



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Escuela Politécnica Superior de Linares

Trabajo Fin de Grado

**REVISIÓN Y CASOS PRÁCTICOS
DE RECICLAJE QUÍMICO DE
RESIDUOS POLIMÉRICOS:
OPTIMIZACIÓN PARÁMETROS DE
PIROLISIS DE RESIDUOS DE LDPE
PARA EL APROVECHAMIENTO DE
BIOFUEL.**

Alumno: Juan Antonio Alonso Oriola

Tutor: Prof. D. Antonio José Ortiz Hernández

Depto.: Química Inorgánica y Orgánica

Septiembre, 2022



Universidad de Jaén
Escuela Politécnica Superior de Linares

Trabajo Fin de Grado

Revisión y casos prácticos de reciclaje químico de residuos poliméricos: optimización
parámetros de pirolisis de residuos de ldpe para el aprovechamiento de biofuel.

Alumno:
Juan Antonio Alonso Oriola

Tutor:
Prof. D. Antonio José Ortiz Hernández
Depto.: Química Inorgánica y Orgánica

Septiembre, 2022

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE FIGURAS	9
ÍNDICE DE IMÁGENES	14
1. RESUMEN.	15
1.1. ABSTRACT.	16
2. INTRODUCCIÓN	17
1.2. LOS MATERIALES PLÁSTICOS.....	17
1.2.1. Breve reseña histórica de los plásticos.	17
1.2.2. Producción y consumo de plásticos.	18
1.2.3. Generación de residuos plásticos.	23
1.2.4. Características de los plásticos.....	24
1.2.5. Clasificación de los plásticos.	24
1.2.6. Polietileno de baja densidad.	26
1.3. ESTRATEGIAS DE GESTIÓN DE RESIDUOS PLÁSTICOS.	28
1.3.1. Reducción del consumo de plásticos.	29
1.3.2. Reutilización de residuos plásticos.	30
1.3.3. Reciclado de residuos plásticos.	31
1.3.3.1. Reciclado mecánico.....	31
1.3.3.2. Reciclado químico.	32
1.3.3.3. Reciclado Térmico.....	33
1.4. OBTENCIÓN DE COMBUSTIBLES A PARTIR DE LOS PLÁSTICOS.	34
1.5. PIROLISIS DE PLÁSTICOS.....	35
1.5.1. Los productos de la pirolisis de plásticos.	36
1.5.2. Parámetros que influyen en el proceso de pirolisis.	37
1.5.2.1. Temperatura de reacción.	37
1.5.2.2. Velocidad de calefacción.....	38
1.5.2.3. Tiempo de residencia de los gases en el medio de reacción.....	38
1.5.2.4. Cantidad de muestra y tamaño de partícula.	38
1.5.2.5. Densidad y humedad de la muestra.	39
1.5.2.6. Tipo de contacto material - catalizador.	39
1.5.2.7. Tipo de reactor utilizado.....	40
1.5.3. Mecanismos de reacción en la pirolisis de polietileno.	47
3. OBJETIVOS.	49
4. MATERIALES Y MÉTODOS.	50
4.1 REACTIVOS.....	50

□	N-HEXANO ($\geq 97.0\%$) (PANREAC, SPAIN).	50
□	NITRÓGENOS GASEOSO.	50
4.2	MATERIAL E INSTRUMENTACIÓN.....	50
4.3	MUESTRAS.	54
4.4	PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.	54
5.	RESULTADOS EXPERIMENTALES.	61
5.1.	MUESTRA 1.	63
5.1.1.	R1 (Rampa temperatura de 330°C a 450°C a 50°C/min) en la Muestra 1.....	64
5.1.2.	R2 (Rampa temperatura de 450°C a 500°C a 50°C/min) en la Muestra 1.....	66
5.1.3.	R3 (Rampa temperatura de 500°C a 700°C a 50°C/min) en la Muestra 1.....	67
5.1.4.	R4 (Rampa temperatura de 700°C a 900°C a 50°C/min) en la Muestra 1.....	69
5.1.5.	R5 (Rampa temperatura de 300°C a 500°C a 20°C/min) en la Muestra 1.....	70
5.1.6.	R6 (Rampa temperatura de 300°C a 500°C a 50°C/min) en la Muestra 1.....	71
5.1.7.	R7 (Rampa temperatura de 300°C a 500°C a 80°C/min) en la Muestra 1.....	73
5.1.8.	R8 (Rampa temperatura de 250°C a 450°C a 50°C/min) en la Muestra 1.....	74
5.1.9.	R9 (Rampa temperatura de 250°C a 450°C a 100°C/min) en la Muestra 1... 75	
5.2.	MUESTRA 2.	77
5.2.1.	R1 (Rampa temperatura de 330°C a 450°C a 50°C/min) en la Muestra 2.....	78
5.2.2.	R2 (Rampa temperatura de 450°C a 500°C a 50°C/min) en la Muestra 2.....	79
5.2.3.	R3 (Rampa temperatura de 500°C a 700°C a 50°C/min) en la Muestra.....	80
5.2.4.	R3 Lenta (Rampa temperatura 500°C -700°C a 20°C/min) en la Muestra 2. 81	
5.2.5.	R4 (Rampa temperatura de 700°C a 900°C a 50°C/min) en la Muestra 2.....	83
5.2.6.	R5 (Rampa temperatura de 300°C a 500°C a 20°C/min) en la Muestra 2.....	85
5.2.7.	R6 (Rampa temperatura de 300°C a 500°C a 50°C/min) en la Muestra 2.....	86
5.2.8.	R7 (Rampa temperatura de 300°C a 500°C a 80°C/min) en la Muestra 2.....	88
5.2.9.	R8 (Rampa temperatura de 250°C a 450°C a 50°C/min) en la Muestra 2.....	89
5.2.10.	R9 (Rampa temperatura de 250°C a 450°C a 100°C/min) en la Muestra 2... 90	
5.3.	MUESTRA 3.	92
5.3.1.	R1 (Rampa temperatura de 330°C a 450°C a 50°C/min) en la Muestra 3.....	93
5.3.2.	R2 (Rampa temperatura de 450°C a 500°C a 50°C/min) en la Muestra 3.....	94
5.3.3.	R3 (Rampa temperatura de 500°C a 700°C a 50°C/min) en la Muestra 3.....	96
5.3.4.	R4 (Rampa temperatura de 700°C a 900°C a 50°C/min) en la Muestra 3.....	97
5.4.	MUESTRA 4.	99
5.4.1.	R1 (Rampa temperatura de 330°C a 450°C a 50°C/min) en la Muestra 4... 100	
5.4.2.	R2 (Rampa temperatura de 450°C a 500°C a 50°C/min) en la Muestra 4... 101	
5.4.3.	R3 (Rampa temperatura de 500°C a 700°C a 50°C/min) en la Muestra 4... 103	
5.4.4.	R4 (Rampa temperatura de 700°C a 900°C a 50°C/min) en la Muestra 4... 104	
5.4.5.	R5 (Rampa temperatura de 300°C a 500°C a 20°C/min) en la Muestra 4... 105	
5.4.6.	R6 (Rampa temperatura de 300°C a 500°C a 50°C/min) en la Muestra 4... 106	
5.4.7.	R7 (Rampa temperatura de 300°C a 500°C a 80°C/min) en la Muestra 4... 108	
5.4.8.	R8 (Rampa temperatura de 250°C a 450°C a 50°C/min) en la Muestra 4... 109	
5.4.9.	R9 (Rampa temperatura de 250°C a 450°C a 100°C/min) en la Muestra 2. 111	
5.5.	MUESTRA 5.	112

5.5.1.	<i>R1 (Rampa temperatura de 330°C a 450°C a 50°C/min) en la Muestra 5...</i>	113
5.5.2.	<i>R2 (Rampa temperatura de 450°C a 500°C a 50°C/min) en la Muestra 5...</i>	114
5.5.4.	<i>R4 (Rampa temperatura de 700°C a 900°C a 50°C/min) en la Muestra 5...</i>	117
6.	DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	119
6.1.	MUESTRA 1.....	120
6.2.	MUESTRA 2.....	125
6.3.	MUESTRA 3.....	131
6.4.	MUESTRA 4.....	134
6.5.	MUESTRA 5.....	140
7.	CONCLUSIONES.	144
8.	BIBLIOGRAFÍA.	146

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1.PIROLISIS REALIZADAS A LAS MUESTRAS CON LAS DISTINTAS RAMPAS.	61
TABLA 2. COMPUESTOS EMITIDOS EN LA PIROLISIS DE LA MUESTRA 1 CON LA RAMPA 1.	65
TABLA 3. COMPUESTOS EMITIDOS EN LA PIROLISIS DE LA MUESTRA 1 CON LA RAMPA 2.	67
TABLA 4. COMPUESTOS EMITIDOS EN LA PIROLISIS DE LA MUESTRA 1 CON LA RAMPA 3.	68
TABLA 5. COMPUESTOS EMITIDOS EN LA PIROLISIS DE LA MUESTRA 1 CON LA RAMPA 4.	70
TABLA 6. COMPUESTOS EMITIDOS EN LA PIROLISIS DE LA MUESTRA 1 CON LA RAMPA 5.	71
TABLA 7. COMPUESTOS EMITIDOS EN LA PIROLISIS DE LA MUESTRA 1 CON LA RAMPA 6.	72
TABLA 8. COMPUESTOS EMITIDOS EN LA PIROLISIS DE LA MUESTRA 1 CON LA RAMPA 7.	73
TABLA 9. COMPUESTOS EMITIDOS EN LA PIROLISIS DE LA MUESTRA 1 CON LA RAMPA 8.	75
TABLA 10. COMPUESTOS EMITIDOS EN LA PIROLISIS DE LA MUESTRA 1 CON LA RAMPA 9.	76
TABLA 11. COMPUESTOS EMITIDOS EN LA PIROLISIS DE LA MUESTRA 2 CON LA RAMPA 1.	78
TABLA 12. COMPUESTOS EMITIDOS EN LA PIROLISIS DE LA MUESTRA 2 CON LA RAMPA 2.	80
TABLA 13. COMPUESTOS EMITIDOS EN LA PIROLISIS DE LA MUESTRA 2 CON LA RAMPA 3.	81
TABLA 14. COMPUESTOS EMITIDOS EN LA PIROLISIS DE LA MUESTRA 2 CON LA RAMPA 3 LENTA.	83
TABLA 15. COMPUESTOS EMITIDOS EN LA PIROLISIS DE LA MUESTRA 2 CON LA RAMPA 4.	84
TABLA 16. COMPUESTOS EMITIDOS EN LA PIROLISIS DE LA MUESTRA 2 CON LA RAMPA 5.	86
TABLA 17. COMPUESTOS EMITIDOS EN LA PIROLISIS DE LA MUESTRA 2 CON LA RAMPA 6.	87

TABLA 18. COMPUESTOS EMITIDOS EN LA PIROLISIS DE LA MUESTRA 2 CON LA RAMPA 7.....	89
TABLA 19. COMPUESTOS EMITIDOS EN LA PIROLISIS DE LA MUESTRA 2 CON LA RAMPA 8.....	90
TABLA 20. COMPUESTOS EMITIDOS EN LA PIROLISIS DE LA MUESTRA 2 CON LA RAMPA 9.....	92
TABLA 21. COMPUESTOS EMITIDOS EN LA PIROLISIS DE LA MUESTRA 3 CON LA RAMPA 1.....	94
TABLA 22. COMPUESTOS EMITIDOS EN LA PIROLISIS DE LA MUESTRA 3 CON LA RAMPA 2.....	96
TABLA 23. COMPUESTOS EMITIDOS EN LA PIROLISIS DE LA MUESTRA 3 CON LA RAMPA 3.....	97
TABLA 24. COMPUESTOS EMITIDOS EN LA PIROLISIS DE LA MUESTRA 3 CON LA RAMPA 4.....	98
TABLA 25. COMPUESTOS EMITIDOS EN LA PIROLISIS DE LA MUESTRA 4 CON LA RAMPA 1.....	101
TABLA 26. COMPUESTOS EMITIDOS EN LA PIROLISIS DE LA MUESTRA 4 CON LA RAMPA 2.....	102
TABLA 27. COMPUESTOS EMITIDOS EN LA PIROLISIS DE LA MUESTRA 4 CON LA RAMPA 3.....	104
TABLA 28. COMPUESTOS EMITIDOS EN LA PIROLISIS DE LA MUESTRA 4 CON LA RAMPA 4.....	105
TABLA 29. COMPUESTOS EMITIDOS EN LA PIROLISIS DE LA MUESTRA 4 CON LA RAMPA 5.....	106
TABLA 30. COMPUESTOS EMITIDOS EN LA PIROLISIS DE LA MUESTRA 4 CON LA RAMPA 6.....	107
TABLA 31. COMPUESTOS EMITIDOS EN LA PIROLISIS DE LA MUESTRA 4 CON LA RAMPA 7.....	109
TABLA 32. COMPUESTOS EMITIDOS EN LA PIROLISIS DE LA MUESTRA 4 CON LA RAMPA 8.....	110
TABLA 33. COMPUESTOS EMITIDOS EN LA PIROLISIS DE LA MUESTRA 4 CON LA RAMPA 9.....	112
TABLA 34. COMPUESTOS EMITIDOS EN LA PIROLISIS DE LA MUESTRA 5 CON LA RAMPA 1.....	114
TABLA 35. COMPUESTOS EMITIDOS EN LA PIROLISIS DE LA MUESTRA 5 CON LA RAMPA 2.....	115

5.5.3. R3 (RAMPA DE TEMPERATURA DE 500°C A 700°C A 50°C/MIN) EN LA MUESTRA 5.....	116
TABLA 36. COMPUESTOS EMITIDOS EN LA PIROLISIS DE LA MUESTRA 5 CON LA RAMPA 3.....	116
TABLA 37. COMPUESTOS EMITIDOS EN LA PIROLISIS DE LA MUESTRA 5 CON LA RAMPA 4.....	118
TABLA 38. COMPUESTOS RELACIONADOS CON EL EXPERIMENTO O ENSAYO DE PIROLISIS REALIZADO A DISTINTA RAMPA DE TEMPERATURA Y DISTINTA VELOCIDAD DE CALENTAMIENTO A LA MUESTRA 1.	122
TABLA 39. CANTIDADES DE COMPUESTOS RELEVANTES AGRUPADOS POR GRUPOS FUNCIONALES DE LA <u>MUESTRA 1</u> VARIANDO LAS TEMPERATURAS DE LAS RAMPAS Y DEJANDO CONSTANTE LA VELOCIDAD DE CALENTAMIENTO.....	123
TABLA 40. CANTIDADES DE COMPUESTOS RELEVANTES AGRUPADOS POR GRUPOS FUNCIONALES DE LA <u>MUESTRA 1</u> VARIANDO LA VELOCIDAD DE CALENTAMIENTO DE LAS RAMPAS Y DEJANDO CONSTANTES LAS TEMPERATURAS DE ÉSTAS.	124
TABLA 41. COMPUESTOS RELACIONADOS CON EL EXPERIMENTO O ENSAYO DE PIROLISIS REALIZADO A DISTINTA RAMPA DE TEMPERATURA Y DISTINTA VELOCIDAD DE CALENTAMIENTO A LA <u>MUESTRA2</u>.	128
TABLA 42. CANTIDADES DE COMPUESTOS RELEVANTES AGRUPADOS POR GRUPOS FUNCIONALES DE LA <u>MUESTRA 2</u> VARIANDO LAS TEMPERATURAS DE LAS RAMPAS Y DEJANDO CONSTANTE LA VELOCIDAD DE CALENTAMIENTO.....	128
TABLA 43. CANTIDADES DE COMPUESTOS RELEVANTES AGRUPADOS POR GRUPOS FUNCIONALES DE LA <u>MUESTRA 2</u> VARIANDO LA VELOCIDAD DE CALENTAMIENTO DE LAS RAMPAS Y DEJANDO CONSTANTES LAS TEMPERATURAS DE ÉSTAS.	129
TABLA 44. COMPUESTOS RELACIONADOS CON EL EXPERIMENTO O ENSAYO DE PIROLISIS REALIZADO A DISTINTA RAMPA DE TEMPERATURA Y DISTINTA VELOCIDAD DE CALENTAMIENTO A LA <u>MUESTRA 3</u>.	133
TABLA 45. CANTIDADES DE COMPUESTOS RELEVANTES AGRUPADOS POR GRUPOS FUNCIONALES DE LA <u>MUESTRA 3</u> VARIANDO LAS TEMPERATURAS DE LAS RAMPAS Y DEJANDO CONSTANTE LA VELOCIDAD DE CALENTAMIENTO.....	133
TABLA 46. COMPUESTOS RELACIONADOS CON EL EXPERIMENTO O ENSAYO DE PIROLISIS REALIZADO A DISTINTA RAMPA DE	

TEMPERATURA Y DISTINTA VELOCIDAD DE CALENTAMIENTO DE LA <u>MUESTRA 4</u>	137
TABLA 47. CANTIDADES DE COMPUESTOS RELEVANTES AGRUPADOS POR GRUPOS FUNCIONALES DE LA <u>MUESTRA 4</u> VARIANDO LAS TEMPERATURAS DE LAS RAMPAS Y DEJANDO CONSTANTE LA VELOCIDAD DE CALENTAMIENTO.....	138
TABLA 48. CANTIDADES DE COMPUESTOS RELEVANTES AGRUPADOS POR GRUPOS FUNCIONALES DE LA <u>MUESTRA 4</u> VARIANDO LA VELOCIDAD DE CALENTAMIENTO DE LAS RAMPAS Y DEJANDO CONSTANTES LAS TEMPERATURAS DE ÉSTAS.	139
TABLA 49. COMPUESTOS RELACIONADOS CON EL EXPERIMENTO O ENSAYO DE PIROLISIS REALIZADO A DISTINTA RAMPA DE TEMPERATURA Y DISTINTA VELOCIDAD DE CALENTAMIENTO DE LA <u>MUESTRA 5</u>	142
TABLA 50. CANTIDADES DE COMPUESTOS RELEVANTES AGRUPADOS POR GRUPOS FUNCIONALES DE LA <u>MUESTRA 5</u> VARIANDO LAS TEMPERATURAS DE LAS RAMPAS Y DEJANDO CONSTANTE LA VELOCIDAD DE CALENTAMIENTO.....	142

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.PRODUCCIÓN ANUAL DE PLÁSTICO EN EL MUNDO DESDE 1950 A 2018. 18	
FIGURA 2. PRINCIPALES PAÍSES Y ZONAS PRODUCTORAS DE PLÁSTICO EN EL MUNDO.....	19
FIGURA 3. EVOLUCIÓN DE LA PRODUCCIÓN EUROPEA DE PLÁSTICOS. ..	20
FIGURA 4. EVOLUCIÓN DE LA PRODUCCIÓN ESPAÑOLA DE PLÁSTICO. ..	20
FIGURA 5.DEMANDA DE MATERIALES PLÁSTICOS EN EL MUNDO (IZQUIERDA) Y DEMANDA DE PLÁSTICOS TERMOPLÁSTICOS POR TIPO DE POLÍMERO (DERECHA).....	21
FIGURA 6. USO MUNDIAL DE POLÍMEROS POR SECTORES.....	22
FIGURA 7. USO DE PLÁSTICOS POR SECTORES EN EUROPA Y EN ESPAÑA.	22
FIGURA 8. CLASIFICACIÓN DE LOS TERMOPLÁSTICOS MÁS FÁCILES DE RECICLAR SEGÚN EL CÓDIGO DE IDENTIFICACIÓN DE PLÁSTICOS.....	26
FIGURA 9. ESQUEMA DE LA ESTRUCTURA DEL POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD (HDPE), DE BAJA DENSIDAD (LDPE) Y LINEAL DE BAJA DENSIDAD (LLDPE)	27
FIGURA 10. ESTRUCTURA QUÍMICA DEL LDPE.	27
FIGURA 11. PRINCIPALES SECTORES DE APLICACIÓN DEL LDPE.....	28
FIGURA 12. ESQUEMA DE LOS PROCESOS DE RECICLADO QUÍMICO.	32
FIGURA 13. DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE UN REACTOR DE TORNILLO..	40
FIGURA 14. DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE UN REACTOR EXTRUSOR.	41
FIGURA 15. DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE UN REACTOR DE ESFERAS. ...	43
FIGURA 16. DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE UN REACTOR “RISER” (A ESCALA DE LABORATORIO) DONDE SE HA INTRODUCIDO UNA CANASTA O RECIPIENTE EN LA CUAL SE COLOCA EL MATERIAL QUE ESTARÁ FLUIDIZADO DURANTE EL PROCESO DE DESCOMPOSICIÓN.	44
FIGURA 17. DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE UN REACTOR DE LECHO FLUIDIZADO CIRCULANTE (CFB).	45
FIGURA 18. .. DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE UN REACTOR “SPOUTEDBED” (LECHO EN SURTIDOR).	45
FIGURA 19. DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE UN REACTOR DE LECHO FLUIDIZADO CON RECIRCULACIÓN INTERNA (ICFB).	46

FIGURA 20. DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE UN REACTOR DE CONO ROTATORIO ACOPLADO CON UNA ZONA DE COMBUSTIÓN (IFB).	47
FIGURA 21.CROMATOGRAMAS DE LAS PIRÓLISIS DE LA MUESTRA 1 EN LAS DISTINTAS RAMPAS DE TEMPERATURA.	63
FIGURA 22. ..CROMATOGRAMA DE LA PIRÓLISIS DE LA MUESTRA 1 EN LA RAMPA 1.	64
FIGURA 23. ..CROMATOGRAMA DE LA PIRÓLISIS DE LA MUESTRA 1 EN LA RAMPA 2	66
FIGURA 24. ..CROMATOGRAMA DE LA PIRÓLISIS DE LA MUESTRA 1 EN LA RAMPA 3.	67
FIGURA 25. ..CROMATOGRAMA DE LA PIRÓLISIS DE LA MUESTRA 1 EN LA RAMPA 4.	69
FIGURA 26. ..CROMATOGRAMA DE LA PIRÓLISIS DE LA MUESTRA 1 EN LA RAMPA 5.	70
FIGURA 27. ..CROMATOGRAMA DE LA PIRÓLISIS DE LA MUESTRA 1 EN LA RAMPA 6.	71
FIGURA 28. ..CROMATOGRAMA DE LA PIRÓLISIS DE LA MUESTRA 1 EN LA RAMPA 7.	73
FIGURA 29. ..CROMATOGRAMA DE LA PIRÓLISIS DE LA MUESTRA 1 EN LA RAMPA 8.	74
FIGURA 30. ..CROMATOGRAMA DE LA PIRÓLISIS DE LA MUESTRA 1 EN LA RAMPA 9.	75
FIGURA 31.COMPARATIVA DE CROMATOGRAMAS DE LA PIROLISIS DE LA MUESTRA 2 EN LAS DISTINTAS RAMPAS.	77
FIGURA 32. ..CROMATOGRAMA DE LA PIRÓLISIS DE LA MUESTRA 2 EN LA RAMPA 1.	78
FIGURA 33. ..CROMATOGRAMA DE LA PIRÓLISIS DE LA MUESTRA 2 EN LA RAMPA 2.	79
FIGURA 34. ..CROMATOGRAMA DE LA PIRÓLISIS DE LA MUESTRA 2 EN LA RAMPA 3.	80
FIGURA 35. ..CROMATOGRAMA DE LA PIRÓLISIS DE LA MUESTRA 2 EN LA RAMPA 3 LENTA.	81
FIGURA 36. ..CROMATOGRAMA DE LA PIRÓLISIS DE LA MUESTRA 2 EN LA RAMPA 4.	83
FIGURA 37. ..CROMATOGRAMA DE LA PIRÓLISIS DE LA MUESTRA 2 EN LA RAMPA 5.	85

FIGURA 38. ..CROMATOGRAMA DE LA PIRÓLISIS DE LA MUESTRA 2 EN LA RAMPA 6.	86
FIGURA 39. ..CROMATOGRAMA DE LA PIRÓLISIS DE LA MUESTRA 2 EN LA RAMPA 7.	88
FIGURA 40. ..CROMATOGRAMA DE LA PIRÓLISIS DE LA MUESTRA 2 EN LA RAMPA 8.	89
FIGURA 41. ..CROMATOGRAMA DE LA PIRÓLISIS DE LA MUESTRA 2 EN LA RAMPA 9.	91
FIGURA 42. COMPARATIVA DE LOS CROMATOGRAMAS DE LAS PIROLISIS REALIZADAS CON DISTINTAS RAMPAS A LA MUESTRA 3.	92
FIGURA 43. ..CROMATOGRAMA DE LA PIRÓLISIS DE LA MUESTRA 3 EN LA RAMPA 1.	93
FIGURA 44. ..CROMATOGRAMA DE LA PIRÓLISIS DE LA MUESTRA 3 EN LA RAMPA 2.	94
FIGURA 45. ..CROMATOGRAMA DE LA PIRÓLISIS DE LA MUESTRA 3 EN LA RAMPA 3.	96
FIGURA 46. ..CROMATOGRAMA DE LA PIRÓLISIS DE LA MUESTRA 3 EN LA RAMPA 4.	97
FIGURA 47.COMPARATIVA DE CROMATOGRAMAS DE LA PIROLISIS DE LA MUESTRA 4 EN LAS DISTINTAS RAMPAS.....	99
FIGURA 48. ..CROMATOGRAMA DE LA PIRÓLISIS DE LA MUESTRA 4 EN LA RAMPA 1.	100
FIGURA 49. ..CROMATOGRAMA DE LA PIRÓLISIS DE LA MUESTRA 4 EN LA RAMPA 2.	101
FIGURA 50. ..CROMATOGRAMA DE LA PIRÓLISIS DE LA MUESTRA 4 EN LA RAMPA 3.	103
FIGURA 51. ..CROMATOGRAMA DE LA PIRÓLISIS DE LA MUESTRA 4 EN LA RAMPA 4.	104
FIGURA 52. ..CROMATOGRAMA DE LA PIRÓLISIS DE LA MUESTRA 4 EN LA RAMPA 5.	105
FIGURA 53. ..CROMATOGRAMA DE LA PIRÓLISIS DE LA MUESTRA 4 EN LA RAMPA 6.	106
FIGURA 54. ..CROMATOGRAMA DE LA PIRÓLISIS DE LA MUESTRA 4 EN LA RAMPA 7.	108
FIGURA 55. ..CROMATOGRAMA DE LA PIRÓLISIS DE LA MUESTRA 4 EN LA RAMPA 8.	109

FIGURA 56. ..CROMATOGRAMA DE LA PIRÓLISIS DE LA MUESTRA 4 EN LA RAMPA 9.	111
FIGURA 57.COMPARATIVA DE CROMATOGRAMAS DE LA PIROLISIS DE LA MUESTRA 5 EN LAS DISTINTAS RAMPAS.....	112
FIGURA 58. ..CROMATOGRAMA DE LA PIRÓLISIS DE LA MUESTRA 5 EN LA RAMPA 1.	113
FIGURA 59. ...CROMATOGRAMA DE LA PIRÓLISIS DE LA MUESTRA 5 EN LA RAMPA 2.	114
FIGURA 60. ..CROMATOGRAMA DE LA PIRÓLISIS DE LA MUESTRA 5 EN LA RAMPA 3.	116
FIGURA 61. ..CROMATOGRAMA DE LA PIRÓLISIS DE LA MUESTRA 5 EN LA RAMPA 4.	117
FIGURA 62. DIAGRAMA DE BARRAS DE LOS GRUPOS FUNCIONALES OBTENIDOS EN LA DEGRADACIÓN DE LA <u>MUESTRA 1</u> VARIANDO LA TEMPERATURA DE LAS RAMPAS Y DEJANDO CONSTANTE LA VELOCIDAD DE CALENTAMIENTO. (<i>ELABORACIÓN PROPIA</i>)	123
FIGURA 63. DIAGRAMA DE BARRAS DE LOS GRUPOS FUNCIONALES OBTENIDOS EN LA DEGRADACIÓN DE LA <u>MUESTRA 1</u> VARIANDO LA VELOCIDAD DE CALENTAMIENTO Y DEJANDO CONSTANTE LAS TEMPERATURAS DE LAS RAMPAS. (<i>ELABORACIÓN PROPIA</i>)	124
FIGURA 64. DIAGRAMA DE BARRAS DE LOS GRUPOS FUNCIONALES OBTENIDOS EN LA DEGRADACIÓN DE LA <u>MUESTRA 2</u> VARIANDO LA TEMPERATURA DE LAS RAMPAS Y DEJANDO CONSTANTE LA VELOCIDAD DE CALENTAMIENTO. (<i>ELABORACIÓN PROPIA</i>)	129
FIGURA 65. DIAGRAMA DE BARRAS DE LOS GRUPOS FUNCIONALES OBTENIDOS EN LA DEGRADACIÓN DE LA <u>MUESTRA 2</u> VARIANDO LA VELOCIDAD DE CALENTAMIENTO Y DEJANDO CONSTANTE LAS TEMPERATURAS DE LAS RAMPAS. (<i>ELABORACIÓN PROPIA</i>)	130
FIGURA 66. DIAGRAMA DE BARRAS DE LOS GRUPOS FUNCIONALES OBTENIDOS EN LA DEGRADACIÓN DE LA <u>MUESTRA 3</u> VARIANDO LA TEMPERATURA DE LAS RAMPAS Y DEJANDO CONSTANTE LA VELOCIDAD DE CALENTAMIENTO. (<i>ELABORACIÓN PROPIA</i>)	134
FIGURA 67. DIAGRAMA DE BARRAS DE LOS GRUPOS FUNCIONALES OBTENIDOS EN LA DEGRADACIÓN DE LA <u>MUESTRA 4</u> VARIANDO LA TEMPERATURA DE LAS RAMPAS Y DEJANDO CONSTANTE LA VELOCIDAD DE CALENTAMIENTO. (<i>ELABORACIÓN PROPIA</i>)	138
FIGURA 68. DIAGRAMA DE BARRAS DE LOS GRUPOS FUNCIONALES OBTENIDOS EN LA DEGRADACIÓN DE LA <u>MUESTRA 4</u> VARIANDO LA	

VELOCIDAD DE CALENTAMIENTO Y DEJANDO CONSTANTE LAS TEMPERATURAS DE LAS RAMPAS. (ELABORACIÓN PROPIA)	139
FIGURA 69. DIAGRAMA DE BARRAS DE LOS GRUPOS FUNCIONALES OBTENIDOS EN LA DEGRADACIÓN DE LA <u>MUESTRA 5</u> VARIANDO LA TEMPERATURA DE LAS RAMPAS Y DEJANDO CONSTANTE LA VELOCIDAD DE CALENTAMIENTO. (ELABORACIÓN PROPIA)	143

ÍNDICE DE IMÁGENES

IMAGEN 1.BALANZA ANALÍTICA UTILIZADA.	50
IMAGEN 2.DISTINTAS IMÁGENES DEL EQUIPO PIROLIZADOR + ESPECTRÓMETRO DE MASAS.....	51
IMAGEN 3.FRASCOS DE VIDRIO PORTA MUESTRAS (CON “POCILLOS” PARA EL PIROLIZADOR).....	51
IMAGEN 4.SOPLETE DE LABORATORIO USADO.....	52
IMAGEN 5.CÁPSULAS DONDE SE DEPOSITA LA MUESTRA.....	52
IMAGEN 6.EQUIPO DE ULTRASONIDOS.....	53
IMAGEN 7.PIPETAS.	53
IMAGEN 8.MUESTRAS DE BOLSAS DE PLÁSTICO LDPE	54
IMAGEN 9.PANTALLA DEL PROGRAMA INFORMÁTICO DEL PIROLIZADOR. ANÁLISIS . (EJEMPLOS RAMPA 5 Y RAMPA 9).....	56
IMAGEN 10. ANÁLISIS DEL GC-MS. PANTALLA DEL PROGRAMA INFORMÁTICO.	57
IMAGEN 11. OTRASAS IMÁGENES DEL PROGRAMA BRUKER MSWS	58
IMAGEN 12. PREPARACIÓN DE LOS RESTOS DE MUESTRA TRAS LA PIROLISIS.....	59
IMAGEN 13. HOMOGENEIZAR LA DISOLUCIÓN CON N-HEXANO MEDIANTE ULTRASONIDO	59
IMAGEN 14. SEPARACIÓN DEL N-HEXANO DE LA MUESTRA MEDIANTE CORRIENTE DE NITRÓGENO GAS.	60

1. RESUMEN.

Debido al desarrollo tecnológico acontecido en las últimas décadas se ha producido un considerable crecimiento en la generación de residuos plásticos en las sociedades modernas. El polietileno de baja densidad (LDPE) se presenta como uno de los plásticos más utilizados y por ello es uno de los plásticos con mayor presencia en los residuos de esta naturaleza. La obtención de energía a partir de residuos poliméricos, más concretamente del LDPE, es uno de los puntos que más inquietan a la Química Sostenible en la actualidad, no solo por la obtención de un biofuel procedente del reciclado, sino también por obtener un modo de eliminar los abundantes residuos poliméricos que estamos llegando a producir.

Es la pirolisis la que se nos presenta como una vía interesante en el reciclado y valorización de los residuos plásticos, ya que permite transformarlos en otros compuestos químicos.

Se ha evaluado la influencia de un número de variables de operación en la degradación térmica del LDPE, muestras de residuos poliméricos de restos de bolsas, en este estudio más concretamente las rampas de temperatura en la que se realiza la pirolisis y la velocidad de calentamiento que se aplica en ella. De esta forma se analiza el efecto que dichos parámetros producen sobre el rendimiento y composición de las distintas fracciones obtenidas en la pirólisis de este polímero determinando qué compuestos se obtienen, en qué momento, en qué rango de temperatura y usando qué velocidad al degradar térmicamente dichos residuos. Para ello se ha utilizado pirolisis acoplada con cromatografía de gases y espectrometría de masas (P-GC-MS).

Si la hipótesis era con ello generar compuestos que sirvieran como combustible para el proceso y eso requería elevadas proporciones de alcanos de cadena corta, tras realizar los análisis y meditar sus resultados se ve que no se han encontrado dichos productos.

Se extrae del estudio realizado como principal conclusión el que en las condiciones del trabajo llevadas a cabo, no se obtienen efluentes líquidos con potencial de realimentación del proceso.

En general, este trabajo puede sentar bases para futuras investigaciones y desarrollos del proceso de pirólisis para recuperar combustibles y otros productos químicos a partir de plásticos LDPE. Se plantea continuar el estudio realizando un diseño experimental más amplio, modificando el rango de las variables e introduciendo nuevas

como puede ser la presión de trabajo, el tiempo de residencia del vapor en la zona de calentamiento, el tipo de reactor utilizado e incluso el añadir distintos catalizadores al proceso.

1.1. Abstract.

The pyrolysis treatment is presented as an very interesting way to recycle and recover plastic waste, as it allows it to be transformed into other chemical compounds.

The influence of a number of operating variables on the thermal degradation of LDPE, polymeric waste samples of bag waste, has been evaluated, in this study more specifically the temperature ramps at which pyrolysis is carried out and the heating rate applied to it. In this way, the effect that these parameters have on the yield and composition of the different fractions obtained in the pyrolysis of this polymer is analysed, determining which compounds are obtained, at what time, in what temperature range and using what speed when thermally degrading these wastes. For this purpose, pyrolysis coupled with gas chromatography-mass spectrometry (P-GC-MS) was used.

If the hypothesis was to generate compounds that would serve as fuel for the process and this required high proportion of short-chain alkanes, after carrying out the analyses and considering the results, it is clear that no such products have been found.

The main conclusion drawn from the study is that under the experimental conditions of the work carried out, no liquid effluents with the potential to feed back into the process are obtained.

In general, this work can lay the foundations for future research and development of the pyrolysis process to recover fuels and/or fine chemical from LDPE plastics. It is proposed to continue the study by carrying out a broader experimental design, modifying the range of variables and introducing new ones such as working pressure, steam residence time in the heating zone, the type of reactor used and even adding different catalysts to the process.

2. INTRODUCCIÓN

1.2. Los materiales plásticos.

1.2.1. *Breve reseña histórica de los plásticos.*

Fue en la década de 1860 cuando se obtuvo el primer polímero sintético a partir de materiales de origen vegetal. John Wesley Hyatt respondió a un fabricante estadounidense de bolas de billar que otorgaba una recompensa al que ofreciera un sustituto al marfil natural con el que se fabricaban dichas bolas. Hyatt trató la celulosa de la fibra de algodón con alcanfor, y obtuvo un plástico que podía ser moldeado. Así se consiguió el primer plástico de la historia.

A partir de ahí se continuó consiguiendo los primeros plásticos comerciales al modificar productos naturales como la celulosa y el caucho con distintas reacciones químicas, como por ejemplo el celuloide. Pasados unos años, ya entrado el siglo XX, hubo un gran aumento en la fabricación de polímeros provocada por una importante demanda en el uso de estos productos teniendo su mayor auge en los años 20/30 cuando H. Staundinger los nombró por primera vez como macromolécula describiendo, prácticamente como la conocemos ahora, la estructura interna de los polímeros. Esto ayudó a que pronto hubiera un gran avance en su estudio y desarrollo creándose un buen número de nuevos materiales como el PVC (policloruro de vinilo), el nylon o el teflón.

En la segunda mitad del siglo XX hubo una evolución en el desarrollo de los plásticos. El alemán Ziegler y el italiano Natta compartieron el premio Nobel de química en 1963 por el desarrollo del polietileno y del polipropileno respectivamente, dos de los plásticos más usados en la actualidad, al descubrir que el etileno gas puede polimerizar al entrar en contacto con ciertos catalizadores a presión atmosférica.

A continuación de esto la industria del plástico se centró en el desarrollo y la modificación de éstos mediante la copolimerización y la mezcla de polímeros entre ellos y con aditivos.

En los últimos años se siguió investigando para mejorar los plásticos que ya existen y para dar lugar a los llamados nuevos plásticos de altas prestaciones, una gran variedad de plásticos con unas características determinadas.

En las décadas de los 60 y 70 el gran auge en su producción y consumo hizo que surgiera una nueva preocupación relacionada con los plásticos: la excesiva generación de

residuo polimérico. En la actualidad, ahí se centran todos los estudios, creyendo que la solución debería estar en una mayor concienciación ciudadana, una adecuada gestión del residuo (basada principalmente en el reciclaje) y una clara apuesta por la innovación en estos productos (materias primas alternativas, procesos de producción más sostenibles, ecodiseño y sistemas de gestión de residuos aún más eficaces como el reciclado químico).

1.2.2. *Producción y consumo de plásticos.*

A mediados del siglo XX aumentó considerablemente la producción de plásticos como consecuencia de la Segunda Guerra Mundial. De ahí surgieron nuevos plásticos muy económicos y de gran flexibilidad que se usaron en gran cantidad de productos. Tras ésta, llegaron unos años de gran expansión económica mundial e impulsó la producción de plásticos para cientos de productos de consumo convirtiéndolos como un material cotidiano debido a sus importantes características: económico, ligero, moldeable, flexible, resistente. Desde entonces sigue creciendo día a día la dependencia de los plásticos.

El crecimiento en la producción anual de plásticos primarios basados en fósiles ha sido desorbitado. En 1950 se produjeron unos 2 millones de toneladas y en 2017 se produjeron unos 438 millones de toneladas. Podemos decir que se ha multiplicado por veinte la producción de plásticos al año en las últimas 5 décadas y esto no está parando.

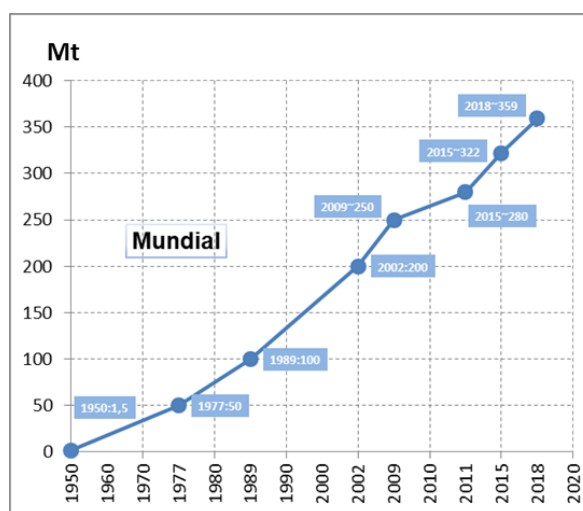


Figura 1. Producción anual de plástico en el mundo desde 1950 a 2018.

Fuente: Plastics Europe, 2018.

