d, quien tiene intensidades mayores al 60%.
- Se obtuvo un sistema de monitoreo in situ, con el cual se pudo evaluar de manera inmediata, el estado de contaminación de zonas expuestas a derivados del petróleo, presentándose como una prueba rápida de inspección.
- Por último, todas las zonas y muestras pudieron ser analizadas y concluidas con el sistema de monitoreo in-situ de contaminación por derivados del petróleo como una novedosa opción en ésta región en la que se presenta el desecho inconsciente de estos hidrocarburos, en relación con el deterioro ambiental y las enfermedades que se pueden estar produciendo.

12. Recomendaciones

Para los vendedores de gasolina:

Se debe tener cuidado en la recolección, disposición y salida de este derivado del petróleo ya que con derrames mínimos durante todo el tiempo que ha estado vigente cada establecimiento (10 años), se pueden generar impactos ambientales negativos y enfermedades cardiovasculares a largo plazo.

Para los establecimientos que prestan el servicio de cambio de aceite:

Se debe buscar algún cliente que necesite esta materia prima para trabajar, como por ejemplo la industria de templado de aceros y metalúrgica en general utilizan este aceite usado para los hornos de fundición.

En caso contrario hay un establecimiento de reciclaje de aceites usados en la ciudad de Bucaramanga llamado CRUDESAN S.A. que puede tener la posibilidad de recolectar todo el aceite lubricante si es un volumen moderado o de todos los establecimientos de la ciudad.

Para las minas de carbón:

Se debe tener cuidado en la descarga por tolvas a las volquetas de transporte de la materia prima, debido a que, al saltar moronas al suelo se está generando una contaminación que seguramente no se cree ofensiva con el medio ambiente. Por otra parte las volquetas deben realizar mantenimientos de platón con respecto a sus cerraduras, en donde la idea principal es cerrar herméticamente el mismo y cubrir con manta en la parte superior para que el material particulado del carbón no se disperse sobre el hábitat natural.

13. Referencias

- Alcaldía mayor de Bogotá D.C., (2004). Protocolo Distrital de Primera Respuesta a Incidentes por Derrame y/o Fuga de Hidrocarburos. Colombia, Comité Operativo Distrital De Prevención Y Atención De Emergencias, Bogotá D.C., 28P.
- Arce O. J.M., Rodríguez V. R., Rojas A. N.G. 2004. Identification of recalcitrant hydrocarbons present in a drilling waste-polluted soil. *J Environ Sci & Health Part A*, 39 (6): 1535-1545.
- Carrera 8, Pamplona, (10 de Enero de 2016), Escala indeterminada, Martínez, G., Colombia. Google Maps. Recuperado de <https://www.google.it/maps/@7.3730166,-72.6469248,18z>
- Castelblanco, I. Niño, J. (2011). Manejo y tratamiento actual de residuos aceitosos en la industria petrolera colombiana, Universidad Industrial de Santander, Facultad de ingeniería Fisicoquímicas, Escuela de Ingeniería de Petróleos, Bucaramanga, 177P.
- Castro, G. (2007), Informe final diseño monitoreo frente derrames de hidrocarburos, Gobierno de Chile, 148P.
- Danzer, K. Currie, L. (1998) “Guidelines for calibration in analytical chemistry Part I. Fundamentals and single component calibration”, *IUPAC Pure & Appl. Chem*, Vol.70, No.4, pp.993-1014.
- Equipos y Laboratorio de Colombia S.A.S. (2015). Química nueva técnica para detectar hidrocarburos del petróleo. Recuperado de <http://www.amazings.com/ciencia/noticias>.
- González, G.;Wesley, J. (2006). El planeta privilegiado: Cómo nuestro lugar en el cosmos está diseñado para el descubrimiento. Palabra. ISBN 9788482399898. Consultado el 15 de diciembre de 2015.
- Harris, D. (2001) “Análisis Químico Cuantitativo”, 2ª edición. Editorial Reverte, España.
- IHOBE, (1998). Guía Metodológica para la Investigación de la Contaminación del Suelo. España, Gobierno Vasco,. Departamento de Ordenación del Territorio, Vivienda y Medio Ambiente. Sociedad de Gestión Ambiental S.A., Vol 1-3.
- James, J, (2007), Spectrograph Design Fundamentals, Cambridge University Press Editorial, Reino Unido.
- Ke L., Wong T., Wong Y. y Tam N. (2002). Fate of polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) contamination in a mangrove swamp in Hong Kong following an oil spill. *Mar. Pollut. Bull.* 45, 339-347.
- Kingston, P.F. 2002. Long-term Environmental Impact of Oil Spills. *Spill Science & Technology Bulletin* 7, 53-61.
- La Don Juana, Vía Pamplona-Cúcuta, (10 de Febrero de 2016), Escala indeterminada, Martínez, G., Colombia. Google Maps. Recuperado de <https://www.google.it/maps/@7.6935551,-72.6019013,15z>

- López, J., Qunitero, G., Jaimes, D., (2006). Bioremediación de suelos contaminados por hidrocarburos derivados del petróleo, Universidad de la Salle, Programa de ciencia básicas, Cundinamarca, Colombia, 9 pg.
- Maldonado, J., Ramón, J., Romero, L., (2007). Manejo de la contaminación con petróleo crudo en el acueducto de Cúcuta, Revista ambiental Agua, Aire y Suelo, Universidad de Pamplona, Facultad de Ingenierías y Arquitectura, Programa de Ingeniería Ambiental, Pamplona, Norte de Santander, Colombia, 9 pg.
- Marsh, E. (1987) Recommended Reference Materials for the Realization of Physicochemical Properties (Blackwell Scientific Publications, Oxford).
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y desarrollo territorial, (2006). Manual Técnico para el manejo de aceites lubricantes usados, Convenio 063 de 2005, Gobierno de Colombia, 86P.
- Ministerio del interior, (1999), Decreto 321 de 1999, Por el cual se adopta el Plan Nacional de Contingencia contra derrames de Hidrocarburos, Derivados y Sustancias Nocivas, Colombia, 8P.
- Olguín, E. (2007). Contaminación de manglares por hidrocarburos y estrategias de Bioremediación, fitorremediación y restauración, INECOL, Unidad de Biotecnología Ambiental, Instituto de Ecología, Veracruz, México, 16 pg.
- Reeves G. (2005). Understanding and monitoring hydrocarbons in water. Oakville, Ontario, Canada: Arjay Engineering LTD.
- Sánchez, C. (2006). Manual De Intoxicaciones: Intoxicación Por Hidrocarburos. Publicaciones del Grupo de Trabajo de Intoxicaciones. Barcelona, España, Capitulo 15, 1-3P.
- SERMANAT, (2003), NOM-138-SERMANAT/SS-2003. Límites Permisibles de Hidrocarburos en Suelos as Especificaciones para su Caracterización y Remediación. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, 4-10P.
- Tam N.Y., Wong W.Y.T. y Wong Y.S. (2005). A case study on fuel oil contamination in a mangrove swamp in Hong Kong. Mar. Pollut. Bull. 51, 1092-1100 Thompson I., van der Gast C., Ciric L. y Singer A.
- Thomas, J. (2005) Bruno, Paris D. N. Svoronos. CRC Handbook of Fundamental Spectroscopic Correlation Charts. CRC Press.
- Varela, G. (2007). Informe final diseño monitoreo frente derrames de hidrocarburos. Gobierno de Chile, Quillota. 148P.
- Vía Bogotá, Pamplona, (20 de Enero de 2016), Escala indeterminada, Martínez, G., Colombia. Google Maps. Recuperado de <https://www.google.it/maps/@7.3752564,-72.6405305,17z>
- Vía Bucaramanga, Pamplona, (30 de Enero de 2016), Escala indeterminada, Martínez, G., Colombia. Google Maps. Recuperado de <https://www.google.it/maps/@7.3848962,-72.6474774,18z>

14. Anexos

Anexo 1. Función GUIDE creada en MATLAB.

```
function varargout = Sistema_de_monitoreo(varargin)
% SISTEMA_DE_MONITOREO M-file for Sistema_de_monitoreo.fig
%     SISTEMA_DE_MONITOREO, by itself, creates a new SISTEMA_DE_MONITOREO or
raises the existing
%     singleton*.
%
%     H = SISTEMA_DE_MONITOREO returns the handle to a new
SISTEMA_DE_MONITOREO or the handle to
%     the existing singleton*.
%
%     SISTEMA_DE_MONITOREO('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...) calls
the local
%     function named CALLBACK in SISTEMA_DE_MONITOREO.M with the given input
arguments.
%
%     SISTEMA_DE_MONITOREO('Property','Value',...) creates a new
SISTEMA_DE_MONITOREO or raises the
%     existing singleton*. Starting from the left, property value pairs are
applied to the GUI before Sistema_de_monitoreo_OpeningFcn gets called.
An
%     unrecognized property name or invalid value makes property application
%     stop. All inputs are passed to Sistema_de_monitoreo_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 Sistema_de_monitoreo

% Last Modified by GUIDE v2.5 26-Feb-2016 21:39:35

% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',  gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @Sistema_de_monitoreo_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn',  @Sistema_de_monitoreo_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn',  [], ...
                  'gui_Callback',   []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

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

```

% --- Executes just before Sistema_de_monitoreo is made visible.
function Sistema_de_monitoreo_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 Sistema_de_monitoreo (see VARARGIN)
a=imread('leon_general.png');
a=uint8(a);
Img=image(a, 'Parent', handles.axes4);
set(handles.axes4, 'Visible', 'off', 'Ydir', 'reverse', ...
    'XLim', get(Img, 'XData'), 'YLim', get(Img, 'Ydata'));
b=imread('escudounipamplona.png');
b=uint8(b);
Img=image(b, 'Parent', handles.axes3);
set(handles.axes3, 'Visible', 'off', 'Ydir', 'reverse', ...
    'XLim', get(Img, 'XData'), 'YLim', get(Img, 'Ydata'));
% capturas
handles.output = hObject;
handles.rgb = [];
handles.noback = [];
guidata(hObject, handles);
try
    handles.video = videoinput('winvideo',2, 'YUY2_1280x720');
    guidata(hObject, handles);
    vidRes = get(handles.video, 'VideoResolution');
    nBands = get(handles.video, 'NumberOfBands');
    hImage = image(zeros(vidRes(2), vidRes(1), nBands), 'Parent', ...
        handles.axes1);
    preview(handles.video ,hImage);
catch
    msgbox('CONECTE LA CAMARA GENIUS FULL HD 1080P')
end
% Choose default command line output for Sistema_de_monitoreo
handles.output = hObject;

% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

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

% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = Sistema_de_monitoreo_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;

```

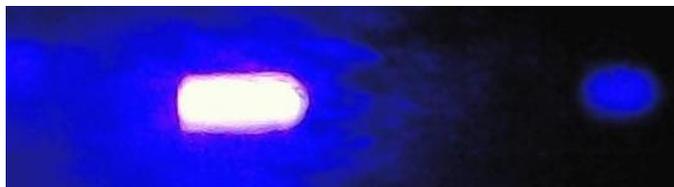
```