La situación de la pandemia mundial provocada por la COVID-19 ha hecho que se notara una disminución en la producción del plástico cayendo ésta en un 0.3% en 2020. Sin embargo este retroceso se prevé que sea momentáneo. Para 2050 se calcula que superará los 1100 millones de toneladas de producción anual mundial de plástico.. Un dato importante para que esto se dé es la facilidad que hay en la introducción de productos plásticos en el mercado mediante la adicción de aditivos en los plásticos existentes.

América del Norte y Europa han liderado siempre la producción mundial de plásticos hasta que en los últimos años ha sorprendido la importante aparición de Asia en este sentido. Sólo China suponía en 2016 el 28 % de la producción total de resinas plásticas y el 64 % de la producción de fibras sintéticas mundiales. La producción se reparte así por las distintas regiones en función de las inversiones en la industria petroquímica, la demanda del usuario y el precio de las materias primas.

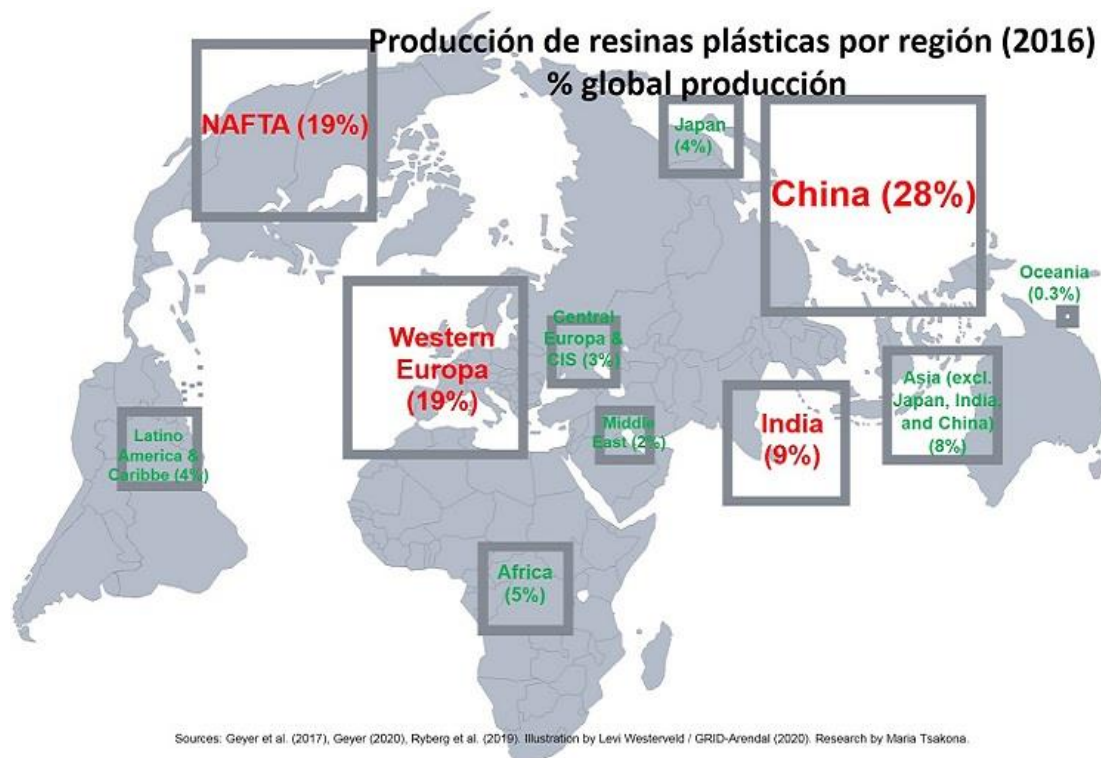


Figura 2. Principales países y zonas productoras de plástico en el mundo.

Fuente: GRID-Arendal, 2020 (Disponible en: rds.org.co)

La producción española y la europea en general tienen un inconveniente frente a otras industrias extranjeras como son el superior coste laboral en comparación con otros países en vías de desarrollo y el difícil y costoso acceso a la energía y a la materia prima básica, el

petróleo. Por ello los países asiáticos están adelantando en productividad provocando un mayor esfuerzo en innovación y tecnología a las industrias europeas para poder mantener y mejorar la productividad.

Europa se mantiene estable en la producción de plástico en los últimos años siendo Alemania el mayor productor seguido de Bélgica y Francia. España ocupa el sexto lugar no habiendo datos favorables en las últimas décadas por las crisis económicas en que se ha visto inmersa aunque en 2014 hubo datos esperanzadores con un pequeño aumento en su producción llegando a los 5 millones y medio de toneladas en 2018 antes del parón por la COVID.

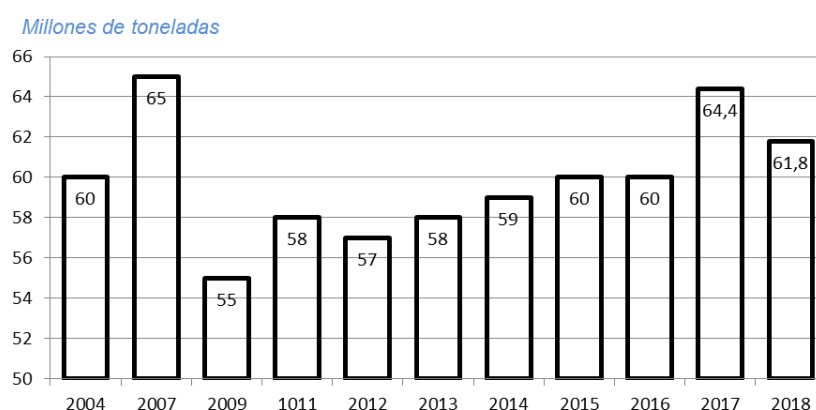


Figura 3. Evolución de la producción europea de plásticos.

Fuente: Plastics Europe, (2018).

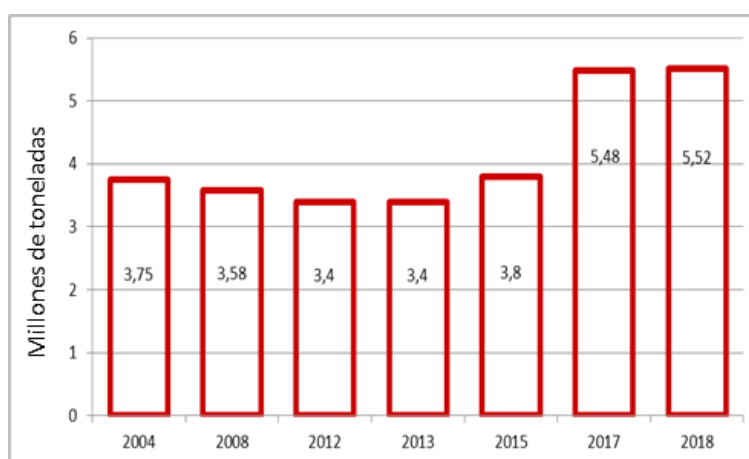


Figura 4. Evolución de la producción española de plástico.

Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (MARM, 2010).

En 2015 había en España, según AIMPLAS, alrededor de unas 3940 empresas de

industria del plástico distribuidas sobre todo en Cataluña (1045 empresas), Valencia (807), Madrid (393), Andalucía (344) y el País Vasco (332).

En el ámbito de la producción y consumo de plásticos es interesante saber cuales de ellos son los más demandados por los usuarios. Según Plastics Europe (2018) los que predominan en el mercado mundial son los termoplásticos, con un 81% de la demanda total de plástico. Dentro de estos cabe destacar las poliolefinas donde se encuentran el Polietileno (PE), tanto de alta (HDPE) como de baja densidad (LDPE), y el polipropileno (PP). Éstas forman el 49% de la producción total mundial. Le siguen el policloruro de vinilo (PVC) con un 10 % del total y otros con una menor producción, pero con cantidades importantes como son el polietileno tereftalato (PET) y el poliestireno (PS). La cantidad restante, un 19% de la producción mundial, lo forman un grupo más técnico llamados plásticos de ingeniería que son los termoplásticos técnicos como pueden ser el poliéster, la poliamida o los poliacetales.

En Europa, y más concretamente en España, siguen estos datos aunque cabe destacar que se usa menos PVC que en el resto del mundo y mucho más PET, casi un 11% más.

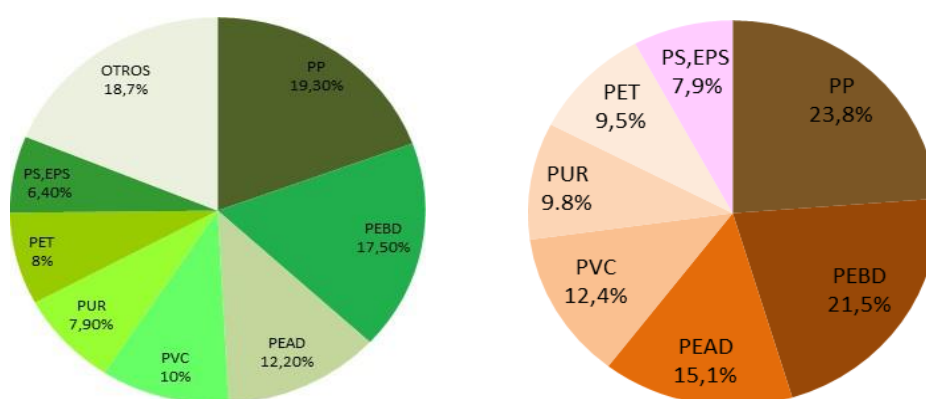


Figura 5. Demanda de materiales plásticos en el mundo (izquierda) y demanda de plásticos termoplásticos por tipo de polímero (derecha).

Fuente: Plastics Europe, 2018.

El 36 % de los plásticos consumidos mundialmente se centran en envases de LDPE (bolsas, recipientes, envasado de alimentos...), envases de HDPE (botellas de leche, botellas de productos de higiene y limpieza...) y PET (botellas para agua y otras bebidas...). Por general todos con una vida útil muy corta.

Otra gran parte del mercado de los plásticos se concentran en la construcción, la automoción, los textiles, la agricultura y los equipos eléctricos. Los artículos de plástico usados en estos sectores generalmente se usan para períodos más largos de tiempo que los anteriores.

El reparto de los usos de los plásticos por sectores varía según el país considerado dependiendo de la cultura o nivel económico y las infraestructuras que posea.

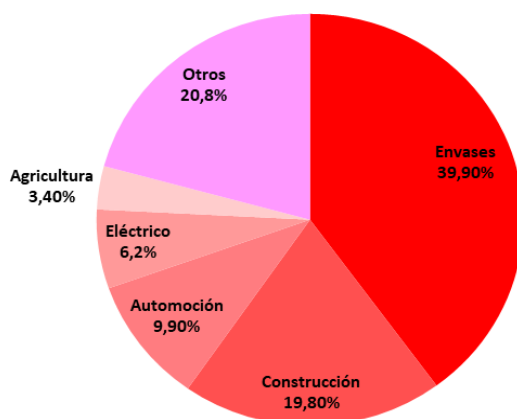


Figura 6. Uso mundial de polímeros por sectores.

Fuente: Plastics Europe, 2018.

España comparte los mismos datos que Europa y el resto del mundo a variación de que usa una mayor cantidad de envases de plástico y de plásticos para la agricultura, por ser un país con gran riqueza en sus tierras donde predomina la agricultura y el uso de invernaderos en grandes zonas del territorio.

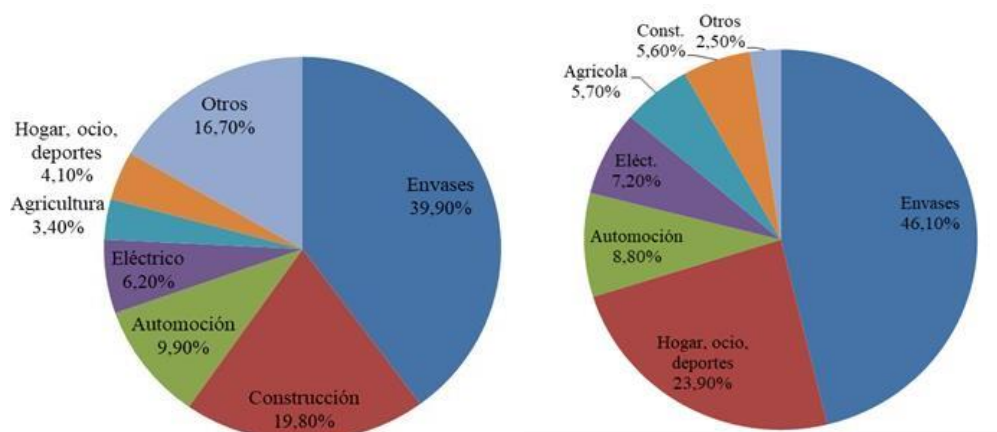


Figura 7. Uso de plásticos por sectores en Europa y en España.

Fuente: Plastics Europe, 2018.

1.2.3. *Generación de residuos plásticos.*

La sociedad consumista en la que vivimos ha creado uno de los mayores problemas con lo que se encuentra la sociedad actual: la gran cantidad de residuos sólidos urbanos que producimos.

Cada día se crea en el mundo alrededor de cuatro millones de toneladas de residuos sólidos, tanto urbanos como industriales lo que supone un volumen de unos 20 millones de m³.

Algunos de los factores que han llevado a que se produzca esta sorprendente cantidad de residuos sólidos pueden ser el crecimiento de la población mundial, la concentración de ésta en núcleos urbanos y el aumento en el nivel de vida provocando la nombrada sociedad consumista.

La generación de residuos plásticos se produce tanto en el proceso de elaboración y conformado como al finalizar su vida útil. El uso efímero que se hace en general de los plásticos y el aumento de su producción y uso en múltiples sectores hace que haya aumentado la cantidad de residuos plásticos dentro de los residuos sólidos urbanos suponiendo un grave problema. Algunos de los factores que hacen que estos residuos influyan negativamente en el medio ambiente son:

- Tienen poca capacidad de degradarse: La mayoría de los plásticos usados no son biodegradables por lo que permanecen durante mucho tiempo en los vertederos, representando, aproximadamente, un 25 % de los residuos sólidos acumulados en ellos.
- Tienen baja densidad y por ello ocupan grandes volúmenes en la recolección, transporte y vertederos.
- Los aditivos que contienen los plásticos. Estos aditivos contienen en algunos casos metales pesados, por lo que complica la gestión de éstos.
- Los residuos plásticos que no se reciclan suponen una pérdida importante de materia prima, ya que al fabricar los plásticos se emplea un 4% del crudo de petróleo o consumido a nivel mundial.

1.2.4. Características de los plásticos.

Los plásticos son materiales sintéticos (aunque existe alguno natural) que se obtienen al polimerizar átomos de carbono en las largas cadenas moleculares de compuestos orgánicos derivados del petróleo.

Los plásticos pertenecen al grupo de los polímeros. Un polímero es una macromolécula, una larga cadena de átomos que están formadas por una sucesión repetida de pequeñas moléculas, llamadas monómeros. Los monómeros están formados por átomos de carbono, pudiendo tener radicales con uno o más átomos distintos del carbono. Estas pequeñas unidades se unen mediante enlaces covalentes formando largas cadenas.

Algunas de las propiedades generales de los plásticos pueden ser:

- Materiales orgánicos, provenientes de la química del carbono.
- Sintéticos, obtenidos químicamente a partir de hidrocarburos del petróleo principalmente.
- Propiedades plásticas en algún momento de su fabricación o uso.
- Ligeros debido a su baja densidad, lo que permite reducir el peso al sustituirlo por otros materiales.
- Buenos aislantes térmicos y eléctricos, aunque no resisten temperaturas muy elevadas.
- Alta resistencia química, por lo que suelen utilizarse como recipientes de otras sustancias.
- Impermeables al no poseer poros en su estructura.
- Buena resistencia mecánica, suficiente para usarlos en carcasas y recipientes.
- Fácil de fabricar en procesos relativamente sencillos y económicos. Además pueden moldearse y adoptar todo tipo de formas.

1.2.5. Clasificación de los plásticos.

Los plásticos se pueden clasificar atendiendo a muchos criterios. Las clasificaciones más comunes son las siguientes:

- Según su origen: Naturales o sintéticos.
- Según sus aplicaciones: Plásticos estándar y plásticos de ingeniería.
- Según la naturaleza de los átomos en la cadena principal: Polímeros de homocadena, y de heterocadena.
- Según la estructura de la cadena: Polímeros lineales, Polímeros ramificados, Polímeros entrecruzados, Polímeros homopolímeros, Polímeros copolímeros

- Según su respuesta termo-mecánica: Termoplásticos, termoestables y elastómeros.

Nos quedaremos y profundizaremos en esta última clasificación al ser la más extendida y aceptada, pues relaciona la estructura molecular del polímero con las propiedades físicas y químicas que presenta.

Según su respuesta termo-mecánica.

Se pueden distinguir varios grupos:

- Termoplásticos: Son polímeros lineales, unidos por fuerzas muy débiles; por eso se funden fácilmente y, por tanto, son reciclables. Por lo general, presentan buenas propiedades mecánicas, son fáciles de procesar y bastante económicos. Además se reblandecen al calentarse y adquieren formas que se conservan sólidas al enfriarse, aunque sus propiedades físicas cambian gradualmente si se funden y moldean varias veces.

Los termoplásticos pueden ser:

- Termoplásticos amorfos: Las cadenas de polímeros se ubican aleatoriamente sin seguir un ordenamiento de tipo cristalino (Ejemplos de ellos son el PS, PVC, PC, PMMA).
- Termoplásticos semicristalinos: Existe cierto ordenamiento molecular entre sus cadenas. (Algunos ejemplos son el PE, el PP, el PET y la PA).
- Termoestables: son materiales que adquieren un estado final donde sus cadenas están enredadas y unidas con fuertes enlaces. Por este motivo son insolubles e incapaces de fundir, y no son reciclables mediante calor. Junto con su alta resistencia térmica, presentan alta resistencia química y gran rigidez. Sin embargo, entre sus desventajas figuran la dificultad de procesamiento y su fragilidad. A este grupo pertenecen los poliésteres, las resinas epoxi (EP), las resinas de poliéster (UP) o los aminoplásticos.
- Elastómeros: En este tipo de plástico suele producirse un entrecruzamiento parcial de las cadenas, lo que les confiere gran flexibilidad y elasticidad. Estos materiales son muy tenaces y resistentes a las grasas. Por otra parte, no soportan bien el calor y se degradan fácilmente, lo que hace que el reciclado por calor no sea posible. El poliuretano, el neopreno, los cauchos de silicona,... son elastómeros.

Hay numerosos y variados tipos de polímeros, pero los más usados tanto a nivel doméstico como a nivel industrial son los termoplásticos por sus propiedades mecánicas y eléctricas y por su facilidad para ser reciclados tras su uso.

Existe un código para clasificar a los polímeros más comunes. Éste código es

denominado “Código de Identificación de Plásticos”, que es un sistema utilizado internacionalmente en el sector industrial para distinguir la composición de resinas en los envases y otros productos plásticos para propiciar y dar más eficiencia al reciclaje. Los plásticos que identifica este código están numerados del 1 al 7 con el número ubicado en el interior triángulo de reciclado. Estos son, también, los polímeros más fáciles de reciclar.



Figura 8. Clasificación de los termoplásticos más fáciles de reciclar según el código de identificación de plásticos.

Fuente: Greenpeace (2017).

1.2.6. Polietileno de baja densidad.

El polietileno es un plástico termoplástico formado sólo por átomos de Carbono e Hidrógeno enlazados en unidades $\sim(\text{CH}_2\text{-CH}_2)\sim$ formando una larga cadena. Son hidrocarburos saturados con características muy parecidas a las parafinas. Siendo un material semicristalino sus macromoléculas no están unidas químicamente entre sí presentando una estructura simétrica que cristaliza fácilmente.

Según el grado de ramificación de las cadenas podemos distinguir varios tipos de polietilenos:

- Polietileno de alta densidad (HDPE): formado por macromoléculas poco ramificadas, se caracterizan por su gran cristalinidad y resistencia.
- Polietileno de baja densidad (LDPE): compuesto por macromoléculas muy ramificadas y tienen menos grado de cristalinidad y resistencia que el de baja densidad.
- Polietileno lineal de baja densidad (LLDPE): Tiene propiedades intermedias a las del HDPE y el LDPE pero mucho más resistentes a la tracción, al impacto a temperaturas muy bajas, al desgarrar, a la termofisuración y a la perforación.

El polietileno es el plástico más fabricado y usado por sus buenas propiedades tecnológicas. Entre ellas podemos destacar:

- Menos resistencia, dureza y rigidez que el resto de los plásticos.
- Gran capacidad de ser estirado
- Elevada resistencia al impacto.
- Gran dilatación térmica, sobre todo el polietileno de baja densidad.
- Resistente a ácidos, bases, aceites, grasas y líquidos orgánicos polares.
- Al añadirle ciertos aditivos puede ser resistente a la intemperie.
- Fácil de modificar convirtiéndolo en un polímero muy versátil en numerosas aplicaciones.

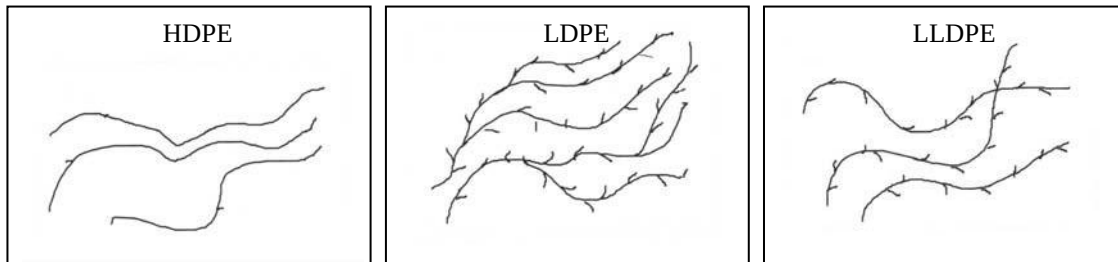


Figura 9. Esquema de la estructura del polietileno de alta densidad (HDPE), de baja densidad (LDPE) y lineal de baja densidad (LLDPE)

Fuente: Andrady, 2003.

• **Polietileno de baja densidad (LDPE).**

Obtenido a partir de monómeros de etileno, forman una cadena polimérica con cuantiosas ramificaciones de cadenas largas y cortas con pequeñas fuerzas intermoleculares. Esta estructura provoca una mayor ductilidad y una menor resistencia a la tracción, además de unas óptimas propiedades de flujo. Su densidad se encuentra entre $0.91\text{-}0.94\text{ g/cm}^3$.

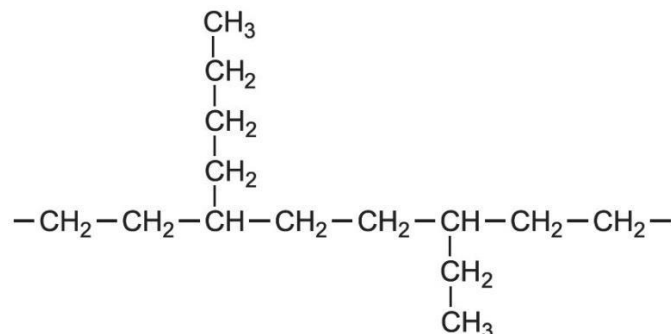


Figura 10. Estructura química del LDPE.

Fuente: Centre for Industry Education Collaboration (CIEC, 2017).

Algunas de sus propiedades que lo hacen bueno para su uso tecnológico son su buena resistencia química y a la intemperie, baja absorción de agua, ser fácilmente procesable en el conformado (inyección, extrusión, soplado...), admitir gran variedad de aditivos y su bajo coste.

Su prioritaria aplicación, Según el Centre for Industry Education Collaboration (CIEC), es en la fabricación de film en forma de bolsas o embalajes usando alrededor del 80 % del Polietileno de baja densidad producido.

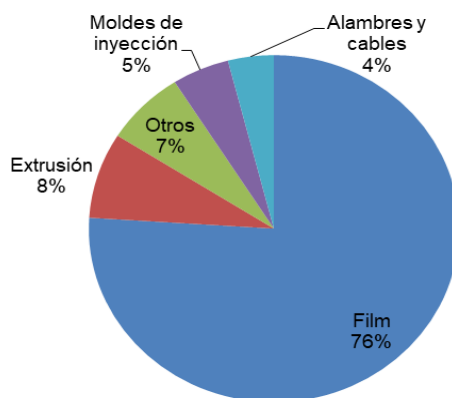


Figura 11. Principales sectores de aplicación del LDPE.

Fuente: CIEC, (2017).

1.3. Estrategias de gestión de residuos plásticos.

El plástico es uno de los materiales que más usamos en nuestra vida diaria pero también es uno de los que más tarda en descomponerse. Cada día el consumo de plástico crece más hasta llegar a millones de toneladas y son muchos los que desconocen la cantidad de años que tarda en descomponerse. Su desintegración es muy lenta, lo que hace que sea un material tremendamente contaminante para el planeta.

Dependiendo de la tipología y tamaño de cada plástico tarda entre 100 y 1.000 años en descomponerse. Peor es el caso de los plásticos que se tiran al mar, que además de acabar con la vida de muchos animales, su tiempo de descomposición es mayor que si estuviera en tierra firme.

Para buscar un desarrollo sostenible sin problemas medioambientales ni de mercado y sin pérdidas de materias primas hay que buscar medidas para una óptima gestión de los residuos plásticos tras ver su excesiva generación.

Esas medidas componen una estrategia para la gestión de los residuos basada en la famosa regla de “las 3 R” fomentando la reducción del consumo irresponsable de plásticos, la reutilización de éstos y su reciclado, cuando sea posible, una vez terminada su vida útil. Últimamente, se está estudiando la posible eliminación de los residuos de forma responsable y controlada cuando ninguna de las medidas anteriores pueda realizarse.

Por parte de las autoridades cabe destacar que la Unión Europea ha puesto en marcha diversas medidas para afrontar esta problemática ambiental, el derroche de materias primas y la lucha contra el cambio climático. Entre estas medidas se encuentran:

- La aprobación de la Primera Estrategia Europea sobre Plásticos en enero de 2018 como parte de la transición hacia la economía circular, con la que se le pretende dar un impulso al cambio de modelo actual de economía lineal, fomentando la reducción, reutilización y reciclado de residuos.
- El Libro Verde sobre una estrategia europea frente a los residuos de plásticos en el medio ambiente.
- La Directiva (UE) 2015/720 sobre la reducción del uso de bolsas de plástico ligeras, que modifica la Directiva de envases 94/62/CE.

En este sentido, cabe destacar actuaciones específicas como la restricción y regulación del uso de bolsas de plástico o la prohibición de venta de productos de plásticos de un solo uso recientemente aprobada.

1.3.1. Reducción del consumo de plásticos.

Se ha producido más plásticos en los últimos diez años que en toda la historia de la humanidad. Entre los países europeos de más demanda de plástico está España ocupando el cuarto lugar, por lo que si no se le pone remedio pronto en 2050 se habrá multiplicado por 20 lo que supone un gran problema.

El reducir en la generación de residuos plásticos hay que aplicarlo a todos los sectores presentes en el ciclo de vida del producto: diseño, producción, fabricación, consumo y utilización del mismo.

El aumento de la cultura de “usar y tirar” haciendo una vida útil de los plásticos cada vez más efímera hace que no haya disminución en la utilización de plásticos, ni en su reutilización.

Es vital reducir el uso de plásticos en nuestra vida cotidiana. No pedir bolsas en el supermercado, tratar de no comprar tantos productos envasados y comprar a granel, en

definitiva, cambiar la forma en la que consumimos este material y concienciarnos con el medio ambiente.

1.3.2. *Reutilización de residuos plásticos.*

La reutilización de residuos plásticos se puede tratar también en todas las etapas del proceso productivo del material polimérico, tanto en su producción como después de su uso.

La reutilización de residuos plásticos producidos durante el proceso de fabricación, consiste en el tratamiento de dichos materiales y su incorporación nuevamente en el proceso productivo. De esta forma, conseguimos gestionar nuestros residuos a la vez que obtenemos más materia prima con la que trabajar.

Un ejemplo claro de estos residuos son, por ejemplo, las rebabas obtenidas después de procesos de mecanizado, o el material sobrante después de procesos de inyección. Estos residuos, son un pequeño porcentaje del material utilizado pero, en industrias donde se fabrica de forma intensiva, puede llegar a ser un gran volumen.

La calidad de los plásticos reutilizados no es la misma que la materia prima original, debido a que los plásticos sufren poco a poco degradaciones térmicas. Por esto es recomendable mezclar este plástico reutilizado con plástico origen, para conseguir las mismas propiedades que si estuviera fabricado sin material reutilizado.

Con la reutilización, convertimos un material reutilizado en una materia prima original, por lo que ya no se necesita que otra empresa gestione este tipo de residuos. Además, ahorramos gastos en conseguir menos materia prima original para realizar la misma cantidad de producción.

En el estudio publicado el pasado año por la EAE Business School sobre Gestión de Residuos y Economía Circular se concluye que la reutilización de envases de plástico podría generar ahorros de unas 6 millones de toneladas y una oportunidad económica de 9 millones de dólares.

El informe de EAE concluye que, en España, el 56,7% de los residuos es colocado en vertederos, mientras que el 43,3% se recicla o se reutiliza. En concreto, del 13,5% se realiza una valorización energética, el 18,3% es reciclado y el 11,5% se utiliza para el compostaje y digestión. Sin embargo, estos porcentajes no concuerdan con la actual jerarquía de prioridades establecidas por la Unión Europea, que prioriza la minimización,

reutilización y reciclaje de residuos sobre el depósito en vertederos, tal y como describe el estudio.

Además, España está por debajo de media de la Unión Europea, donde la media en reciclaje o reutilización del plástico es del 52%, 8,7% puntos más que en España. El 48% de los residuos sólidos restantes son depositados en vertederos (de manera técnicamente no adecuada) o vertidos al ecosistema o incinerado. Del 48% depositado en vertederos o a los ecosistemas, el 41% es colocado en vertederos, el 7% depositado en los ecosistemas terrestres, lacustres y marinos y el 1% es incinerado.

Así mismo, la reutilización directa de los materiales plásticos en la actualidad es muy baja debido a los elevados requerimientos de calidad de los productos.

1.3.3. *Reciclado de residuos plásticos.*

El reciclado de los residuos plásticos consiste en la conformación de nuevos objetos a partir de los residuos plásticos o en la recuperación de los monómeros iniciales para que puedan ser introducidos de nuevo en el sistema productivo.

Del total de los residuos plásticos un pequeño porcentaje, solo el 14%, es llevado a reciclaje. De este 14%, un 4% corresponden a pérdidas del proceso, el 8% se utiliza para la producción de aplicaciones de plástico de menor valor (reciclaje en cascada), y el 2% es utilizado para la producción de nuevos embalajes de plástico.

El reciclaje de residuos plásticos se puede llevar a cabo según distintas técnicas. Entre las más usadas son:

1.3.3.1. *Reciclado mecánico.*

Consiste en separar los distintos tipos de residuos plásticos, lavarlos y trocearlos para obtener una granza que se empleará en el conformado de otros productos plásticos.

Este tipo de reciclaje sólo se puede llevar a cabo con los polímeros termoplásticos pues son los únicos que pueden calentarse y fundirse continuamente (aunque en esta degradación se produce una pérdida progresiva de sus principales propiedades por lo que para introducirlos de nuevo en el proceso de producción suelen mezclarse con plástico nuevo o virgen.

1.3.3.2. Reciclado químico.

Consiste en romper químicamente la cadena del polímero y obtener así los monómeros o componentes químicos que después se transformarán en plásticos u otros productos derivados.

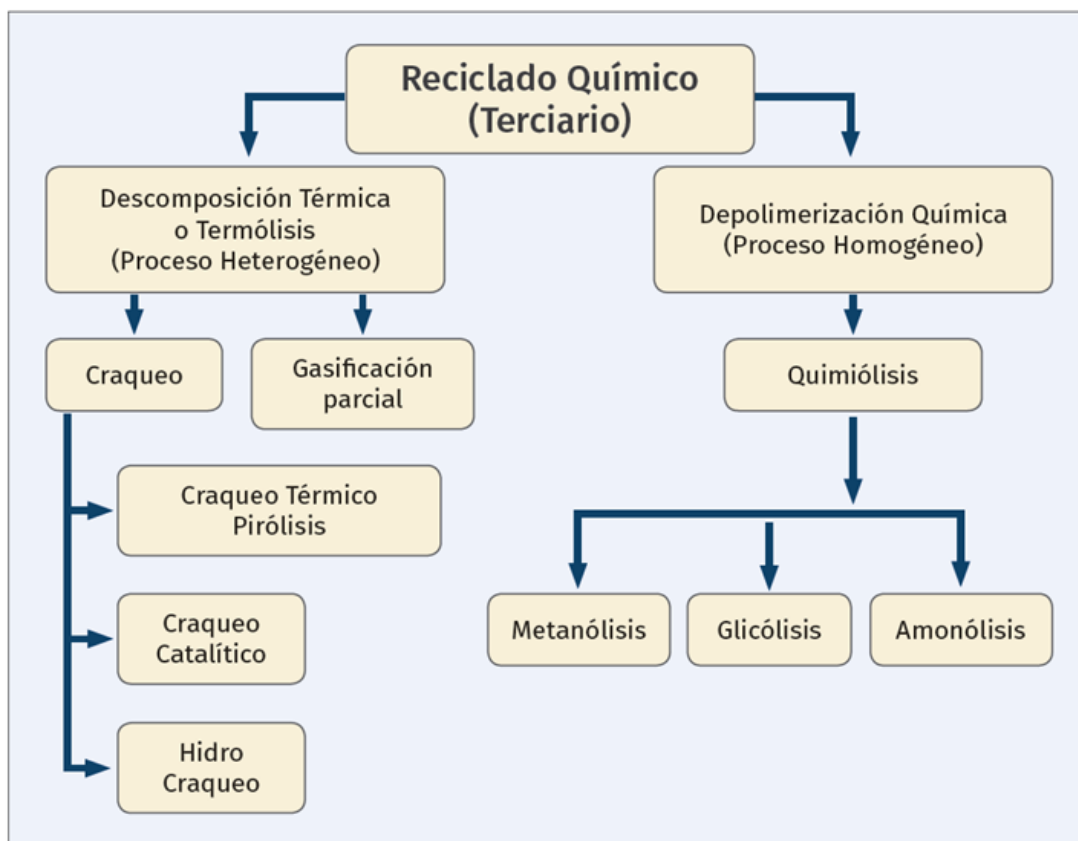


Figura 12. Esquema de los procesos de reciclado químico.

Fuente: Plastics Technology Mexico, 2020.

Las distintas técnicas de reciclado químico de residuos que hay se pueden agrupar principalmente de la siguiente forma:

➤ Descomposición Térmica (Termólisis):

Consisten en la rotura de las cadenas poliméricas por acción de la temperatura, pudiendo ser transformados en el correspondiente monómero o un gran número de compuestos diferentes al monómero, aprovechándose como combustibles gaseosos o líquidos o como compuestos de base para la industria petroquímica.

Se emplea con los plásticos constituidos por polímeros de adición (olefinas, vinílicos, acrílicos, etc.).

La descomposición térmica pueden ser tratamientos de pirolisis (en atmósfera pueden ser inerte con ausencia de oxígeno), y/o tratamientos de gasificación (en atmósfera oxidante). Ambas pueden realizarse por vía únicamente térmica o usando catalizadores (hidrogenación y craqueo catalítico).

➤ Descomposición Química o de polimerización química (Quimiólisis):

Consiste en disociar las cadenas de los polímeros con el ataque de un agente químico.

Se emplea con los plásticos formados por polímeros de condensación (poliésteres, nylon y poliuretanos).

Estos métodos pueden ser por metanólisis (con uso de metanol), glicolisis (con uso de etilenglicol) y de hidrólisis (con uso de agua en presencia de ácidos o álcalis).

1.3.3.3. *Reciclado Térmico.*

Consiste en someter a los residuos poliméricos a elevadas temperaturas para convertirlos en productos útiles.

Al calentar el plástico podemos hacerlo en distintos tipos de atmósferas, surgiendo así dos formas de reciclado térmico:

- **Reciclado Terciario:** La calefacción del plástico se realiza en una atmósfera carente de agente de oxidación (en ausencia de oxígeno o en presencia de una pequeña cantidad de éste).

Con este método se obtienen productos de gran utilidad como materias primas para la industria química o carburantes.

El reciclado Terciario puede ser de tres tipos según la atmósfera en la que se realice:

- ✓ **Pirolisis:** en ausencia total de oxígeno.
- ✓ **Oxidación parcial:** con una cantidad considerable de aire u oxígeno, pero inferior a la estequiométricamente necesaria para la oxidación total del polímero sometido.
- ✓ **Reducción:** en presencia de hidrógeno o monóxido de carbono.
- **Reciclado cuaternario (incineración o combustión):** Cuando se calienta el residuo polimérico en presencia de la cantidad de oxígeno para la oxidación total del plástico. Los productos plásticos tienen un gran valor calorífico, por lo que con este reciclado se

intenta conseguir energía de los productos plásticos.

1.4. Obtención de combustibles a partir de los plásticos.

Los residuos plásticos tienen un alto calor de combustión, no absorben mucha humedad y son derivados del petróleo por lo que en los últimos años se ha estado investigando su posible aprovechamiento para la producción de algún tipo de combustible y así poder reducir el problema de las exageradas cantidades de residuos poliméricos que generamos.

Se está poniendo un gran interés en recuperar estos residuos y transformarlos en recursos aprovechables y se ha detectado que los plásticos con más posibilidad de producir varios tipos de combustibles son el polietileno (PE), el polipropileno (PP) y el poliestireno (PS).

Distinguimos entre los tres tipos de combustibles que se pueden extraer de los plásticos:

- Combustibles sólidos: con gran poder calorífico se usan en forma de sólido comprimido.
- Combustibles líquidos: son hidrocarburos a una temperatura y presión estándar.
- Combustibles gaseosos: gas inflamable obtenido de un tratamiento térmico de desechos de plástico.

Tras realizarle la pirolisis al residuo plástico, dependiendo de la naturaleza de éste, se obtiene, a parte de una mezcla de gases y sólidos resultantes, una mezcla líquida, en la que nos centraremos en este estudio, de hidrocarburos con características muy parecidas a las de un petróleo ligero.

Será una mezcla muy compleja de hidrocarburos que dependerán del origen del residuo y de las condiciones en las que hayamos realizado la pirolisis. Por ello será necesario analizar con una descomposición de compuestos, como puede ser una cromatografía de gases o una cromatografía líquida dicha mezcla.

Algunos de los productos finales pueden ser:

- Productos volátiles: gases licuados y gas natural.
- Aceites ligeros: gasolinas, *jetfuels*, solventes y keroseno.
- Destilados: combustible de hornos, diésel, gasóleo.
- Aceites lubricantes: aceites de motores, máquinas, engranajes, cilindros.

- Grasas y ceras.
- Residuos: *coke*, asfaltos, carbón negro.
- Especialidades: productos medicinales, hidrocarburos, químicos específicos.

1.5. Pirolisis de plásticos.

La pirolisis de plásticos consiste en descomponer térmicamente el residuo plástico calentándolo a elevadas temperaturas en condiciones de una atmósfera inerte, en ausencia de Oxígeno, para obtener productos con valor añadido, materias primas útiles para la fabricación de productos químicos y *la generación de energía*. Ahí se produciría una degradación térmica, catalizada o no, en los que se consigue gran cantidad de productos generadas en las reacciones primarias y de despolimerización y en las reacciones secundarias y terciarias posteriores. Estos productos podrán ser, en diferentes fracciones gaseosas, líquidas y sólidas que variarán según la naturaleza del plástico sometido y las condiciones empleadas en el proceso de pirolisis.

En los últimos años se ha convertido en uno de los métodos para el reciclado y aprovechamiento de los residuos poliméricos más utilizados, siendo objeto de un gran avance por los numerosos estudios que se están realizando.

La pirolisis se considera un medio interesante para la valorización de plásticos por los distintos productos de interés químico que se obtienen y el aprovechamiento que ofrecen. De esta forma con los polímeros que se someten a pirolisis podemos obtener compuestos base de la industria química u otros productos de aplicación industrial o de consumo.

La obtención de unos productos u otros dependerá de las condiciones de pirolisis como el plástico sometido a ella, el tipo de reactor, el tiempo de residencia y la temperatura.

Como resultado de la pirolisis de plásticos se generan unos productos que se pueden introducir en distintas unidades de proceso de refinerías de petróleo, debido al gran parecido en la composición con las fracciones de petróleo.

Se suele realizar un tratamiento previo de éstos con el objetivo de conseguir una fracción de producto adecuada para su incorporación en las corrientes de fracciones petrolíferas. El poder aprovechar las fracciones de pirolisis de plásticos en unidades de refinería es muy interesante, sin embargo, el que sea viable o no económicamente depende de los costes que supone el transporte de los residuos plásticos.

Principalmente, la fracción líquida y gaseosa proveniente de la pirolisis siempre se ha aprovechado para finalidades energéticas. Generalmente, estas fracciones están compuestas

por hidrocarburos alifáticos de alto peso molecular (C_8 - C_{30}).

Para determinar la eficacia del proceso de pirolisis debemos tener en cuenta:

- Para degradar térmicamente la macromolécula con pirolisis de forma completa necesitamos temperaturas muy altas pues es un proceso endotérmico
- La pirolisis de plásticos da como resultado una amplia distribución de productos sin mostrar una marcada preferencia hacia un tipo concreto de hidrocarburos por lo que puede ser necesario el procesado o purificación de éstos haciendo más caro y complejo el proceso.

Por todo esto es necesario añadir mejoras en el proceso que optimicen la energía empleada en el mismo así como la generación selectiva de productos regulando las condiciones de éste.

1.5.1. Los productos de la pirolisis de plásticos.

Al aplicar la pirolisis en plásticos obtendremos tres tipos de productos en distintas proporciones según las condiciones en las que la realicemos. Cada uno de estos tipos con una serie de aplicaciones importantes.

➤ La fracción sólida:

Es producido por las reacciones terciarias de pirolisis del plástico, involucrando a productos de pirolisis que se encuentran en fase gas.

Esta fracción está formada en su mayoría por residuo carbonoso, el producto de máxima degradación que representa la pérdida total de hidrógenos del material original pirolizado.

Puede quedar también parte del material original a pirolizar debido a que no haya degradado totalmente y quede como material fundido que solidifica posteriormente.

➤ La fracción gaseosa:

Está formada por hidrocarburos ligeros (C_1 - C_4), de cadena corta, en su mayoría, formados por el craqueo de los productos primarios de la descomposición del plástico que constituyen los monómeros del plástico original.

Estos gases cuentan con un elevado valor calorífico, hecho que hace que tengan la suficiente energía como para abastecer el propio proceso de pirolisis reduciéndose notablemente los costes del reciclado de los mismos.

Además de esta utilidad como combustibles, los hidrocarburos obtenidos en este reciclado terciario se emplean como materias primas para la obtención de productos químicos, como por ejemplo el etileno y propileno.

➤ ***La fracción líquida:***

Está compuesta generalmente por hidrocarburos alifáticos de alto peso molecular (C_5 - C_{30}), proveniente de los productos más pesados derivados de la pirólisis que no pueden permanecer en estado gaseoso y condensan.

Esta fracción puede ser nuevamente craqueada para generar productos gaseosos. Por ejemplo, el “nafta” se degrada de nuevo para producir etileno como producto principal y propileno como subproducto.

El producto líquido de la pirolisis también se puede usar como carburante ya que contiene compuestos parecidos a los compuestos presentes en las gasolinas.

Los aceites que se generan tienen una buena combustibilidad y valor calorífico y se usan como alimento para refinerías catalíticas de petróleo en la obtención de gasolina.

El amplio abanico de productos que esta fracción líquida puede contener puede causar un problema. Por eso, esta fracción debe ser refinada para acotar el espectro de compuestos que contiene y aproximarlos más a la composición de las gasolinas comerciales.

1.5.2. Parámetros que influyen en el proceso de pirolisis.

Como acabamos de ver, en la pirolisis del plástico se obtienen diferentes productos agrupados en fracción sólida, líquida y gaseosa.

La proporción en la que se produce cada una de estas fracciones depende de una serie de factores que influyen en el proceso de pirolisis.

La distribución de productos dentro de cada una de las fracciones y las propiedades de estos productos están también influenciadas por las condiciones en las que transcurre el proceso de pirolisis.

Conocer la influencia de estos parámetros resulta imprescindible:

1.5.2.1. Temperatura de reacción.

A más temperatura en la pirolisis, más nivel de craqueo producido, por lo que se favorecerán los productos volátiles frente al resto de compuestos generados.

Dependiendo del predominio de las distintas fracciones que se generan en la pirolisis se pueden distinguir tres zonas diferenciadas de temperatura:

- *Entre 220 y 330°C*: en este rango se obtendrá mayor fracción sólida debido a que la descomposición del material tiene lugar en una baja extensión.
- *Entre 330 y 450°C*: en esta zona, la fracción líquida alcanza niveles significativos, mientras que los gases se producen en menor cantidad.
- *Temperaturas superiores a 500°C*: se produce un mayor craqueo del material pirolizado y por lo que se consigue una mayor fracción gaseosa.

Además, la temperatura en la que se produce la pirolisis influye significativamente en la composición de las distintas fracciones.

1.5.2.2. *Velocidad de calefacción.*

Se pueden distinguir dos tipos de procesos extremos en función de la velocidad de calefacción utilizada: pirolisis lenta y pirolisis flash.

- En una pirolisis lenta, la velocidad de calefacción es del orden de 20-200 °K/min. Favorece la producción de la fracción sólida desfavoreciendo la de gases y líquidos.
- En una pirolisis flash o instantánea se emplean velocidades de calefacción superiores a 10.000 °K/s y se favorece la formación de productos líquidos y gaseosos.

1.5.2.3. *Tiempo de residencia de los gases en el medio de reacción.*

Los compuestos que se producen durante la degradación del polímero deben atravesar el reactor para salir de él. En este tiempo en el que están saliendo siguen sometidos a una temperatura similar a la que fueron generados y el proceso de craqueo podría continuar sobre ellos a lo largo del reactor cambiando la distribución de los productos generados.

Cuanto menor es el tiempo de descomposición, mayor influencia tiene el tiempo de residencia sobre los volátiles obtenidos afectando en gran medida el rendimiento y distribución de los productos generados.

1.5.2.4. *Cantidad de muestra y tamaño de partícula.*

Las partículas mayores se calientan más despacio que las pequeñas, y una cantidad mayor también tarda más en calentarse por lo que la cantidad y el tamaño de la partícula afecta a la transferencia de materia y a la transmisión de calor en el reactor.

Según los últimos estudios, cuanto menor sea el tamaño de la partícula degradada menor es la cantidad de fracción sólida obtenida, mientras que la producción de la fracción líquida y gaseosos aumenta.

El tamaño del catalizador utilizado y el tamaño de su partícula también puede influir afectando la efectividad de la pirolisis (el tamaño de poro y acidez del catalizador influyen en el craqueo):

- Catalizador de pequeño tamaño de partícula: Aumenta la rapidez de degradación del material evaluado y la fracción de hidrocarburos pesados (por encima de los 12 átomos de carbono).
- Catalizador con mayor tamaño de partícula: Menor actividad y producen la fracción líquida con una distribución de átomos de carbono más estrecha.

1.5.2.5. *Densidad y humedad de la muestra.*

Cuanto mayor sea la densidad del plástico, mayor será la degradación de éste en el proceso de pirolisis, ya que ayuda a la captura de los productos como alquitrantes) haciendo que la fracción sólida y de hidrocarburos pesados sea menor.

Además si el plástico a evaluar tiene una alta cantidad de humedad necesitaremos más energía para degradar el plástico, ya que parte del calor suministrado se gastará en secar la muestra. Esto provocará también que la descomposición de ésta se producirá a una temperatura inferior a la nominal ayudando a la formación de la fracción líquida y sólida.

1.5.2.6. *Tipo de contacto material - catalizador.*

El tipo de contacto producido entre la muestra a degradar y el catalizador utilizado también puede modificar la actividad del catalizador variando la distribución de productos obtenidos en el proceso.

- El polímero y el catalizador se mezclaban en estado sólido hasta obtener una distribución uniforme de ambos (mezcla física): el nivel de craqueo es inferior.
- El polímero era impregnado con el catalizador que se encontraba en disolución acuosa

(impregnación): en la mayoría de los plásticos incrementa la extensión del craqueo del polímero reduciéndose el tiempo requerido para que dicho craqueo tuviese lugar.

Otro tipo de contacto que puede influir en los resultados obtenidos es el producido entre el catalizador utilizado y los volátiles primarios generados en el proceso de degradación.

1.5.2.7. Tipo de reactor utilizado.

Es muy importante el tipo de reactor que usemos en la pirolisis de plásticos pues condiciona en muchos casos los niveles de las variables que se pueden emplear y por consecuencia la distribución de productos obtenidos.

➤ El reactor de tornillo.

Consiste en un tornillo sobre el que se deposita la muestra rodeado de un horno calefactor. El plástico a degradar va circulando a lo largo de las zonas calientes del horno a través del movimiento giratorio del tornillo donde se produce el craqueo del material.

Este tipo de sistema permite trabajar de forma continua, así como evaluar el efecto del tiempo de residencia en el reactor sobre los productos generados únicamente modificando la velocidad de giro del tornillo.

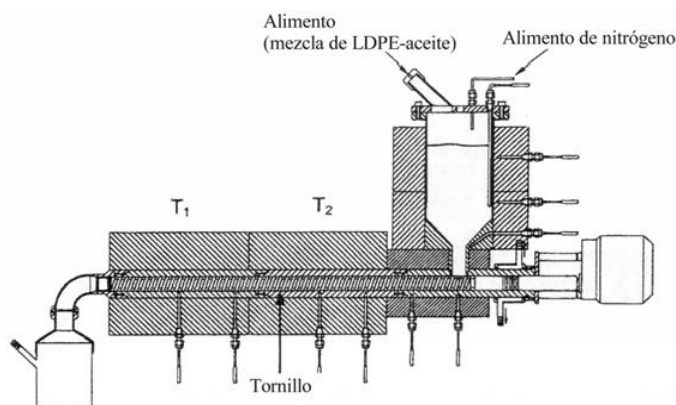
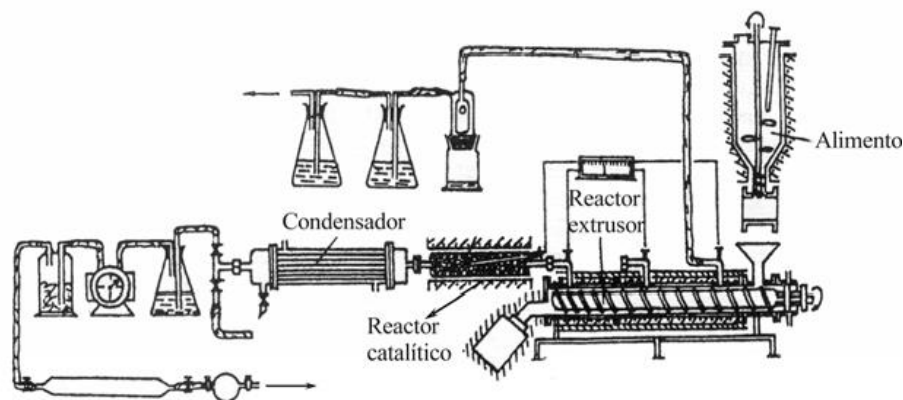


Figura 13. Diagrama esquemático de un reactor de tornillo.

Fuente: www.ingenieriaquimicareviews.com

➤ El reactor extrusor.

Es similar al reactor de tornillo, estando constituido por un sistema de giro rodeado por un horno que calienta dicho sistema. El material fundido es metido en el reactor extrusor



donde se produce una primera descomposición del material original. Los productos generados de este modo pueden ser conducidos a un segundo reactor para continuar la descomposición térmica o catalítica del material introducido en el sistema.

Figura 14. Diagrama esquemático de un reactor extrusor.

Fuente: www.ingenieriaquimicareviews.com

➤ *El reactor de tanque agitado.*

Con este reactor se consigue un craqueo uniforme de la muestra introducida al tener un sistema de agitación en el interior.

Sometiendo el polietileno de baja densidad en este reactor a unas temperaturas de entre 360 y 420 °C se obtenían ceras con un alto contenido de olefinas. Para conseguir las con la degradación del Polietileno de alta densidad necesitaba temperaturas mucho más elevadas. Introduciendo presión en el proceso de degradación térmica del polietileno se produce un descenso en la velocidad de descomposición del plástico. Cuanta más presión, más rápido se realiza el proceso.

➤ *Reactor de lecho fijo.*

Los reactores de lecho fijo son el tipo de reactor más utilizado en la industria de procesos, principalmente como reactores catalíticos, con catalizadores sólidos granulares convencionales.

Una aplicación muy utilizada de este tipo de reactor es la conocida como degradación catalítica en fase vapor donde se coloca el catalizador en el interior del reactor a una cierta distancia del polímero a degradar. Así, cuando el plástico se degrada sólo los vapores generados de esta descomposición térmica alcanzan el lecho de catalizador evaluándose únicamente el efecto catalítico sobre los gases procedentes del craqueo térmico, no sobre

el polímero inicial.

Con este reactor es posible evaluar la influencia de la actividad catalítica al utilizar dos tipos de contacto diferentes entre el catalizador y el material a degradar.

➤ *Reactor de lecho fijo con termogravimetría (TG).*

Este tipo de sistemas se usa en la evaluación de la actividad catalítica de ciertos materiales y en diversos análisis cinéticos de descomposición.

➤ *Reactor de lecho fijo de microactividad (MAT)*

Se usan mayoritariamente en estudios de degradación de productos derivados del petróleo.

➤ *Reactor de lecho fijo pyroprobe.*

Formado por un horno horizontal en el cual se introduce un capilar de cuarzo que contiene la muestra a degradar que se rodea de una resistencia de platino. Todo ello se mete en el horno y se le suministra una elevada rampa de calefacción dando lugar a una pirolisis flash, donde el lecho de la muestra no se mueve en ningún momento.

Este reactor tiene grandes ventajas con la pirolisis flash por utilizar pequeñas cantidades de muestra siendo posible automatizar el proceso.

El tiempo que pasan los volátiles generados en la zona caliente del reactor es muy bajo por la elevada velocidad de calefacción que se usa, pudiendo considerarse los resultados obtenidos en este reactor como representativos de las reacciones primarias de descomposición.

➤ *Pirolizador de punto de Curie.*

Este reactor produce tiempos de reacción muy cortos consiguiendo alcanzar en él grandes velocidades de calefacción.

La muestra se coloca en un recipiente fabricado de un material ferromagnético que es sometido a un campo electromagnético. La temperatura final se alcanza a la temperatura a la cual el portamuestras cambia su carácter de ferromagnético a paramagnético (temperatura de Curie). En este punto la temperatura se controla para evitar el sobrecalentamiento de la muestra.

El tiempo de residencia de los volátiles es muy bajo por lo que las reacciones secundarias producidas pueden considerarse despreciables.

➤ *La autoclave.*

En este reactor se puede controlar la presión a la que se realiza el craqueo pudiéndose evaluar ésta como un factor a tener en cuenta durante el proceso de descomposición.

➤ *Reactor de esferas.*

Formado por un recipiente que contiene en su interior un lecho de esferas de metal. Por la parte superior del reactor se halla colocado un tornillo que mediante su movimiento giratorio provoca la circulación de las esferas en sentido ascendente. Este movimiento de las esferas metálicas favorece la transmisión de calor durante el proceso de degradación, reduciendo la energía necesaria para que la descomposición del material evaluado tenga lugar.

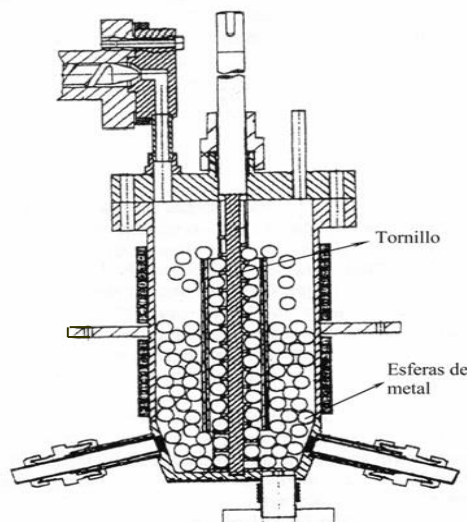


Figura 15. Diagrama esquemático de un reactor de esferas.

Fuente: www.ingenieriaquimicareviews.com

➤ *El reactor “riser”.*

En la parte inferior del cuerpo del reactor se coloca un material catalítico o no con una circulación interna. En la parte superior se coloca una turbina cuyo movimiento genera un vacío en el interior del reactor que provoca el movimiento del material.

Este vacío provoca la ascensión del material que luego vuelve a bajar completando el

movimiento giratorio en el reactor que provoca la fluidización del material contenido en él.

La muestra a degradar se introduce en el reactor poniéndose en contacto con el material fluidizado.

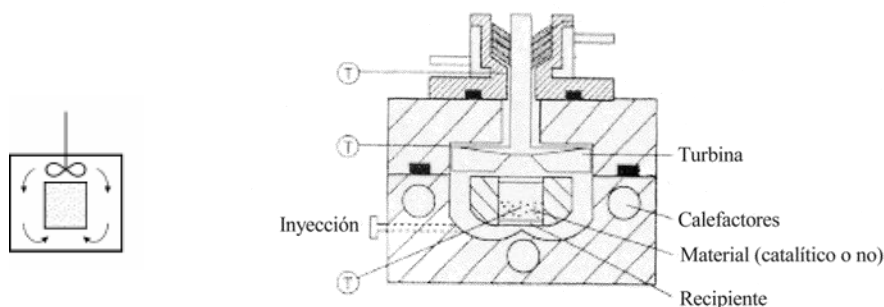


Figura 16. Diagrama esquemático de un reactor “riser” (a escala de laboratorio) donde se ha introducido una canasta o recipiente en la cual se coloca el material que estará fluidizado durante el proceso de descomposición.

Fuente: www.ingenieriaquimicareviews.com

➤ *El reactor de lecho fluidizado.*

Este reactor tiene gran potencial en transferencias de calor y de materia provocando una aceleración de la reacción involucrada en el proceso, lo que le hace ser utilizado en los procesos de degradación

Las condiciones de operación y las dimensiones de los distintos reactores de lecho fluidizado usados son muy diversas, pudiendo trabajar de distintas formas. Su gran versatilidad de uso, junto con las mejoras evidentes derivadas del uso de reactores de lecho fluidizado, han provocado este tipo de sistemas haya sido objeto de numerosas modificaciones de diseño para adaptarlos a las necesidades concretas requeridas en cada caso.

➤ *Reactor de lecho fluidizado circulante (CFB).*

Consiste en la circulación del lecho fluidizado junto con los productos de reacción. Se usa un régimen de fluidización rápida que impulsa a las partículas sólidas constituyentes del lecho hacia arriba, fuera del cuerpo del reactor. Dichas partículas alcanzan un ciclón donde se separan de los productos gaseosos generados, pudiendo ser éstos recogidos para su posterior análisis. Las partículas del lecho que han llegado al ciclón son devueltas al

reactor

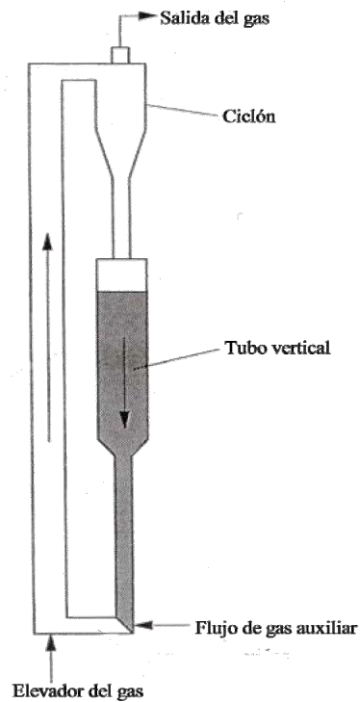


Figura 17.Diagrama esquemático de un reactor de lecho fluidizado circulante (CFB).

Fuente: www.ingenieriaquimicareviews.com

➤ *Reactor “spoutedbed”.*

Es un reactor muy parecido al CFB en el que introduce una corriente de gas por la parte inferior lo que impulsa las partículas del lecho hacia arriba en vez de ser arrastradas y abandonar el cuerpo del reactor. Esas partículas experimentan un movimiento circulatorio ascendente y descendente en él.

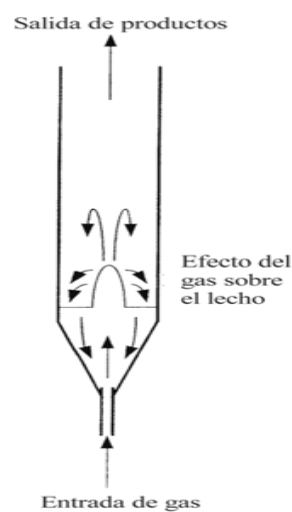


Figura 18.Diagrama esquemático de un reactor “spoutedbed” (lecho en surtidor).

Fuente: www.ingenieriaquimicareviews.com

➤ *Reactor de lecho fluidizado con recirculación interna (ICFB).*

Los productos de reacción y el sólido que constituye el lecho fluidizado son impulsados juntos a través de un conducto para después evacuar los productos gaseosos generados y recircular el lecho al interior del reactor.

La modificación que presenta este tipo de reactor con respecto al CFB es que el conducto por el cual se eleva la mezcla “lecho + productos generados” se encuentra en el interior del propio lecho fluidizado.

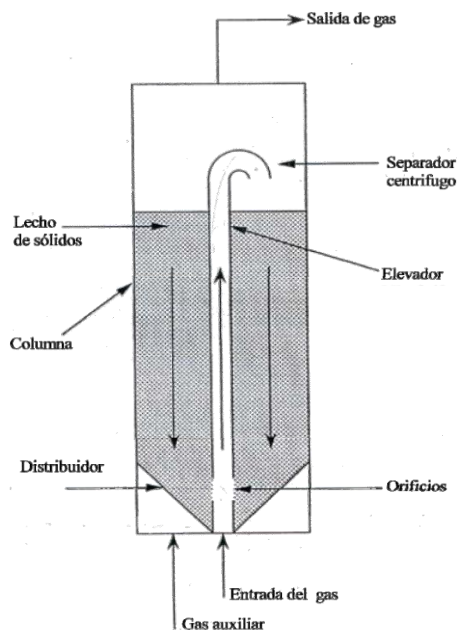


Figura 19. Diagrama esquemático de un reactor de lecho fluidizado con recirculación interna (ICFB).

Fuente: www.ingenieriaquimicareviews.com

➤ *El reactor de cono rotatorio.*

Está basado en la circulación interna del lecho fluidizado debido a la acción de fuerzas centrífugas. Consta de un cono dotado de movimiento rotacional parcialmente sumergido en un lecho fluidizado de arena. En la parte inferior del cono se encuentra una abertura por la cual son impulsadas las partículas del lecho hacia el interior del mismo.

Una vez en el interior, estas partículas son sometidas al movimiento rotacional del cono y debido a las fuerzas centrífugas, ascienden por él. Finalmente, caen por la parte superior del cono volviendo al lecho fluidizado donde se encontraban inicialmente, completando el bucle de circulación interna en el que está basado este tipo de reactor.

Los productos volátiles generados en la pirolisis son evacuados por la parte superior del cono.

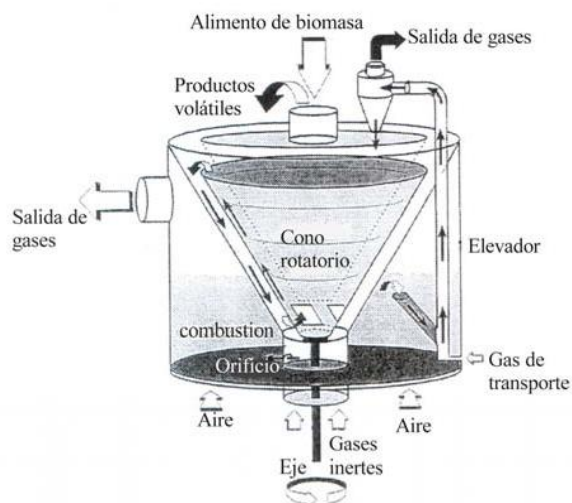


Figura 20. Diagrama esquemático de un reactor de cono rotatorio acoplado con una zona de combustión (IFB).

Fuente: www.ingenieriaquimicareviews.com

El carbón producido se separa de los productos volátiles mediante un ciclón. Si queremos aprovechar la combustión del carbón como fuente de energía del propio proceso de pirolisis debemos acoplar una zona de combustión externa al cono.

De esta forma, parte de la arena del lecho y el carbón generado se transportan a esta zona donde ambos se calientan en atmósfera de aire y la arena, una vez limpia, se recircula al reactor de pirolisis.

Así, en un solo reactor se combinan una zona de pirolisis donde la reacción que tiene lugar es endotérmica y otra zona de combustión donde se genera energía.

Los productos obtenidos en la pirolisis de los residuos plásticos usando cualquiera de estos reactores dependerán de los parámetros de operación que más influyan en cada tipo debido a las características particulares de diseño de cada uno. También el tipo de contacto entre el polímero a degradar y el catalizador utilizado podrá modificar los compuestos generados.

1.5.3. Mecanismos de reacción en la pirolisis de polietileno.

Los mecanismos de reacción de la pirolisis de polietileno tienen gran importancia por

el auge que se está desarrollando en la valorización de este polímero.

La degradación térmica de polietileno se da mediante mecanismos de formación de radicales libres en tres etapas bien diferenciadas:

- **La etapa de iniciación** transcurre mediante la homólisis de enlaces C-C de la cadena principal del polímero para formar los primeros radicales.
- **Las reacciones de propagación** pueden ser de dos tipos, distinguiéndose entre las reacciones de β -escisión y las de transferencia de hidrógeno.
- **La finalización de la reacción** en cadena tiene lugar a través de la reacción de recombinación de radicales.

3. OBJETIVOS.

Objetivo general

Evaluar el empleo de la pirólisis térmica como método de reciclado químico del LDPE, estudiando el perfil volátil de sus efluentes líquidos y su evaluación como posible combustible para su aprovechamiento.

Objetivos específicos

El objetivo general se concretará en los siguientes objetivos específicos:

- Analizar la fracción líquida resultante de la pirolisis del HDPE a distintas condiciones de proceso concretando la composición y concentración de ésta.
- Estudiar la influencia de las variables más importantes en la pirolisis (temperatura de degradación, velocidad de calefacción, tiempo al realizar la pirolisis del residuo polimérico) con el fin de analizar cómo influyen tanto en el rendimiento del proceso como en las características de la fracción líquida proveniente de la pirolisis. Así obtendremos información sobre la selectividad del proceso y la posible utilización de los productos generados como biofuel.

4. MATERIALES Y MÉTODOS.

4.1 Reactivos.

- n-Hexano ($\geq 97.0\%$) (Panreac, Spain).
- Nitrógenos gaseoso.
- Helio gaseoso.

4.2 Material e instrumentación.

- Balanza analítica: se ha utilizado una balanza electrónica de alta precisión (0.001 mg) para pesar las muestras de residuo de LDPE antes de someterlo al proceso de pirólisis.

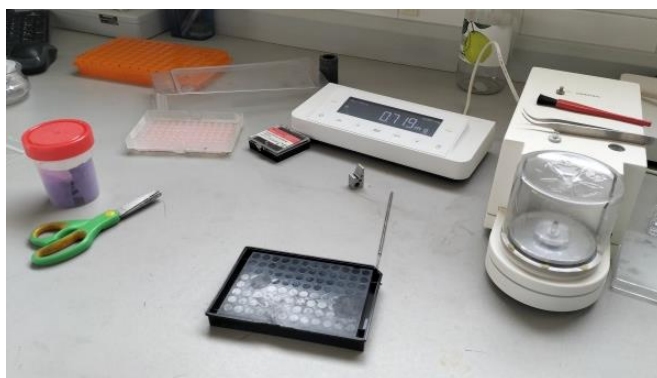


Imagen 1. Balanza analítica utilizada.

- Espectrómetro de masas cuadrupolo-GC, SCION GC-MS System marca Bruker con un pirolizador multidisparo de FrontierLab modelo EGA/Py-3030D acoplado. La columna capilar del cromatógrafo de gases es una columna Bruker BR-5ms, HP-5 de 30m x 0.25mm, 0.25 micras (en apartados posteriores se indica todo lo relativo a los programas de temperaturas usados en él).





Imagen 2. Distintas imágenes del equipo pirolizador + espectrómetro de masas.

- Tijeras, espátula y pinzas: para tomar las pequeñas cantidades de la muestra para poder pesarla e introducirla en el “pocillo” que insertaremos en el pirolizador.
- Frascos de vidrio transparente con tapón de rosca: se usan para guardar los pocillos tras la pirolisis para posibles análisis posteriores.

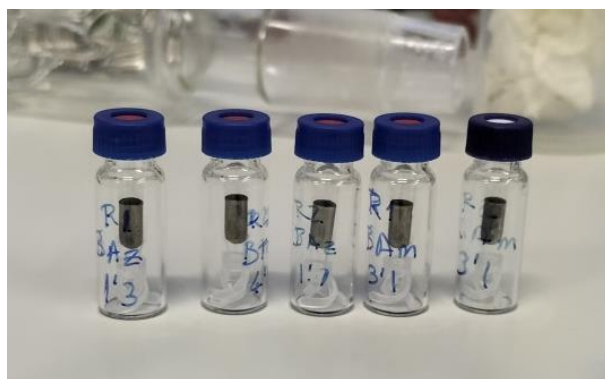


Imagen 3. Frascos de vidrio porta muestras (con “pocillos” para el pirolizador).

- Soplete de laboratorio para calentar el pocillo porta muestras en el inyector del equipo.



Imagen 4. Soplete de laboratorio usado.

- Columna HP-5: Colocada dentro del cromatógrafo de gases, es usada para determinar compuestos semivolátiles, alcaloides, compuestos halogenados...etc. Su rango de temperatura de trabajo es de -60 a 325/350°C.
- Cápsulas (“pocillos”) para depositar la muestra para luego introducirla en el Inyector.

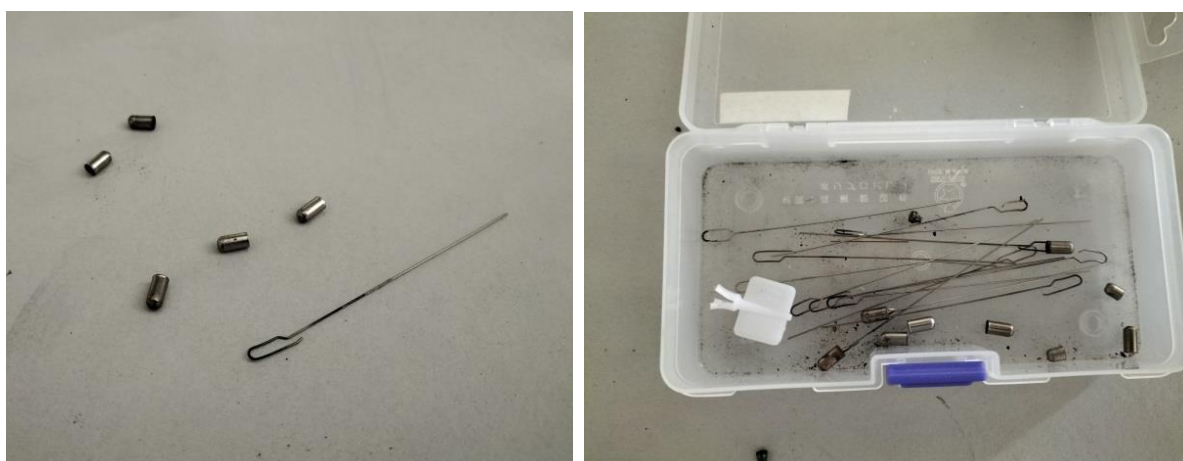


Imagen 5. Cápsulas donde se deposita la muestra.

- Equipo de ultrasonidos (Bandelin, Sonoplus): equipo para cavitarse y hacer que toda la muestra que hay dentro del pocillo resultante de la pirolisis se homogenice con el disolvente. Tiene un control electrónico del generador ultrasónico GM mini 20, un convertidor UW mini 20 y una sonda (MS-73) de titanio de 2.5 mm de diámetro y es útil para usarse en volúmenes entre 0.5 y 25 ml.



Imagen 6. Equipo de ultrasonidos.

- Vasos de precipitado de distintos tamaños.
- Pipetas y micropipetas de distinto tamaño.

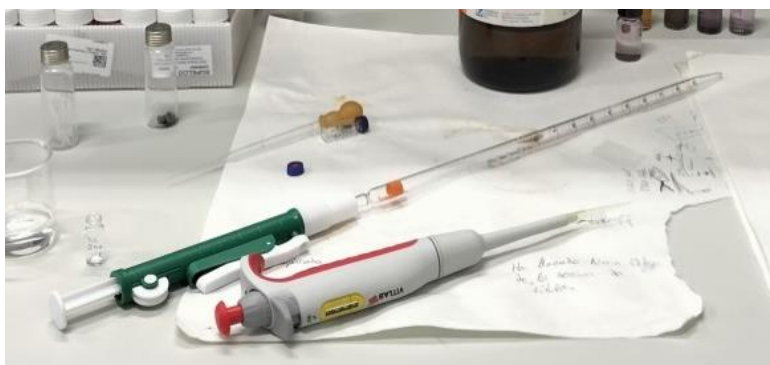


Imagen 7. Pipetas.

4.3 Muestras.

Se han usado 5 muestras de diferentes bolsas de uso cotidiano en el hogar de polietileno de baja densidad (LDPE).

- Muestra 1: Bolsa azul anti-goteo nueva.
- Muestra 2: Bolsa lila perfumada nueva.
- Muestra 3: Bolsa amarilla usada.
- Muestra 4: Bolsa transparente usada.
- Muestra 5: Bolsa sin plastificar nueva.

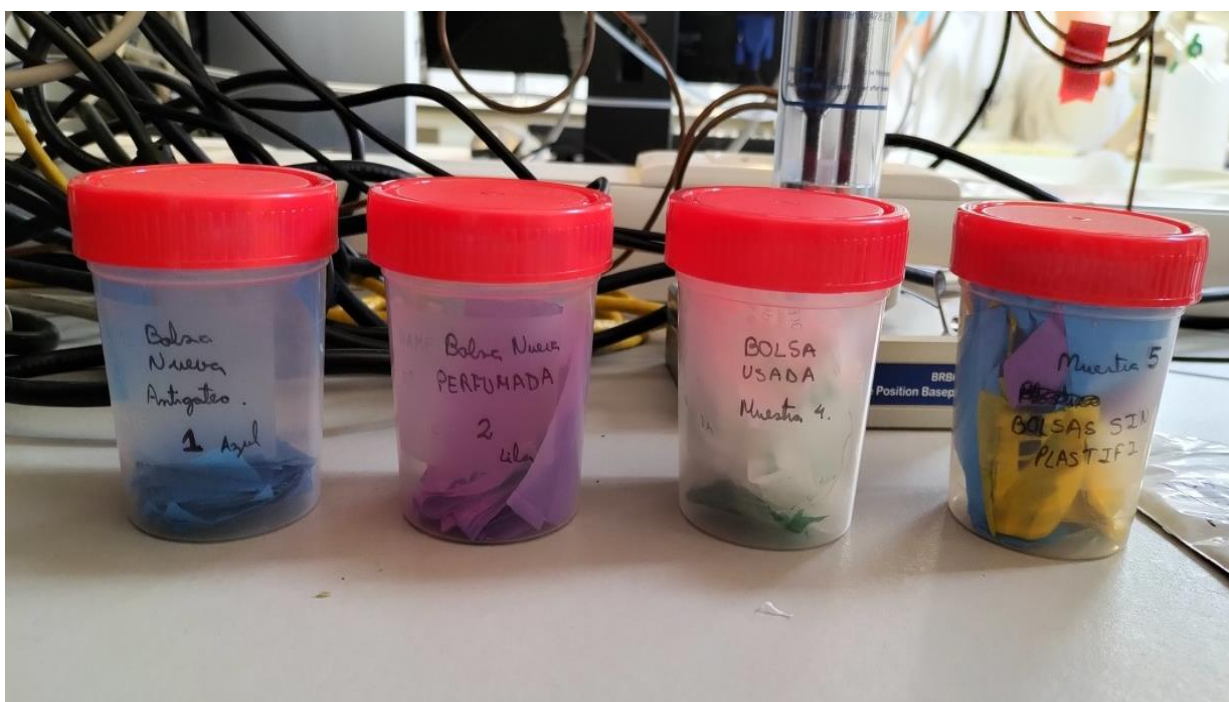


Imagen 8. Muestras de bolsas de plástico LDPE

4.4 Procedimiento experimental.

En primer lugar, se selecciona el residuo de polietileno de baja densidad encontrado en bolsas de plástico compuestas por dicho polímero. Se han seleccionado 5 muestras de 5 bolsas distintas en color, grosor, usadas y no usadas... Se lavan y secan las bolsas, en caso de las ya usadas. Se parten en trozos pequeños y guardamos cada muestra en un frasco distinto.

Para someter a pirolisis procederemos de igual forma con cada muestra. Preparamos la muestra de LDPE a analizar cortando con una tijera un trozo pequeño que guardábamos en el frasco. Lo pesamos en una balanza analítica de precisión anotando la cantidad que vamos a degradar, Calentamos previamente con un soplete el pocillo o cápsula y con unas pinzas metemos en ella los trozos que quepan de LDPE.