% --- Executes on button press in pushbutton1.
function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)
handles.img = getsnapshot(handles.video);
guidata(hObject, handles);
image(handles.img, 'Parent', handles.axes2);
axes(handles.axes1)
axis off
% hObject    handle to pushbutton1 (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 pushbutton2.
function pushbutton2_Callback(hObject, eventdata, handles)
rgb = getimage(handles.axes1);
if isempty(rgb)
    return
end
%guardar como un archivo .jpg
tipoArchivo = '*.jpg';
[f,p] =uiputfile(tipoArchivo);
if f==0
    return
end
NombreArchivo = fullfile(p,f);
imwrite(rgb,NombreArchivo);
msgbox(['SU CAPTURA DE ESPECTRO VISIBLE HA SIDO GUARDADA EN '
NombreArchivo]);
% hObject    handle to pushbutton2 (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 pushbutton3.
function pushbutton3_Callback(hObject, eventdata, handles)
imgen = imread(uigetfile(' '))
imgen_gray=rgb2gray(imgen)
imshow(imgen_gray)
improfile
figure(1), title ('GRAFICA INTENSIDAD VS LONGITUD DE ONDA'), xlabel('LONGITUD
DE ONDA (nm)'), ylabel('INTENSIDAD (%)'), axis([400,800,0,100])
% 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)

```



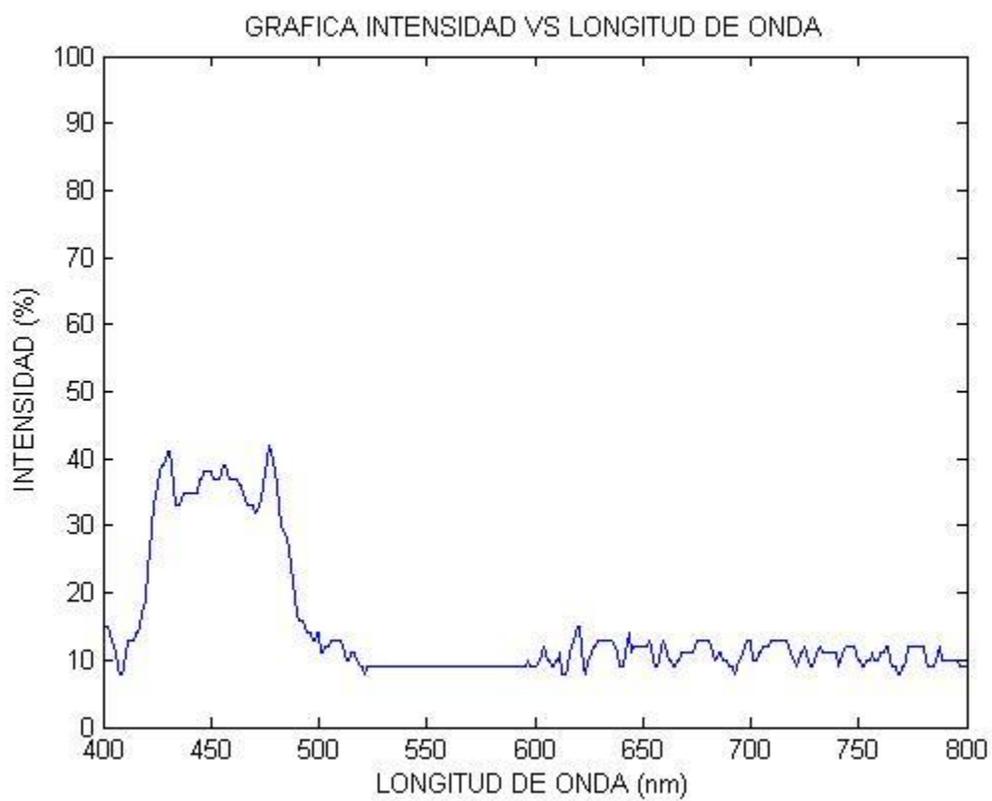
Anexo 2. Espectro generado para la prueba 1a.



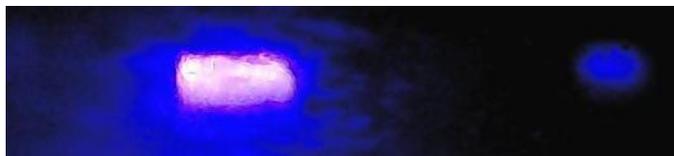
Anexo 3. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 1a.



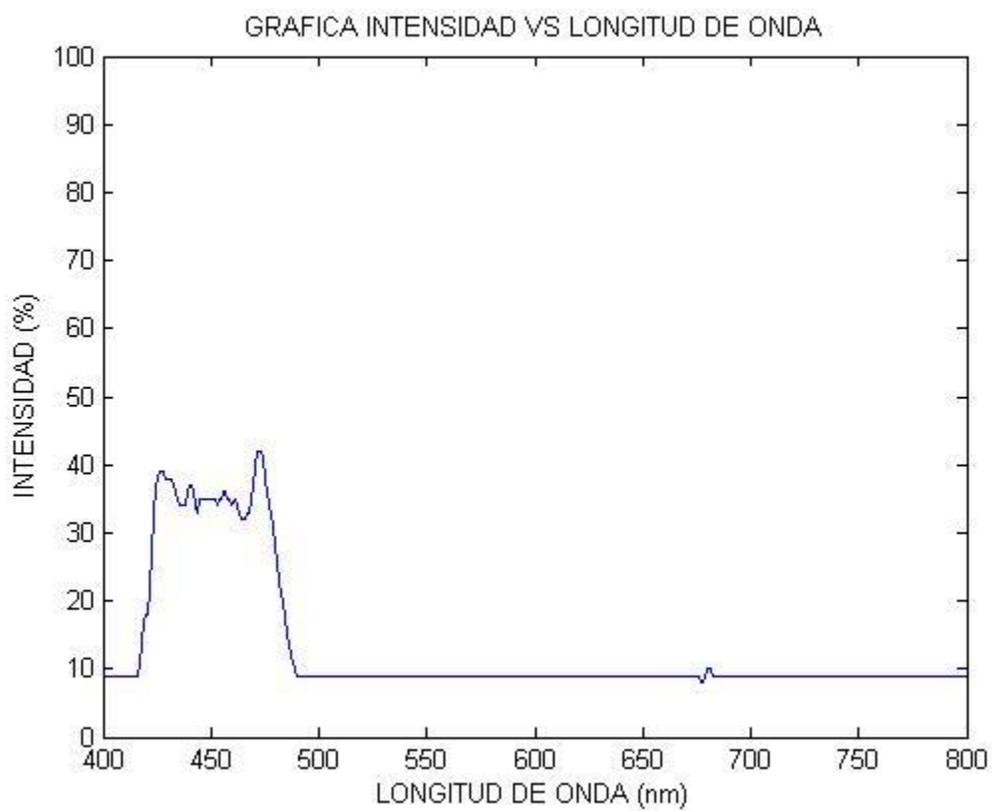
Anexo 4. Espectro generado para la prueba 2a.



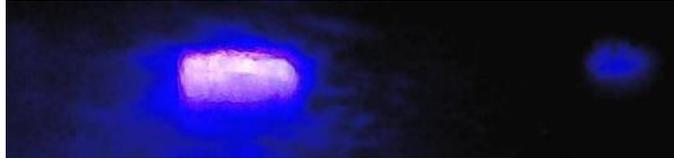
Anexo 5. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 2a.



Anexo 6. Espectro generado para la prueba 3a.



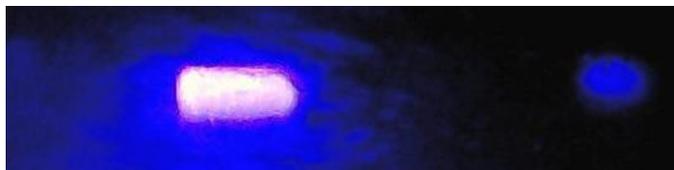
Anexo 7. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 3a.



Anexo 8. Espectro generado para la prueba 4a.



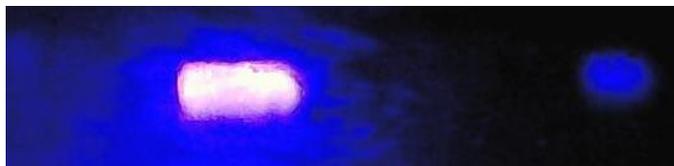
Anexo 9. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 4a.



Anexo 10. Espectro generado para la prueba 5a.



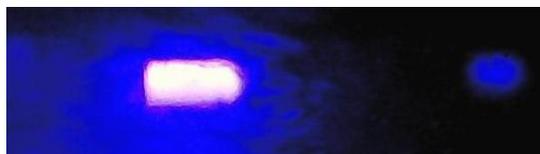
Anexo 11. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 5a.



Anexo 12. Espectro generado para la prueba 6a.



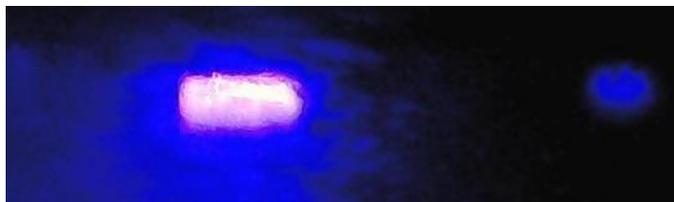
Anexo 13. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 6a.



Anexo 14. Espectro generado para la prueba 7a.



Anexo 15. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 7a.



Anexo 16. Espectro generado para la prueba 8a.



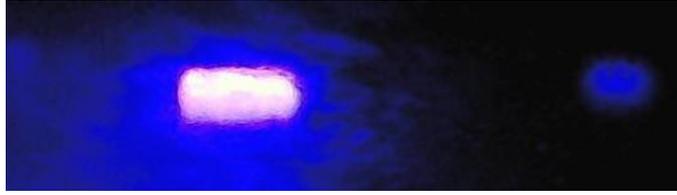
Anexo 17. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 8a.



Anexo 18. Espectro generado para la prueba 9a.



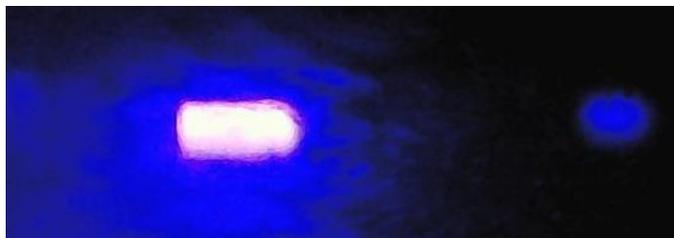
Anexo 19. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 9a.



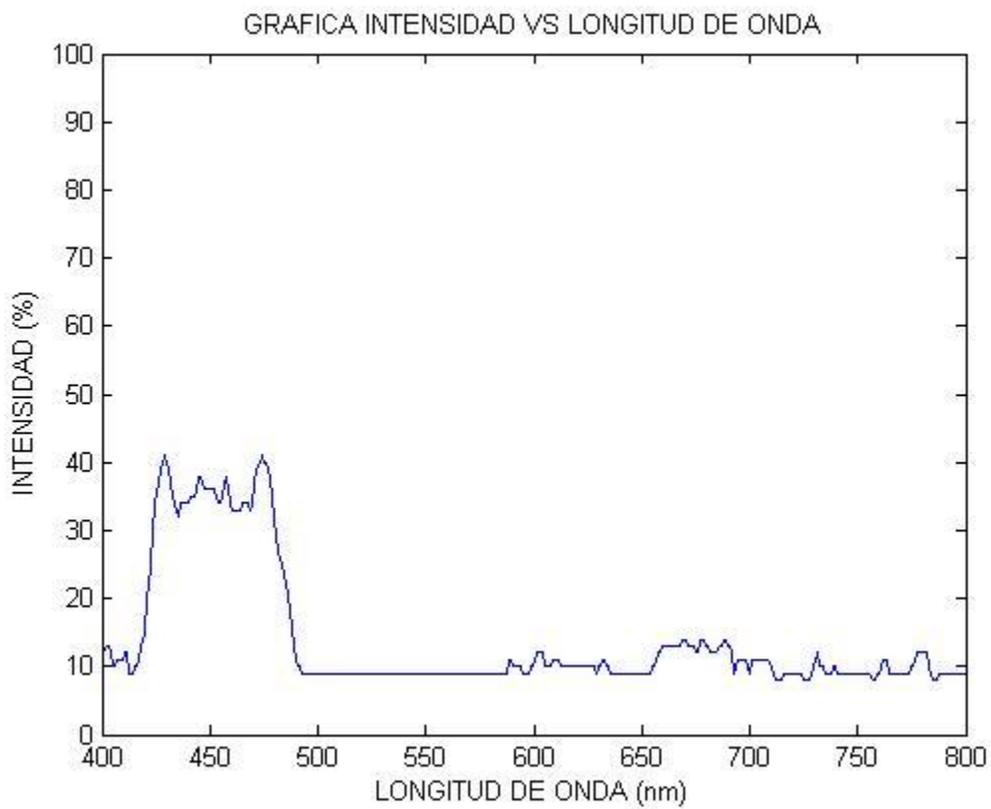
Anexo 20. Espectro generado para la prueba 10a.



Anexo 21. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 10a.



Anexo 22. Espectro generado para la prueba 11a.



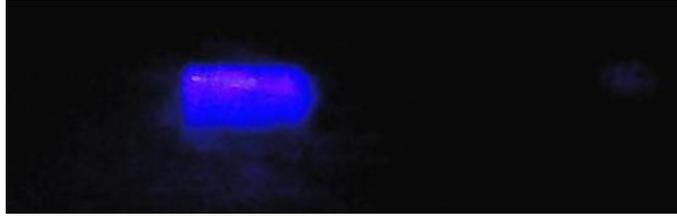
Anexo 23. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 11a.



Anexo 24. Espectro generado para la prueba 12a.



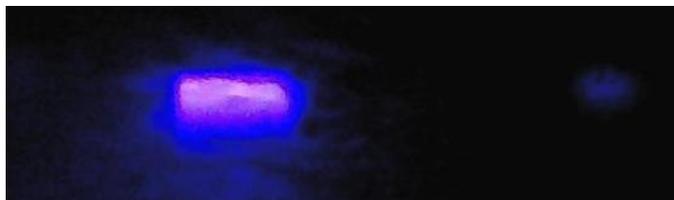
Anexo 25. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 12a.



Anexo 26. Espectro generado para la prueba 13a.



Anexo 27. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 13a.



Anexo 28. Espectro generado para la prueba 14a.



Anexo 29. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 14a.



Anexo 30. Espectro generado para la prueba 15a.



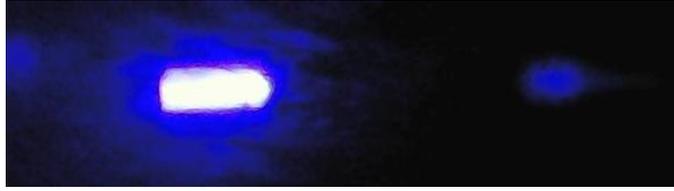
Anexo 31. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 15a.



Anexo 32. Espectro generado para la prueba 1b.



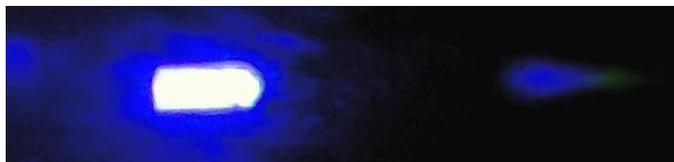
Anexo 33. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 1b.



Anexo 34. Espectro generado para la prueba 2b.



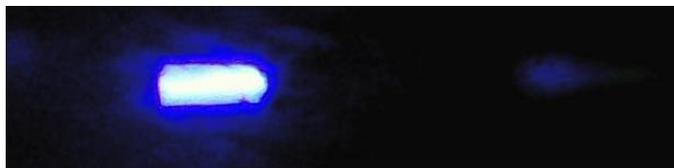
Anexo 35. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 2b.



Anexo 36. Espectro generado para la prueba 3b.



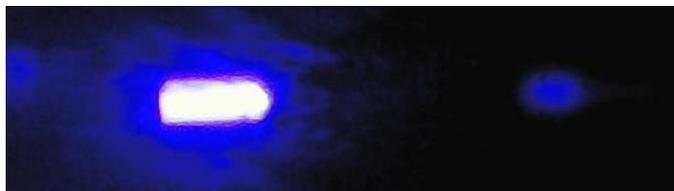
Anexo 37. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 3b.



Anexo 38. Espectro generado para la prueba 4b.



Anexo 39. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 4b.



Anexo 40. Espectro generado para la prueba 5b.



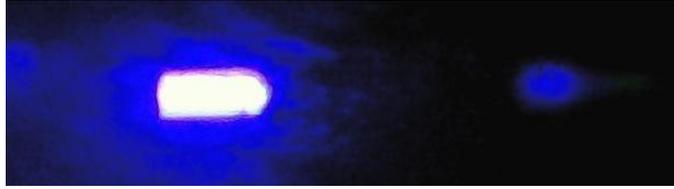
Anexo 41. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 5b.



Anexo 42. Espectro generado para la prueba 6b.



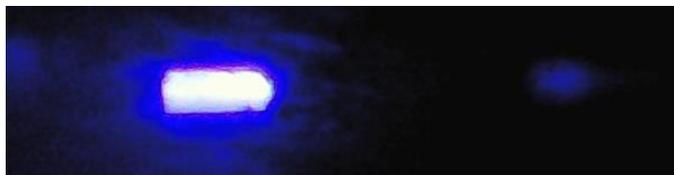
Anexo 43. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 6b.



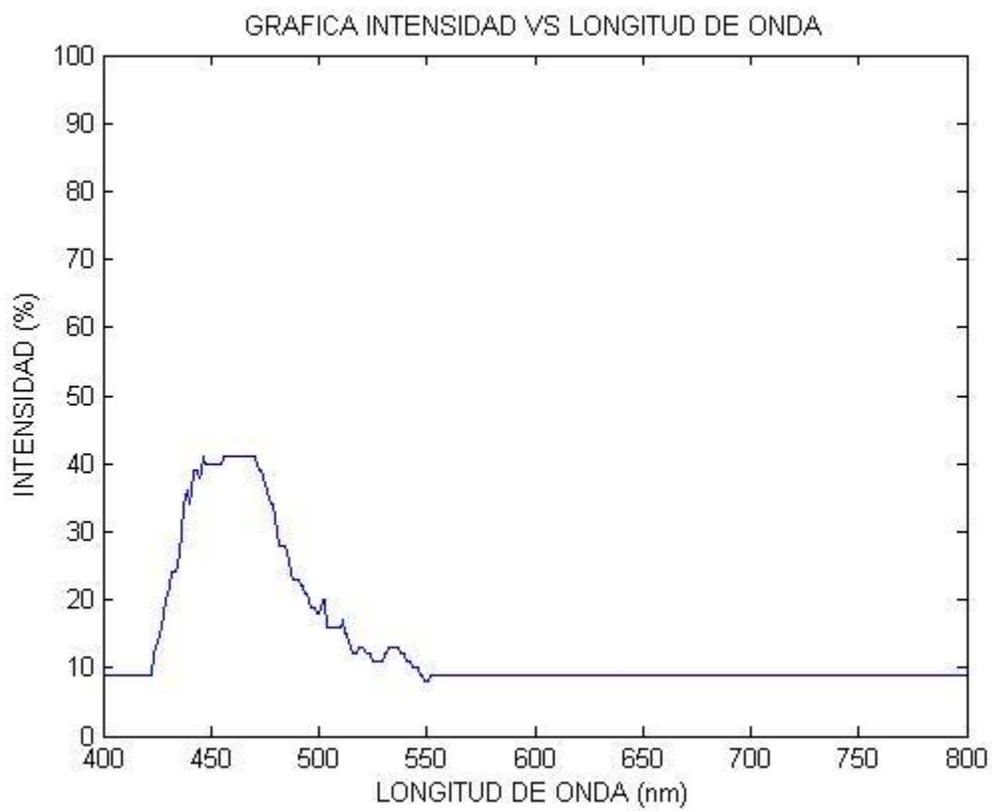
Anexo 44. Espectro generado para la prueba 7b.



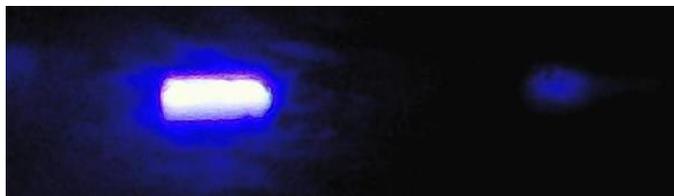
Anexo 45. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 7b.



Anexo 46. Espectro generado para la prueba 8b.



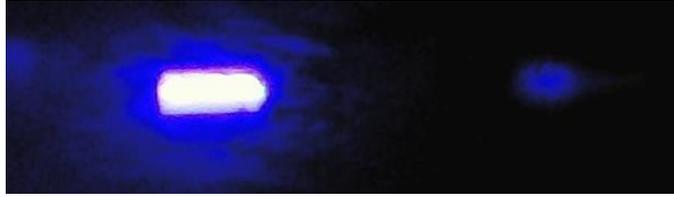
Anexo 47. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 8b.



Anexo 48. Espectro generado para la prueba 9b.



Anexo 49. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 9b.