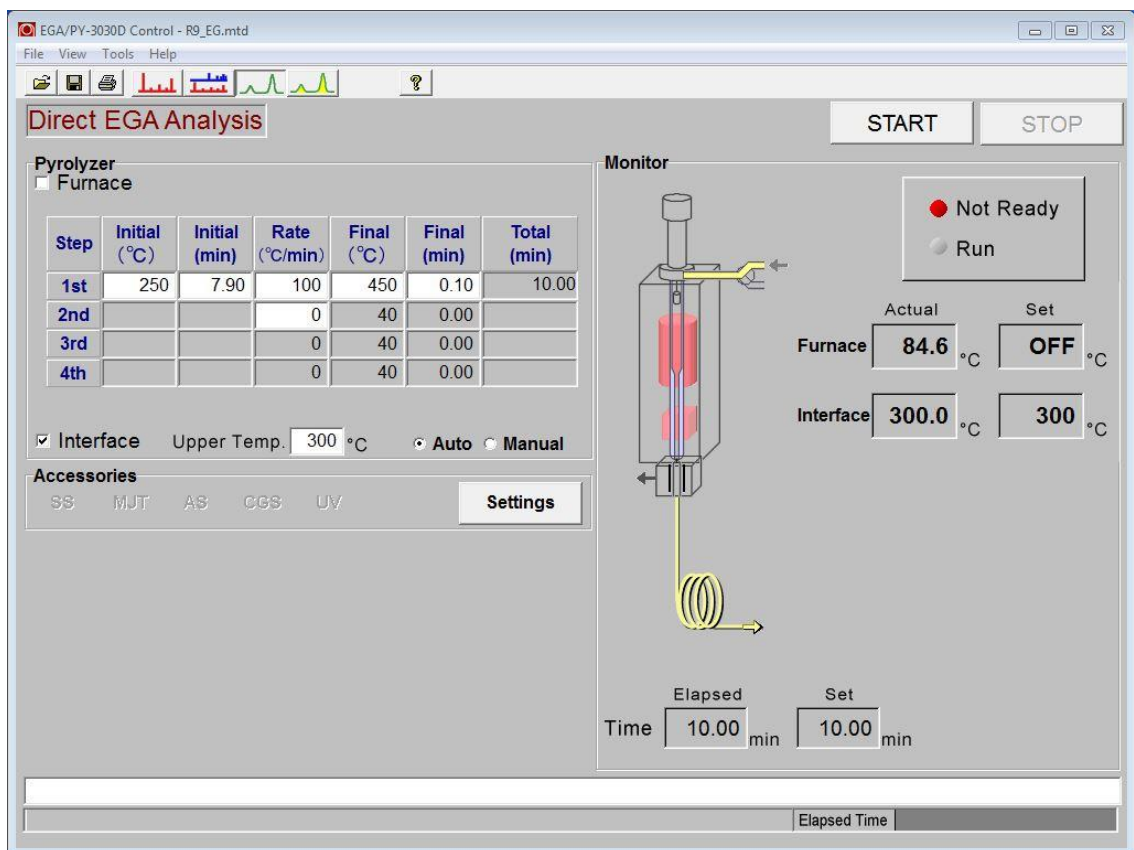
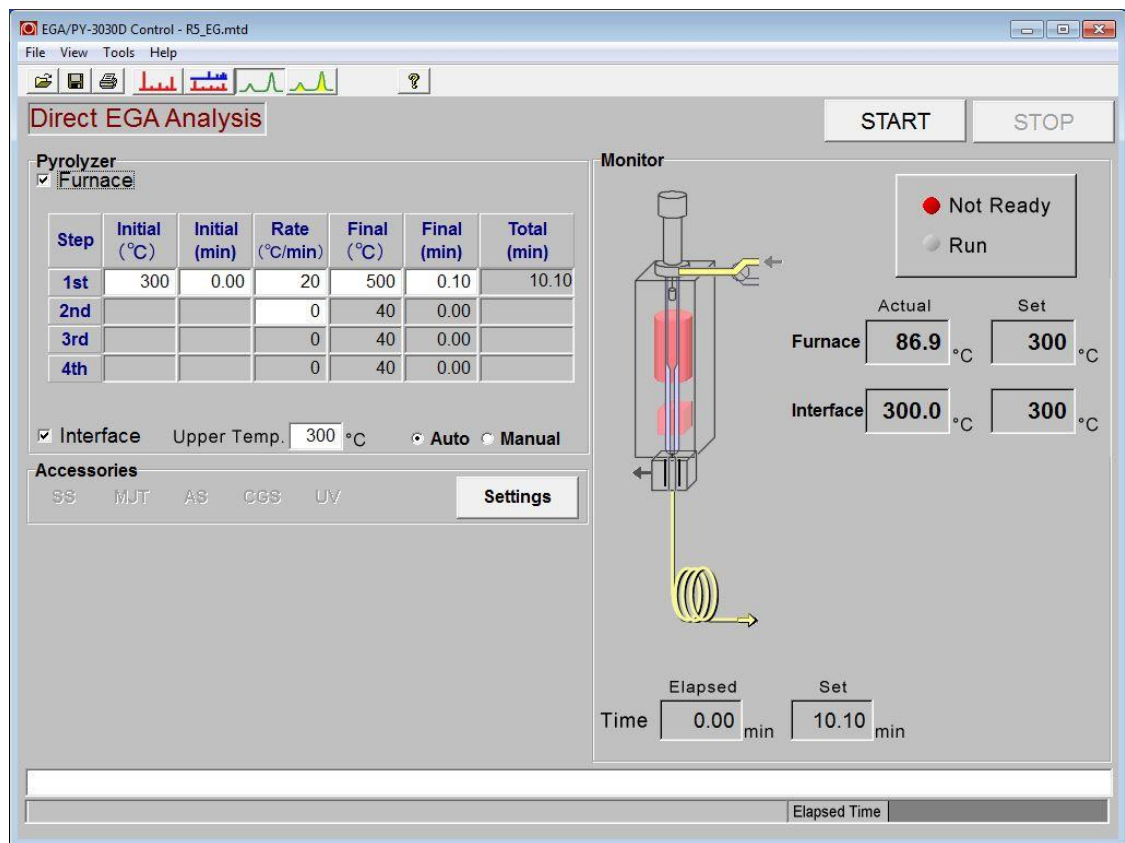
Nombramos las muestras seleccionadas a pirolizar indicando la rampa utilizada en la pirolisis, el identificativo de la bolsa (indicado con el color) y el número de muestra como vemos en el siguiente ejemplo:

Ejemplo: **R5BTr2** => (**Rampa 5** / **Bolsa Transparente** / **Muestra 2**)

Se introduce ese “pocillo” en el receptor del pirolizador-espectrofotómetro de masas- GX, sacando el oxígeno que en él quedase arrastrándolo con una corriente de Helio. Fijamos las condiciones de trabajo en el equipo y procedemos a realizar el análisis.

En el pirolizador las someteremos a degradación térmica por pirolisis con las siguientes condiciones o rampas de temperatura:

- **R1:** De 330°C a 450°C con una velocidad de calefacción de 50°C/min.
- **R2:** De 450°C a 500°C con una velocidad de calefacción de 50°C/min.
- **R3:** De 500°C a 700°C con una velocidad de calefacción de 50°C/min.
- **R4:** De 700°C a 900°C con una velocidad de calefacción de 50°C/min.
- **R5:** De 300°C a 500°C con una velocidad de calefacción de 20°C/min.
- **R6:** De 300°C a 500°C con una velocidad de calefacción de 50°C/min.
- **R7:** De 300°C a 500°C con una velocidad de calefacción de 80°C/min.
- **R8:** De 250°C a 450°C con una velocidad de calefacción de 50°C/min.
- **R9:** De 250°C a 450°C con una velocidad de calefacción de 100°C/min.



**Imagen 9. Pantalla del programa informático del pirolizador. Análisis .
 (Ejemplos Rampa 5 y Rampa 9)**

Tras la pirolisis pasa a la Cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (GC-MS). La temperatura de la línea de transferencia será de 300° C

Las condiciones de temperatura en el equipo serán:

- ✓ Línea de transferencia: 300°C.
- ✓ Columna del espectrómetro de masas y gases:
 - Se mantiene la temperatura de la columna a 50°C durante 10 min.
 - Se aumenta la temperatura de la columna hasta alcanzar los 300°C con un incremento de 10°C/min. Este proceso tarda un tiempo de 50 min.
- ✓ Para la fuente: 300°C. (Con un voltaje de 70 eV usando 2 filamentos con una corriente fijada de 40µA.

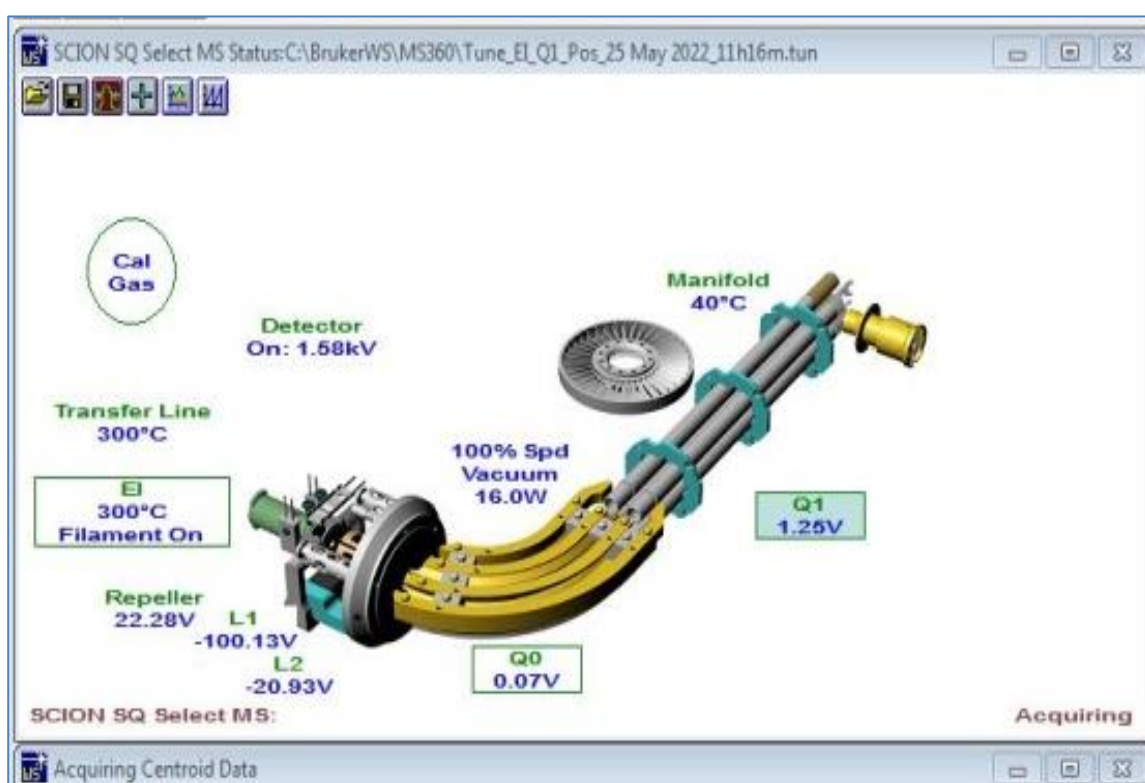


Imagen 10. Análisis del GC-MS. Pantalla del programa informático.

El equipo tiene un software que tras acabar el análisis origina un archivo mediante el programa Bruker MSWS donde se obtienen diversos datos, cromatogramas y resultados de éste, que serán claves para hacer el estudio de la fracción líquida resultante. El programa realiza una comparación del análisis experimental con los compuestos de referencia que tiene preestablecidos en su biblioteca determinando en cada cromatograma a qué compuesto corresponde cada pico.

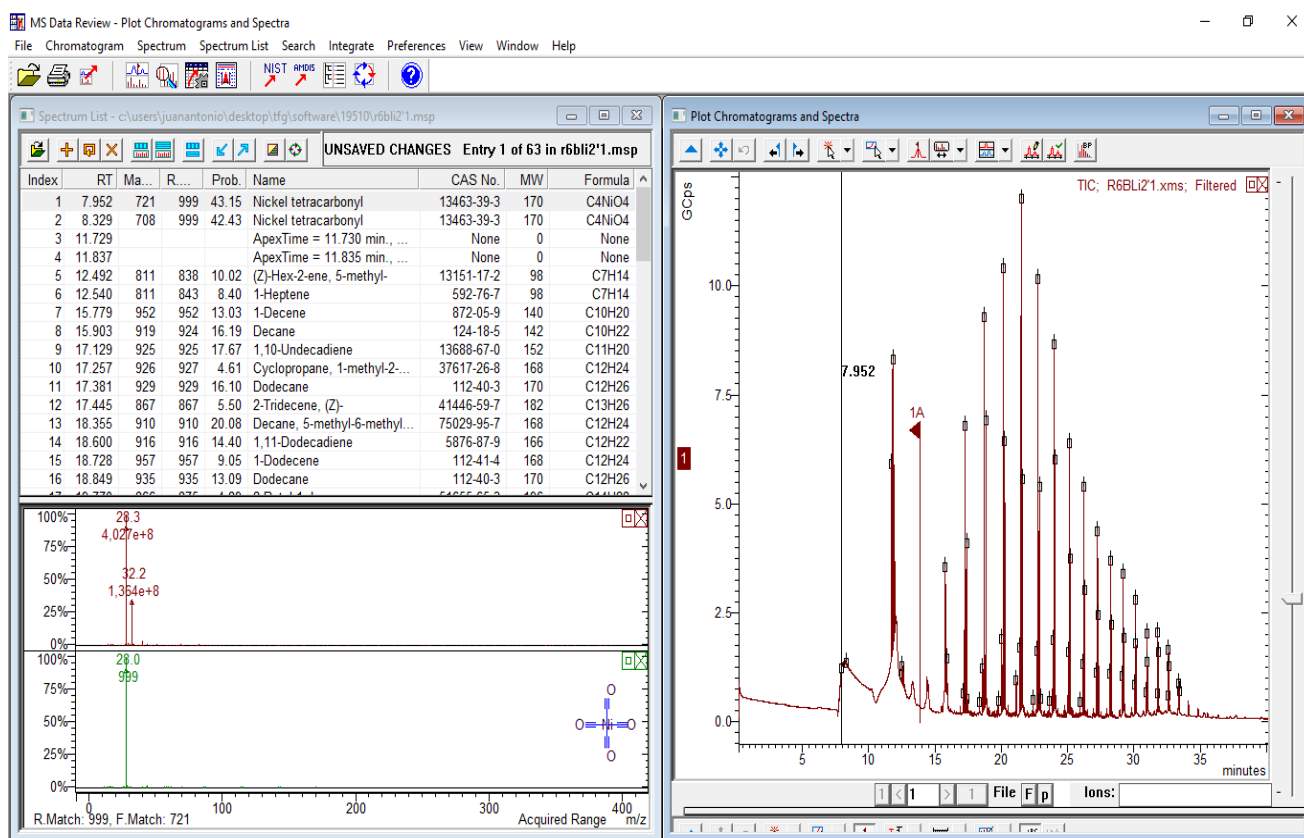


Imagen 11. Otras imágenes del programa Bruker MSWS .

Una vez realizada la pirolisis y obtenido los resultados del CG-MS sacaremos el pocillo del inyector y lo clasificaremos introduciéndolo en un frasco de vidrio.

A continuación, someteremos cada uno de los pocillos con los restos de la pirolisis, en especial la fracción líquida, a una nueva GC-MS. Para ello primero deberemos preparar estos restos en disolución. Con una micropipeta enjuagaremos con n-hexano el pocillo intentando arrastrar así toda la muestra que queda tras la pirolisis. Este proceso lo repito continuamente. Introduzco el pocillo en un vaso de precipitado con 15 ml. de n-hexano.



Imagen 12. Preparación de los restos de muestra tras la pirolisis.

Este vaso lo someto a ultrasonido para homogeneizar la muestra e intentar así que se disuelva toda la muestra posible en el disolvente. Lo someteremos al 40% durante unos 5 minutos.

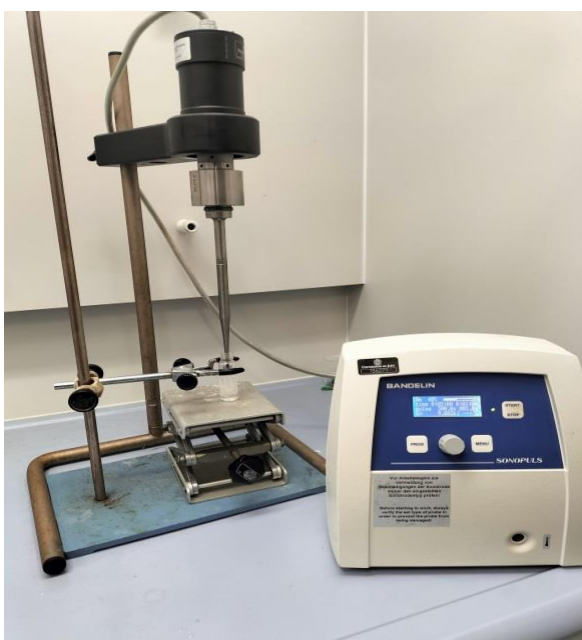


Imagen 13. Homogeneizar la disolución con n-hexano mediante ultrasonido .

Extrayendo el pocillo de él, pasamos la disolución a otro vaso de precipitado donde usaremos una corriente de Nitrógeno gas para separar la fracción líquida proveniente de la pirólisis del disolvente Hexano.



Imagen 14. Separación del n-hexano de la muestra mediante corriente de Nitrógeno gas.

El líquido resultante será la fracción líquida de la muestra de bolsas de plástico LDPE tras someterse a pirolisis. A esta mezcla le efectuaremos de nuevo una GC-MS para ver si el perfil coincide en un elevado porcentaje con los datos obtenidos anteriormente.

5. RESULTADOS EXPERIMENTALES.

El obtener los compuestos de la fracción líquida resultante de la pirolisis de plástico polietileno de baja densidad es uno de los objetivos de este trabajo para ver la posibilidad de aprovecharlos como biofuel. También el de optimizar los parámetros en los que se realiza la pirolisis para la obtención de los mejores productos.

Para ello hemos realizado las siguientes pirolisis, con estas condiciones de rampa de temperatura y velocidad de calentamiento, a las muestras de plástico LDPE.

Rampa	T ^a Inicial	T ^a Final	Velocida d (°C/min)	<u>Muestra 1</u> Azul anti-goteo	<u>Muestra 2</u> Lila perfumada	<u>Muestra 3</u> Amarilla	<u>Muestra 4</u> Transparente Usada	<u>Muestra 5</u> Mezcla Sin plastificar
R1	330	450	50	X	X	X	X	X
R2	450	500	50	X	X	X	X	X
R3	500	700	50	X	X	X	X	X
R4	700	900	50	X	X	X	X	X
R5	300	500	20	X	X		X	
R6	300	500	50	X	X		X	
R7	300	500	80	X	X		X	
R8	250	450	50	X	X		X	
R9	250	450	100	X	X		X	

Tabla 1. Pirolisis realizadas a las muestras con las distintas rampas.

A continuación se exponen los resultados de las pirolisis con sus cromatogramas y con las tablas de componentes efluentes en cada intervalo de temperatura y rampa que hemos estudiado en el PIROLIZADOR-GC-MS ordenados por tiempos de retención y en la que se muestran también el % de cada componente.

Al obtener el cromatograma, para seleccionar los picos y detectar a qué componente corresponde, se ha integrado con los siguientes parámetros:

- Anchura de pico de 5 segundos (peak width).
- Relación señal/ruido (S/N) de 10 (slope sensitivity).
- Tangencial de 10 (tangent %).

Las bibliotecas del software que se han usado para identificar los picos de los cromatogramas son varias, especialmente, *MAINLIB*, *REPLIB*, *nist_ri* y *nist_msms2*.

Estas tablas también están clasificadas por grupo funcional diferenciando en ellas según los colores los más interesantes para nuestro estudio:



Hidrocarburos.



Alcoholes.



Aldehídos.



Derivados del Benceno.



Plastificantes que están en la matriz del polietileno.

Dentro de los hidrocarburos hemos indicado especialmente aquellas muestras donde aparece el ETANO como componente, hidrocarburo alcano de cadena corta, susceptible de utilizarse como combustible.

NOTA IMPORTANTE: Se han descartado los picos cuya área es inferior al 0.05 % del área total, compuestos resultantes derivados del Ni y el Rutenio (Nickel tetracarbonyl y Tri-ruthenium dodecacarbonyl) y otros compuestos no identificados por nuestras bibliotecas del software por no corresponder a compuestos relevantes para nuestro estudio (que sí están en las bibliotecas usadas) y carecer de importancia para ello.

5.1. Muestra 1.

A continuación se muestran la comparativa de los cromatogramas resultantes tras la pirólisis con las distintas condiciones de temperatura y velocidad en las distintas rampas.

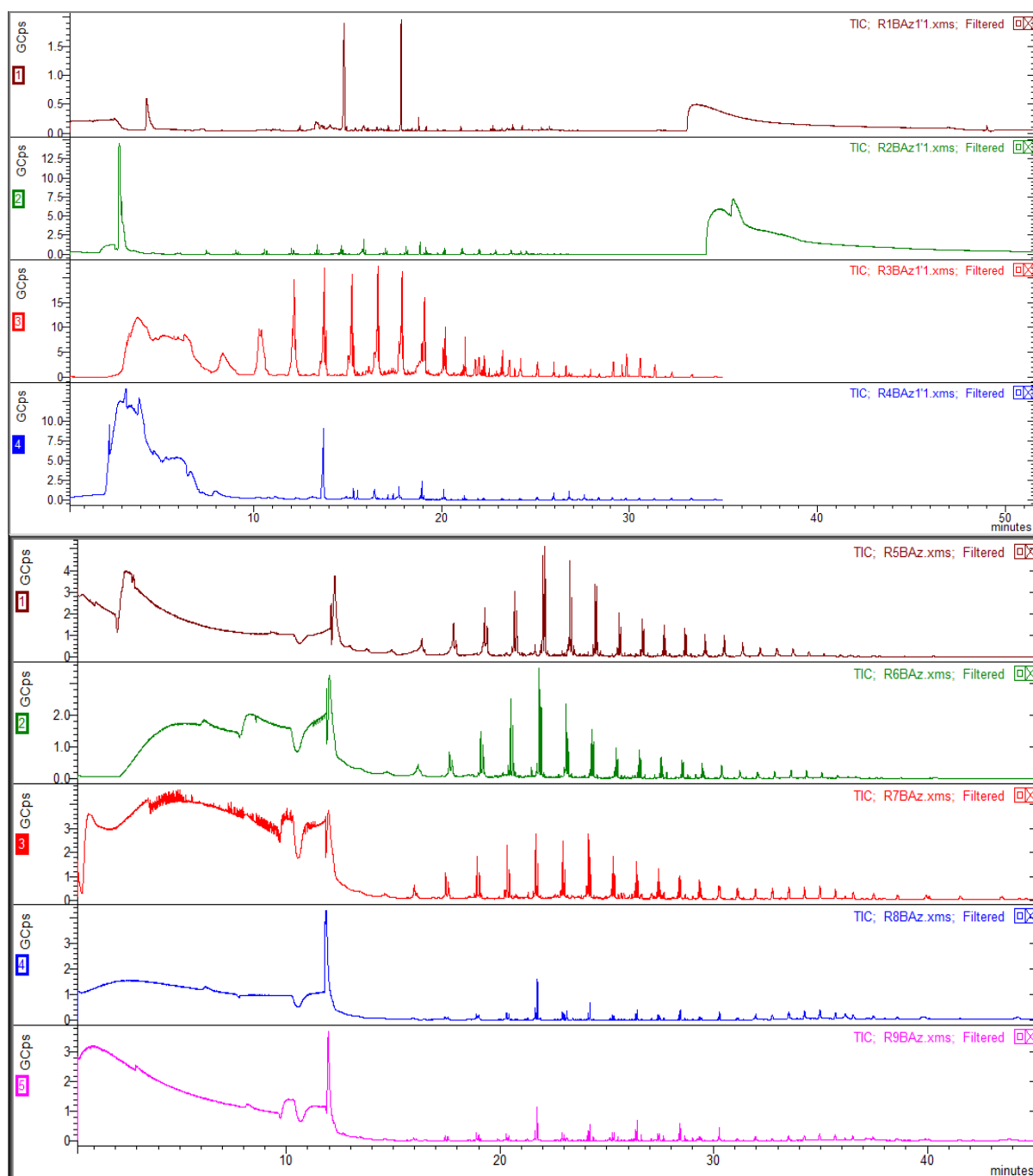


Figura 21. Cromatogramas de las pirólisis de la muestra 1 en las distintas rampas de temperatura.

5.1.1. R1 (Rampa de temperatura de 330°C a 450°C a 50°C/min) en la Muestra 1.

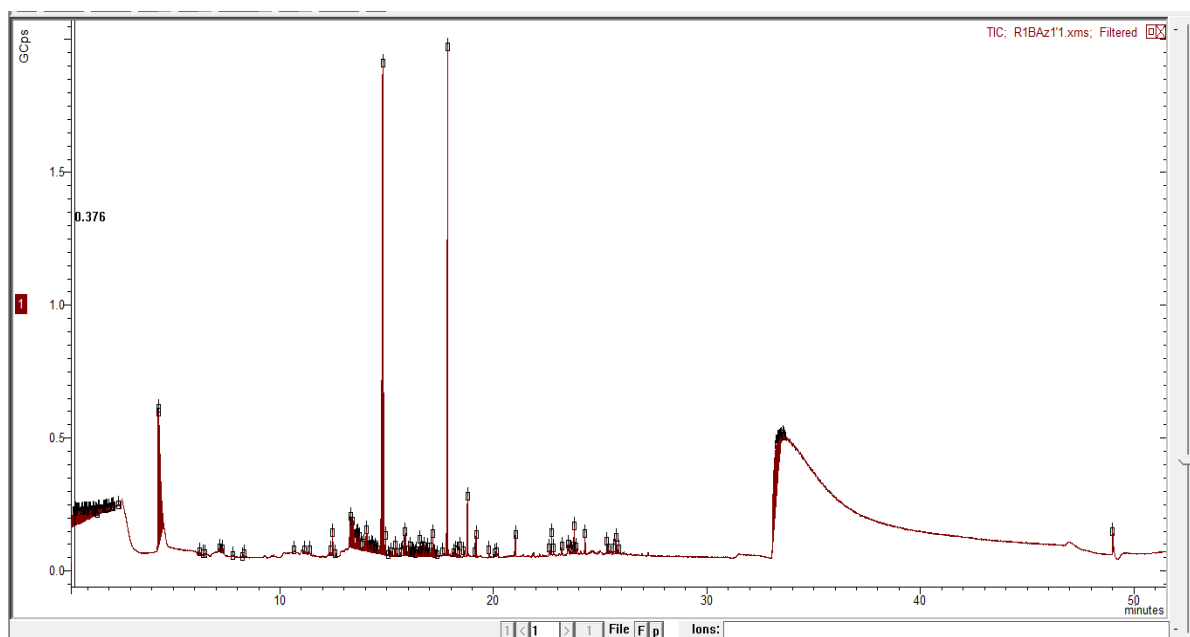


Figura 22. Cromatograma de la pirólisis de la Muestra 1 en la Rampa 1.

Tiempo de retención (min.)	NOMBRE DEL COMPUESTO	Área	% of Total
0.418	Carbon monoxide	2,13E+08	11.394
1.031	Nitrogen	8,31E+07	0.689
1.821	Ethane	2,41E+07	0.076
6.225	2-Pyrrolidinone, 1-methyl-	7,05E+07	0.121
8.309	2-Nonen-1-ol, (E)-	3,28E+07	0.103
11.386	1,2-Benzenedicarboxylic acid	4,45E+07	0.140
12.372	Dichloroacetic acid, 2-pentadecyl ester	5,27E+07	0.166
12.464	Phenol, 4-(1,1-dimethylpropyl)-	1,92E+08	0.606
12.597	Dodecanal	1,86E+07	0.059
13.300	Formic acid, dodecyl ester	8,51E+08	2.684
13.415	n-Tridecan-1-ol	5,21E+08	1.645
13.594	1,3-Benzenedicarboxylic acid, dimethyl ester	2,22E+08	1.845
13.851	2,4-Di-tert-butylphenol	3,07E+07	0.097
13.938	Benzoic acid, 4-ethoxy-, ethyl ester	1,07E+08	0.336
14.047	Nonadecane	5,51E+08	3.293
14.311	Octadecane	9,25E+07	0.292
14.339	Heptacosane, 1-chloro-	1,32E+08	0.417
14.464	Pentadecane	9,59E+07	0.303

14.517	Heneicosane	5,39E+07	0.170
14.592	Heptadecane	5,31E+07	0.296
14.812	Diethyl Phthalate	7,95E+09	25.097
15.055	9-Octadecenoic acid (Z)-, 2-(acetyloxy)-1-[(acetyloxy)methyl]ethyl ester	1,66E+07	0.052
15.215	.beta.-Hydroxypyruvic acid, trimethylsilyl ether, trimethylsilyl ester	5,96E+07	0.188
15.620	Benzene, 1,1'-(1,3-propanediyl)bis-	3,58E+07	0.113
15.804	1,4-Dioxo-1,2,3,4-tetrahydrophthalazine	1,00E+08	0.316
15.857	Cetene	3,90E+08	1.230
16.004	10-Heneicosene (c,t)	6,19E+07	0.195
16.081	Tetracosane	1,06E+08	1.235
16.219	2-Octyl benzoate	5,37E+07	0.169
16.265	Oxirane, tetradecyl-	2,34E+07	0.074
16.599	1-Octadecanesulphonyl chloride	3,59E+07	0.113
16.664	Heptacosane	5,50E+07	0.174
16.721	2-Ethyl-1-dodecanol	5,11E+07	0.161
17.098	1-Nonadecene	8,93E+07	0.282
17.171	Eicosane	1,68E+08	0.530
17.850	1,2-Benzenedicarboxylic acid, bis(2-methylpropyl) ester	4,01E+09	12.663
18.136	1-Docosene	1,92E+07	0.184
18.207	1-Decanol, 2-hexyl-	5,26E+07	0.166
18.309	Phthalic acid, 2,7-dimethyloct-7-en-5-yn-4-yl isobutyl ester	5,75E+07	0.181
18.611	Benzoic acid, 2-benzoyl-, methyl ester	4,77E+07	0.150
18.784	Phthalic acid, butyl 2-chloropropyl ester	4,21E+08	1.327
22.607	(Benzyl)(3-benzyl-3H-[1,2,3]triazolo[4,5-d]pyrimidin-7-yl)amine	2,42E+07	0.076
22.723	Octacosane	1,19E+08	0.377
23.202	Cyclohexane, 1,3,5-triphenyl-	6,75E+07	0.213
23.612	7-Methyl-1-naphthol	2,80E+07	0.088
23.794	Bis(2-ethylhexyl) phthalate	1,72E+08	0.542
24.287	Hexacosane	1,43E+08	0.451
25.318	Naphthalene, 1,2,3,4-tetrahydro-2-phenyl-	8,14E+07	0.257
25.858	5,9,13,17-Tetramethyl 4,8,12,16-octadecatetraenoic acid	4,00E+07	0.126

Tabla 2. Compuestos emitidos en la pirólisis de la Muestra 1 con la Rampa 1.

5.1.2. R2 (Rampa de temperatura de 450°C a 500°C a 50°C/min) en la Muestra 1.

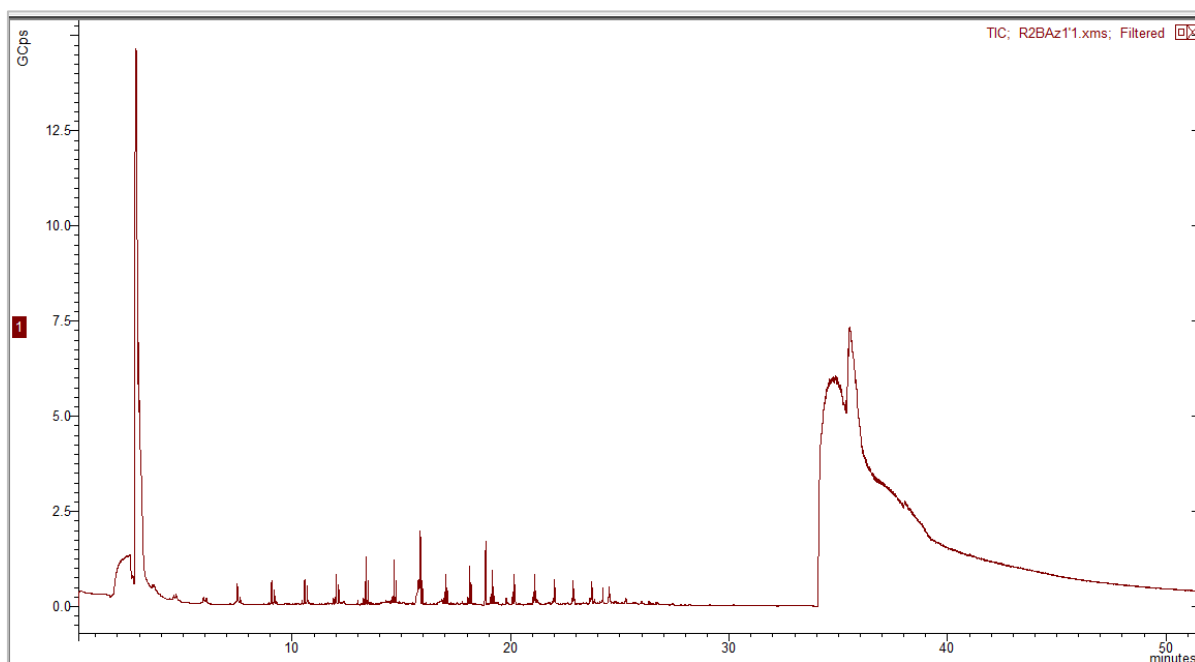


Figura 23. Cromatograma de la pirólisis de la Muestra 1 en la Rampa 2

Tiempo de retención (min.)	NOMBRE DEL COMPUESTO	Área	% Área Total
2.703	Propane	3,90E+09	0.349
3.680	Hexane, 3-methyl-	7,60E+08	0.068
4.580	1-Octene	7,38E+08	0.066
4.686	Heptane, 2,4-dimethyl-	9,37E+08	0.084
7.487	Cyclopropane, 1-heptyl-2-methyl-	1,25E+09	0.235
9.185	Undecane	8,32E+08	0.075
10.571	1-Dodecene	1,14E+09	0.102
10.692	Tridecane	7,96E+08	0.071
12.010	1-Tridecene	1,23E+09	0.110
12.122	Pentadecane	9,56E+08	0.234
13.375	1-Tetradecene	2,00E+09	0.179
14.659	1-Heptadecene	1,73E+09	0.155
15.779	Diethyl Phthalate	3,39E+09	0.304
15.865	Phthalic acid, butyl undecyl ester	4,03E+09	0.361
15.953	Heptadecane	9,59E+08	0.086
17.017	5-Octadecene, (E)-	1,12E+09	0.233
17.093	Eicosane	6,14E+08	0.135
18.856	1,2-Benzenedicarboxylic acid, bis(2-methylpropyl) ester	3,40E+09	0.304
19.153	3-Eicosene, (E)-	1,29E+09	0.116

19.217	Tetracosane	8,33E+08	0.206
20.143	1-Nonadecene	1,16E+09	0.209
21.996	1-Docosene	9,45E+08	0.309
23.739	Hexacosane	5,89E+08	0.053
24.223	Cyclohexane, 1,3,5-triphenyl-	6,47E+08	0.058
34.436	Nitrogen	4,73E+09	3.792
34.484	Oxygen	4,50E+09	0.632
34.517	Ethylene	8,80E+09	8.445
34.633	Carbon monoxide	5,43E+09	6.700
35.175	Hydrogen cyanide	5,87E+09	1.329
36.081	Hydrazinecarboxamide	1,20E+09	0.225
37.756	Ethane	1,02E+09	0.092

Tabla 3. Compuestos emitidos en la pirólisis de la Muestra 1 con la Rampa 2.

5.1.3. R3 (Rampa de temperatura de 500°C a 700°C a 50°C/min) en la Muestra 1.

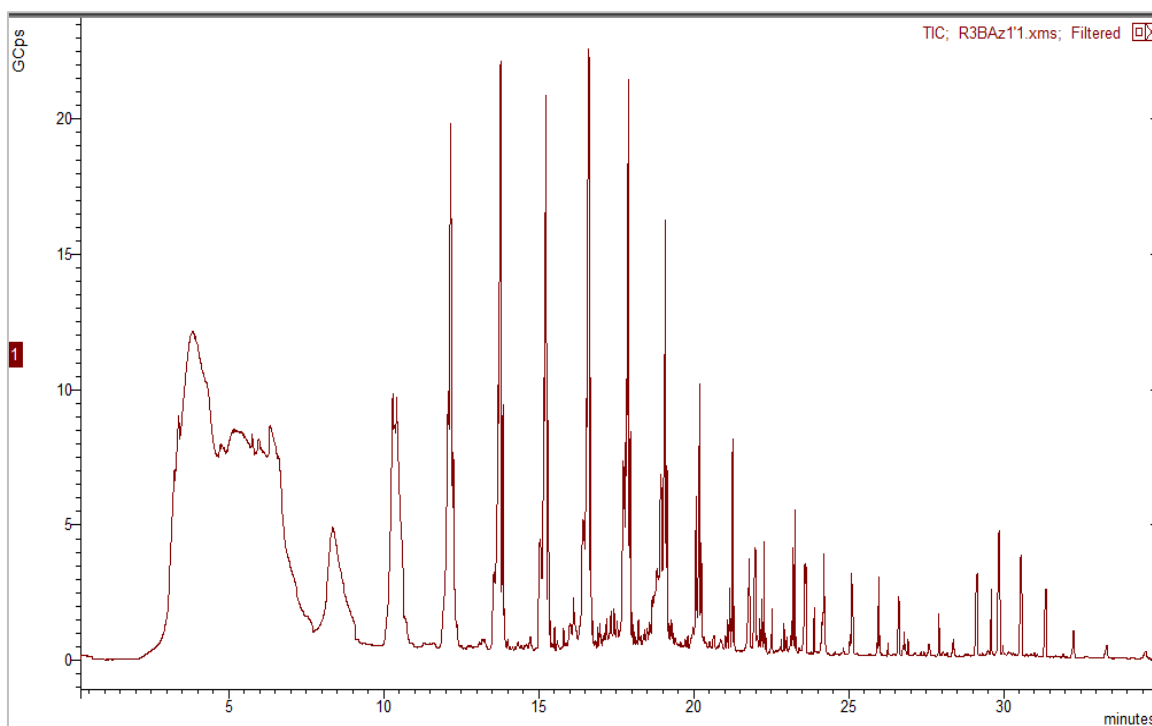


Figura 24. Cromatograma de la pirólisis de la Muestra 1 en la Rampa 3.

Tiempo de retención (min.)	NOMBRE DEL COMPUESTO	Área	% of Total
3.245	2(3H)-Furanone, dihydro-3-methyl-	6,45E+09	0.775
3.375	6-Oxabicyclo[3.1.0]hexan-2-one	8,68E+09	1.043
5.753	Manganese, acetylpentacarbonyl-, (OC-6-21)-	1,48E+09	0.177
10.286	1-Decene	5,30E+09	2.241
12.072	Cyclododecane	2,34E+10	2.810
12.164	Cyclopropane, 1-heptyl-2-methyl-	7,52E+10	9.043
12.245	1-Octanol, 2-butyl-	1,08E+10	1.293
13.689	2-Tridecene, (Z)-	1,67E+10	2.002
13.767	1-Dodecene	5,92E+10	14.584
13.848	Tridecane	1,48E+10	1.773
15.047	1,13-Tetradecadiene	2,27E+10	5.495
15.170	1-Tridecene	2,80E+10	3.362
15.310	Pentadecane	1,65E+10	1.980
15.339	5-Tridecene, (E)-	7,13E+08	0.086
16.541	1-Heptadecene	2,07E+10	4.138
16.621	1-Tetradecene	8,26E+10	16.850
16.680	Heptadecane	1,66E+10	1.990
17.722	1,12-Tridecadiene	3,00E+10	3.607
17.807	Cetene	1,23E+10	1.476
17.837	7-Hexadecene, (Z)-	1,50E+10	1.803
18.944	1,15-Pentadecanediol	1,70E+10	2.499
19.048	5-Octadecene, (E)-	1,81E+10	8.780
19.133	Heptadecane	1,34E+10	1.615
20.084	1,14-Tetradecanediol	1,28E+10	1.536
20.246	Nonadecane	6,43E+09	0.773
21.260	1-Nonadecene	1,55E+10	1.860
21.310	Tetracosane	2,25E+09	0.270
21.995	1,2-Benzenedicarboxylic acid, bis(2-methylpropyl) ester	1,08E+10	1.295
22.199	Oxirane, decyl-	2,85E+09	0.342
22.276	1-Nonadecene-Dup1	5,64E+09	0.678
22.529	3-Isopropoxy-1,1,1,7,7,7-hexamethyl-3,5,5-tris(trimethylsiloxy)tetrasiloxane	1,92E+09	0.230
23.199	Behenic alcohol	5,56E+09	0.668
23.265	1-Decanol, 2-hexyl-	7,57E+09	0.910
24.207	1-Docosene	2,61E+09	1.493

Tabla 4. Compuestos emitidos en la pirólisis de la Muestra 1 con la Rampa 3.

5.1.4. R4 (Rampa de temperatura de 700°C a 900°C a 50°C/min) en la Muestra 1.

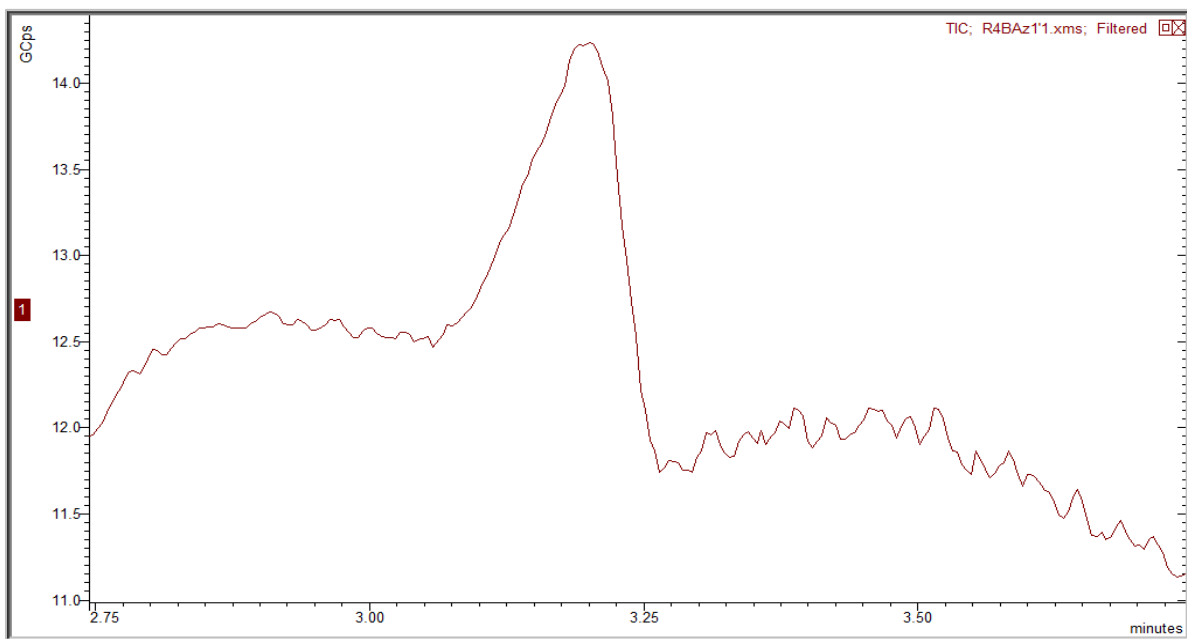


Figura 25. Cromatograma de la pirólisis de la Muestra 1 en la Rampa 4.