Anexo 50. Espectro generado para la prueba 10b.



Anexo 51. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 10b.



Anexo 52. Espectro generado para la prueba 1c.



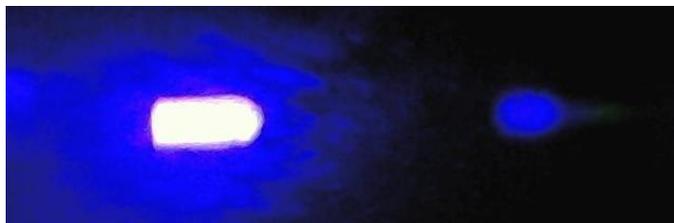
Anexo 53. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 1c.



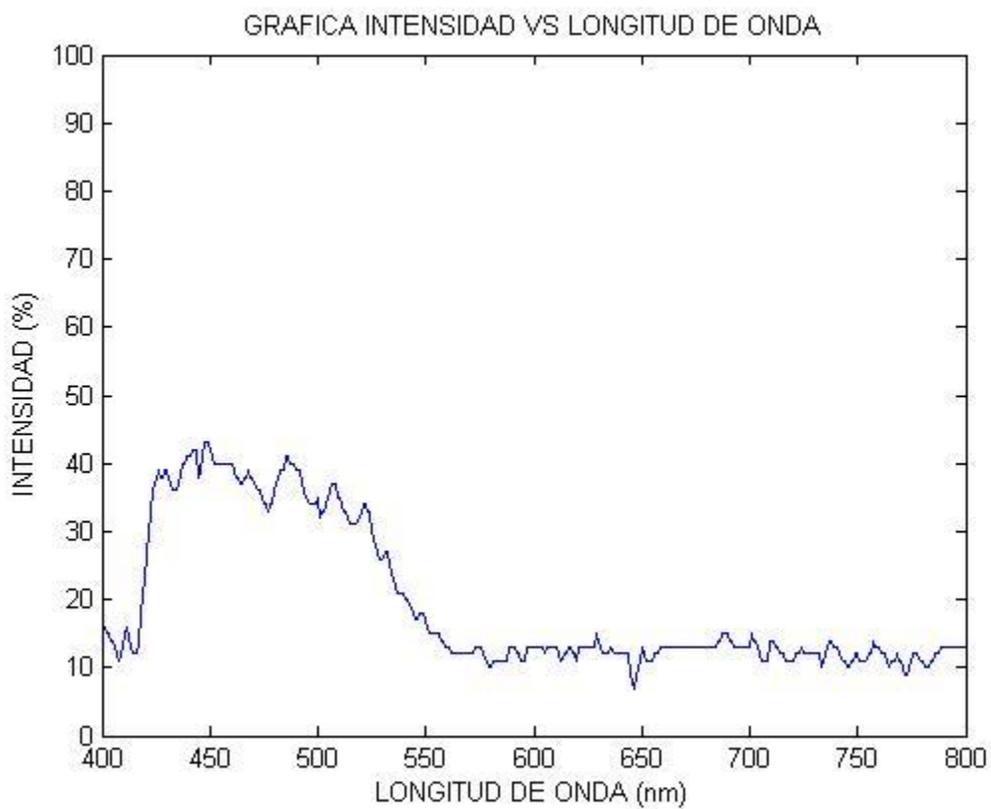
Anexo 54. Espectro generado para la prueba 2c.



Anexo 55. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 2c.



Anexo 56. Espectro generado para la prueba 3c.



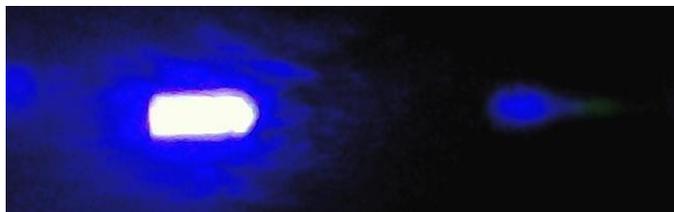
Anexo 57. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 3c.



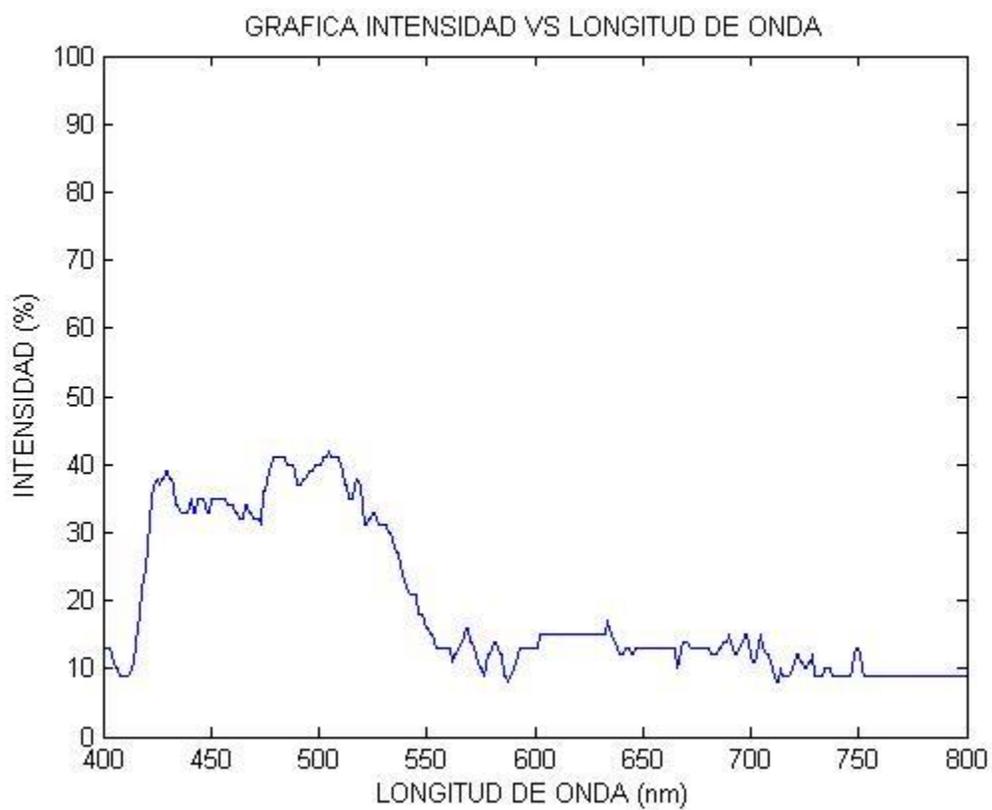
Anexo 58. Espectro generado para la prueba 4c.



Anexo 59. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 4c.



Anexo 60. Espectro generado para la prueba 5c.



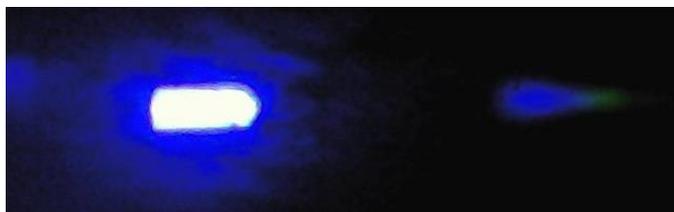
Anexo 61. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 5c.



Anexo 62. Espectro generado para la prueba 6c.



Anexo 63. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 6c.



Anexo 64. Espectro generado para la prueba 7c.



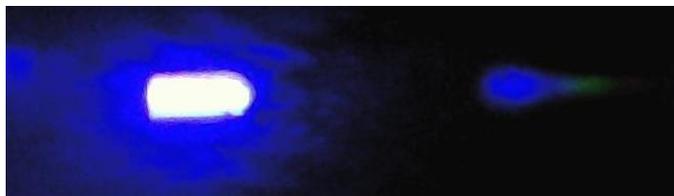
Anexo 65. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 7c.



Anexo 66. Espectro generado para la prueba 8c.



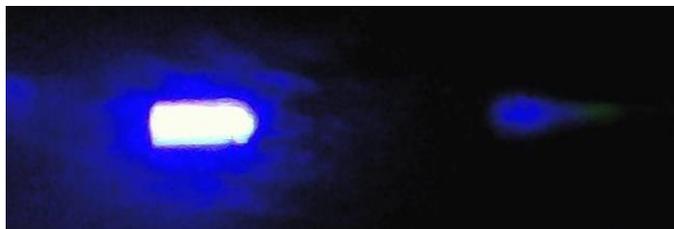
Anexo 67. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 8c.



Anexo 68. Espectro generado para la prueba 9c.



Anexo 69. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 9c.



Anexo 70. Espectro generado para la prueba 10c.



Anexo 71. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 10c.



Anexo 72. Espectro generado para la prueba 1d.



Anexo 73. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 1d.



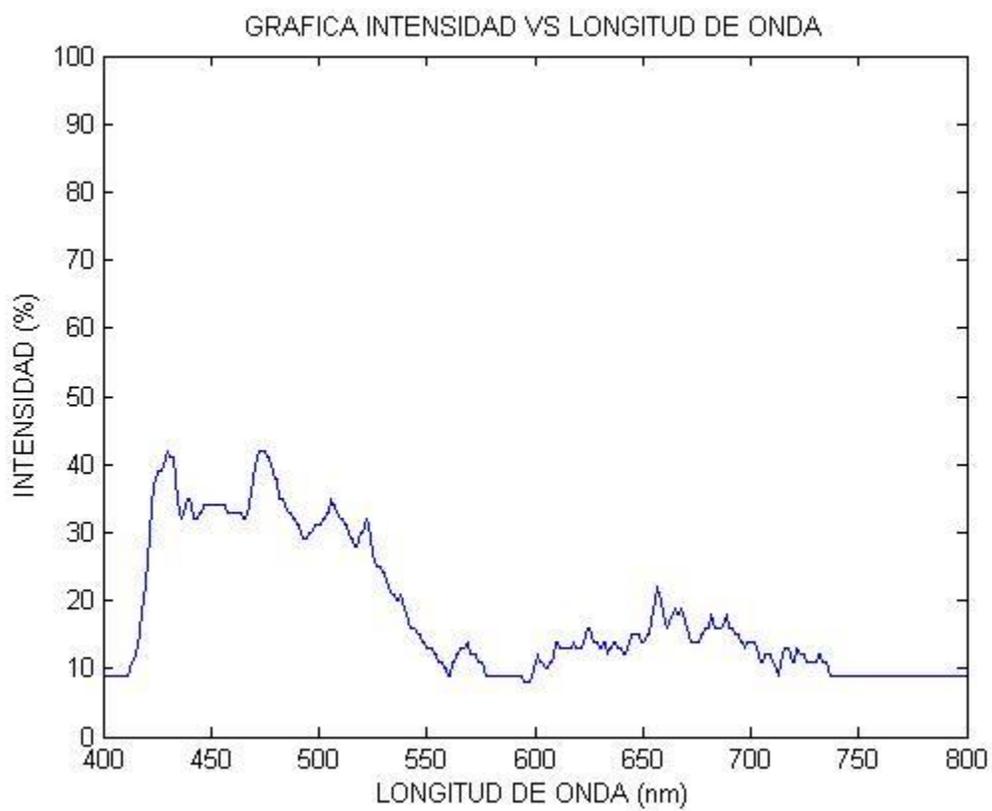
Anexo 74. Espectro generado para la prueba 2d.



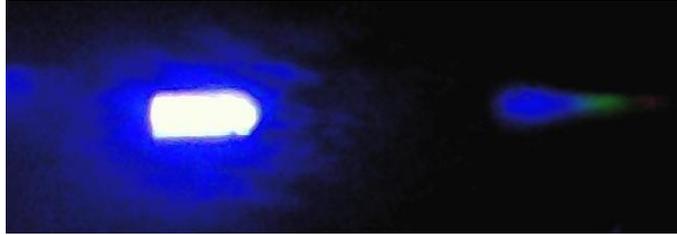
Anexo 75. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 2d.



Anexo 76. Espectro generado para la prueba 3d.



Anexo 77. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 3d.



Anexo 78. Espectro generado para la prueba 4d.



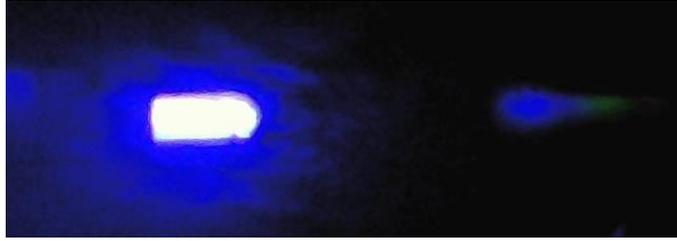
Anexo 79. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 4d.



Anexo 80. Espectro generado para la prueba 5d.



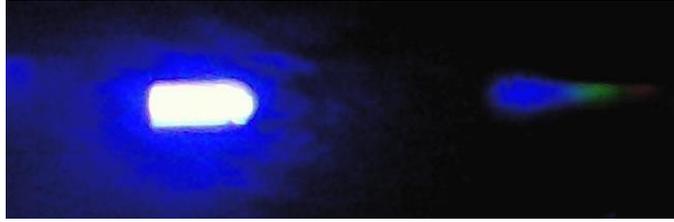
Anexo 81. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 5d.



Anexo 82. Espectro generado para la prueba 6d.



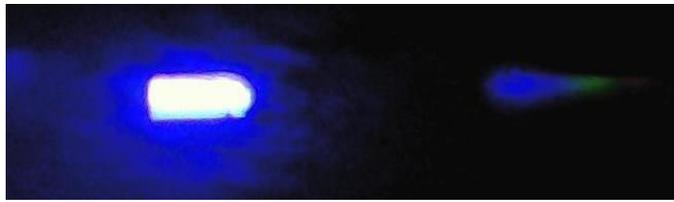
Anexo 83. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 6d.



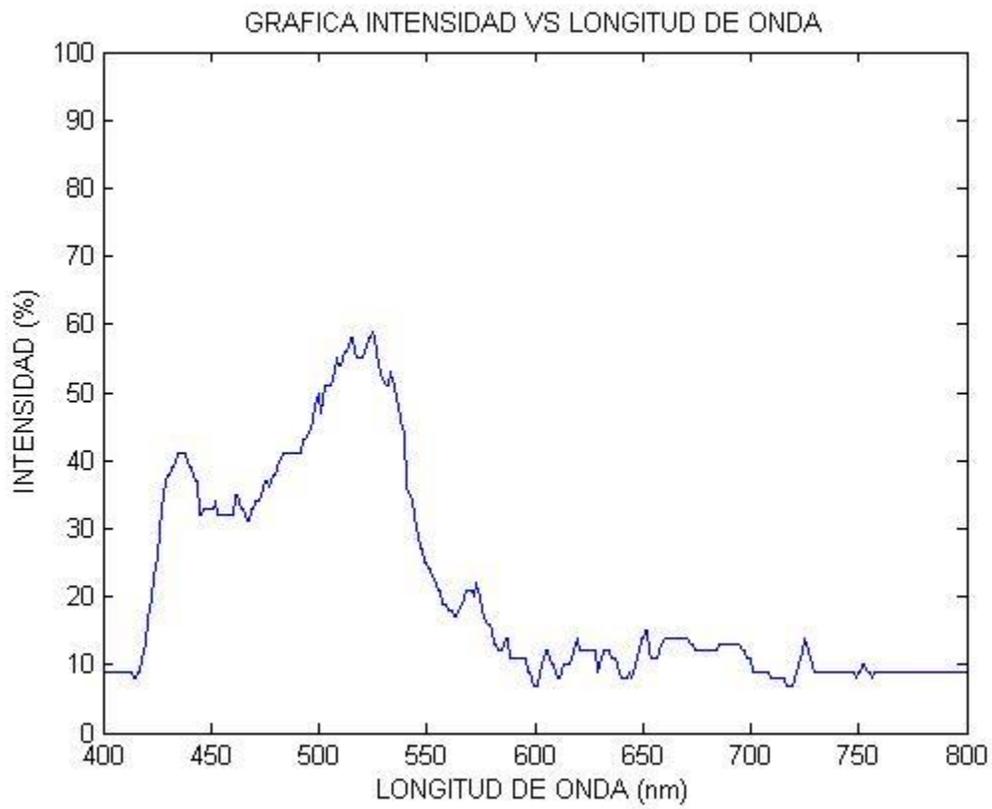
Anexo 84. Espectro generado para la prueba 7d.



Anexo 85. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 7d.



Anexo 86. Espectro generado para la prueba 8d.



Anexo 87. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 8d.



Anexo 88. Espectro generado para la prueba 9d.



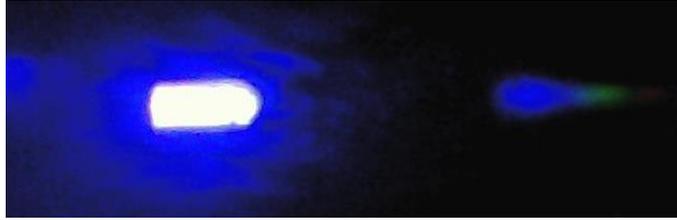
Anexo 89. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 9d.



Anexo 90. Espectro generado para la prueba 10d.



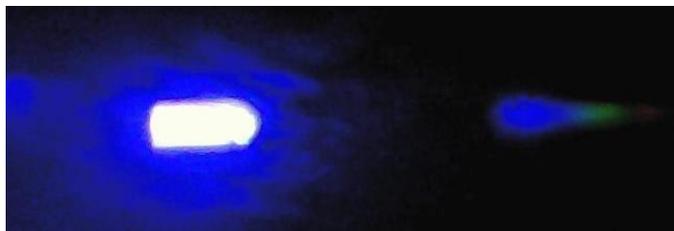
Anexo 91. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 10d.



Anexo 92. Espectro generado para la prueba 11d.



Anexo 93. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 11d.



Anexo 94. Espectro generado para la prueba 12d.



Anexo 95. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 12d.



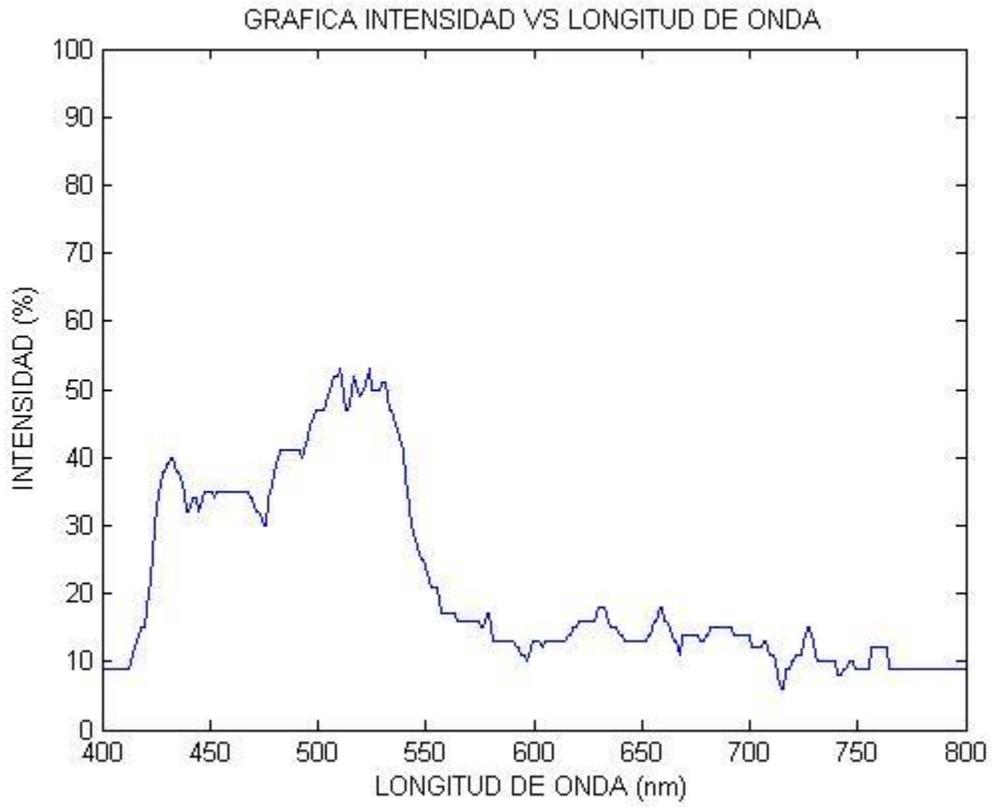
Anexo 96. Espectro generado para la prueba 13d.



Anexo 97. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 13d.



Anexo 98. Espectro generado para la prueba 14d.



Anexo 99. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 14d.



Anexo 100. Espectro generado para la prueba 15d.



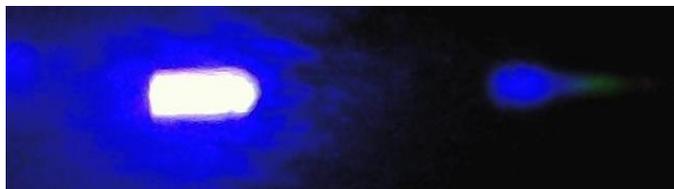
Anexo 101. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 15d.



Anexo 102. Espectro generado para la prueba 16d.



Anexo 103. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 16d.



Anexo 104. Espectro generado para la prueba 17d.



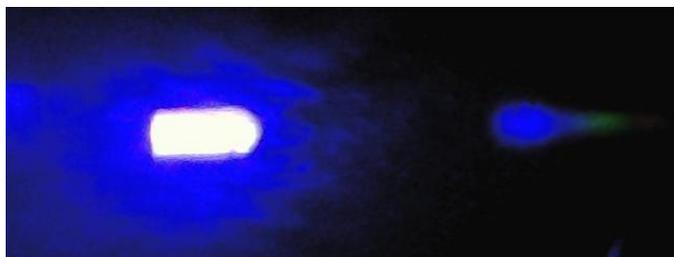
Anexo 105. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 17d.



Anexo 106. Espectro generado para la prueba 18d.



Anexo 107. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 18d.



Anexo 108. Espectro generado para la prueba 19d.



Anexo 109. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 19d.



Anexo 110. Espectro generado para la prueba 20d.



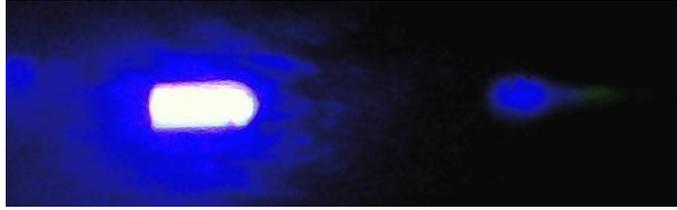
Anexo 111. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 20d.



Anexo 112. Espectro generado para la prueba 21d.



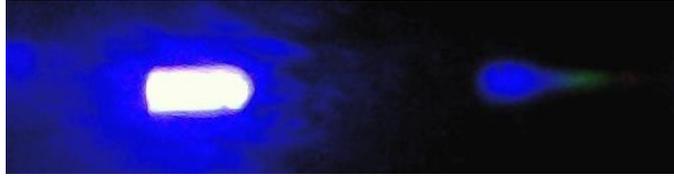
Anexo 113. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 21d.



Anexo 114. Espectro generado para la prueba 22d.



Anexo 115. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 22d.



Anexo 116. Espectro generado para la prueba 23d.



Anexo 117. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 23d.



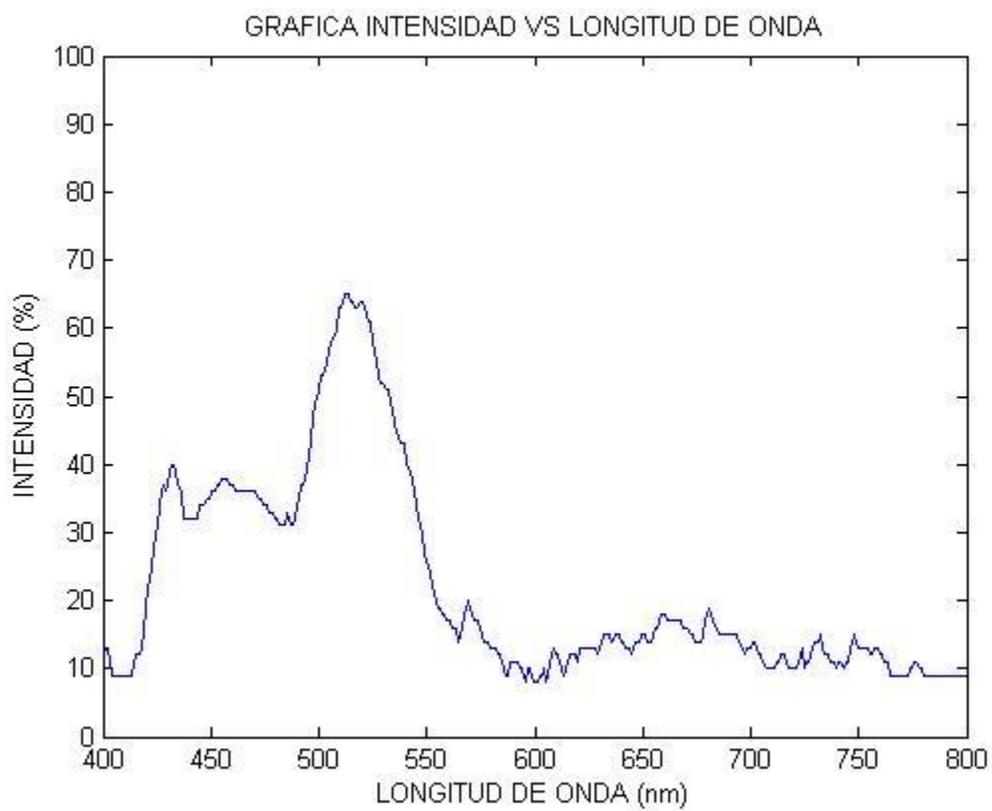
Anexo 118. Espectro generado para la prueba 24d.



Anexo 119. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 24d.



Anexo 120. Espectro generado para la prueba 25d.



Anexo 121. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 25d.



Anexo 122. Espectro generado para la prueba 27d.



Anexo 123. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 27d.



Anexo 124. Espectro generado para la prueba 28d.



Anexo 125. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 28d.



Anexo 126. Espectro generado para la prueba 29d.



Anexo 127. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 29d.



Anexo 128. Espectro generado para la prueba 30d.



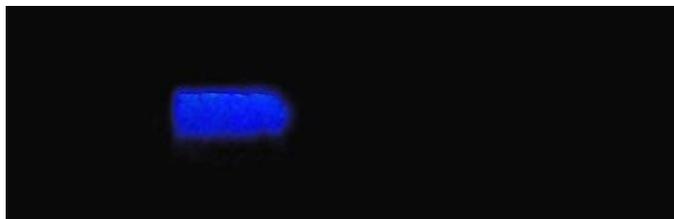
Anexo 129. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 30d.



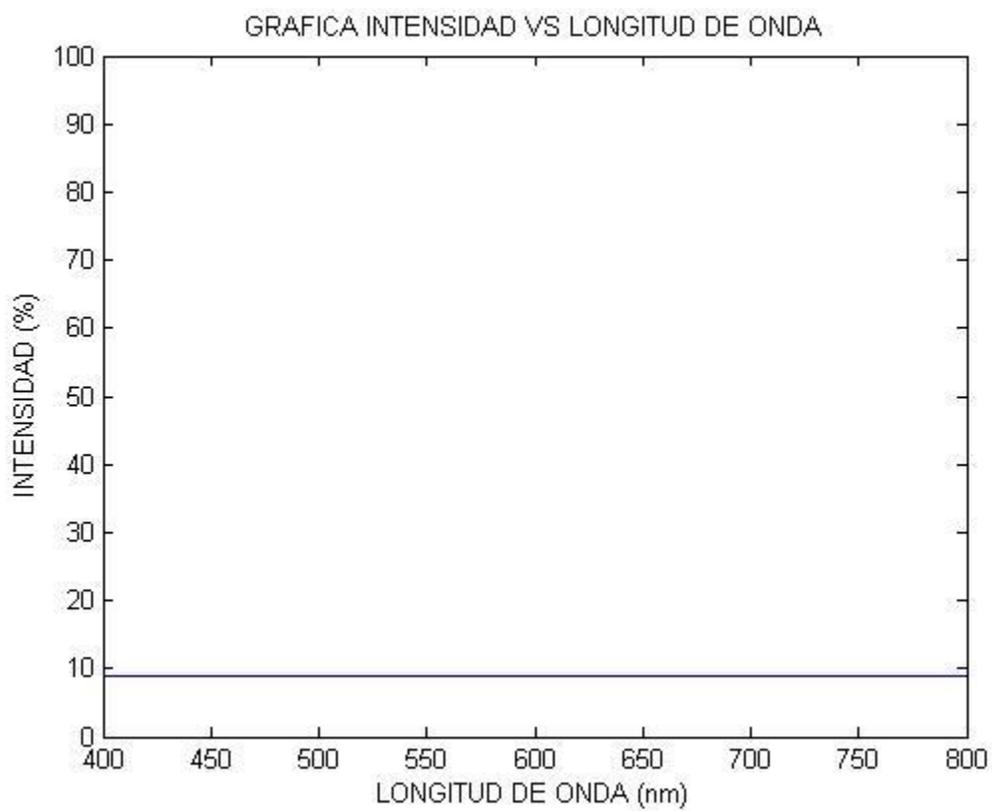
Anexo 130. Espectro generado para la prueba 2e.



Anexo 131. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 2e.



Anexo 132. Espectro generado para la prueba 3e.



Anexo 133. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 3e.



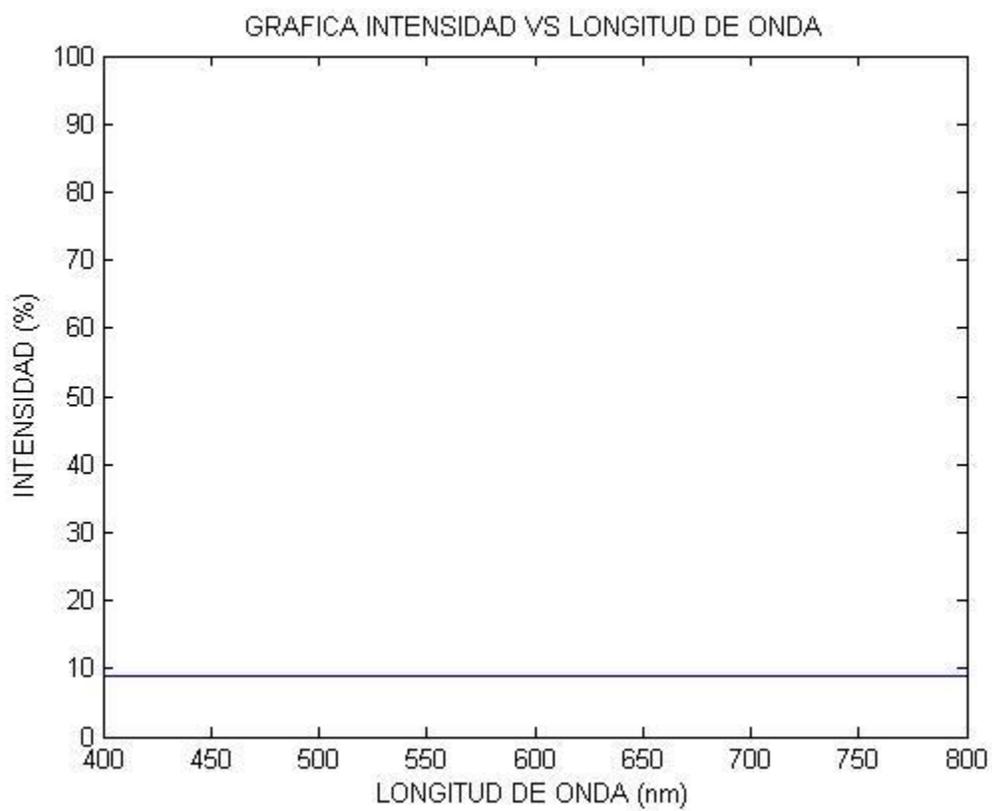
Anexo 134. Espectro generado para la prueba 4e.



Anexo 135. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 4e.



Anexo 136. Espectro generado para la prueba 5e.



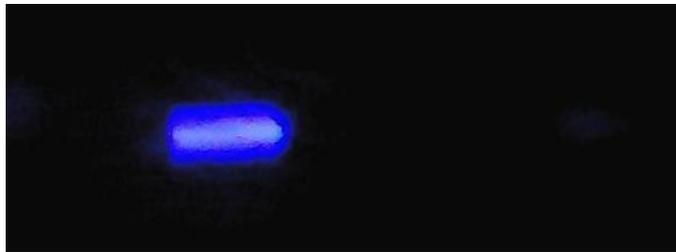
Anexo 137. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 5e.



Anexo 138. Espectro generado para la prueba 1f.



Anexo 139. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 1f.



Anexo 140. Espectro generado para la prueba 2f.



Anexo 141. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 2f.



Anexo 142. Espectro generado para la prueba 3f.



Anexo 143. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 3f.



Anexo 144. Espectro generado para la prueba 4f.



Anexo 145. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 4f.



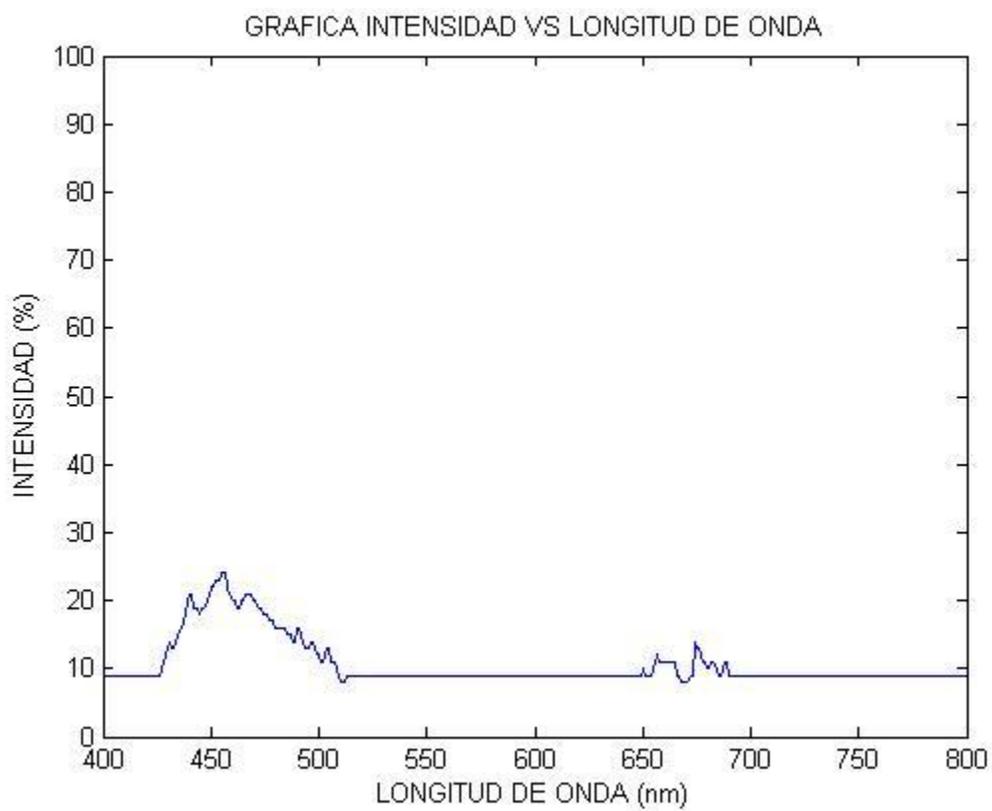
Anexo 146. Espectro generado para la prueba 5f.



Anexo 147. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 5f.



Anexo 148. Espectro generado para la prueba 6f.



Anexo 149. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 6f.



Anexo 150. Espectro generado para la prueba 7f.



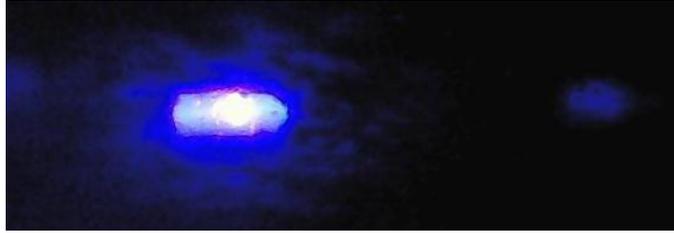
Anexo 151. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 7f.



Anexo 152. Espectro generado para la prueba 8f.



Anexo 153. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 8f.



Anexo 154. Espectro generado para la prueba 9f.



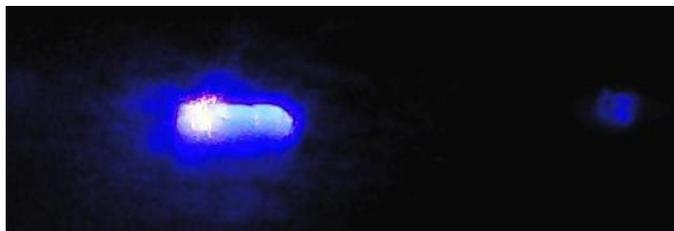
Anexo 155. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 9f.



Anexo 156. Espectro generado para la prueba 10f.



Anexo 157. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 10f.



Anexo 158. Espectro generado para la prueba 11f.



Anexo 159. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 11f.



Anexo 160. Espectro generado para la prueba 12f.



Anexo 161. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 12f.



Anexo 162. Espectro generado para la prueba 13f.



Anexo 163. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 13f.



Anexo 164. Espectro generado para la prueba 14f.



Anexo 165. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 14f.



Anexo 166. Espectro generado para la prueba 15f.



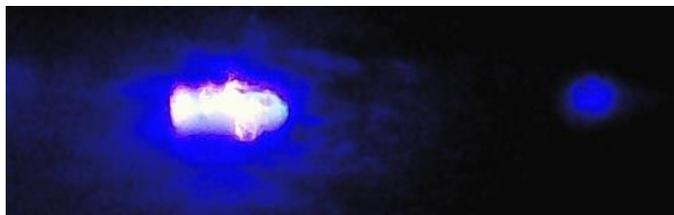
Anexo 167. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 15f.



Anexo 168. Espectro generado para la prueba 16f.



Anexo 169. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 16f.



Anexo 170. Espectro generado para la prueba 17f.



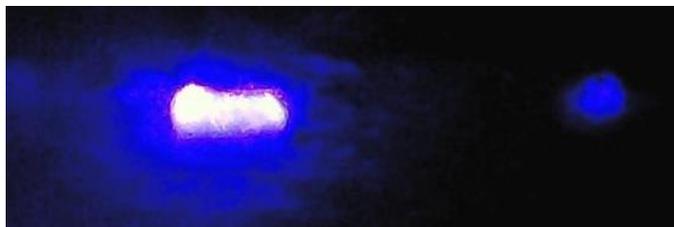
Anexo 171. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 17f.



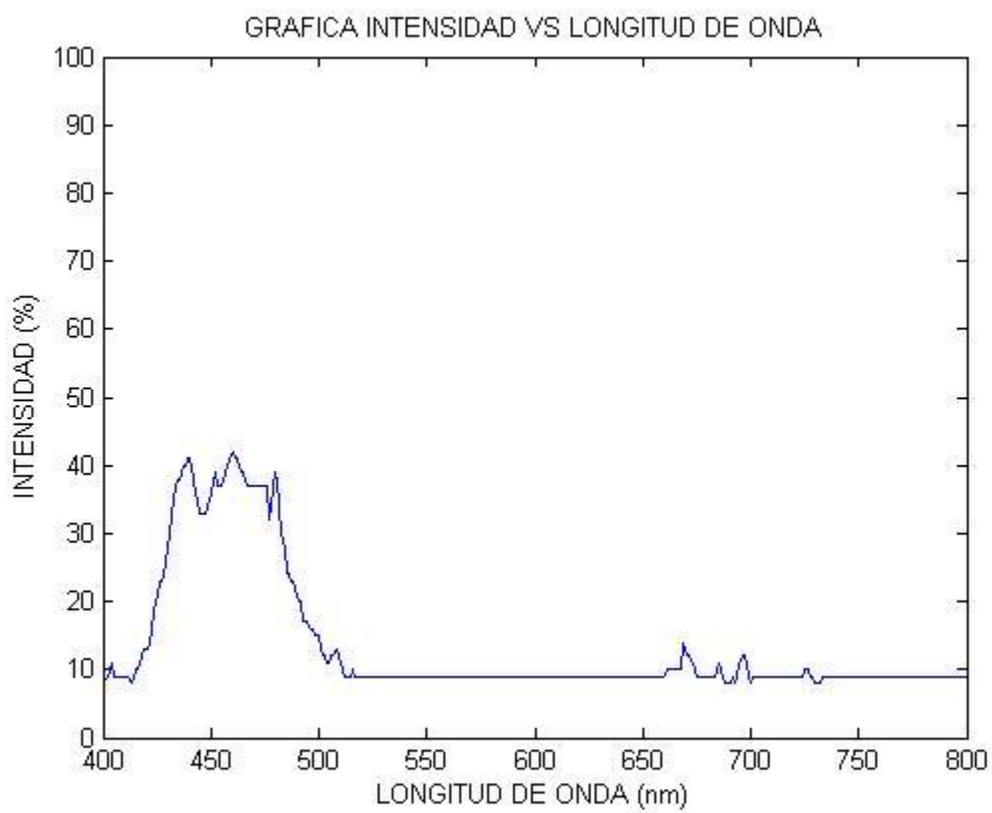
Anexo 172. Espectro generado para la prueba 18f.



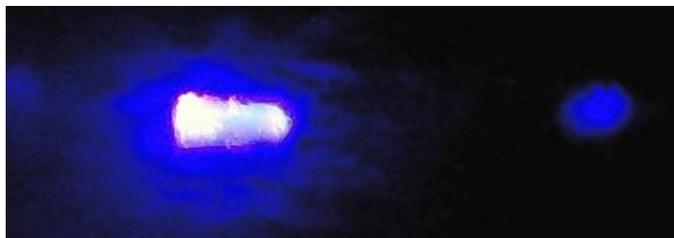
Anexo 173. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 18f.



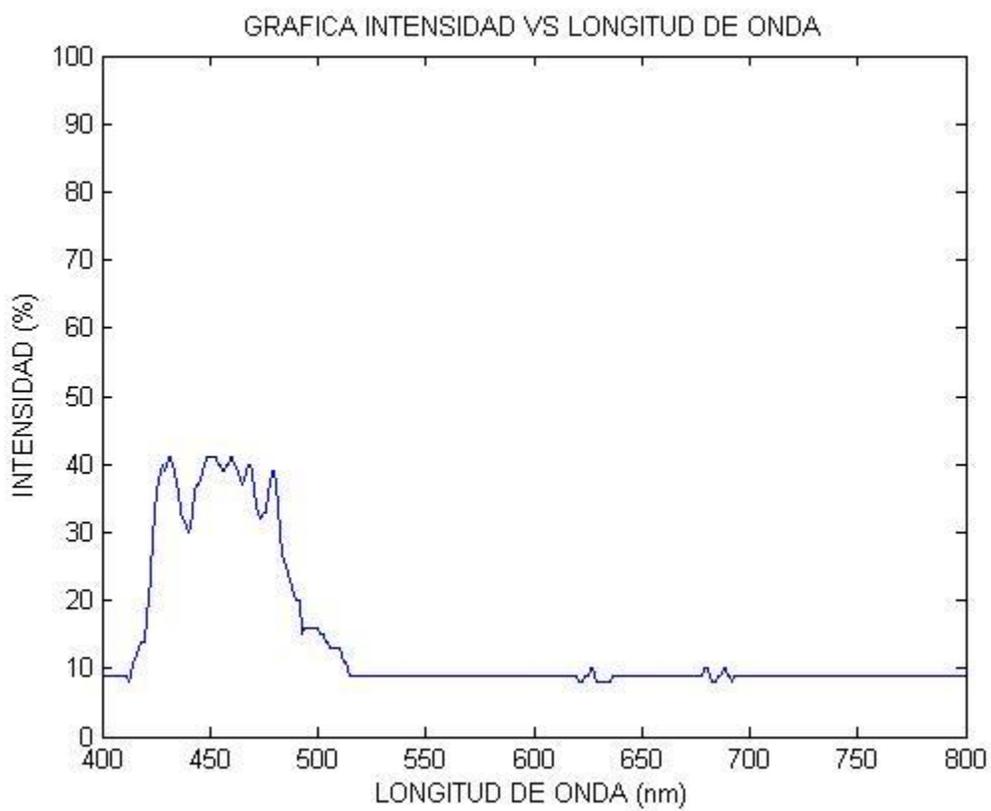
Anexo 174. Espectro generado para la prueba 19f.



Anexo 175. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 19f.



Anexo 176. Espectro generado para la prueba 20f.



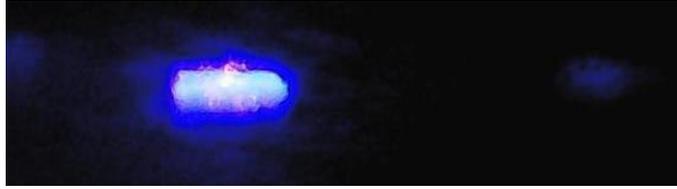
Anexo 177. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 20f.



Anexo 178. Espectro generado para la prueba 21f.



Anexo 179. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 21f.



Anexo 180. Espectro generado para la prueba 22f.



Anexo 181. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 22f.



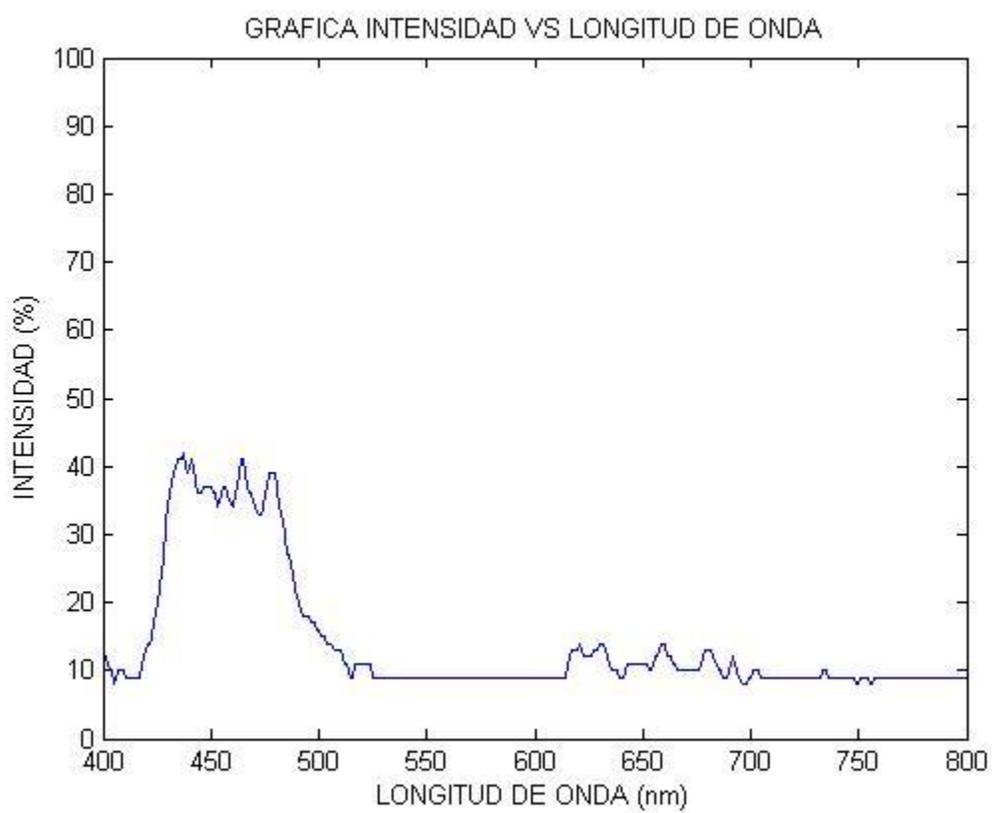
Anexo 182. Espectro generado para la prueba 23f.



Anexo 183. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 23f.



Anexo 184. Espectro generado para la prueba 24f.



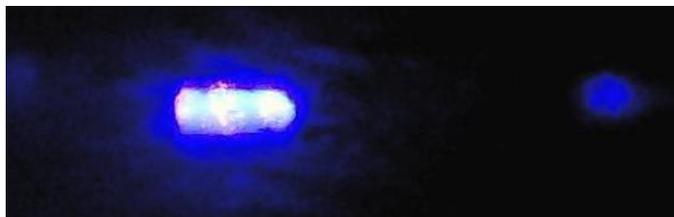
Anexo 185. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 24f.



Anexo 186. Espectro generado para la prueba 25f.