Tiempo de retención (min.)	NOMBRE DEL COMPUESTO	Área	% of Total
2.326	Ethylene	5,29E+10	2.519
2.652	Vanadium, pentacarbonyl(eta.3-2-propenyl)-	1,41E+11	6.727
2.865	3-Methyl-1,2-diazirine	4,78E+10	2.274
3.359	Benzene	7,89E+09	2.316
3.420	6-Azidotetrazolo(b)pyridazine	1,93E+10	6.870
3.667	1,3-Hexadien-5-yne	6,81E+09	0.324
5.075	Carbon monoxide	5,19E+09	0.247
6.637	Cyclopropylacetonitrile	7,81E+10	3.720
7.959	Bicyclo[4.2.0]octa-1,3,5-triene	4,87E+09	0.368
8.116	1,3,5,7-Cyclooctatetraene	1,11E+09	0.053
10.212	Indane	3,57E+09	0.170
11.114	Indene	4,48E+09	0.213
13.113	Naphthalene, 1,2-dihydro	2,08E+09	0.099
13.682	Azulene	4,04E+10	1.923
15.310	1H-Indene, 1-ethylidene-	3,27E+09	0.280
16.401	1-Pentadecene	1,98E+09	0.094

16.446	Biphenyl	3,42E+09	0.163
17.140	Naphthalene, 2-ethenyl-	1,05E+09	0.050
17.427	Acenaphthylene	1,25E+09	0.060
17.729	Cetene	3,47E+09	0.511
25.959	1-Docosene	1,29E+09	0.134

Tabla 5. Compuestos emitidos en la pirólisis de la Muestra 1 con la Rampa 4.

5.1.5. R5 (Rampa de temperatura de 300°C a 500°C a 20°C/min) en la Muestra 1.

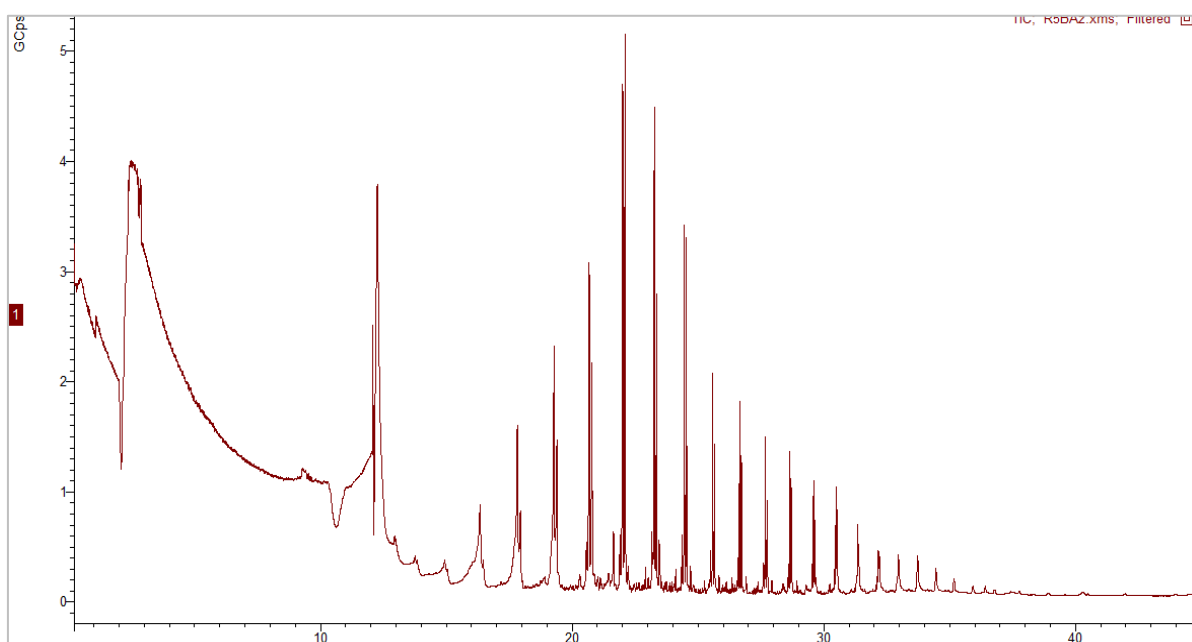


Figura 26. Cromatograma de la pirólisis de la Muestra 1 en la Rampa 5.

Tiempo de retención (min.)	NOMBRE DEL COMPUESTO	Área	% of Total
19.279	2-Tridecene, (Z)-	2,44E+09	2.836
19.396	Tetradecane	1,78E+09	7.001
20.677	1-Tridecene	5,83E+09	17.329
21.902	1,12-Tridecadiene	8,16E+08	0.949
22.101	Phenol, 4-(1,1-dimethylpropyl)-	1,07E+10	12.436
23.165	E-2-Octadecadecen-1-ol	5,42E+08	0.630
23.263	5-Octadecene, (E)-	6,47E+09	19.839
23.353	Heptadecane	3,96E+09	6.682
23.456	2,4-Di-tert-butylphenol	9,91E+08	1.153
24.363	1,14-Tetradecanediol	7,70E+08	0.895

24.536	Eicosane	4,75E+09	7.715
25.499	1,15-Pentadecanediol	4,64E+08	0.539
26.580	1,15-Pentadecanediol-Dup1	4,93E+08	0.573
27.677	5-Eicosene, (E)-	2,07E+09	2.402
27.741	Eicosane	1,46E+09	1.700
28.654	3-Eicosene, (E)-	1,82E+09	3.803
28.713	Tetracosane	1,48E+09	1.725
29.641	Octacosane	1,19E+09	2.754
30.484	1-Docosene	1,40E+09	2.931
31.383	Hexatriacontane	7,12E+08	0.828

Tabla 6. Compuestos emitidos en la pirólisis de la Muestra 1 con la Rampa 5.

5.1.6. R6 (Rampa de temperatura de 300°C a 500°C a 50°C/min) en la Muestra 1.

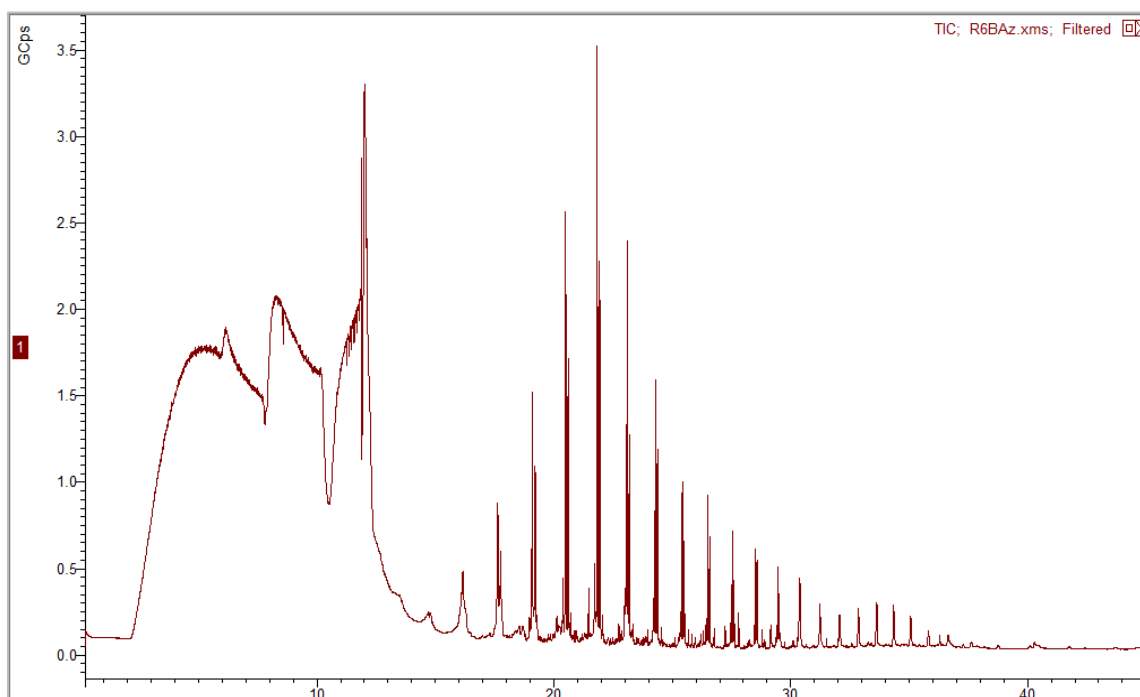


Figura 27. Cromatograma de la pirólisis de la Muestra 1 en la Rampa 6.

Tiempo de retención (min.)	NOMBRE DEL COMPUESTO	Área	% of Total
3.850	Carbon monoxide	6,46E+08	1.143
17.632	1-Dodecene	1,05E+09	4.788
17.757	Tetradecane	8,54E+08	7.139
20.385	11-Dodecenol	5,74E+08	0.736

20.497	1-Tridecene	4,09E+09	5.244
21.472	2-Butyl-1-decene	4,80E+08	0.616
21.726	E-2-Octadecadecen-1-ol	7,48E+08	2.322
21.833	1-Tetradecene	5,68E+09	7.286
21.930	Pentadecane	3,61E+09	4.639
22.058	Dodecanal	2,82E+08	0.361
22.999	Pentanoic acid, 10-undecenyl ester	4,85E+08	0.623
23.095	7-Hexadecene, (Z)-	4,05E+09	5.201
23.186	Heptadecane	2,05E+09	2.625
24.290	5-Octadecene, (E)-	2,77E+09	7.150
24.376	Nonadecane	1,92E+09	2.466
24.539	Hexadecanal	2,17E+08	0.495
25.347	1,14-Tetradecanediol	2,41E+08	0.309
25.502	Eicosane	9,06E+08	3.455
26.434	1,15-Pentadecanediol	2,70E+08	0.347
27.232	1,2-Benzenedicarboxylic acid, bis(2-methylpropyl) ester	2,14E+08	0.274
27.537	5-Eicosene, (E)-	1,03E+09	2.435
28.578	Tetracosane	8,38E+08	1.076
28.798	Octadecanal	1,62E+08	0.207
29.459	3-Eicosene, (E)-	6,59E+08	1.648
29.512	Octacosane	4,01E+08	1.351
31.219	1-Docosene	3,40E+08	2.801
31.263	Dotriacontane	2,79E+08	1.258
32.878	Heptacosane, 1-chloro-	2,27E+08	0.665
35.083	Sulfurous acid, octadecyl pentyl ester	2,61E+08	0.335

Tabla 7. Compuestos emitidos en la pirólisis de la Muestra 1 con la Rampa 6.

5.1.7. R7 (Rampa de temperatura de 300°C a 500°C a 80°C/min) en la Muestra 1.

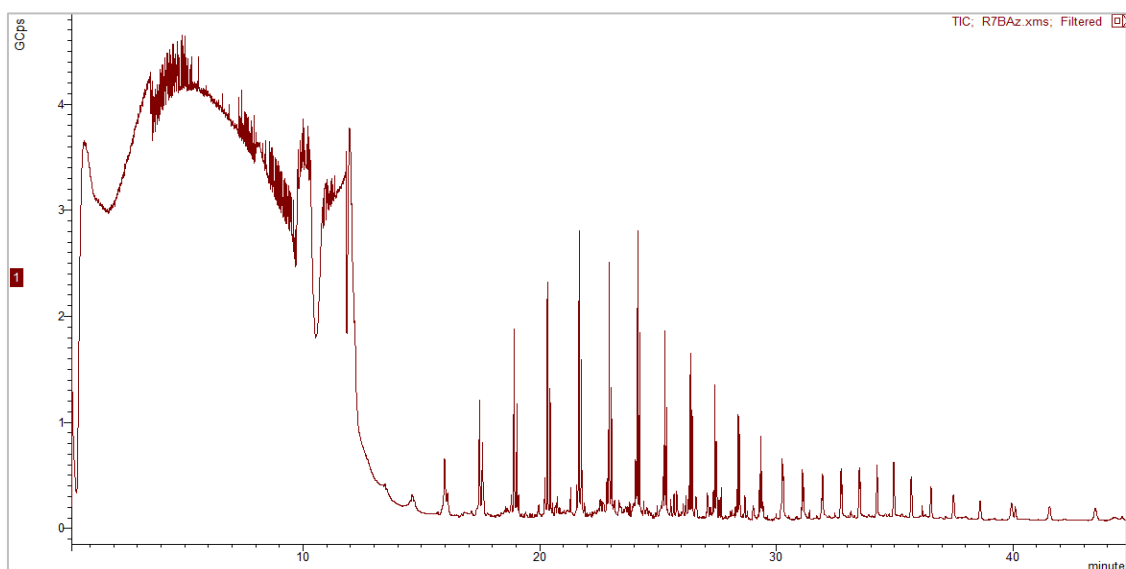


Figura 28. Cromatograma de la pirólisis de la Muestra 1 en la Rampa 7.

Tiempo de retención (min.)	NOMBRE DEL COMPUESTO	Área	% of Total
1.848	Carbon monoxide	7,25E+09	37.210
1.950	Nitrogen	4,66E+09	2.941
2.469	Oxygen	4,76E+09	0.697
7.845	Hydrazinecarboxamide	3,73E+09	0.259
15.981	1-Decene	2,17E+09	0.248
17.579	Tetradecane	2,35E+09	0.198
18.916	2-Tridecene, (Z)-	3,24E+09	0.147
20.327	2-Tetradecene, (E)-	3,53E+09	0.161
20.437	Pentadecane	1,78E+09	0.187
21.668	1-Tridecene	3,59E+09	0.163
22.937	7-Hexadecene, (Z)-	4,34E+09	0.198
23.030	Heptadecane	1,85E+09	0.161
24.142	5-Octadecene, (E)-	4,39E+09	0.432
24.227	Nonadecane	2,48E+09	0.113
25.362	Eicosane	1,50E+09	0.069
27.407	5-Eicosene, (E)-	1,98E+09	0.090
27.473	Octacosane	1,44E+09	0.066
28.394	3-Eicosene, (E)-	1,51E+09	0.069
28.453	Tetracosane	1,35E+09	0.061

Tabla 8. Compuestos emitidos en la pirólisis de la muestra 1 con la rampa 7.

5.1.8. R8 (Rampa de temperatura de 250°C a 450°C a 50°C/min) en la Muestra 1.

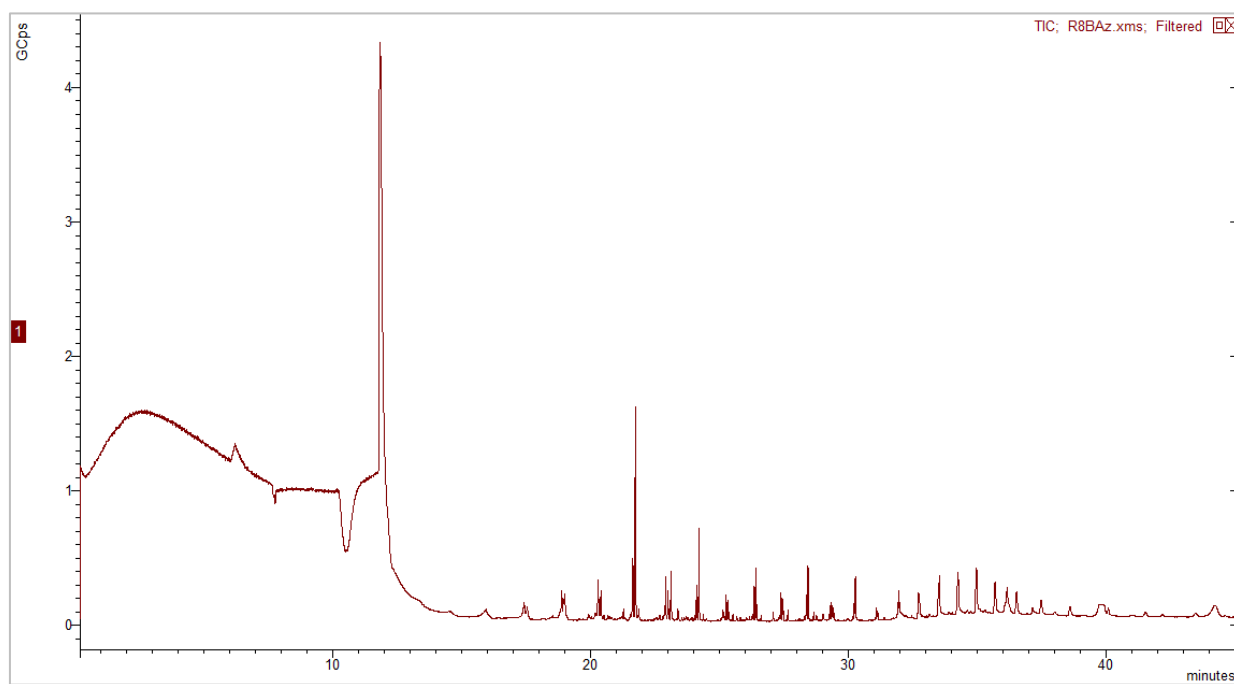


Figura 29. Cromatograma de la pirólisis de la Muestra 1 en la Rampa 8.

Tiempo de retención (min.)	NOMBRE DEL COMPUESTO	Área	% of Total
0.533	Nitrogen	3,82E+08	11.26
1.109	Carbon monoxide	1,76E+09	11.641
3.150	Manganese, acetylpentacarbonyl-, (OC-6-21)-	1,47E+09	0.675
11.734	Uramil-N,N-diacetic acid	1,76E+09	0.400
18.897	1-Tetradecene	3,08E+08	0.070
18.957	Tetradecane	2,82E+08	0.466
20.307	2-Tridecene, (Z)-	6,45E+08	0.147
21.292	2-Butyl-1-decene	1,12E+08	0.025
21.749	Pentadecane	2,77E+09	0.631
22.921	7-Hexadecene, (Z)-	6,02E+08	0.137
23.014	Heptadecane	3,44E+08	0.078
23.126	2,4-Di-tert-butylphenol	6,90E+08	0.157
23.427	Nonadecane	5,24E+07	0.151
24.125	1-Heptadecene	4,66E+08	0.106
24.213	Heptadecane	1,05E+09	0.239
25.270	5-Octadecene, (E)-	3,02E+08	0.161
25.348	Nonadecane	2,55E+08	0.139
26.430	Eicosane	6,13E+08	0.140
27.394	5-Eicosene, (E)-	3,06E+08	0.070

28.382	3-Eicosene, (E)-	2,81E+08	0.064
28.441	Tetracosane	6,38E+08	0.145
29.326	1-Docosene	1,83E+08	1.122
30.280	1-Iodo-2-methylundecane	5,79E+08	0.132
31.971	Dotriacontane	3,45E+08	0.078
32.766	Hexatriacontane	2,49E+08	0.057
33.533	Heptacosane, 1-chloro-	6,16E+08	0.430
36.527	1-Dodecanol, 2-octyl-	7,95E+08	0.181
37.478	17-Pentatriacontene	4,70E+08	0.191

Tabla 9. Compuestos emitidos en la pirólisis de la Muestra 1 con la Rampa 8.

5.1.9. R9 (Rampa de temperatura de 250°C a 450°C a 100°C/min) en la Muestra 1.

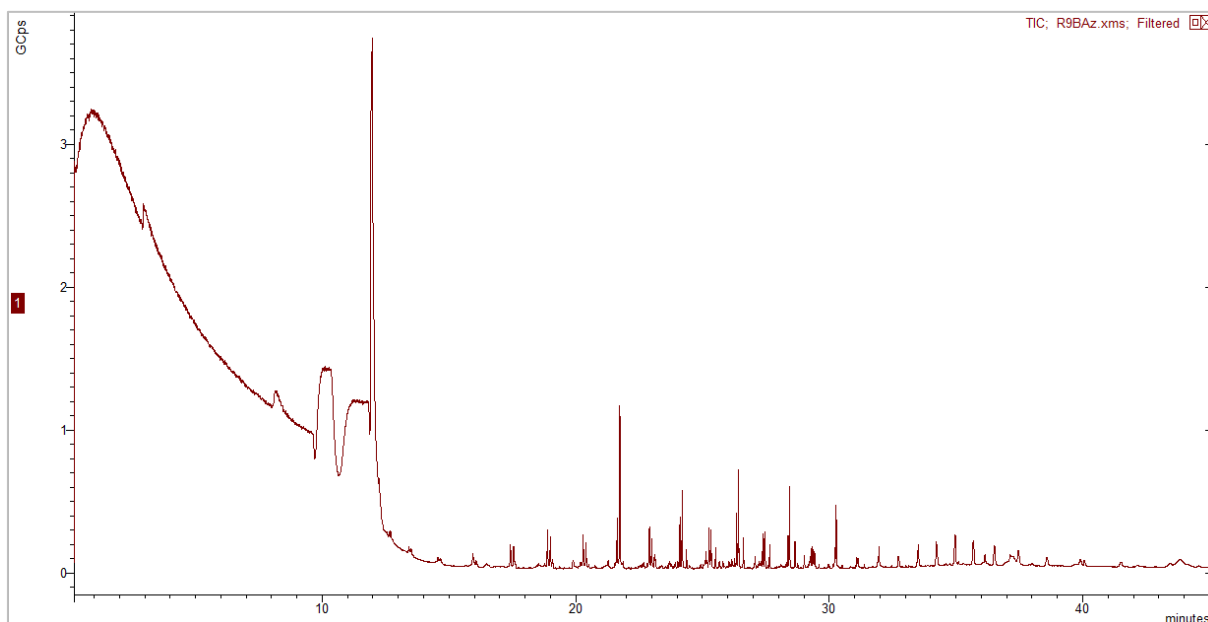


Figura 30. Cromatograma de la pirólisis de la Muestra 1 en la Rampa 9.

Tiempo de retención (min.)	NOMBRE DEL COMPUESTO	Área	% of Total
0.637	Carbon monoxide	1,67E+09	10.108
2.066	Oxygen	1,13E+09	1.124
2.443	Nitrogen	3,77E+09	2.732
15.943	1-Decene	2,30E+08	0.206
17.548	Tetradecane	4,83E+08	0.486
18.885	1-Dodecene	5,09E+08	0.174

19.087	Decanal	1,74E+08	0.059
19.888	Caprolactam	1,72E+08	0.059
20.294	2-Tridecene, (Z)-	4,60E+08	0.158
21.637	1-Tridecene	4,91E+08	0.168
21.737	Phenol, 4-(1,1-dimethylpropyl)-	1,93E+09	0.660
22.908	7-Hexadecene, (Z)-	5,25E+08	0.180
23.001	Heptadecane	3,46E+08	0.963
23.111	2,4-Di-tert-butylphenol	1,75E+08	0.060
24.113	Cetene	6,33E+08	0.217
24.366	Hexadecanal	2,32E+08	0.3
25.134	Phenol, 2,4-bis(1,1-dimethylpropyl)-	2,18E+08	0.075
25.258	1-Heptadecene	4,51E+08	0.154
26.346	5-Octadecene, (E)-	5,84E+08	0.200
27.073	1,2-Benzenedicarboxylic acid, bis(2-methylpropyl) ester	1,46E+08	0.050
27.382	5-Eicosene, (E)-	3,86E+08	0.321
27.457	2-Nonadecanone	6,29E+08	0.291
28.430	Tetracosane	9,32E+08	0.319
28.649	Octadecanal	2,97E+08	0.102
29.368	Dotriacontane	1,84E+08	0.248
30.219	1-Docosene	1,99E+08	0.609
30.269	Octacosane	7,86E+08	0.269
34.257	Tetratetracontane	2,25E+08	0.077
34.971	Heptacosane, 1-chloro-	3,80E+08	0.130
36.512	1-Decanol, 2-hexyl-	5,67E+08	0.307
37.462	17-Pentatriacontene	3,69E+08	0.195

Tabla 10. Compuestos emitidos en la pirolisis de la Muestra 1 con la Rampa 9.

5.2. Muestra 2.

A continuación se muestran la comparativa de los cromatogramas resultantes tras la pirolisis con las distintas condiciones de temperatura y velocidad en las distintas rampas.

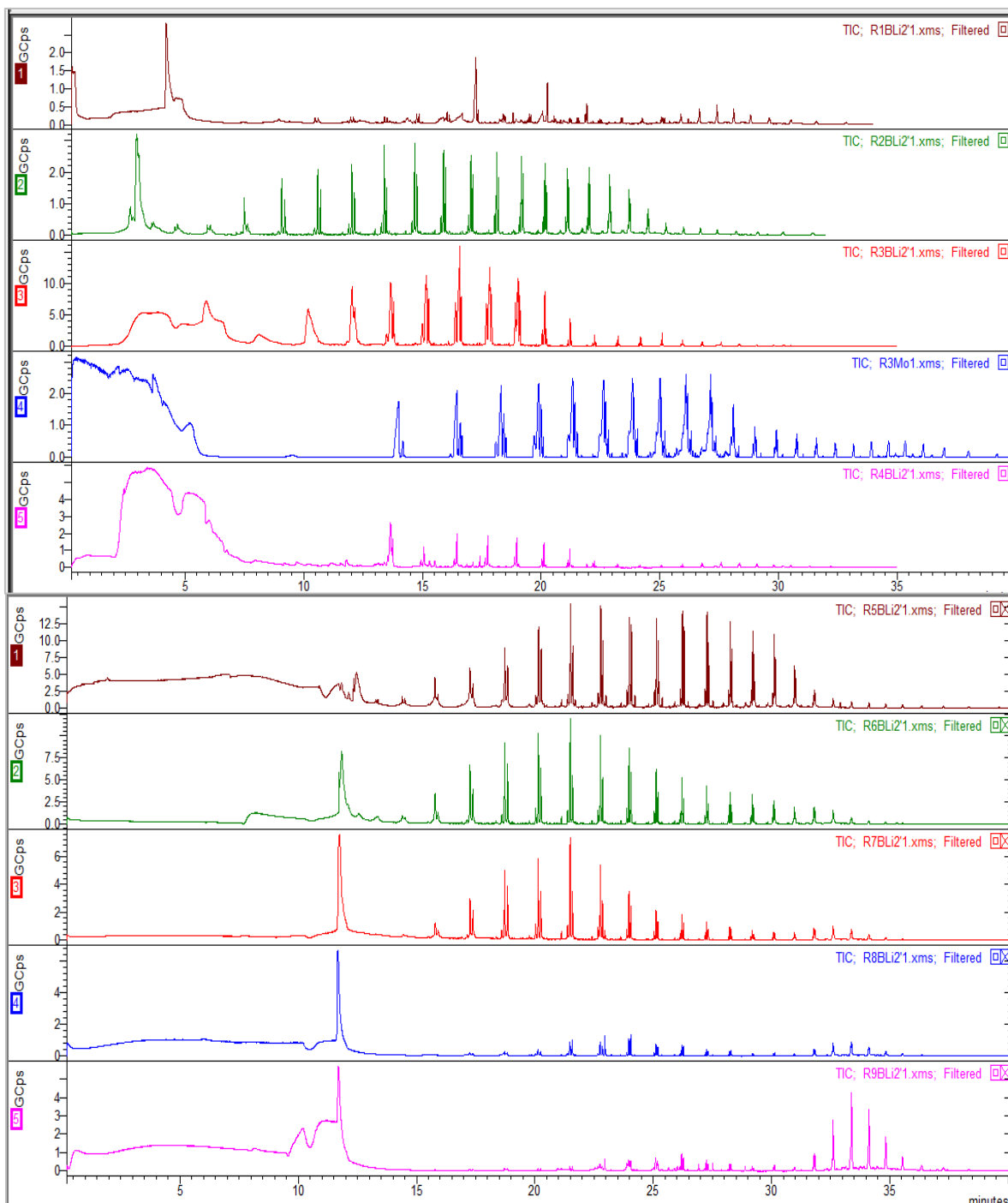


Figura 31. Comparativa de cromatogramas de la pirolisis de la muestra 2 en las distintas rampas.

5.2.1. R1 (Rampa de temperatura de 330°C a 450°C a 50°C/min) en la Muestra 2.

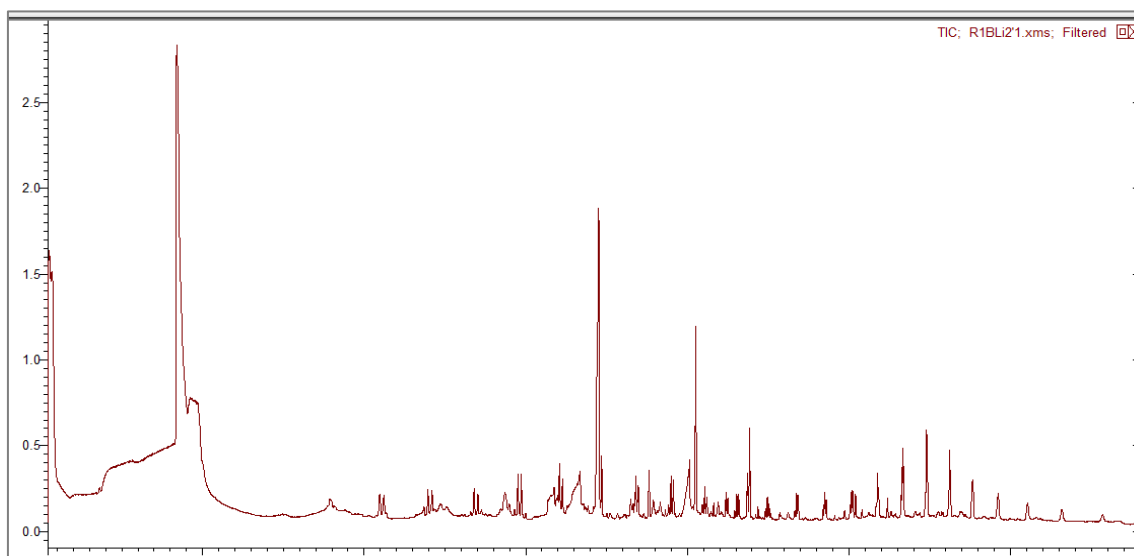


Figura 32. Cromatograma de la pirólisis de la Muestra 2 en la Rampa 1.

Tiempo de retención (min.)	NOMBRE DEL COMPUESTO	Área	% of Total
14.761	1-Tetradecene	4,22E+08	0.879
14.861	Pentadecane	4,16E+08	1.490
16.044	Cetene	3,83E+08	1.434
17.255	Diethyl Phthalate	6,71E+09	13.969
17.345	Heptadecane	5,46E+08	1.136
18.482	Eicosane	2,30E+08	1.209
18.817	bis(Butenyl) adipate	5,84E+08	1.217
19.497	1-Nonadecene	4,18E+08	1.767
20.264	1,2-Benzenedicarboxylic acid, bis(2-methylpropyl) ester	2,12E+09	4.425
21.863	Butenyl Butanediol Adipate	5,23E+08	1.089
21.929	Terephthalic acid, di(but-3-enyl) ester	8,97E+08	1.869
22.474	1-Docosene	1,71E+08	0.811
23.380	1-Tetracosene	2,15E+08	1.109
24.293	Hexacosane	1,80E+08	5.580
25.082	1-Hexacosene	2,02E+08	0.421
25.122	Hentriacontane	2,20E+08	3.377
26.195	Bis(2-ethylhexyl) phthalate	1,77E+08	0.369
26.619	1,19-Eicosadiene	1,89E+08	0.394
28.822	Octacosyl trifluoroacetate	8,52E+08	2.902

Tabla 11. Compuestos emitidos en la pirólisis de la Muestra 2 con la Rampa 1.

5.2.2. R2 (Rampa de temperatura de 450°C a 500°C a 50°C/min) en la Muestra 2.

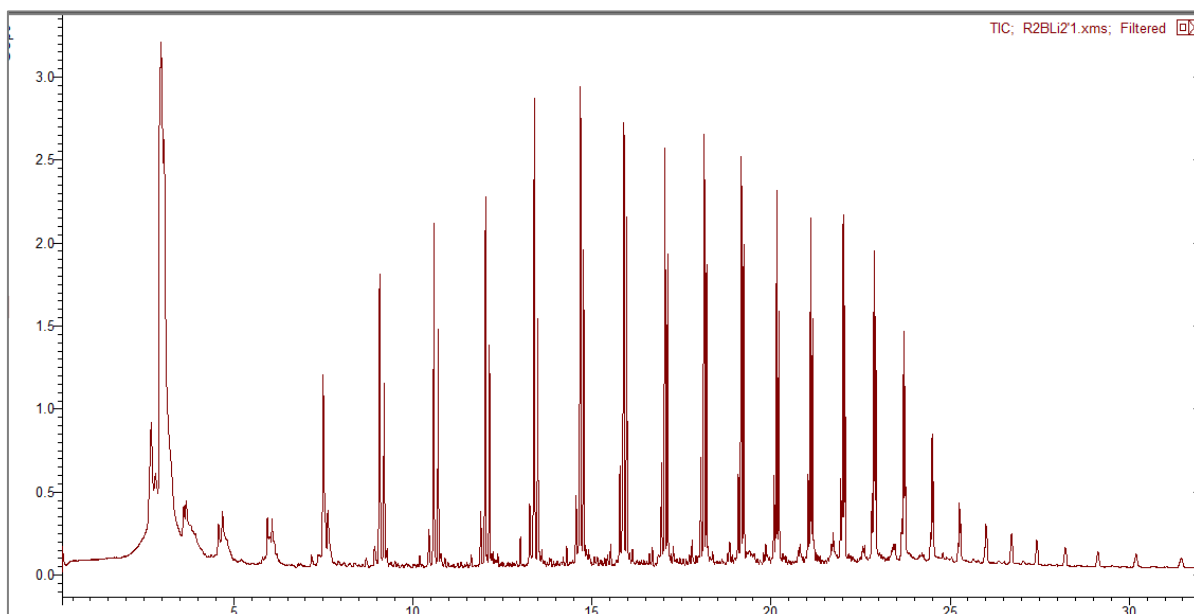


Figura 33. Cromatograma de la pirólisis de la Muestra 2 en la Rampa 2.

Tiempo de retención (min.)	NOMBRE DEL COMPUESTO	Area	% Total of
7.496	1-Decene	1,08E+09	0.996
7.628	Decane	8,46E+08	2.589
9.074	Cyclopropane, 1-heptyl-2-methyl-	3,87E+09	3.575
10.451	1,11-Dodecadiene	5,14E+08	0.474
10.590	1-Dodecene	3,43E+09	3.167
10.710	Tridecane	2,17E+09	2.005
11.898	1,13-Tetradecadiene	6,15E+08	1.203
12.028	3-Tetradecene, (Z)-	3,61E+09	3.336
12.138	Pentadecane	1,92E+09	6.162
13.004	2-Butyl-1-decene	3,05E+08	0.281
13.396	1-Tetradecene	5,39E+09	4.978
14.561	1,12-Tridecadiene	7,31E+08	0.675
14.681	5-Octadecene, (E)-	5,56E+09	10.076
15.525	Cyclopentane, 3-hexyl-1,1-dimethyl-	2,12E+08	0.195
15.783	1,15-Pentadecanediol	9,50E+08	1.773
15.976	Eicosane	2,91E+09	7.888
16.942	18-Nonadecen-1-ol	9,63E+08	1.707
17.798	2-Methyl-n-1-tridecene	2,03E+08	0.188
18.137	3-Eicosene, (E)-	5,04E+09	16.031
19.239	Tetracosane	2,96E+09	9.349

20.085	1,19-Eicosadiene	8,36E+08	3.606
21.737	1-Dodecanol, 2-hexyl-	1,95E+08	0.180
22.017	1-Docosene	3,87E+09	10.376
22.925	Octacosane	2,12E+09	1.955
23.747	Hexacosane	1,50E+09	1.387
24.533	Tetratetracontane	6,88E+08	0.927
26.001	1-Hexacosene	2,38E+08	0.447
26.028	Heptacosane	1,09E+08	0.100

Tabla 12. Compuestos emitidos en la pirólisis de la Muestra 2 con la Rampa 2.

5.2.3. R3 (Rampa de temperatura de 500°C a 700°C a 50°C/min) en la Muestra.

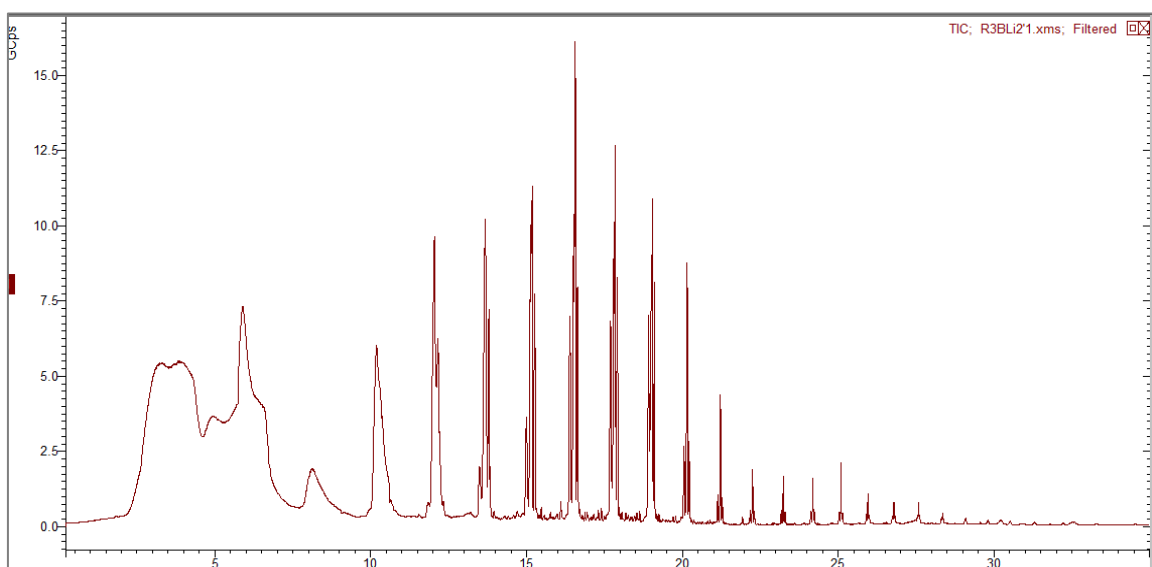


Figura 34. Cromatograma de la pirólisis de la Muestra 2 en la Rampa 3.

Tiempo de retención (min.)	NOMBRE DEL COMPUESTO	Área	% of Total
3.164	2H-Pyran-2-one, tetrahydro-6,6-dimethyl-	2,00E+10	2.521
5.899	2-Butene	4,84E+10	6.089
8.119	3-Undecene, (Z)-	4,10E+10	5.154
9.849	cis,cis-5,9-Tetradecadiene	1,16E+09	0.146
10.163	1-Decene	1,11E+11	21.210
11.846	1,10-Undecadiene	2,99E+09	0.376
12.144	Silane, trichlorodocosyl-	3,95E+10	4.973
13.492	1,11-Dodecadiene	7,88E+09	0.992
13.663	1-Dodecene	3,49E+10	6.734

13.791	Tridecane	1,77E+10	2.226
13.827	1-Octanol, 2-butyl-	2,98E+09	0.375
13.961	1,3-Propanediol, 2-dodecyl	5,54E+08	0.070
14.703	2-Butyl-1-decene	9,50E+08	0.269
14.996	1,12-Tridecadiene	1,47E+10	7.054
15.147	1-Tridecene	3,22E+10	6.248
15.265	Pentadecane	1,85E+10	4.558
16.500	1-Tetradecene	1,63E+10	7.676
17.792	1-Heptadecene	1,71E+10	3.833
17.846	7-Hexadecene, (Z)-	1,92E+10	2.414
17.909	Heptadecane	1,78E+10	2.242
18.916	1,14-Tetradecanediol	1,53E+10	1.924
19.008	Cetene	2,36E+10	5.348
19.039	5-Octadecene, (E)-	1,66E+10	2.093
19.105	Eicosane	1,31E+10	2.318
20.055	11-Hexadecen-1-ol, (Z)-	4,66E+09	0.586
21.137	18-Nonadecen-1-ol	1,42E+09	0.179
21.224	1-Nonadecene	6,18E+09	1.109
23.242	3-Eicosene, (E)-	2,16E+09	0.272
24.189	1-Docosene	2,72E+09	0.793

Tabla 13. Compuestos emitidos en la pirólisis de la Muestra 2 con la Rampa 3.

5.2.4. R3 Lenta (Rampa de temperatura de 500°C a 700°C a 20°C/min) en la Muestra 2.

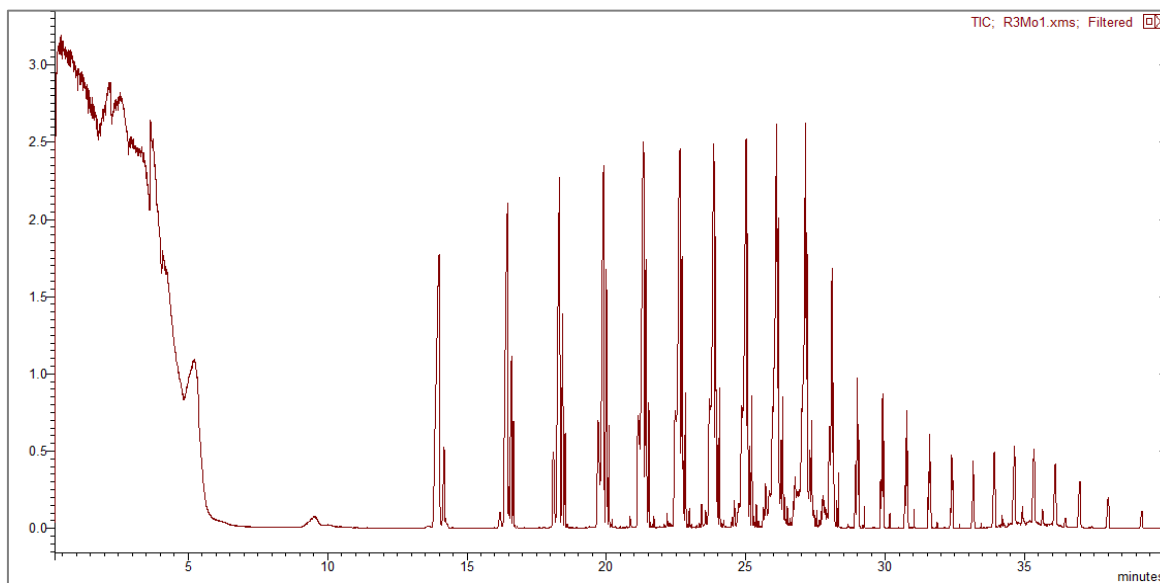


Figura 35. Cromatograma de la pirólisis de la Muestra 2 en la Rampa 3 lenta.

Tiempo de retención (min.)	NOMBRE DEL COMPUESTO	Área	% of Total
0.823	Nitrogen	2,90E+09	1.326
2.089	Propane	1,53E+09	1.531
2.207	Cyclopropyl carbinol	5,98E+09	8.312
2.796	Uramil-N,N-diacetic acid	2,92E+09	0.496
3.545	Manganese, acetylpentacarbonyl-, (OC-6-21)-	1,97E+09	0.698
3.675	Carbon monoxide	1,48E+09	2.025
4.971	1-Octene	6,32E+08	2.309
5.057	Isopropylcyclobutane-Dup1	1,50E+09	0.255
13.963	1-Decene	9,00E+09	2.358
14.177	Nonane	1,53E+09	0.260
16.181	Z-1,9-Hexadecadiene	4,74E+08	0.444
16.459	2-Undecene, (Z)-	1,31E+10	2.233
16.503	2-Nonenal, (E)-	4,33E+08	0.074
16.596	Decane	3,35E+09	0.569
16.668	2-Nonen-1-ol, (E)-	1,52E+09	0.259
18.322	2-Tridecene, (Z)-	1,20E+10	2.044
18.435	Tetradecane	3,81E+09	1.338
18.523	Decanal	1,37E+09	0.233
19.704	1,12-Tridecadiene	3,47E+09	1.243
19.907	2-Tetradecene, (E)-	1,23E+10	4.564
20.099	Undecanal	1,25E+09	0.212
21.415	Heptadecane	4,04E+09	2.971
21.441	9-Octadecenal	6,67E+08	0.932
21.521	Dodecanal	1,50E+09	0.254
22.474	1,14-Tetradecanediol	3,81E+09	1.200
22.625	1-Heptadecene	1,06E+10	2.427
22.744	4-Tridecene, (Z)--	1,16E+09	0.196
22.835	Hexadecanal	1,78E+09	1.528
23.844	5-Octadecene, (E)-	1,34E+10	2.269
24.587	1-Pentadecene, 2-methyl-	4,20E+08	0.071
24.766	1-Octadecyne	6,94E+08	0.118
24.855	Pentanoic acid, 10-undecenyl ester	3,15E+09	1.486
25.009	Cetene	1,28E+10	2.170
25.068	Eicosane	4,37E+09	0.743
25.708	1-Eicosanol	1,08E+09	0.893
26.020	n-Nonadecanol-1	2,86E+09	0.699
26.106	1-Nonadecene	8,69E+09	1.477
26.109	1-Docosene	2,28E+09	4.766
26.866	Oxirane, tetradecyl	9,87E+08	0.168
27.196	1-Iodo-2-methylundecane	4,54E+09	0.771
28.000	1,15-Pentadecanediol	2,21E+09	0.532
28.140	Nonadecane	2,11E+09	0.358

28.327	13-Methyltetradecanal	4,53E+08	0.077
29.050	Hexatriacontane	9,59E+08	0.243
29.834	18-Nonadecen-1-ol	6,60E+08	0.202
29.948	1-Iodo-2-methylundecane	8,60E+08	0.146
30.808	Dotriacontane	7,50E+08	0.127
31.536	Oxirane, tetradecyl	3,64E+08	0.062
31.630	2-Methyltetracosane	6,27E+08	0.107
32.388	17-Pentatriacontene	1,00E+09	1.741
32.421	Heptacosane, 1-chloro-	4,91E+08	0.261
38.008	Carbonic acid, eicosyl vinyl ester	8,67E+08	0.228

Tabla 14. Compuestos emitidos en la pirólisis de la Muestra 2 con la Rampa 3 lenta.

5.2.5. R4 (Rampa de temperatura de 700°C a 900°C a 50°C/min) en la Muestra 2.

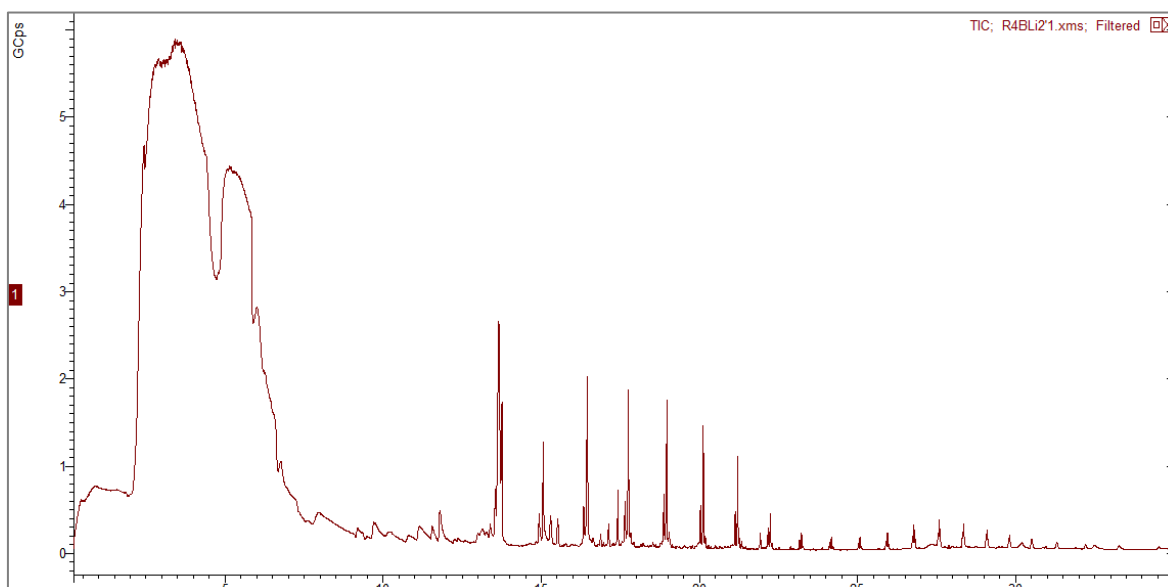


Figura 36. Cromatograma de la pirólisis de la Muestra 2 en la Rampa 4.

Tiempo de retención (min.)	NOMBRE DEL COMPUESTO	Área	% of Total
0.454	Vanadium, pentacarbonyl(.eta.3-2-propenyl)-	6,68E+08	0.064
3.057	Manganese, acetylpentacarbonyl-, (OC-6-21)-	1,03E+10	0.996
3.150	Ethylene	7,29E+09	0.704
3.246	Benzene	1,93E+10	15.109
3.726	6-Azidotetrazolo(b)pyridazine	6,33E+09	0.612

3.835	Uramil-N,N-diacetic acid	9,08E+09	0.877
5.106	Dextroamphetamine	6,35E+09	5.079
6.232	Cyclopropylacetylene	2,66E+09	2.251
7.971	Bicyclo[4.2.0]octa-1,3,5-triene	1,37E+09	0.132
8.053	Styrene	1,41E+09	0.136
9.701	Cyclopropane, 1-heptyl-2-methyl-	4,07E+09	0.393
10.214	Benzene, 2-propenyl-	7,58E+08	0.073
11.139	3-Methylphenylacetylene	2,81E+09	0.325
11.610	Indene	6,85E+08	0.066
11.782	Cyclopropane, 1-ethyl-2-heptyl-	3,97E+09	0.383
13.113	Naphthalene, 1,2-dihydro-	2,23E+09	0.215
13.372	1,11-Dodecadiene	3,74E+09	0.361
13.629	Azulene	1,17E+10	1.134
13.724	Naphthalene	6,03E+09	0.583
14.933	1,13-Tetradecadiene	8,65E+08	0.250
15.061	1-Tridecene	2,27E+09	0.219
15.295	Naphthalene, 2-methyl-	9,80E+08	0.190
16.456	1-Pentadecene	4,27E+09	0.413
17.132	Naphthalene, 2-ethenyl-	5,90E+08	0.057
17.422	Acenaphthylene	1,15E+09	0.111
17.755	1-Heptadecene	2,77E+09	0.268
18.877	1,12-Tridecadiene	9,42E+08	0.091
18.971	Cetene	3,44E+09	0.332
20.034	11-Hexadecen-1-ol, (Z)-	7,51E+08	0.139
20.120	5-Octadecene, (E)-	1,94E+09	0.187
21.211	1-Nonadecene	1,62E+09	0.233
27.585	1-Hexacosene	5,45E+08	0.053

Tabla 15. Compuestos emitidos en la pirolisis de la Muestra 2 con la Rampa 4.

5.2.6. R5 (Rampa de temperatura de 300°C a 500°C a 20°C/min) en la Muestra 2.

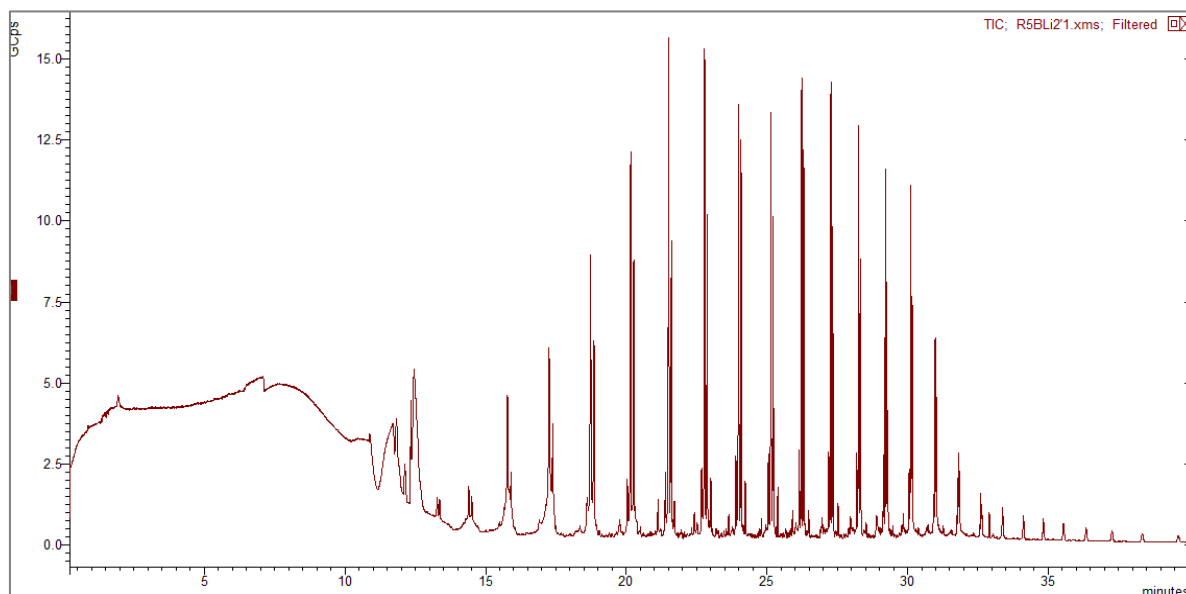


Figura 37. Cromatograma de la pirólisis de la Muestra 2 en la Rampa 5.

Tiempo de retención (min.)	NOMBRE DEL COMPUESTO	Área	% of Total
11.831	2-Butene	5,35E+09	0.914
12.128	1-Hexene	3,47E+09	0.592
13.278	1-Octene, 3,7-dimethyl-	1,80E+09	0.308
13.363	Octane	1,59E+09	0.271
14.400	1-Nonene	1,72E+09	0.293
14.511	Hexane, 2,4-dimethyl-	1,10E+09	0.188
15.778	1-Decene	6,31E+09	1.078
15.902	1-Octanol, 2-butyl-	8,90E+08	0.152
17.258	1-Dodecene	9,88E+09	1.686
17.384	Dodecane	4,92E+09	0.840
18.733	2-Tetradecene, (E)-	1,99E+10	3.390
18.853	Tetradecane	1,22E+10	2.082
20.035	1,12-Tridecadiene	3,23E+09	1.839
20.156	1-Tridecene	2,20E+10	3.763
20.266	Pentadecane	1,31E+10	2.232
21.130	2-Butyl-1-decene	1,99E+09	1.078
21.510	3-Hexadecene, (Z)-	3,10E+10	10.003
21.607	Heptadecane	1,76E+10	5.668
21.707	Dodecanal	3,63E+09	0.619
23.008	Hexadecanal	2,41E+09	1.292
23.895	1,14-Tetradecanediol	3,96E+09	1.361

23.997	5-Octadecene, (E)-	2,33E+10	7.667
24.081	Eicosane	1,97E+10	9.140
26.150	1,15-Pentadecanediol	4,12E+09	2.019
26.238	5-Eicosene, (E)-	2,31E+10	7.725
26.484	1-Eicosanol	1,34E+09	0.229
26.966	2-Methyl-n-1-tridecene	4,73E+08	0.081
27.340	Tetracosane	1,46E+10	6.426
28.266	3-Eicosene, (E)-	2,00E+10	6.225
29.146	18-Nonadecen-1-ol	3,37E+09	0.575
30.055	E-2-Octadecadecen-1-ol	3,03E+09	0.834
30.118	1-Docosene	1,67E+10	5.639
30.166	Hexacosane	1,08E+10	1.836
31.023	Dotriacontane	6,36E+09	1.783
32.907	Bis(2-ethylhexyl) phthalate	1,18E+09	0.202

Tabla 16. Compuestos emitidos en la pirólisis de la Muestra 2 con la Rampa 5.

5.2.7. R6 (Rampa de temperatura de 300°C a 500°C a 50°C/min) en la Muestra 2.

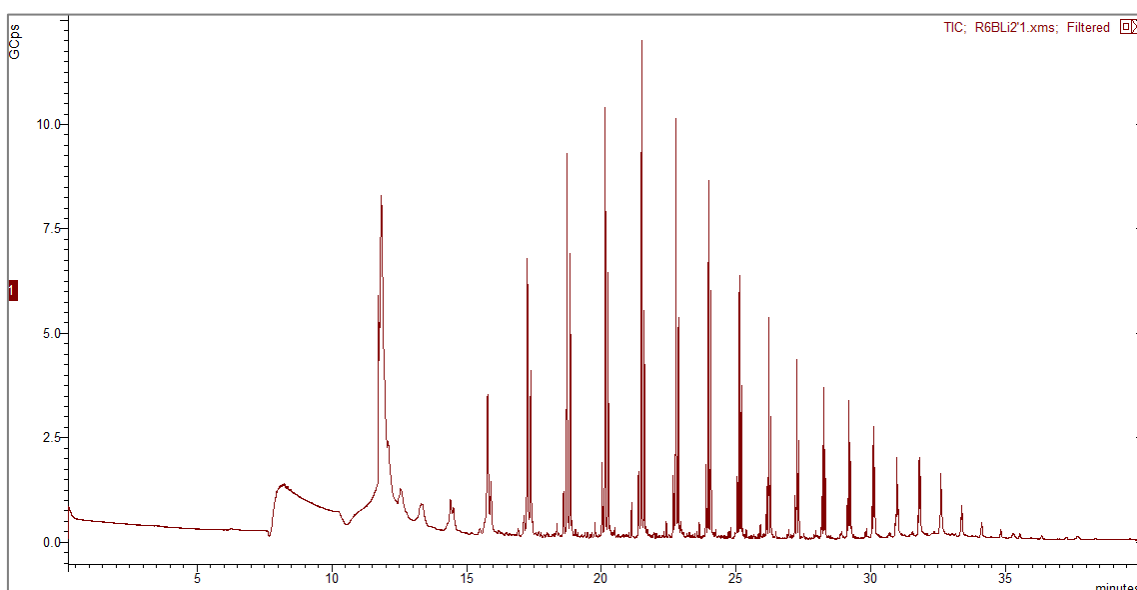


Figura 38. Cromatograma de la pirólisis de la Muestra 2 en la Rampa 6.

Tiempo de retención (min.)	NOMBRE DEL COMPUESTO	Área	% of Total
12.490	(Z)-Hex-2-ene, 5-methyl-	2,14E+08	0.064
12.542	1-Heptene	3,76E+09	1.123

15.780	1-Decene	9,15E+09	2.731
15.904	Decane	1,84E+09	0.548
17.128	1,10-Undecadiene	1,30E+09	0.387
17.258	Cyclopropane, 1-methyl-2-octyl-	1,61E+10	4.803
17.382	Dodecane	9,81E+09	5.930
18.356	Decane, 5-methyl-6-methylene-	4,87E+08	0.323
18.601	1,11-Dodecadiene	2,19E+09	0.653
18.729	1-Dodecene	1,56E+10	4.652
19.769	2-Butyl-1-decene	5,02E+08	0.832
20.026	1,12-Tridecadiene	2,94E+09	3.833
20.146	1-Tridecene	1,58E+10	4.700
20.257	Pentadecane	9,01E+09	2.688
21.497	1-Tetradecene	1,89E+10	5.634
21.594	Heptadecane	7,93E+09	4.598
22.773	3-Hexadecene, (Z)-	1,58E+10	4.710
22.956	2,4-Di-tert-butylphenol	5,17E+08	0.154
23.982	5-Octadecene, (E)-	1,30E+10	9.097
24.067	Eicosane	8,23E+09	6.491
26.139	1,14-Tetradecanediol	1,89E+09	1.018
27.255	5-Eicosene, (E)-	6,35E+09	3.164
27.321	1-Iodo-2-methylundecane	4,15E+09	1.929
28.181	1,15-Pentadecanediol	1,50E+09	0.447
28.246	3-Eicosene, (E)-	5,33E+09	2.959
29.134	1,19-Eicosadiene	1,39E+09	1.013
30.146	Dotriacontane	2,95E+09	2.235
30.965	1-Docosene	3,05E+09	2.751
31.754	E-2-Octadecadecen-1-ol	6,75E+08	0.201
32.558	Pentanoic acid, 10-undecenyl ester	5,57E+08	0.166
32.632	Heptacosane, 1-chloro-	1,99E+09	0.594
33.396	Hexatriacontane	5,71E+08	0.170

Tabla 17. Compuestos emitidos en la pirólisis de la Muestra 2 con la Rampa 6.

5.2.8. R7 (Rampa de temperatura de 300°C a 500°C a 80°C/min) en la Muestra 2.

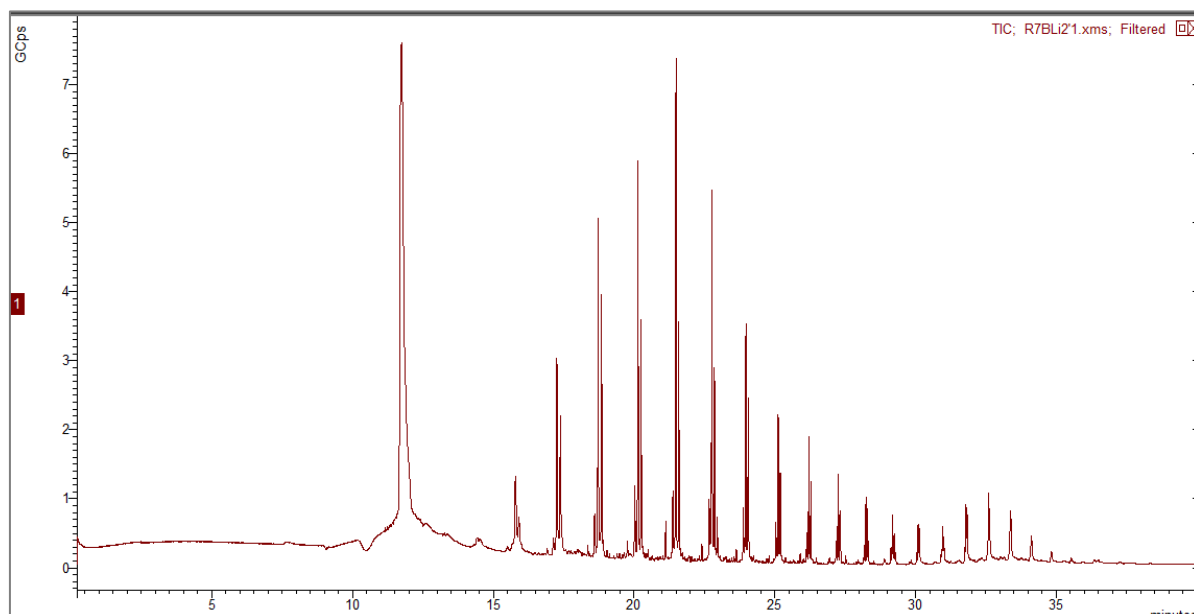


Figura 39. Cromatograma de la pirólisis de la Muestra 2 en la Rampa 7.

Tiempo de retención (min.)	NOMBRE DEL COMPUESTO	Área	% of Total
14.441	1-Octene, 3,7-dimethyl-	1,20E+09	0.657
15.504	1-Hexene, 2-methyl-	2,32E+08	0.127
15.726	1-Decene	7,93E+08	2.826
15.908	Decane	2,47E+09	1.349
17.134	Z-1,9-Dodecadiene	6,90E+08	0.377
17.258	Cyclopropane, 1-heptyl-2-methyl-	7,12E+09	3.897
17.383	Dodecane	5,43E+09	6.189
18.357	Decane, 5-methyl-6-methylene-	2,67E+08	0.146
18.602	1,11-Dodecadiene	1,26E+09	0.687
18.725	1-Dodecene	8,38E+09	4.584
19.770	2-Methyl-n-1-tridecene	3,64E+08	0.199
20.027	1,12-Tridecadiene	1,88E+09	3.918
20.142	1-Tridecene	8,97E+09	4.908
20.253	Pentadecane	5,18E+09	2.833
21.125	2-Butyl-1-decene	8,86E+08	0.485
21.492	1-Tetradecene	1,19E+10	6.513
21.591	Heptadecane	5,55E+09	3.035
22.768	7-Hexadecene, (Z)-	9,36E+09	5.123
22.859	Nonadecane	4,42E+09	3.599
22.958	2,4-Di-tert-butylphenol	1,25E+09	0.686
23.974	5-Octadecene, (E)-	5,38E+09	8.175

24.060	Eicosane	3,54E+09	2.995
26.137	1,14-Tetradecanediol	7,07E+08	0.658
27.316	1-Iodo-2-methylundecane	1,59E+09	2.565
28.179	1,19-Eicosadiene	4,26E+08	0.233
29.186	5-Eicosene, (E)-	9,89E+08	0.541
30.093	1-Docosene	8,18E+08	3.396
31.004	Dotriacontane	5,84E+08	0.854
32.632	Heptacosane, 1-chloro-	1,37E+09	0.747
33.398	Hexatriacontane	6,67E+08	0.365

Tabla 18. Compuestos emitidos en la pirólisis de la muestra 2 con la rampa 7.

5.2.9. R8 (Rampa de temperatura de 250°C a 450°C a 50°C/min) en la Muestra 2.

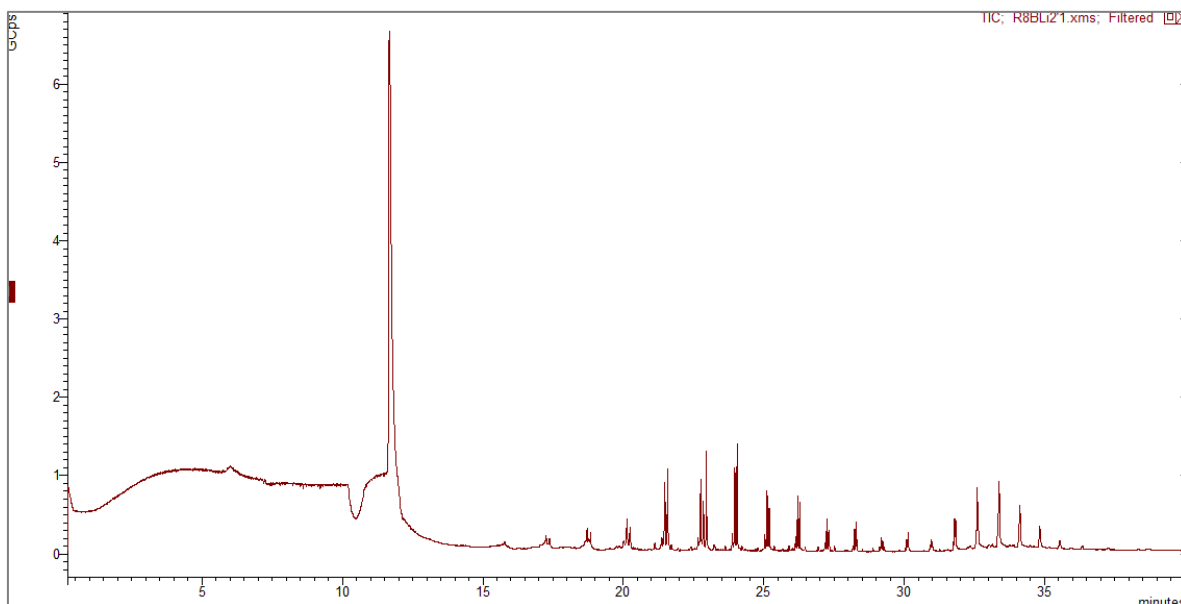


Figura 40. Cromatograma de la pirólisis de la Muestra 2 en la Rampa 8.

Tiempo de retención (min.)	NOMBRE DEL COMPUESTO	Área	% of Total
17.248	3-Tridecene, (Z)-	1,56E+08	0.192
17.374	Oxalic acid, isobutyl nonyl ester	2,07E+08	0.256
18.714	2-Tridecene, (Z)-	3,50E+08	2.849
18.767	Tetradecane	2,16E+08	1.576
18.836	Dodecane	3,48E+08	0.431
20.019	Oxirane, dodecyl-	1,74E+08	0.215
20.130	2-Tetradecene, (E)-	1,01E+09	1.254

21.121	2-Butyl-1-decene	1,47E+08	0.432
21.371	E-2-Octadecadecen-1-ol	2,85E+08	0.353
21.577	Pentadecane	2,08E+09	2.579
21.712	Dodecanal	1,02E+08	0.126
22.661	1,12-Tridecadiene	3,16E+08	1.212
22.756	7-Hexadecene, (Z)-	2,07E+09	2.560
22.851	Heptadecane	1,20E+09	2.662
22.957	2,4-Di-tert-butylphenol	2,24E+09	2.776
23.230	Phenol, 3,5-bis(1,1-dimethylethyl)-	1,10E+08	0.136
23.264	1-Iodo-2-methylundecane	6,72E+07	1.110
23.968	1-Heptadecene	1,72E+09	2.932
24.056	Nonadecane	2,04E+09	4.576
24.225	2-Tridecen-1-ol, (E)-	1,30E+08	0.160
24.716	Pentafluoropropionic acid, 10-undecenyl ester	4,24E+07	0.052
25.117	5-Octadecene, (E)-	1,28E+09	3.513
25.378	n-Nonadecanol-1	1,09E+08	0.135
25.904	1-Pentadecene, 2-methyl-	1,17E+08	0.202
26.136	1,14-Tetradecanediol	2,76E+08	0.727
26.477	Hexadecanal	8,84E+07	0.109
26.935	1,2-Benzenedicarboxylic acid, bis(2-methylpropyl) ester	1,21E+08	0.149
27.521	2-(2',4',4',6',6',8',8'-Heptamethyltetrasiloxan-2'-yloxy)- 2,4,4,6,6,8,8,10,10-nonamethylcyclopentasiloxane	1,20E+08	0.149
28.178	E-2-Octadecadecen-1-ol-	1,23E+08	0.665
29.129	Pentanoic acid, 10-undecenyl ester	1,04E+08	0.515
29.184	1-Docosene	2,97E+08	7.186
29.289	2-Tetradecanone	1,01E+08	0.125
30.138	Dotriacontane	4,65E+08	1.940
31.003	Hexatriacontane	2,09E+08	2.619
34.134	Heptacosane, 1-chloro-	7,15E+08	0.885
34.846	Tetratetracontane	3,90E+08	0.483
35.535	17-Pentatriacontene	3,93E+08	0.486
36.344	1-Decanol, 2-hexyl-	1,62E+08	0.201

Tabla 19. Compuestos emitidos en la pirolisis de la Muestra 2 con la Rampa 8.

5.2.10. R9 (Rampa de temperatura de 250°C a 450°C a 100°C/min) en la Muestra 2.

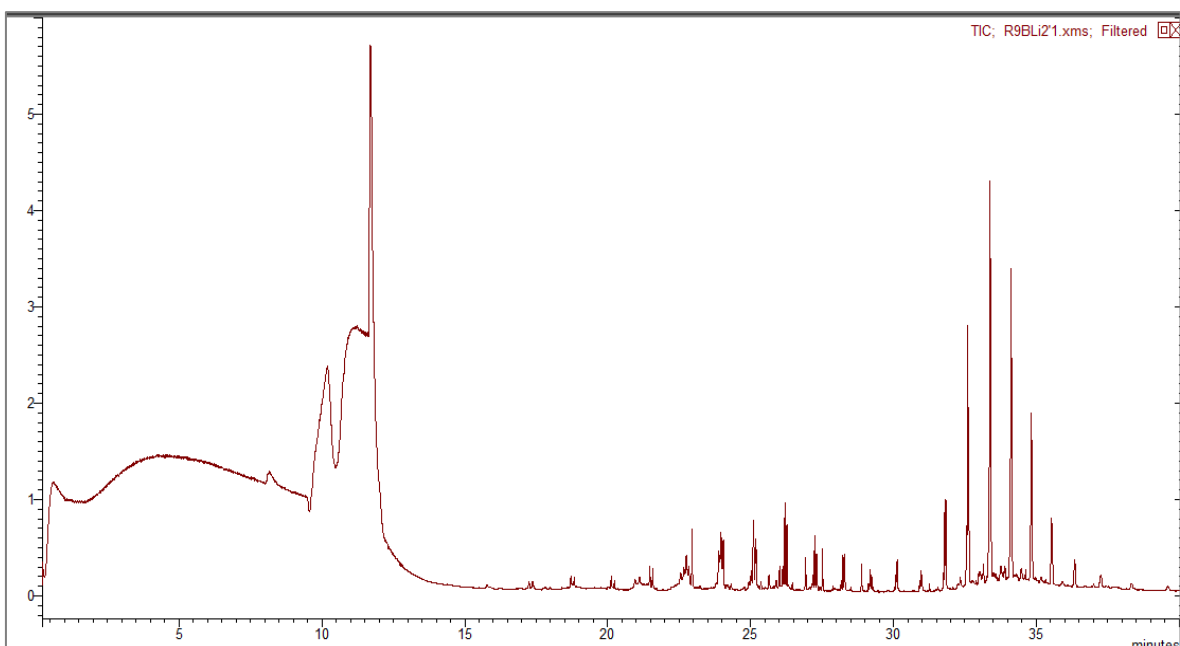


Figura 41. Cromatograma de la pirólisis de la Muestra 2 en la Rampa 9.

Tiempo de retención (min.)	NOMBRE DEL COMPUESTO	Área	% of Total
1.198	Carbon monoxide	2,36E+09	6.490
2.425	Nitrogen	1,40E+09	2.047
2.738	Oxygen	1,24E+09	0.132
6.305	Manganese, acetylpentacarbonyl-, (OC-6-21)-	1,07E+09	0.114
22.664	Octadecane, 1-(ethenyloxy)-	6,37E+08	0.068
22.753	Cetene	1,27E+09	0.266
22.845	Pentadecane	5,51E+08	0.058
22.954	2,4-Di-tert-butylphenol	1,04E+09	0.111
23.967	2-Ethyl-1-dodecanol	2,01E+09	0.213
24.050	Heptadecane	1,28E+09	0.350
25.031	1,15-Pentadecanediol	5,82E+08	0.062
25.110	5-Octadecene, (E)-	1,92E+09	0.535
25.189	Nonadecane	1,53E+09	0.162
26.925	1,2-Benzenedicarboxylic acid, bis(2-methylpropyl) ester	6,27E+08	0.067
27.520	2-(2',4',4',6',6',8',8'-Heptamethyltetrasiloxan-2'-yloxy)-2,4,4,6,6,8,8,10,10-nonamethylcyclopentasiloxane	6,54E+08	0.069
30.131	Sulfurous acid, decyl 2-propyl ester	7,12E+08	0.076
31.791	1-Docosene	1,26E+09	2.567
31.831	Octacosane	1,51E+09	0.697
32.557	Pentanoic acid, 10-undecenyl ester	1,07E+09	0.114
32.634	Dotriacontane	4,13E+09	0.438
33.154	1-Pentadecene, 2-methyl-	4,96E+08	0.053

33.334	1,19-Eicosadiene-	1,62E+09	0.332
33.767	Tetracontane, 3,5,24-trimethyl-	9,75E+08	0.103
34.143	Heptacosane, 1-chloro-	3,48E+09	0.579
34.483	1-Decanol, 2-hexyl-	7,08E+08	0.075
36.338	17-Pentatriacontene	1,05E+09	0.111

Tabla 20. Compuestos emitidos en la pirolisis de la Muestra 2 con la Rampa 9.

5.3. Muestra 3.

A continuación se muestran la comparativa de los cromatogramas resultantes tras la pirolisis con las distintas condiciones de temperatura y velocidad en las distintas rampas. Esta muestra sólo ha sido sometida a 4 rampas de temperatura sin variar la velocidad de calentamiento.

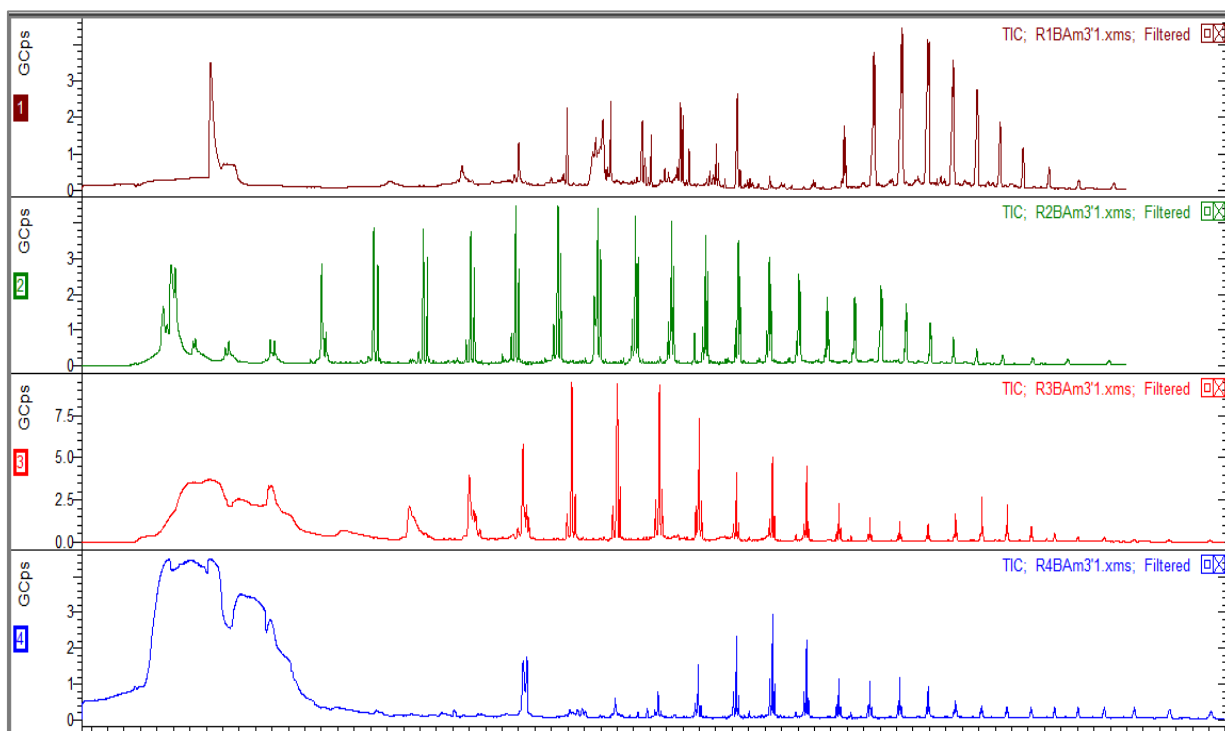


Figura 42. Comparativa de los cromatogramas de las pirolisis realizadas con distintas rampas a la muestra 3.

5.3.1. R1 (Rampa de temperatura de 330°C a 450°C a 50°C/min) en la Muestra 3.

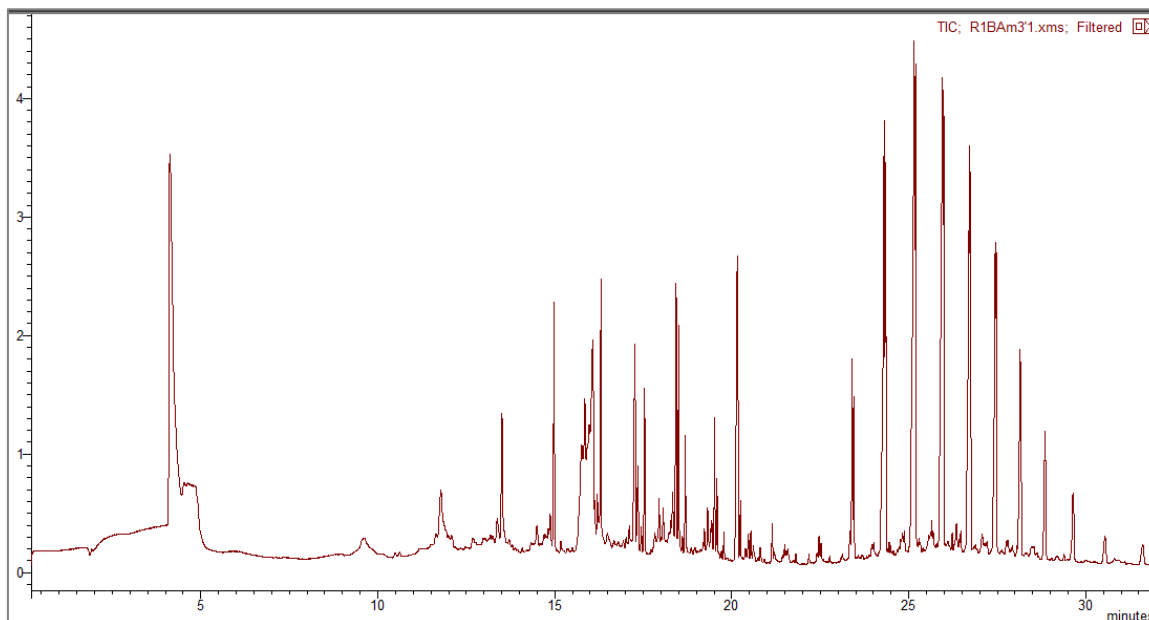


Figura 43. Cromatograma de la pirólisis de la Muestra 3 en la Rampa 1.