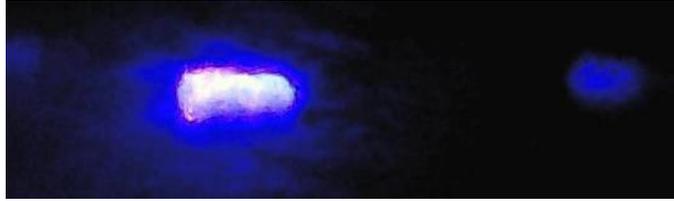
Anexo 187. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 25f.



Anexo 188. Espectro generado para la prueba 26f.



Anexo 189. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 26f.



Anexo 190. Espectro generado para la prueba 27f.



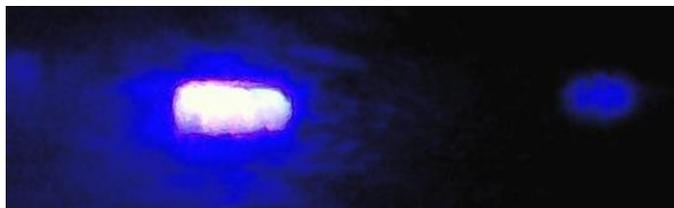
Anexo 191. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 27f.



Anexo 192. Espectro generado para la prueba 28f.



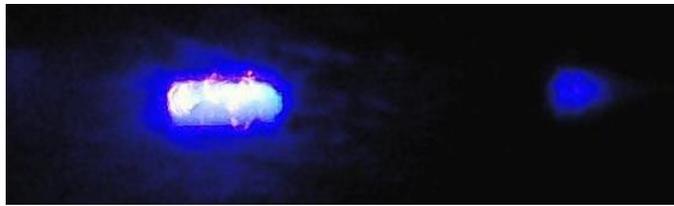
Anexo 193. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 28f.



Anexo 194. Espectro generado para la prueba 29f.



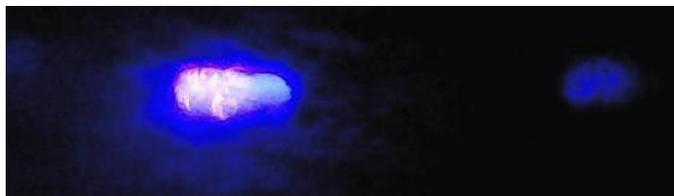
Anexo 195. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 29f.



Anexo 196. Espectro generado para la prueba 30f.



Anexo 197. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 30f.



Anexo 198. Espectro generado para la prueba 31f.



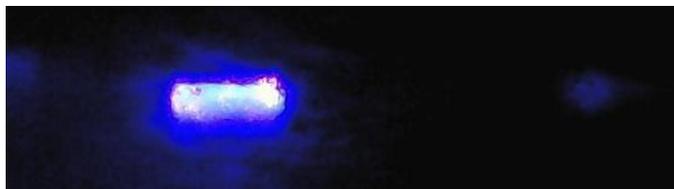
Anexo 199. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 31f.



Anexo 200. Espectro generado para la prueba 32f.



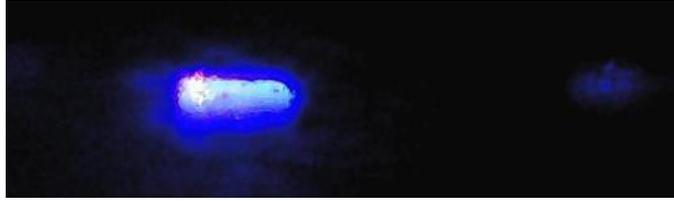
Anexo 201. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 32f.



Anexo 202. Espectro generado para la prueba 33f.



Anexo 203. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 33f.



Anexo 204. Espectro generado para la prueba 34f.



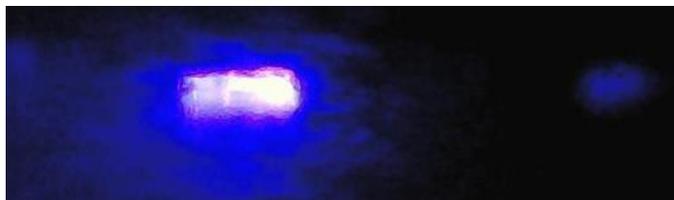
Anexo 205. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 34f.



Anexo 206. Espectro generado para la prueba 35f.



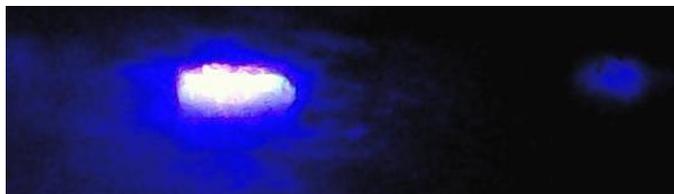
Anexo 207. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 35f.



Anexo 208. Espectro generado para la prueba 36f.



Anexo 209. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 36f.



Anexo 210. Espectro generado para la prueba 37f.



Anexo 211. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 37f.



Anexo 212. Espectro generado para la prueba 38f.



Anexo 213. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 38f.



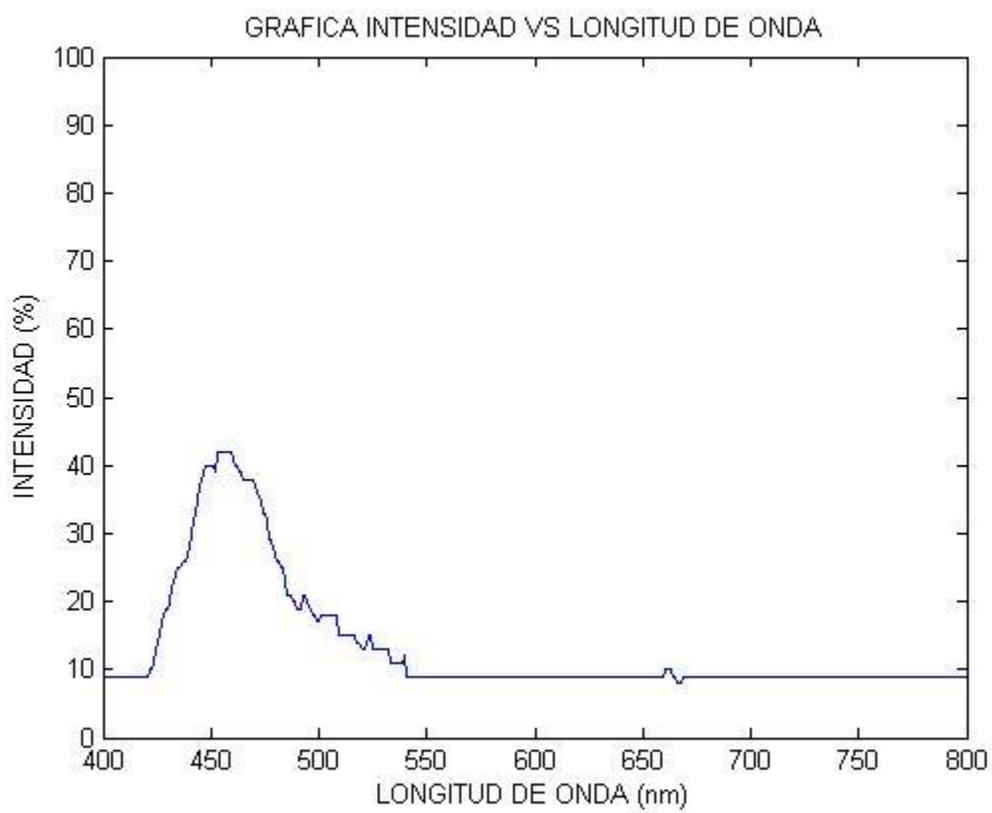
Anexo 214. Espectro generado para la prueba 39f.



Anexo 215. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 39f.



Anexo 216. Espectro generado para la prueba 40f.



Anexo 217. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 40f.



Anexo 218. Espectro generado para la prueba 41f.



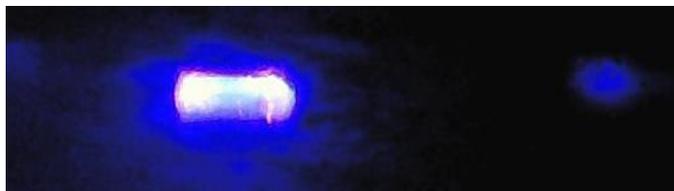
Anexo 219. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 41f.



Anexo 220. Espectro generado para la prueba 42f.



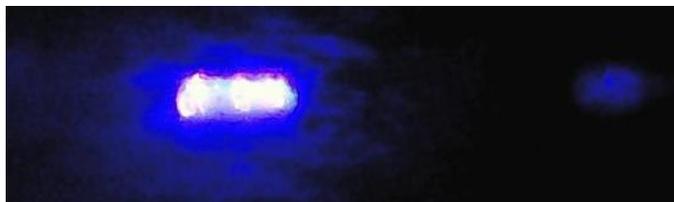
Anexo 221. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 42f.



Anexo 222. Espectro generado para la prueba 43f.



Anexo 223. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 43f.



Anexo 224. Espectro generado para la prueba 44f.



Anexo 225. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 44f.



Anexo 226. Espectro generado para la prueba 45f.



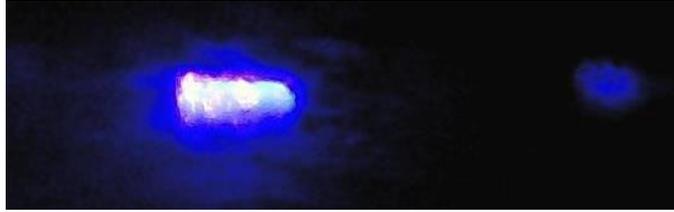
Anexo 227. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 45f.



Anexo 228. Espectro generado para la prueba 46f.



Anexo 229. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 46f.



Anexo 230. Espectro generado para la prueba 47f.



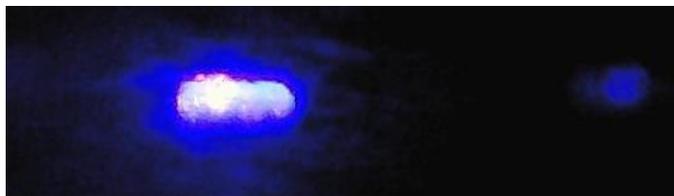
Anexo 231. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 47f.



Anexo 232. Espectro generado para la prueba 48f.



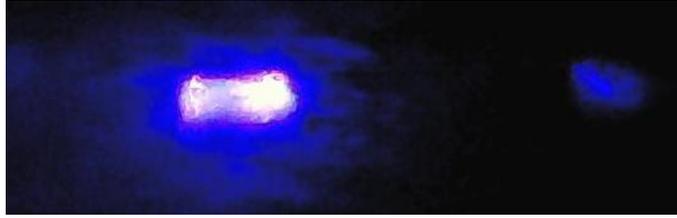
Anexo 233. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 48f.



Anexo 234. Espectro generado para la prueba 49f.



Anexo 235. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 49f.



Anexo 236. Espectro generado para la prueba 50f.



Anexo 237. Gráfica de Intensidad vs Longitud de onda para la prueba 50f.

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA,

En ejercicio de sus facultades legales y constitucionales en especial de las que le confiere el numeral 11 del artículo 189 de la Constitución Política y el artículo 4o. del Decreto 2190 de 1995, y

CONSIDERANDO:

Que la ley 46 de 1988, fijó como uno de los objetivos del Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres, garantizar un manejo oportuno y eficiente de todos los recursos humanos, técnicos, administrativos y económicos que sean indispensables para la prevención y atención de las situaciones de desastre;

Que el Gobierno Nacional, a través del Decreto 919 de 1989, ordenó que las fases de prevención y atención inmediata en relación con los diferentes tipos de desastres fueran incluidas en el Plan Nacional para la Prevención y Atención de desastres;

Que el Gobierno Nacional mediante el Decreto 2190 de 1995, ordenó la elaboración y desarrollo del Plan Nacional de Contingencia contra derrames de Hidrocarburos, Derivados y Sustancias Nocivas en aguas marinas, fluviales y lacustres, como instrumento rector del diseño y realización de actividades dirigidas a prevenir, mitigar y corregir los daños que estos pueden ocasionar;