Tiempo de retención (min.)	NOMBRE DEL COMPUESTO	Área	% of Total
4.132	Nickel tetracarbonyl	2,60E+10	13.493
11.649	2-Decenal, (Z)-	4,17E+08	0.215
11.786	Decanal	3,62E+09	1.868
11.932	Cyclohexanamine, N-(benzoyloxy)-	2,20E+08	0.113
11.986	1-Eicosanol	3,78E+08	0.631
12.089	Cetene	4,39E+08	0.227
12.692	Nonadecane	2,22E+08	0.114
13.506	Undecanal	3,56E+09	1.838
14.495	1-Tetradecene	5,07E+08	0.262
14.813	Heptadecane	1,60E+08	0.083
14.869	9-Octadecenal	6,19E+08	0.610
14.980	Dodecanal	3,87E+09	1.996
15.753	Diethyl Phthalate	2,33E+09	1.594
15.846	Phthalic acid, ethyl pentadecyl ester	1,84E+09	0.949
16.065	Phthalic acid, 5-methylhex-2-yl heptadecyl ester	4,94E+09	5.072
16.243	Dotriacontane	3,06E+08	0.405
16.305	Hexadecanal	4,15E+09	3.258
17.350	Pentadecane	1,76E+09	0.906

17.443	9-Tetradecenal, (Z)-	3,48E+08	0.179
17.947	5-Octadecene, (E)-	6,03E+08	0.311
18.329	18-Nonadecen-1-ol	5,88E+08	0.304
18.424	1-Nonadecene	4,15E+09	2.143
18.503	Eicosane	2,79E+09	1.845
18.686	13-Methyltetradecanal	1,66E+09	0.859
19.319	5-Eicosene, (E)-	5,20E+08	0.268
19.513	3-Eicosene, (E)-	1,65E+09	0.853
20.167	1,2-Benzenedicarboxylic acid, bis(2-methylpropyl) ester	8,16E+09	4.536
23.400	1-Docosene	2,72E+09	36.063
23.448	Tetracosane	2,01E+09	1.038
24.346	Octacosane	5,42E+09	9.290
25.646	1-Hexacosene	1,50E+08	0.077
26.225	Bis(2-ethylhexyl) phthalate	2,27E+08	0.117
26.467	1-Octanol, 2-butyl-	1,38E+08	0.071
26.745	Hentriacontane	4,43E+09	3.972
28.170	Hexacosane	2,03E+09	1.046
28.845	Octacosyl trifluoroacetate	3,45E+09	1.782
29.635	Tetratriacontyl heptafluorobutyrate	1,94E+09	1.004
30.540	Octatriacontyl pentafluoropropionate	8,78E+08	0.453

Tabla 21. Compuestos emitidos en la pirólisis de la Muestra 3 con la Rampa 1.

5.3.2. R2 (Rampa de temperatura de 450°C a 500°C a 50°C/min) en la Muestra 3.

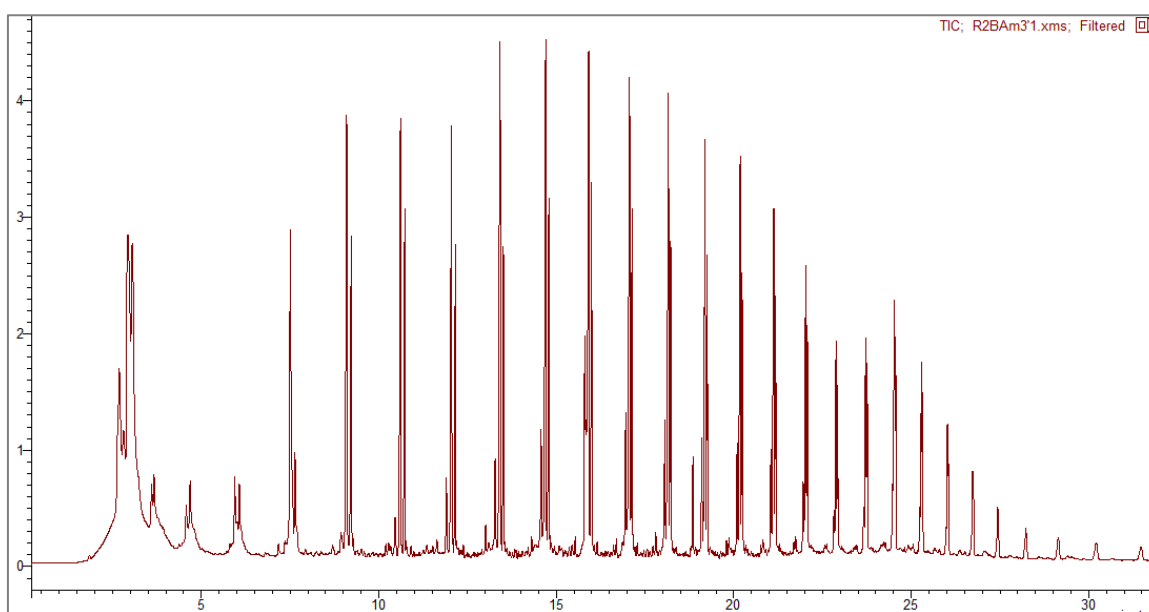


Figura 44. Cromatograma de la pirólisis de la Muestra 3 en la Rampa 2.

Tiempo de retención (min.)	NOMBRE DEL COMPUESTO	Área	% of Total
2.690	Cyanic acid, 2-methylpropyl ester	8,47E+09	3.040
2.805	3,6-Octadecadiynoic acid, methyl ester	4,27E+09	1.533
2.922	Manganese, acetylpentacarbonyl-, (OC-6-21)-	1,71E+10	6.129
3.055	4-Pentenal, 2-methyl-	1,73E+10	6.198
3.600	1-Heptene	1,04E+09	0.373
3.668	Hexane, 3-methyl-	1,82E+09	0.654
4.575	1-Octene	9,22E+08	0.331
4.683	Hexane, 2,4-dimethyl-	1,81E+09	0.649
5.942	1-Nonene	6,85E+08	0.246
6.071	Heptane, 2,4-dimethyl-	9,44E+08	0.339
7.509	1-Decene	8,38E+09	3.005
7.638	Decane	2,21E+09	0.792
9.094	Cyclopropane, 1-heptyl-2-methyl-	9,35E+09	3.353
9.220	Undecane	5,54E+09	1.987
10.458	1,11-Dodecadiene	8,33E+08	0.299
10.608	1-Dodecene	7,83E+09	2.808
10.728	Tridecane	5,03E+09	1.803
11.906	1,13-Tetradecadiene	1,16E+09	0.417
12.047	1-Tridecene	7,76E+09	2.783
12.156	Pentadecane	4,24E+09	3.102
13.008	2-Butyl-1-decene	3,86E+08	0.139
13.277	1,12-Tridecadiene	1,26E+09	1.118
13.414	1-Tetradecene	1,01E+10	3.604
14.700	1-Heptadecene	1,06E+10	3.789
14.788	Heptadecane	5,29E+09	1.898
15.801	1,15-Pentadecanediol	3,42E+09	1.226
15.832	Diethyl Phthalate	1,78E+09	0.639
15.912	5-Octadecene, (E)-	1,10E+10	7.297
15.993	Nonadecane	5,52E+09	1.981
16.956	18-Nonadecen-1-ol	1,94E+09	0.697
17.135	Eicosane	5,17E+09	5.250
17.803	2-Methyl-n-1-tridecene	3,87E+08	0.139
18.055	1,19-Eicosadiene	1,94E+09	3.286
18.156	5-Eicosene, (E)-	9,07E+09	3.253
18.850	1,2-Benzenedicarboxylic acid, bis(2-methylpropyl) ester	1,24E+09	0.445
19.192	3-Eicosene, (E)-	7,87E+09	5.361
20.236	Tetracosane	4,27E+09	2.953
21.126	1-Docosene	6,34E+09	9.509
22.072	Octacosane	3,12E+09	1.985
22.926	Hexacosane	2,08E+09	1.416
24.560	Hentriacontane	2,71E+09	1.351

26.019	1-Hexacosene	2,33E+09	1.516
27.435	Octacosyl trifluoroacetate	1,30E+09	0.466
28.228	Hexatriacontyl pentafluoropropionate	8,26E+08	0.296

Tabla 22. Compuestos emitidos en la pirólisis de la Muestra 3 con la Rampa 2.

5.3.3. R3 (Rampa de temperatura de 500°C a 700°C a 50°C/min) en la Muestra 3.

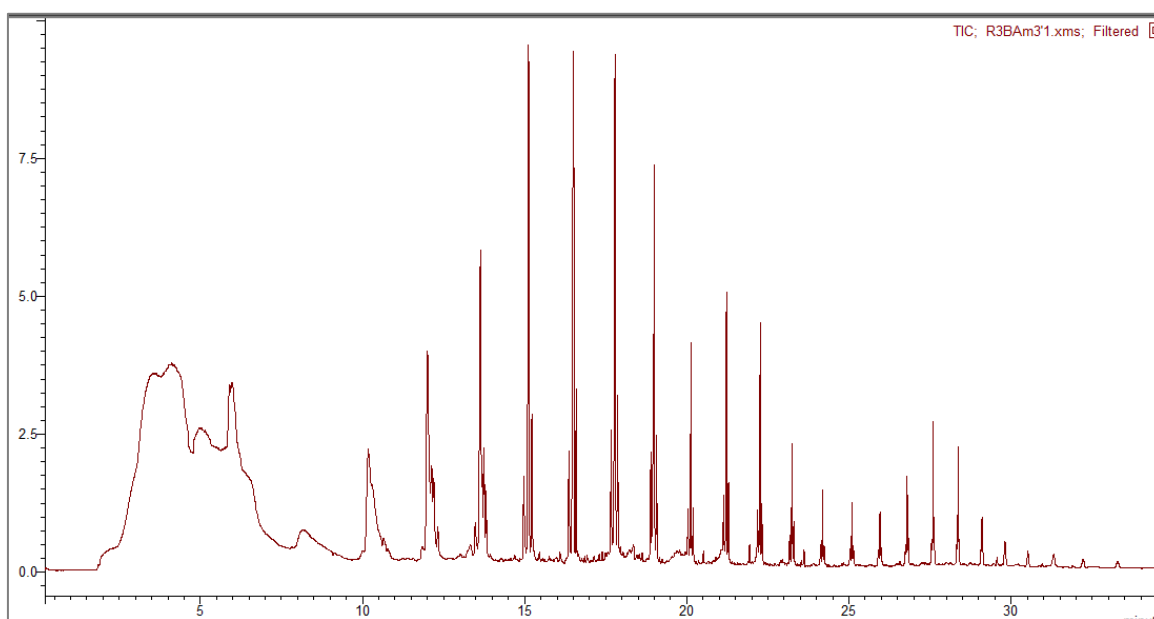


Figura 45. Cromatograma de la pirólisis de la Muestra 3 en la Rampa 3.

Tiempo de retención (min.)	NOMBRE DEL COMPUESTO	Área	% of Total
8.162	1-Nonene	3,02E+09	1.012
10.021	1,9-Decadiene	1,02E+09	0.341
10.178	1-Decene	1,65E+10	5.518
10.285	2-Tridecene, (Z)-	1,36E+10	6.859
10.778	Silane, trichlorodocosyl-	1,18E+09	2.506
11.881	1,12-Tridecadiene	1,58E+09	3.289
12.000	Cyclopropane, 1-heptyl-2-methyl-	1,97E+10	6.595
12.189	1-Dodecene	6,29E+09	2.109
12.317	Decane	2,22E+09	0.744
13.478	1,11-Dodecadiene	2,03E+09	0.682
13.747	Pentadecane	4,54E+09	4.77
13.813	Tetradecane	2,55E+09	0.854
14.976	1,13-Tetradecadiene	3,75E+09	1.255

15.119	1-Tridecene	1,84E+10	14.626
16.514	1-Tetradecene	5,60E+09	1.876
17.786	1-Heptadecene	2,21E+10	7.420
17.869	Heptadecane	4,09E+09	1.369
18.890	11-Hexadecen-1-ol, (Z)-	3,29E+09	1.102
18.997	Cetene	1,70E+10	5.682
19.068	Eicosane	3,58E+09	2.876
20.036	18-Nonadecen-1-ol	1,31E+09	1.027
20.131	5-Octadecene, (E)-	6,39E+09	2.141
21.223	3-Eicosene, (E)-	7,43E+09	4.575
22.182	1,19-Eicosadiene	1,47E+09	1.042
23.246	1-Nonadecene	3,43E+09	1.150
23.298	Tetracosane	1,26E+09	0.778
24.185	1-Docosene	1,80E+09	1.616
26.793	1-Hexacosene	1,91E+09	3.151
26.828	Hentriacontane	5,25E+08	0.130

Tabla 23. Compuestos emitidos en la pirólisis de la Muestra 3 con la Rampa 3.

5.3.4. R4 (Rampa de temperatura de 700°C a 900°C a 50°C/min) en la Muestra 3.

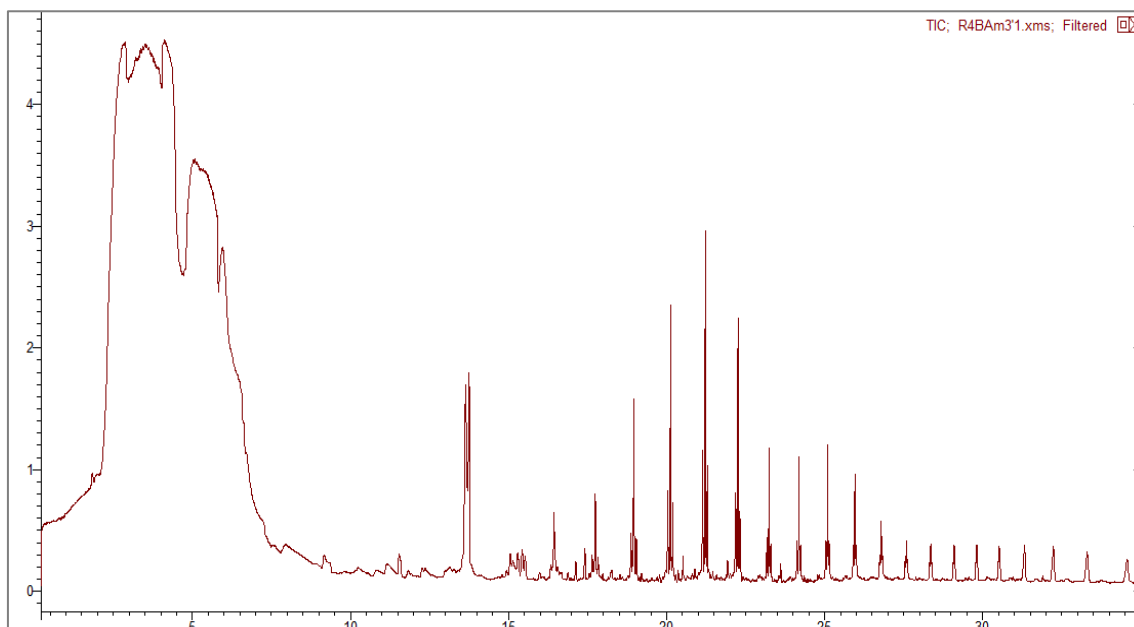


Figura 46. Cromatograma de la pirólisis de la Muestra 3 en la Rampa 4.

Tiempo de Retención (min.)	NOMBRE DEL COMPUESTO	Área	% Total of
1.835	Nitrogen	1,15E+09	0.141
2.082	2-Hexanamine, 4-methyl-	2,01E+09	0.248
3.214	Benzene	1,82E+10	14.025
3.276	6-Azidotetrazolo(b)pyridazine	1,11E+10	5.610
5.759	Ethylene	4,51E+09	6.301
7.934	Styrene	2,32E+09	0.285
10.219	Benzene, 2-propenyl-	6,68E+08	0.082
11.145	3-Methylphenylacetylene	5,37E+08	0.166
11.514	Benzene, 1-propynyl-	1,12E+09	0.138
13.642	1H-Indene, 1-methylene-	7,57E+09	0.932
13.752	Naphthalene	5,12E+09	0.630
15.054	5-Tridecene, (E)-	6,59E+08	0.081
15.135	Cyclopentanecarboxylic acid, 2-pentadecyl ester	6,86E+08	0.085
15.288	Naphthalene, 2-methyl-	6,84E+08	0.165
15.432	Phthalic anhydride	9,96E+08	0.123
17.417	Acenaphthylene	5,80E+08	0.071
17.641	1,12-Tridecadiene	4,33E+08	0.053
17.743	Cetene	1,41E+09	0.528
18.873	11-Hexadecen-1-ol, (Z)-	7,28E+08	0.222
19.045	Eicosane	6,77E+08	0.436
20.130	5-Octadecene, (E)-	3,71E+09	1.050
20.519	bis(Butenyl) adipate	3,19E+08	0.039
21.141	18-Nonadecen-1-ol	1,53E+09	0.319
22.263	1-Nonadecene	3,40E+09	0.418
23.174	1,19-Eicosadiene	5,81E+08	0.268
23.242	3-Eicosene, (E)-	1,60E+09	0.197
23.295	Tetracosane	5,40E+08	0.194
24.188	1-Docosene	1,46E+09	0.547
25.999	Hentriacontane	4,55E+08	0.056
26.788	1-Hexacosene	7,65E+08	0.452
30.521	Octacosyl trifluoroacetate	1,00E+09	0.123
31.319	Tetratriacontyl heptafluorobutyrate	1,21E+09	0.150
32.236	Hexatriacontyl pentafluoropropionate	1,29E+09	0.317
34.565	Octatriacontyl pentafluoropropionate	1,18E+09	0.145

Tabla 24. Compuestos emitidos en la pirolisis de la Muestra 3 con la Rampa 4.

5.4. Muestra 4.

A continuación se muestran la comparativa de los cromatogramas resultantes tras la pirolisis con las distintas condiciones de temperatura y velocidad en las distintas rampas.

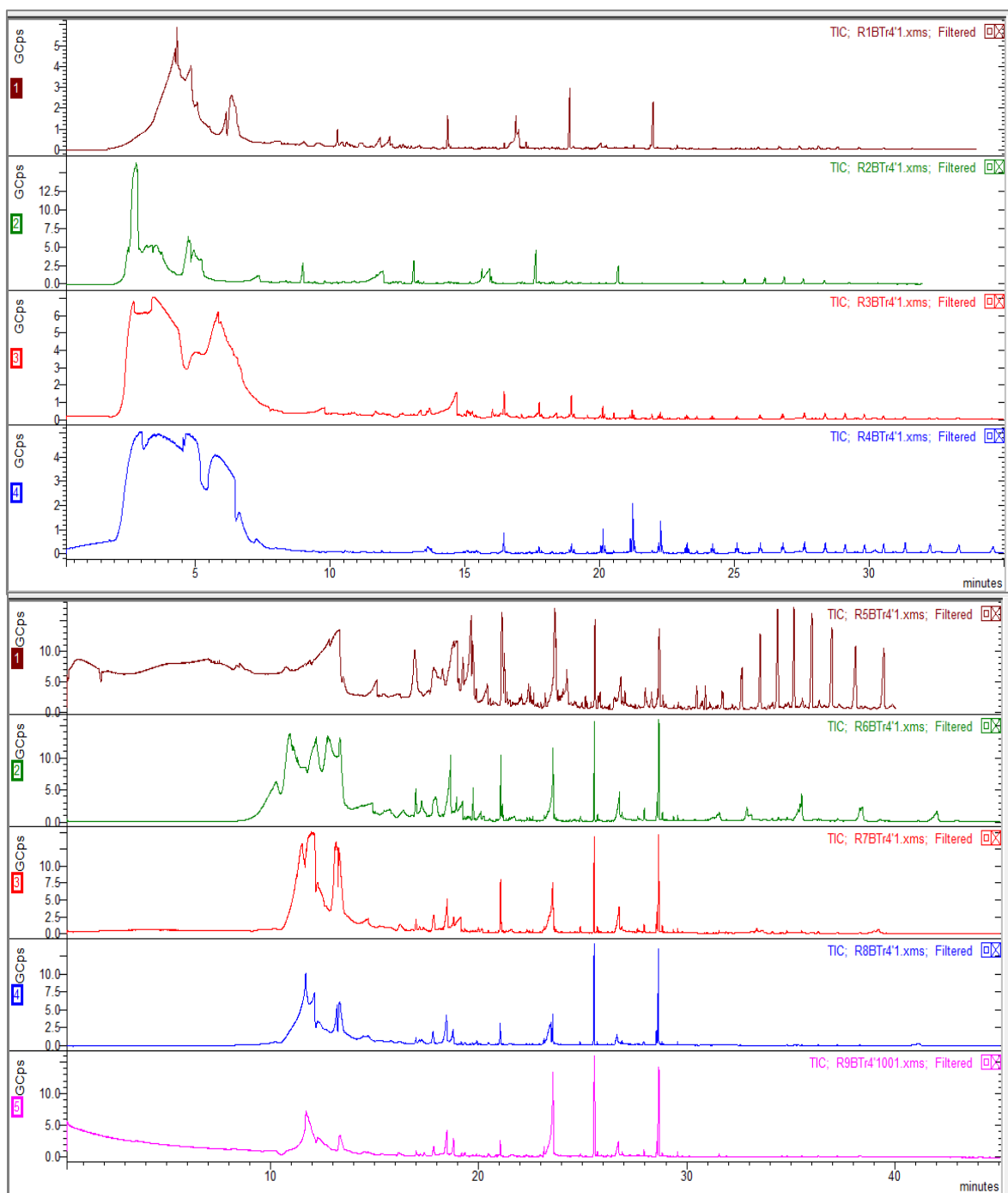


Figura 47. Comparativa de cromatogramas de la pirolisis de la muestra 4 en las distintas rampas

5.4.1. R1 (Rampa de temperatura de 330°C a 450°C a 50°C/min) en la Muestra 4.

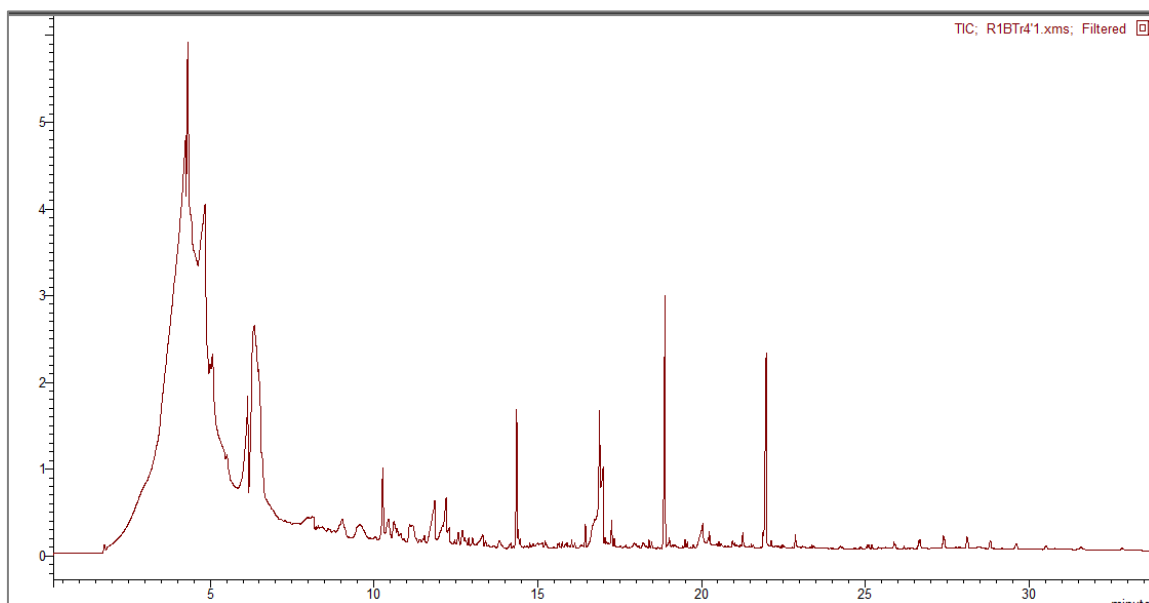


Figura 48. Cromatograma de la pirólisis de la Muestra 4 en la Rampa 1.

Tiempo de retención (min.)	NOMBRE DEL COMPUESTO	Área	% of Total
1.773	Nickel tetracarbonyl	2,15E+08	0.052
4.254	Cyclopropyl carbinol	1,44E+11	40.014
4.840	Tetrahydrofuran	5,31E+10	13.627
5.000	Uramil-N,N-diacetic acid	6,43E+09	1.563
6.103	Cyclopentanone	3,51E+09	10.005
7.967	Butanoic acid	9,91E+08	0.438
8.160	Pentanoic acid	2,13E+08	0.052
10.262	Pentanoic acid, 3-butenyl ester	2,43E+09	0.591
10.447	Furaneol	1,77E+09	0.430
10.604	Nonanal	1,26E+09	0.428
10.816	Levogluosenone	5,58E+08	0.136
11.192	1,4-Dioxane-2,5-dione, 3,6-dimethyl-, (3S-cis)-	1,69E+09	1.356
12.080	Benzoic acid	1,37E+09	0.580
12.572	1,4:3,6-Dianhydro-.alpha.-d-glucopyranose	5,30E+08	0.129
12.697	5-Hydroxymethylfurfural	6,82E+08	0.166
12.766	Triethylene glycol	2,34E+08	0.057
13.001	2-Decenal, (E)-	7,13E+08	0.173
13.306	Nonanoic acid	7,24E+08	0.176
14.167	1,3-Dioxolane, 4,5-dimethyl-2-pentadecyl-	2,27E+08	0.055
14.346	Benzenoacetic acid, .alpha.-oxo-, methyl ester	4,16E+09	1.011
14.993	Hexanedioic acid	2,31E+08	0.056

15.134	2,7-Oxepanedione	3,71E+08	0.090
15.221	4-Oxatricyclo[4.3.1.1(3,8)]undecan-5-one	2,70E+08	0.066
16.031	Cetene	2,07E+08	0.050
16.368	Pentaethylene glycol	2,40E+08	0.058
16.446	Succinic acid, di(but-3-en-1-yl) ester	6,57E+08	0.160
16.734	3-Butenyl adipate	2,32E+09	2.102
16.879	1,6-Dioxacyclododecane-7,12-dione	5,38E+09	1.308
17.250	Diethyl Phthalate	1,02E+09	0.247
18.219	Butyl benzoate	2,60E+08	0.063
18.888	bis(Butenyl) adipate	7,48E+09	1.820
21.263	Oleic Acid	3,97E+08	0.097
21.884	Butenyl Butanediol Adipate	3,19E+08	0.078
21.960	Terephthalic acid, di(but-3-enyl) ester	3,91E+09	1.674
22.867	Sebacic acid, di(but-3-enyl) ester	3,01E+08	0.073
27.391	1-Tetracosene	3,36E+08	0.082
28.106	Octacosanol	3,06E+08	0.074
28.815	Octacosyl trifluoroacetate	3,43E+08	0.083

Tabla 25. Compuestos emitidos en la pirólisis de la Muestra 4 con la Rampa 1.

5.4.2. R2 (Rampa de temperatura de 450°C a 500°C a 50°C/min) en la Muestra 4.

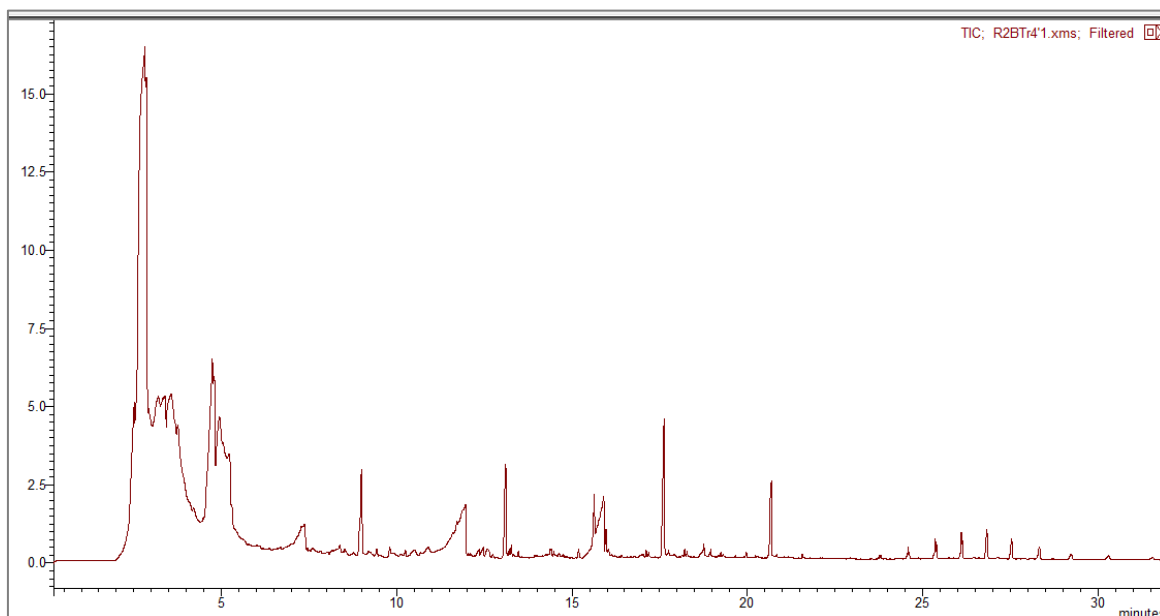


Figura 49. Cromatograma de la pirólisis de la Muestra 4 en la Rampa 2.

Tiempo de retención (min.)	NOMBRE DEL COMPUESTO	Área	% of Total
2.511	Ethane	4,08E+10	4.120
2.809	Methylenecyclopropane	2,16E+11	26.551
3.156	Tetrahydrofuran	3,70E+10	13.083
3.453	Cyclopropyl carbinol	9,31E+09	14.590
4.740	Cyclopentanone	5,19E+10	17.186
6.993	Pentanoic acid	1,97E+09	0.812
7.264	Hexanoic acid	7,73E+09	0.780
8.358	Succinic anhydride	1,68E+09	0.169
8.514	1,2-Cyclopentanedione, 3-methyl-	1,03E+09	0.104
8.975	Pentanoic acid, 3-butenyl ester	1,19E+10	1.197
9.413	Nonanal	5,90E+08	0.060
9.787	2H-Pyran, 3,4-dihydro-	1,09E+09	0.110
11.175	Benzoic acid	2,16E+09	2.097
11.592	Benzoic acid, silver(1+) salt	5,28E+09	1.369
11.851	Heptanediamide, N,N'-di-benzoyloxy-	8,65E+09	0.874
12.316	8-Nonenoic acid	8,27E+08	0.084
12.443	Nonanoic acid	1,30E+09	0.132
13.087	2-Phenyl-4-ethylidene-2-oxazolin-5-one	1,31E+10	1.317
14.270	Hexanedioic acid	7,68E+08	0.078
14.617	Benzoic acid, 4-methyl-, propyl ester	5,43E+08	0.055
15.175	Succinic acid, di(but-3-en-1-yl) ester	7,73E+08	0.078
15.511	3-Butenyl adipate	2,33E+09	2.331
15.614	1,6-Dioxacyclododecane-7,12-dione	6,82E+09	0.688
17.005	Benzoic acid, 2-methylpropyl ester	6,81E+08	0.069
17.604	bis(Butenyl) adipate	1,84E+10	1.858
18.195	cis-2-Methyl-7-octadecene	5,35E+08	0.054
18.268	Nonadecane	5,71E+08	0.058
18.744	2-((But-3-enyloxy)carbonyl)benzoic acid	1,78E+09	0.179
18.941	Phthalic acid, 8-bromooctyl isobutyl ester	8,98E+08	0.091
20.659	Terephthalic acid, di(but-3-enyl) ester	8,68E+09	0.877
25.361	1-Hexacosene	9,69E+08	0.460
25.393	Hentriacontane	7,09E+08	0.261
27.533	Octacosyl trifluoroacetate	1,51E+09	0.152
27.553	Tritetracontane	6,00E+08	0.061
28.326	Tetratriacontyl heptafluorobutyrate	1,43E+09	0.144
29.235	Octatriacontyl pentafluoropropionate	7,29E+08	0.074

Tabla 26. Compuestos emitidos en la pirólisis de la Muestra 4 con la Rampa 2.

5.4.3. R3 (Rampa de temperatura de 500°C a 700°C a 50°C/min) en la Muestra 4.

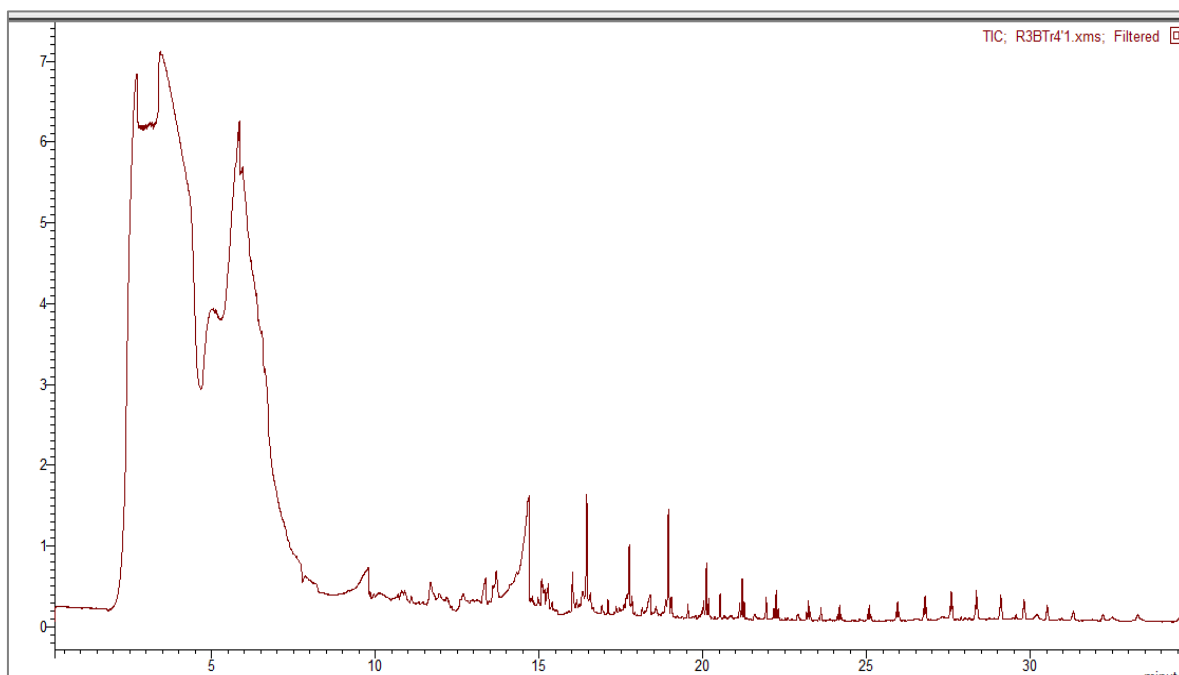


Figura 50. Cromatograma de la pirólisis de la Muestra 4 en la Rampa 3.

Tiempo de retención (min.)	NOMBRE DEL COMPUESTO	Área	% of Total
2.714	Bicyclo[1.1.0]butane	1,26E+11	9.026
2.763	1-Butyne	7,64E+09	0.548
2.784	Cyclobutene	5,59E+09	1.890
2.814	Methylenecyclopropane	1,01E+10	2.594
3.531	Cyclopropyl carbinol	5,48E+10	14.856
3.862	2-Heptynoic acid	8,13E+09	0.584
5.800	Cyclopentanone	1,50E+11	24.767
9.512	Pentanoic acid	7,55E+09	0.542
9.965	Tiglic acid	1,69E+09	0.121
11.655	1-Butanone, 1-phenyl-	1,12E+09	0.304
13.556	Cyclopentaneundecanoic acid	1,00E+10	0.720
14.431	Benzoic acid	2,50E+10	1.796
15.063	1-Tetradecene	7,11E+09	0.510
16.308	4-Heptafluorobutyryloxyhexadecane	9,74E+09	0.699
17.563	Pentanoic acid, 10-undecenyl ester	4,64E+09	0.333
18.813	Z,E-2,13-Octadecadien-1-ol	5,67E+09	0.407
19.950	7-Heptadecene, 17-chloro-	2,35E+09	0.169
21.053	Oleic Acid	1,74E+09	0.125

23.103	9-Hexadecenoic acid	9,29E+08	0.067
25.855	1-Hexacosene	9,58E+08	0.151
27.461	Tetratriacontyl heptafluorobutyrate	2,42E+09	0.173
33.166	Tetrapentacontane, 1,54-dibromo-	7,05E+08	0.051

Tabla 27. Compuestos emitidos en la pirólisis de la Muestra 4 con la Rampa 3.

5.4.4. R4 (Rampa de temperatura de 700°C a 900°C a 50°C/min) en la Muestra 4.

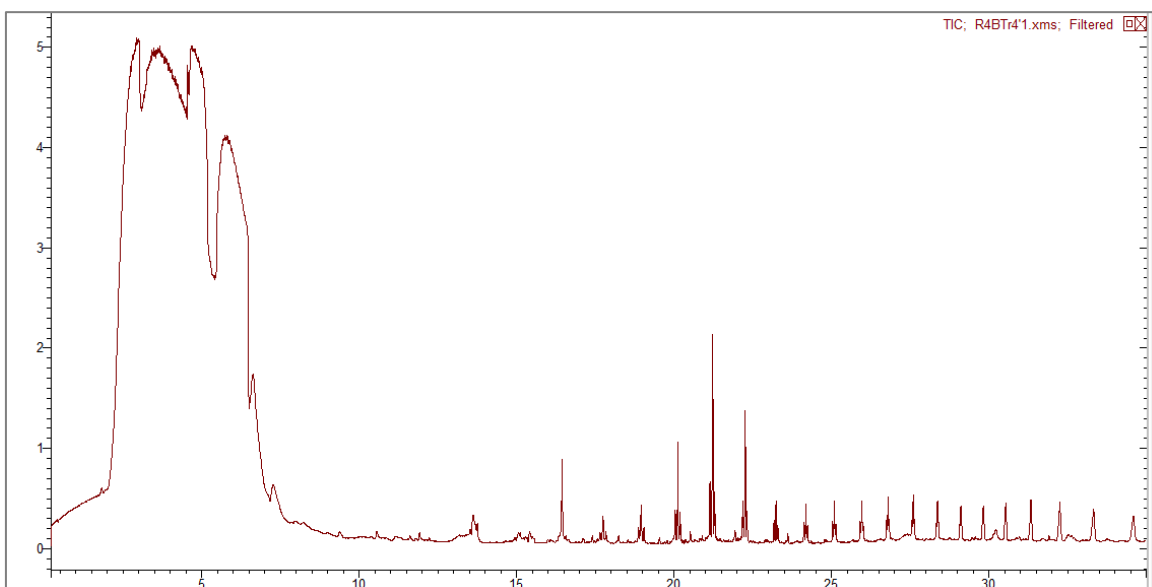


Figura 51. Cromatograma de la pirólisis de la Muestra 4 en la Rampa 4.

Tiempo de retención (min.)	NOMBRE DEL COMPUESTO	Área	% of Total
0.417	Tri-ruthenium dodecacarbonyl	5,78E+08	0.053
1.473	Nitrogen	7,27E+08	0.067
2.635	Carbon dioxide	7,30E+10	31.295
3.071	dl-3-Aminoisobutyric acid, N-methyl-, methyl ester	6,04E+09	9.147
3.112	n-Hexylmethylamine	7,74E+09	0.715
3.414	Benzene	8,79E+09	4.046
4.394	6-Azidotetrazolo(b)pyridazine	7,22E+09	0.667
4.514	Hydroxyurea	5,36E+09	0.495
4.552	(S)-(+)-1-Cyclohexylethylamine	9,58E+09	1.255
4.574	Ethyne, fluoro-	5,32E+09	0.492
4.687	dl-Alanine	8,02E+09	0.741

5.263	4-(2-Acetoxyphenyl)-1-ethyl-3-methyl-5-(4-nitrophenyl)pyrazole	1,19E+10	1.562
5.356	N,N,O-Triacetylhydroxylamine	4,39E+09	0.405
6.626	Propene	9,98E+09	2.803
13.619	Naphthalene	1,15E+09	0.107
15.412	1,2-Benzenedicarboxylic acid	6,37E+08	0.059
16.440	Biphenyl	2,09E+09	0.193
17.740	5-Octadecene, (E)-	6,26E+08	0.193
18.955	Cetene	9,56E+08	0.088
21.136	18-Nonadecen-1-ol	1,34E+09	0.183
21.221	1-Nonadecene	3,39E+09	0.553
21.283	Eicosane	8,23E+08	0.076
22.311	Tetracosane	5,64E+08	0.052
24.181	1-Docosene	6,47E+08	0.258
27.589	1-Hexacosene	6,84E+08	0.277
30.213	Octatriacontyl trifluoroacetate	6,77E+08	0.211
30.525	Octacosyl trifluoroacetate	1,18E+09	0.241
33.315	Octatriacontyl pentafluoropropionate	1,69E+09	0.309

Tabla 28. Compuestos emitidos en la pirólisis de la Muestra 4 con la Rampa 4.