Que el Decreto 2190 de 1995, conformó el Comité Técnico, como instancia responsable de la elaboración y desarrollo del Plan Nacional de Contingencia;

Que las dos Subsecretarías Técnicas creadas por el Decreto 2190 de 1995, con la participación de representantes de las entidades gubernamentales y particulares involucradas en actividades que conllevan riesgos de derrames de Hidrocarburos, Derivados y Sustancias Nocivas, elaboraron el proyecto de Plan Nacional de Contingencia ordenado por el mencionado decreto;

Que conforme al Decreto 2190 de 1995, el Plan Nacional de Contingencia, se elaboró con la participación de las entidades públicas y privadas, integrantes del Comité Técnico para la formulación del Plan, como: los Ministerios de Defensa Nacional, del Interior, de Desarrollo Económico, de Minas y Energía, de Transporte y del Medio Ambiente; la Dirección Nacional para la Prevención y Atención de Desastres, la Empresa Colombiana de Petróleos, la Dirección General Marítima, el Consejo Colombiano de Seguridad y la Asociación Colombiana del Petróleo;

Que de conformidad con el artículo 4o. del Decreto 2190 de 1995, en armonía con el artículo 54 del Decreto 919 de 1989, el Comité Nacional para la Prevención y Atención de Desastres, mediante Acta número 009 del 5 de junio de 1998, aprobó el Plan Nacional de Contingencia contra derrames de

Hidrocarburos, Derivados y Sustancias Nocivas en aguas marinas, fluviales y lacustres;

Que acatando los lineamientos del artículo 4o. del Decreto 2190 de 1995, en concordancia con el artículo 14 de la Ley 99 de 1993, el Consejo Nacional Ambiental aprobó el Plan Nacional de Contingencia contra derrames de Hidrocarburos, Derivados y Sustancias Nocivas en aguas marinas, fluviales y lacustres, según constancia del Viceministro del Medio Ambiente y Secretario Técnico del Consejo Nacional Ambiental de fecha 27 de julio de 1996;

Que según el artículo 4o. del Decreto 2190 de 1995, el Plan Nacional de Contingencia contra derrames de Hidrocarburos Derivados y Sustancias Nocivas en aguas marinas, fluviales y lacustres será adoptado por medio de decreto del Gobierno Nacional,

DECRETA:

ARTICULO 1o. Adóptese el Plan Nacional de Contingencia contra derrames de Hidrocarburos, Derivados y Sustancias Nocivas en aguas marinas, fluviales y lacustres, aprobado mediante Acta número 009 del 5 de junio de 1998 del Comité Nacional para la Prevención y Atención de Desastres, y por el Consejo Nacional Ambiental, cuyo texto se integra como anexo del presente decreto.

ARTICULO 2o. El objeto general del Plan Nacional de Contingencia contra derrames de Hidrocarburos, Derivados y Sustancias Nocivas en aguas marinas, fluviales y lacustres que será conocido con las siglas -PNC- es servir de instrumento rector del diseño y realización de actividades dirigidas a prevenir, mitigar y corregir los daños que éstos puedan ocasionar, y dotar al Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres de una herramienta estratégica, operativa e informática que permita coordinar la prevención, el control y el combate por parte de los sectores público y privado nacional, de los efectos nocivos provenientes de derrames de hidrocarburos, derivados y sustancias nocivas en el territorio nacional, buscando que estas emergencias se atiendan bajo criterios unificados y coordinados.

ARTICULO 3o. Son objetivos específicos del PNC:

1. Definir las bases jurídicas e institucionales de Cooperación Internacional, de organización, con un plan estratégico general de activación de responsabilidades de las entidades públicas y privadas existentes en el país, aplicables a distintos aspectos de un derrame de hidrocarburos, derivados sustancias nocivas en medio marinas, lacustres y fluviales.

2. Dotar al Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres de un plan operativo, que defina sus niveles de activación, prioridades de protección, prioridades de acción, las bases para la sectorización del país y los mecanismos de notificación, organización funcionamiento y apoyo del PNC a los planes de Contingencia Locales y los Planes de Ayuda Mutua en los

aspectos de prevención, mitigación, control, recuperación, limpieza, comunicaciones, vigilancia y servicios, o la eventual activación del nivel tres (3).

3. Dotar al Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres de un Plan Informático que defina los aspectos de lo que el PNC requiere, en términos de datos y sistemas de información que identifiquen y clasifiquen los recursos disponibles en el país, así como la información básica fisiogeográfica y logística de las áreas críticas por parte de las entidades públicas y del sector industrial, a fin de que los planes estratégico y operativo sean eficientes, y cuenten con los mecanismos para la estandarización y entrega de la información de apoyo al Plan Nacional de Contingencia.

4. Definir un marco general para el desarrollo de los Planes de Contingencia locales por parte de las industrias, que le permitan enfrentar y controlar un derrame de manera eficaz y eficiente.

5. Asignar responsabilidades y funciones a las entidades públicas y privadas y a funcionarios involucrados en el Plan, de tal manera que se delimite claramente el ámbito de acción de cada uno y se facilite la labor de mando y control dentro de una estructura jerárquica vertical, clara e inequívoca.

6. Proveer los recursos necesarios que permitan desarrollar programas de cooperación institucional, y promover las bases para el desarrollo de planes de ayuda mutua y participación de la comunidad a nivel local y regional.

7. Proveer la información de los riesgos de las actividades que puedan afectar a la comunidad por derrames de hidrocarburos, derivados y sustancias nocivas y la preparación de ésta para prevenir y actuar ante los efectos nocivos del siniestro.

8. Verificar y apoyar el funcionamiento de los Comités Locales y Regionales de Prevención y Atención de Desastres de que trata el artículo 60 del Decreto 919 de 1989, por ser la base para el adecuado funcionamiento del PNC.

ARTICULO 4o. Cuando las circunstancias lo amerite el PNC podrá ser actualizado por la Dirección Nacional para la Prevención y Atención de Desastres - DNPAD - a través del Comité Técnico Nacional del Plan Nacional de Contingencia contra Derrames de Hidrocarburos, derivados y Sustancias Nocivas en aguas marinas, fluviales y lacustres, quien lo someterá a consideración y aprobación del Comité Nacional para la Atención y Prevención de Desastres y al Consejo Nacional Ambiental, cuyas modificaciones serán adoptadas mediante decreto.

ARTICULO 5o. Los principios fundamentales que guían al Plan y a las entidades del sector público y privado en relación con la implementación, ejecución y actualización del PNC son:

1. Acción participativa. Se establecen competencias y compromisos de orden sectorial, local, regional y nacional para autoridades e industria, que deben manejarse con criterios de participación y concertación.

2. Utilización de recursos estratégicos disponibles. Se dispone que los insumos

de las entidades estatales o privadas deben ser optimizados y puestos al servicio de una causa común.

3. Descentralización táctica y operativa. Se aportarán sistemas de apoyo y fortalecimiento de la capacidad de respuesta en los siguientes casos:

a) Cuando las capacidades locales y los sistemas regionales hayan sido desbordados por la magnitud y severidad de la emergencia;

b) Cuando la emergencia sea causada en y por situaciones fuera de jurisdicción local o regional.

4. Organización y coordinación. Se establecen herramientas de coordinación de prevención y atención de emergencias de orden local, regional y nacional que actúan con niveles de respuesta establecidos dentro de esquemas estratégicos y en el contexto de prevención y atención de derrames de hidrocarburos, derivados y sustancias nocivas.

5. Planes de contingencia locales y planes de ayuda mutua. Se deberá contar con planes de contingencia locales o planes de ayuda mutua actualizados, autónomos, operativos, suficientes y adecuadamente equipados, divulgados y participativos para enfrentar el máximo nivel de riesgo probable, por parte de las industrias del sector petrolero y químico, personas naturales y jurídicas, públicas o privadas, que exploren, investiguen, exploten, produzcan, almacenen, transporten, comercialicen o efectúen cualquier manejo de hidrocarburos, derivados o sustancias nocivas, o que tengan bajo su responsabilidad el control y prevención de los derrames en aguas marinas, fluviales o lacustres. Los Comités locales y regionales para la Prevención y Atención de Desastres apoyarán complementariamente las actividades de respuesta, previstos en ellos.

6. Apoyo a terceros. Se deberá propiciar, a través de los estamentos operativos y de coordinación del PNC, el apoyo a terceros por cualquier tipo de emergencias e igualmente por la disposición para atender emergencias primarias de derrames sin responsable definido.

Los costos y gastos derivados de la atención de derrames a terceros, deberán ser reembolsados por el responsable del derrame, previo la presentación de las respectivas facturas avaladas por el Comité Técnico Nacional del PNC.

7. Prioridades de protección. En caso de siniestro se debe preservar la vida humana y minimizar los daños ambientales, los cuales tendrán prioridad sobre las demás actividades de la empresa responsable de coordinar el combate del evento.

8. Responsabilidad de atención del derrame. Se debe fijar la responsabilidad por daños ambientales provocados por el derrame, la cual será definida por las autoridades ambientales competentes, de acuerdo a los procedimientos fijados por las normas vigentes. En casos de derrames de hidrocarburos, derivados o sustancias nocivas que puedan afectar cuerpos de agua, el responsable de la instalación, operación, dueño de la sustancia o actividad de donde se originó el derrame, lo será así mismo integralmente de la atención del derrame. En su

defecto, las entidades que conozcan de la ocurrencia del derrame o las personas que tengan entrenamiento en la atención de este tipo de emergencias se hará cargo del manejo del evento, y en ningún momento serán responsables por los daños causados por el derrame.

9. Entrenamientos y simulacros del PNC. Se considera indispensable que las personas y entidades involucradas en el PNC participen en los entrenamientos y simulacros, para la adecuada implementación del mismo.

10. Evaluación y actualización del PNC. Se debe garantizar que el PNC y los Planes Locales y Regionales se evalúen después de cada simulacro o emergencia, con el fin de actualizarlos, complementarlos y adecuarlos.

11. Análisis de riesgos y capacidad de respuesta. Se debe realizar evaluación de riesgos como base fundamental para la formulación de los planes de contingencia y establecer la identificación y conocimiento de las áreas críticas, entendidas como los sitios donde los recursos naturales son de alto valor ecológico, comercial o turístico, sensibles a la presencia masiva de un derrame y susceptibles en alto grado a la ocurrencia de dicho evento. Factor determinante para la capacidad de respuesta del PNC.

12. Fortalecimiento de los Comités Locales y Regionales para la Prevención y Atención de Desastres. Se debe gestionar que los Comités Locales y Regionales de Prevención y atención de desastres se constituyan en una herramienta básica del PNC, y como tal se fortalecerán en sus respectivos planes de emergencia para la atención de derrames en aguas marinas, fluviales y lacustres.

ARTICULO 6o. El PNC estará coordinado por la Dirección Nacional para la Prevención y Atención de Desastres - DNPAD -, a través del Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres - SNPAD -, conformado por un Comité Técnico y un Comité Operativo del Plan Nacional de Contingencia, dos sistemas de información y un centro de respuesta nacional.

ARTICULO 7o. El PNC está estructurado en tres capítulos básicos: Plan Estratégico, Plan Operativo y Plan Informático.

El Plan Estratégico contiene la filosofía, los objetivos, el alcance del Plan, su cobertura geográfica, organización, asignación de responsabilidades y los niveles de respuesta.

El Plan Operativo establece los procedimientos básicos de la operación y define las bases y mecanismos de notificación, organización, funcionamiento y apoyo del PNC a los planes locales o a la eventual activación inmediata de su estructura de nivel tres (3).

El Plan Informático establece las bases de lo que éste requiere en términos de manejo de información, a fin de que los planes estratégicos y operativos sean eficientes, a partir de la recopilación y actualización permanente a instancias del Comité Técnico Nacional del PNC sobre los requerimientos de información requeridos por este.

ARTICULO 8o. Los lineamientos, principios, facultades y organización

establecidos en el PNC, deberán ser incorporados en los planes de contingencia de todas las personas naturales y jurídicas, públicas o privadas, que exploren, investiguen, exploten, produzcan, almacenen, transporten, comercialicen o efectúen cualquier manejo de hidrocarburos, derivados o sustancias nocivas, que tengan bajo su responsabilidad el control y prevención de los derrames en aguas marinas, fluviales o lacustres.

ARTICULO 9o. Todas las Entidades Públicas del Orden Nacional que deban cumplir alguna función en el Plan Nacional de Contingencia contra derrames de hidrocarburos, derivados y sustancias nocivas en aguas marinas, fluviales y lacustres, se comprometen a aportar lo que el Comité Técnico Nacional del PNC estime anualmente como presupuesto necesario, sujeto a la apropiación anual presupuestal respectiva de las entidades del nivel nacional, para la implementación y mantenimiento del PNC.

ARTICULO 10. Conforme a los avances y ejecución del Plan, los Comités Técnicos y Operativos del PNC llevarán a cabo el respectivo seguimiento evaluación y presentarán informe de su avance y ejecución al Comité Nacional del Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres cada año.

ARTICULO 11. El presente decreto rige a partir de la fecha de expedición y deroga todas las normas que le sean contrarias, especialmente las contenidas en el Decreto 1457 de 1978.

PUBLÍQUESE, COMUNÍQUESE Y CÚMPLASE.

Dado en Santa Fe de Bogotá, D. C., a 17 de febrero de 1999.

ANDRES PASTRANA ARANGO

El Ministro del Interior,
NÉSTOR HUMBERTO MARTÍNEZ NEIRA.

El Ministro del Medio Ambiente,
JUAN MAYR MALDONADO.

El Ministro de Defensa Nacional,
RODRIGO LLOREDA CAICEDO.

El Ministro de Desarrollo Económico,
FERNANDO ARAÚJO PERDOMO.

El Ministro de Minas y Energía,
LUIS CARLOS VALENZUELA DELGADO.

El Ministro de Transporte,
MAURICIO CÁRDENAS SANTAMARÍA. (Ministerio del Interior, 1999)