5.4.5. R5 (Rampa de temperatura de 300°C a 500°C a 20°C/min) en la Muestra 4.

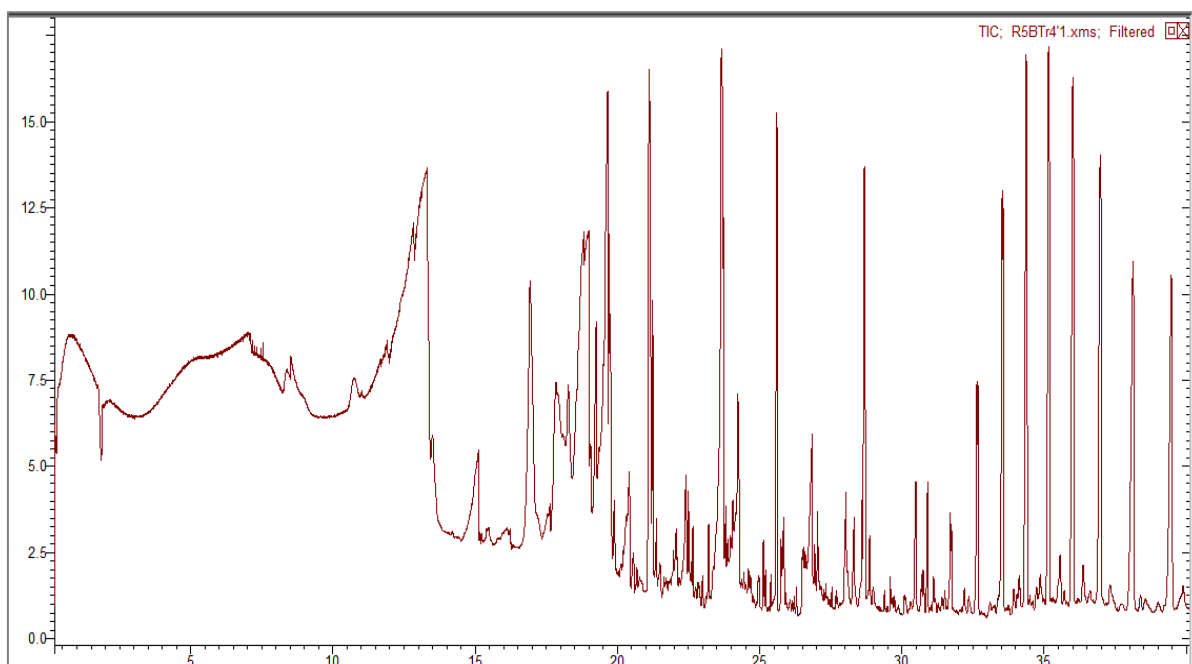


Figura 52. Cromatograma de la pirólisis de la Muestra 4 en la Rampa 5.

Tiempo de retención (min.)	NOMBRE DEL COMPUESTO	Área	% of Total
0.221	Nickel tetracarbonyl	7,81E+08	91.157
7.072	Acetic acid, 2-(methylaminoethyl) ester	7,58E+07	8.843

Tabla 29. Compuestos emitidos en la pirólisis de la Muestra 4 con la Rampa 5.

5.4.6. R6 (Rampa de temperatura de 300°C a 500°C a 50°C/min) en la Muestra 4.

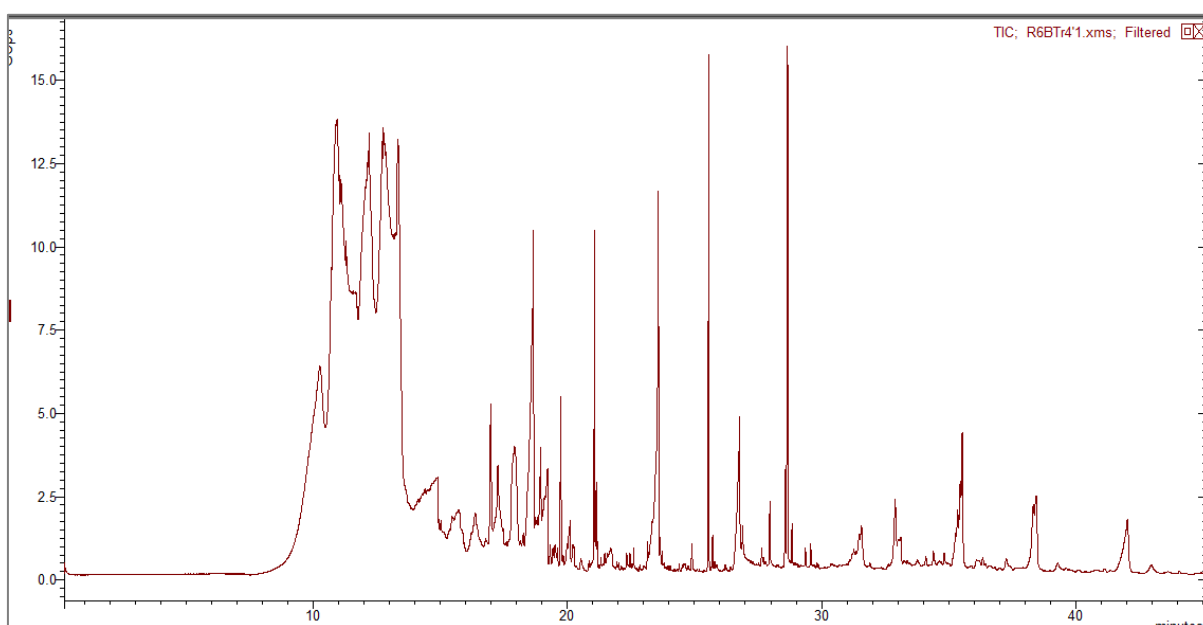


Figura 53. Cromatograma de la pirólisis de la Muestra 4 en la Rampa 6.

Tiempo de retención (min.)	NOMBRE DEL COMPUESTO	Área	% of Total
10.265	Azodicarbonamide	6,85E+10	8.170
10.718	Cyclopropyl carbinol	1,58E+10	1.884
10.904	R-(-)-Cyclohexylethylamine	6,82E+10	14.441
11.293	1,3-Butadiene	8,80E+09	1.161
12.737	Cyclopentanone	2,93E+10	7.704
12.912	1-(1'-Pyrrolidinyl)-2-propanone	4,70E+09	1.357
15.025	4-Pentenoic acid	5,48E+08	0.065
16.983	Pentanoic acid, 3-butenyl ester	1,33E+10	1.582
17.269	2-Nonen-1-ol, (E)-	9,87E+09	1.177
17.914	1,4-Dioxane-2,5-dione, 3,6-dimethyl-, (3S-cis)-	2,12E+10	13.850

18.266	Cycloheptane, bromo-	1,12E+09	0.134
18.813	Benzoic acid	4,12E+09	3.548
18.943	.beta.-1,5-Dibenzoyl-2-deoxy-ribofuranose	1,10E+10	1.311
19.318	1,4:3,6-Dianhydro-.alpha.-d-glucopyranose	1,22E+09	0.146
19.434	5-Hydroxymethylfurfural	1,58E+09	0.188
19.512	Cyclopentaneundecanoic acid	2,30E+09	0.274
19.733	2-Decenal, (Z)-	1,72E+10	2.045
20.095	Nonanoic acid	5,29E+09	0.630
20.205	Benzoic acid, 4-methyl-	1,09E+09	0.313
21.068	Benzeneacetic acid, .alpha.-oxo-, methyl ester	2,02E+10	2.410
21.142	2-Undecenal	7,10E+09	0.847
21.183	Vinyl caprylate	1,28E+09	0.153
21.322	Butyl benzoate	4,59E+08	0.055
22.335	3a,7a-Epoxy-1H-inden-1-one, hexahydro-	9,01E+08	0.107
22.362	2-Propen-1-one, 1-(2,2-dimethylcyclopropyl)-	4,58E+08	0.055
22.610	Benzoic acid, 4-methyl-, propyl ester	9,55E+08	0.114
23.580	3-Butenyl adipate	3,35E+10	4.110
23.597	1,6-Dioxacyclododecane-7,12-dione	4,55E+09	0.542
24.899	Benzoic acid, pentyl ester	2,10E+09	0.250
25.565	bis(Butenyl) adipate	3,07E+10	3.664
26.772	2-((But-3-enyloxy)carbonyl)benzoic acid	1,91E+10	2.271
27.970	Oleic Acid	4,56E+09	0.543
28.568	Butenyl Butanediol Adipate	5,27E+09	0.628
28.660	Terephthalic acid, di(but-3-enyl) ester	3,97E+10	4.735
28.838	Isophthalic acid, butyl 2,4,6-trichlorophenyl ester	1,76E+09	0.210
29.570	Sebacic acid, di(but-3-enyl) ester	1,22E+09	0.145
32.898	11-Hexadecynal	6,57E+09	0.850
34.821	17-Pentatriacontene	1,21E+09	3.123
35.457	Carbonic acid, eicosyl vinyl ester	1,06E+10	5.184
35.531	Tritetracontane	1,50E+10	1.788

Tabla 30. Compuestos emitidos en la pirólisis de la Muestra 4 con la Rampa 6.

5.4.7. R7 (Rampa de temperatura de 300°C a 500°C a 80°C/min) en la Muestra 4.

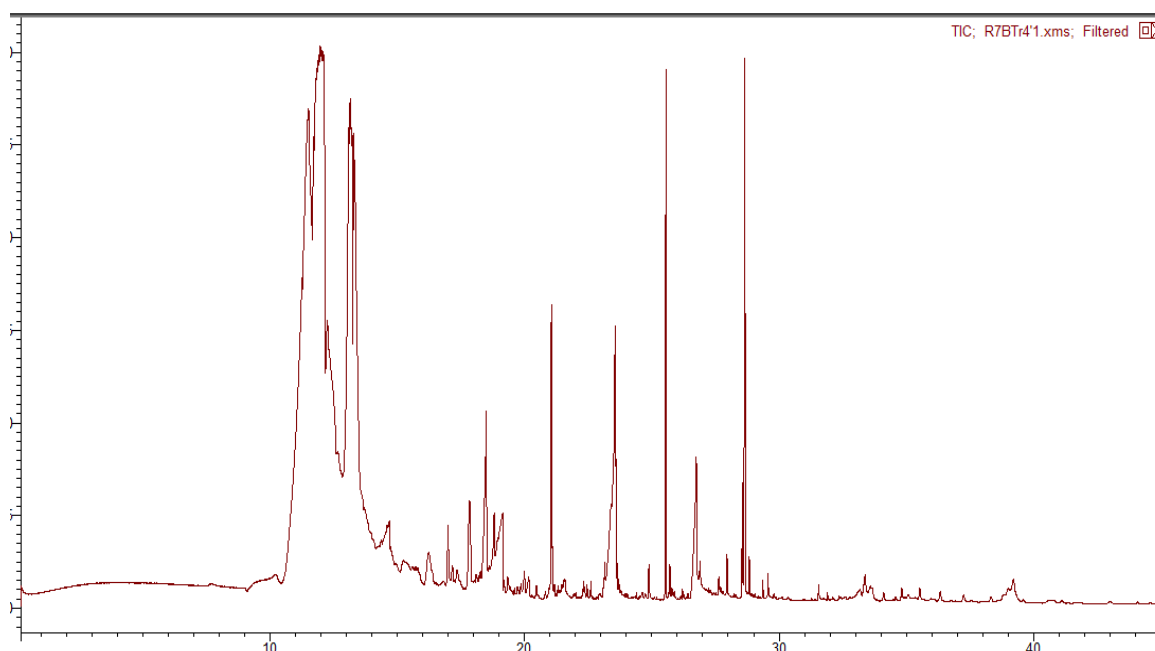


Figura 54. Cromatograma de la pirólisis de la Muestra 4 en la Rampa 7.

Tiempo de retención (min.)	NOMBRE DEL COMPUESTO	Área	% of Total
0.223	Nickel tetracarbonyl	2,06E+08	0.014
11.259	R-(-)-Cyclohexylethylamine	1,27E+11	22.609
11.701	2-Butyne	2,65E+10	1.841
11.812	3-Buten-1-ol	5,96E+10	4.146
11.842	Tetrahydrofuran	2,82E+10	26.090
12.542	2-Propenoic acid, 2,2,3,3,4,4,5,5,6,6,7,7,8,8,8-pentadecafluorooctyl ester	1,31E+10	0.909
13.100	Cyclopentanone	6,99E+10	18.018
14.594	Pentanoic acid	6,25E+09	0.710
16.244	Succinic anhydride	1,03E+10	0.714
16.996	Pentanoic acid, 3-butenyl ester	5,77E+09	0.401
17.173	Furaneol	2,85E+09	0.198
17.362	Nonanal	3,24E+09	0.302
17.843	1,4-Dioxane-2,5-dione, 3,6-dimethyl-	1,48E+10	1.031
18.100	2-Oxepanone, 7-methyl-	4,02E+09	0.280
18.270	Cyclohexanamine, N-(benzoyloxy)-	1,58E+09	0.110
18.501	1,4-Dioxane-2,5-dione, 3,6-dimethyl	2,79E+10	1.943
18.533	Hexanediamide, N,N'-di-benzoyloxy-	1,53E+09	0.107
18.614	Benzoic acid	2,92E+09	2.219
18.807	.beta.-1,5-Dibenzoyl-2-deoxy-ribofuranose	1,30E+10	0.907

19.203	1,4:3,6-Dianhydro-.alpha.-d-glucopyranose	9,40E+08	0.065
19.343	5-Hydroxymethylfurfural	1,54E+09	0.107
21.057	Ethanedione, diphenyl-	1,38E+10	0.963
23.406	3-Butenyl adipate	6,12E+09	2.460
23.582	1,6-Dioxacyclododecane-7,12-dione	6,75E+09	0.470
24.887	Butyl benzoate	2,37E+09	0.165
25.559	bis(Butenyl) adipate	2,83E+10	1.968
25.711	Butenyl Butanediol Adipate	1,27E+09	0.473
26.751	2-((But-3-enyloxy)carbonyl)benzoic acid	1,64E+10	1.141
27.954	Oleic Acid	2,21E+09	0.154
28.655	Terephthalic acid, di(but-3-enyl) ester	3,48E+10	2.424
28.832	Isophthalic acid, butyl 2,4,6-trichlorophenyl ester	1,51E+09	0.105
29.567	Sebacic acid, di(but-3-enyl) ester	1,09E+09	0.076

Tabla 31. Compuestos emitidos en la pirólisis de la muestra 4 con la rampa 7.

5.4.8. R8 (Rampa de temperatura de 250°C a 450°C a 50°C/min) en la Muestra 4.

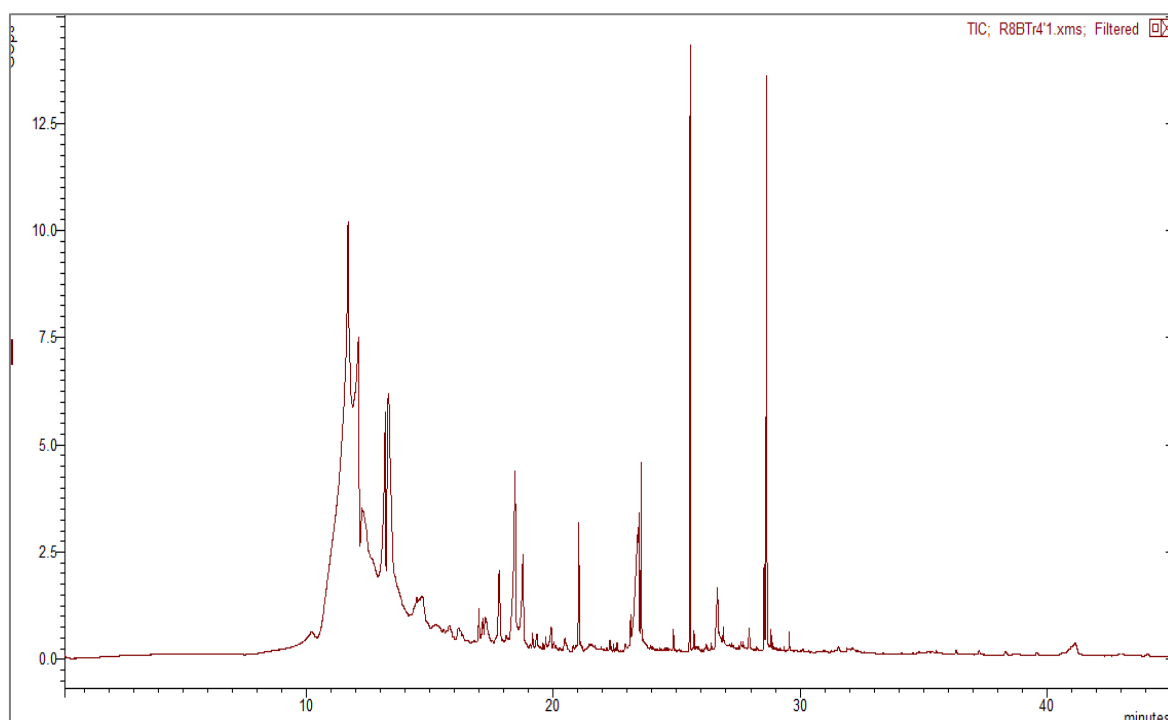


Figura 55. Cromatograma de la pirólisis de la Muestra 4 en la Rampa 8.

Tiempo de retención (min.)	NOMBRE DEL COMPUESTO	Área	% of Total
11.989	Tetrahydrofuran	4,07E+10	16.555
12.315	Oxirane, ethyl-	3,06E+10	4.227
13.199	Cyclopentanone	3,96E+10	14.506
14.572	2-Nonanol	3,12E+09	0.431
14.711	2-Heptanol	7,60E+09	1.050
16.156	Succinic anhydride	6,15E+08	0.085
16.991	But-3-en-1-yl 2-methylbutanoate	2,22E+09	0.307
17.157	Furaneol	2,64E+09	0.364
17.252	Nonanal	2,94E+09	0.406
17.311	2-Nonen-1-ol	2,48E+09	0.343
17.814	1,4-Dioxane-2,5-dione, 3,6-dimethyl-	7,95E+09	1.099
18.465	1,4-Dioxane-2,5-dione, 3,6-dimethyl-, (3S-cis)-	2,22E+10	3.066
19.163	1,4:3,6-Dianhydro-.alpha.-d-glucopyranose	9,00E+08	0.124
19.343	Triethylene glycol	1,50E+09	0.208
19.701	2-Decenal, (E)-	5,91E+08	0.082
21.039	Benzoic acid, 2-propenyl ester	6,99E+09	0.965
22.294	3a,7a-Epoxy-1H-inden-1-one, hexahydro-	3,80E+08	0.052
23.138	Succinic acid, di(but-3-en-1-yl) ester	1,37E+09	0.189
23.422	3-Butenyl adipate	2,03E+10	4.053
23.567	1,6-Dioxacyclododecane-7,12-dione	8,53E+09	1.178
24.870	Butyl benzoate	1,09E+09	0.151
25.551	bis(Butenyl) adipate	2,60E+10	3.593
25.702	Adipate Dimethylolpropane	6,48E+08	0.090
26.659	2-((But-3-enyloxy)carbonyl)benzoic acid	5,15E+09	0.711
27.936	Oleic Acid	1,46E+09	0.201
28.543	Butenyl Butanediol Adipate	3,78E+09	0.522
28.646	Terephthalic acid, di(but-3-enyl) ester	2,87E+10	3.967
29.561	Sebacic acid, di(but-3-enyl) ester	8,10E+08	0.112

Tabla 32. Compuestos emitidos en la pirolisis de la Muestra 4 con la Rampa 8.

5.4.9. R9 (Rampa de temperatura de 250°C a 450°C a 100°C/min) en la Muestra 2.

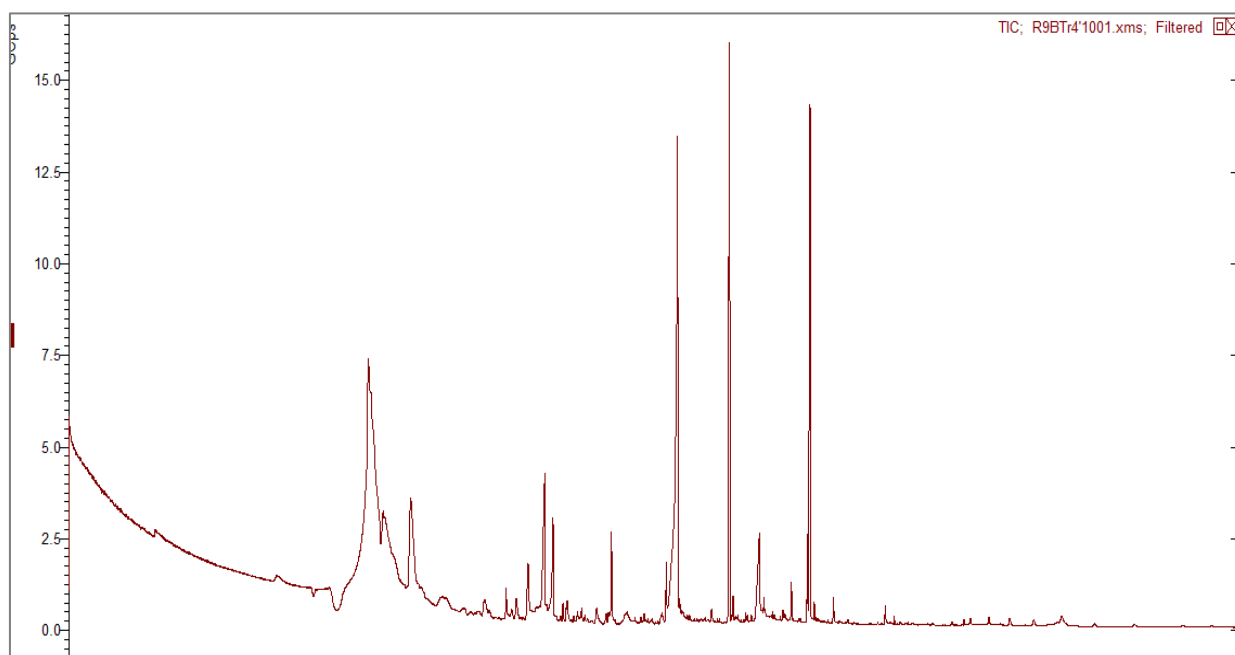


Figura 56. Cromatograma de la pirólisis de la Muestra 4 en la Rampa 9.

Tiempo de retención (min.)	NOMBRE DEL COMPUESTO	Área	% of Total
16.997	Pentanoic acid, 3-butenyl ester	1,52E+09	0.611
17.393	Nonanal	2,56E+09	1.027
17.843	1,4-Dioxane-2,5-dione, 3,6-dimethyl-	6,23E+09	2.506
18.269	Cyclohexanamine, N-(benzoyloxy)-	1,37E+08	0.055
18.475	1,4-Dioxane-2,5-dione, 3,6-dimethyl-, (3S-cis)-	1,64E+10	6.603
18.571	Hexanediamide, N,N'-di-benzoyloxy-	1,91E+08	0.077
19.182	1,4:3,6-Dianhydro-.alpha.-d-glucopyranose	1,30E+09	0.523
19.307	5-Hydroxymethylfurfural	7,62E+08	0.306
19.348	Triethylene glycol	1,84E+09	0.738
19.593	1-Butene, 3-propoxy-	2,92E+08	0.117
19.733	2-Decenal, (E)-	2,69E+08	0.108
20.924	2-Phenyl-4-ethylidene-2-oxazolin-5-one	6,11E+08	2.631
22.178	2-Cyclohexen-1-one, 3-methyl-	1,96E+08	0.079
23.147	Succinic acid, di(but-3-en-1-yl) ester	2,64E+09	1.062
23.577	1,6-Dioxacyclododecane-7,12-dione	7,26E+10	29.165
23.666	Butanediol adipate	3,88E+08	0.156
24.886	2,2'-Bi-1,3-dioxolane, 2-phenyl-	1,22E+09	0.490
25.568	bis(Butenyl) adipate	4,76E+10	19.128
25.712	Butenyl Butanediol Adipate	1,11E+09	2.158

26.201	2-Tridecanol	5,59E+08	0.225
26.271	Heptadecane	3,03E+08	0.122
26.416	4-Hydroxybutyl acrylate	3,22E+08	0.129
26.716	2-((But-3-enloxy)carbonyl)benzoic acid	1,20E+10	4.893
27.950	Oleic Acid	2,03E+09	0.816
28.655	Terephthalic acid, di(but-3-enyl) ester	4,25E+10	17.089
29.566	Sebacic acid, di(but-3-enyl) ester	1,27E+09	0.511

Tabla 33. Compuestos emitidos en la pirolisis de la Muestra 4 con la Rampa 9.

5.5. Muestra 5.

A continuación se muestran la comparativa de los cromatogramas resultantes tras la pirolisis con las distintas condiciones de temperatura y velocidad en las distintas rampas. Esta muestra sólo ha sido sometida a 4 rampas de temperatura sin variar la velocidad de calentamiento.

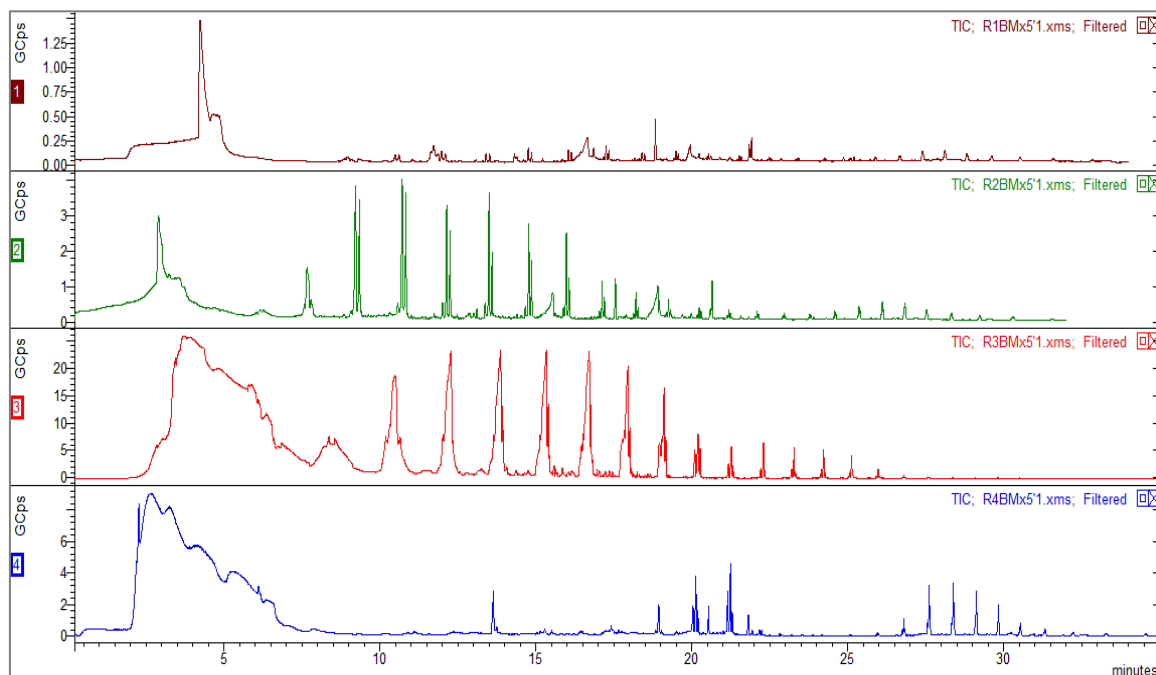


Figura 57. Comparativa de cromatogramas de la pirolisis de la muestra 5 en las distintas rampas.

5.5.1. R1 (Rampa de temperatura de 330°C a 450°C a 50°C/min) en la Muestra 5.

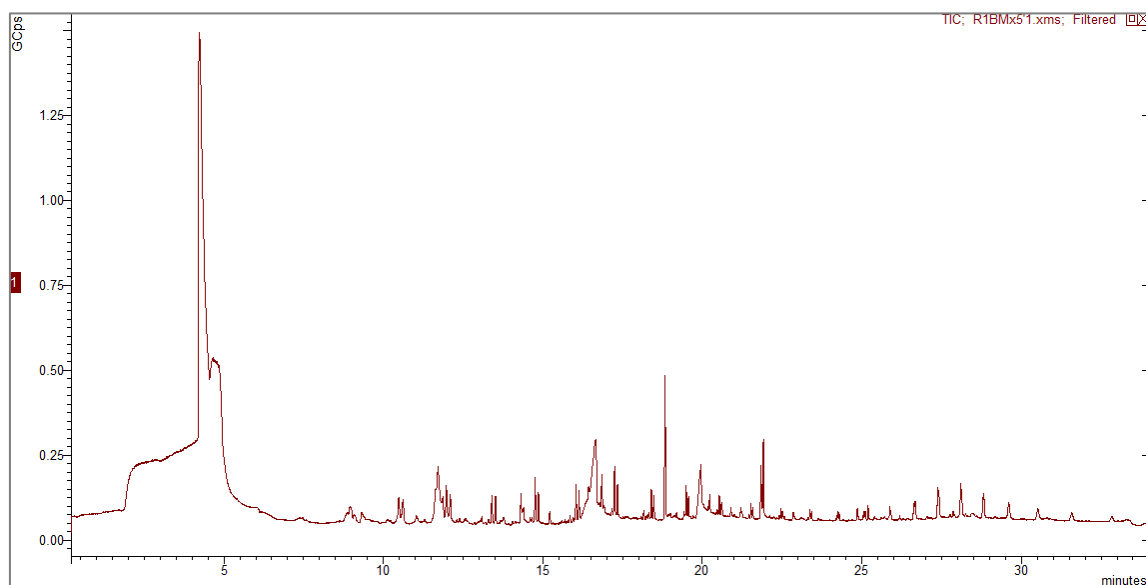


Figura 58. Cromatograma de la pirólisis de la Muestra 5 en la Rampa 1.

Tiempo de retención (min.)	NOMBRE DEL COMPUESTO	Área	% of Total
2.273	Nitrogen	2,71E+08	1.159
8.957	1-Dodecene	1,51E+08	0.645
9.086	Tetradecane	1,43E+07	0.061
9.320	Succinic anhydride	1,26E+08	0.538
10.484	1-Undecene	1,65E+08	0.705
10.612	Tridecane	1,58E+08	1.756
11.714	2,6-Dimethylphenyl isocyanate	1,24E+09	5.288
11.875	Heptanediamide, N,N'-di-benzoyloxy-	3,14E+08	1.344
11.976	1-Pentadecene, 2-methyl-	3,39E+08	1.449
13.402	1-Tridecene	1,70E+08	0.728
13.515	Pentadecane	1,72E+08	1.950
14.313	Methanone, (4-bromo-5-methyl-2-nitro-3-thienyl)(phenyl)-	1,98E+08	0.847
14.396	2-Butyl-1-decene	1,88E+08	0.805
14.757	Cetene	2,54E+08	1.086
15.215	1-Isoquinolinemethanol, .alpha.-ethyl-1,2,3,4-tetrahydro-, (R*,S*)-(.-.-.)-	8,02E+07	0.343
16.039	7-Hexadecene, (Z)-	1,63E+08	0.698
16.432	.beta.-D-Glucopyranose, 1,6-anhydro-	9,45E+07	0.404
16.670	3-Butenyl adipate	1,60E+09	6.819
16.848	1,6-Dioxacyclododecane-7,12-dione	1,97E+08	0.840

17.249	Phthalic acid, butyl undecyl ester	2,66E+08	1.139
17.338	Heptadecane	1,48E+08	0.995
18.163	Butyl benzoate	5,00E+07	0.214
18.402	9-Eicosene, (E)-	1,41E+08	0.604
18.479	Eicosane	1,12E+08	0.896
18.832	bis(Butenyl) adipate	7,54E+08	3.225
19.493	1-Nonadecene	1,47E+08	1.279
19.955	2-((But-3-enyloxy)carbonyl)benzoic acid	4,35E+08	1.858
20.231	1,2-Benzenedicarboxylic acid, butyl cyclohexyl ester	7,99E+07	0.342
21.582	Tetracosane	4,59E+07	0.426
21.838	Butenyl Butanediol Adipate	3,33E+08	1.424
21.916	Terephthalic acid, di(but-3-enyl) ester	4,33E+08	1.850
22.468	1-Tetracosene	4,87E+07	0.208
23.373	1-Hexacosene	4,24E+07	1.669
23.422	Octacosane	4,37E+07	0.187
25.876	1-Eicosanol	9,20E+07	0.393
26.677	Tetratetracontane	7,57E+07	0.324
27.417	Tritetracontane	1,24E+08	1.033
28.104	Octacosanol	2,34E+08	1.002
28.812	Hexatriacontyl pentafluoropropionate	2,75E+08	1.990
30.517	Tetratriacontyl heptafluorobutyrate	1,48E+08	0.631

Tabla 34. Compuestos emitidos en la pirólisis de la Muestra 5 con la Rampa 1.

5.5.2. R2 (Rampa de temperatura de 450°C a 500°C a 50°C/min) en la Muestra 5.

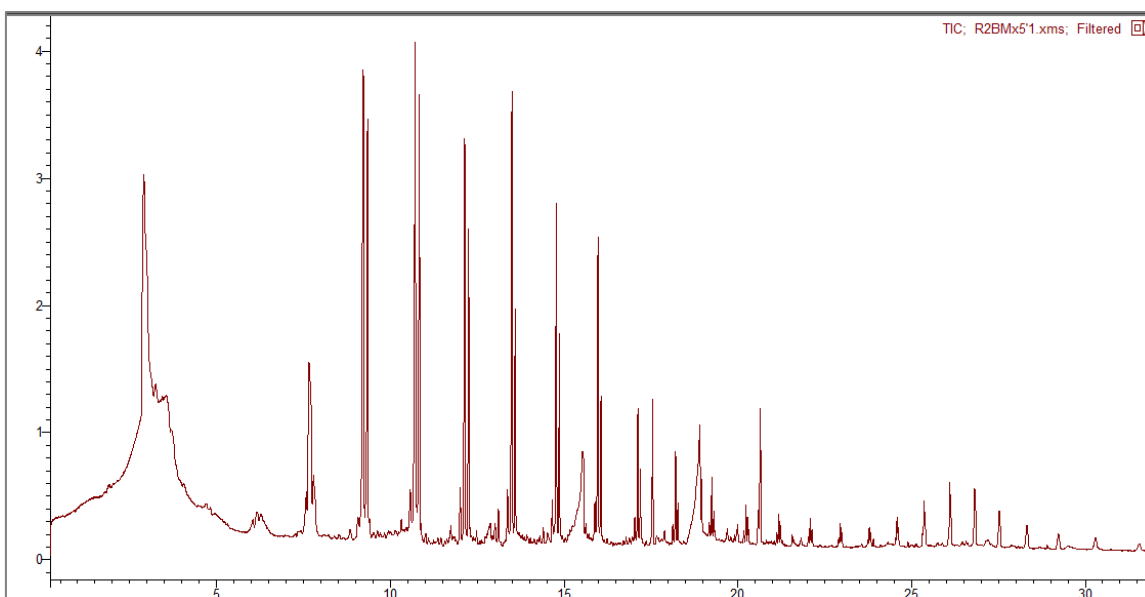


Figura 59. Cromatograma de la pirólisis de la Muestra 5 en la Rampa 2.

Tiempo de retención (min.)	NOMBRE DEL COMPUESTO	Área	% of Total
3.259	4-Pentenal, 2-methyl-	3,84E+09	2.565
4.676	1-Octene	4,31E+08	0.288
7.584	Cyclododecane	1,19E+09	0.795
7.661	1-Decene	7,84E+09	5.239
7.788	Decane	2,35E+09	6.851
8.835	Nonane, 5-methylene-	2,55E+08	0.171
9.071	1,10-Undecadiene	6,91E+08	0.461
9.219	Cyclopropane, 1-heptyl-2-methyl-	1,24E+10	8.298
9.395	2-Tridecene, (Z)-	3,39E+08	0.226
10.315	Decane, 5-methyl-6-methylene-	2,07E+08	0.138
10.572	Z-1,9-Hexadecadiene	1,10E+09	0.733
10.715	1-Tetradecene	9,90E+09	11.353
10.835	Tridecane	7,42E+09	4.957
10.879	1-Dodecene	2,50E+08	0.167
11.741	2-Methyl-n-1-tridecene	2,42E+08	0.162
12.007	1,12-Tridecadiene	9,51E+08	1.874
12.141	1-Tridecene	6,28E+09	4.195
12.251	Pentadecane	3,79E+09	5.803
13.108	2-Butyl-1-decene	4,39E+08	0.293
14.399	5-Undecene, 2-methyl-, (Z)-	2,25E+08	0.151
14.775	Cetene	4,93E+09	7.676
15.531	3-Butenyl adipate	2,08E+09	1.386
15.627	2-Methyl-1-tetradecene	7,39E+07	0.049
16.062	Eicosane	1,80E+09	2.123
17.549	bis(Butenyl) adipate	1,90E+09	1.269
18.207	5-Eicosene, (E)-	1,03E+09	0.690
18.960	1,2-Benzenedicarboxylic acid, bis(2-methylpropyl) ester	2,81E+08	0.188
19.249	1-Nonadecene	6,63E+08	0.443
19.311	Heptadecane	3,53E+08	0.236
20.236	3-Eicosene, (E)-	4,39E+08	0.293
20.650	Terephthalic acid, di(but-3-enyl) ester	1,78E+09	1.186
21.180	1-Docosene	3,02E+08	0.202
25.358	1-Hexacosene	3,88E+08	0.959
25.391	Hentriacontane	3,08E+08	0.390
26.841	Heptacosane	3,12E+08	0.209
27.524	Octacosyl trifluoroacetate	1,01E+09	0.675

Tabla 35. Compuestos emitidos en la pirolisis de la Muestra 5 con la Rampa 2.

5.5.3. R3 (Rampa de temperatura de 500°C a 700°C a 50°C/min) en la Muestra 5.

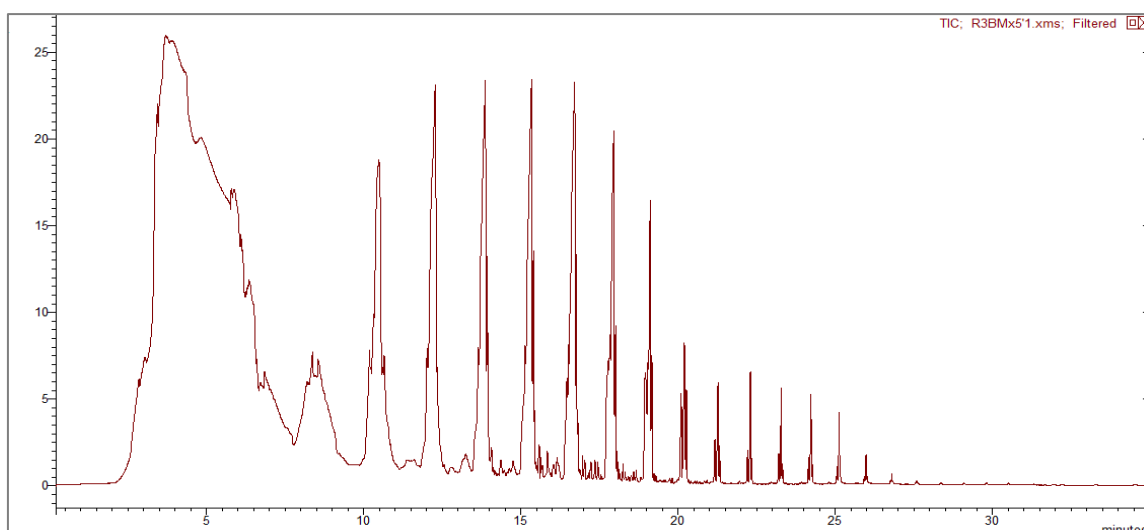


Figura 60. Cromatograma de la pirólisis de la Muestra 5 en la Rampa 3.

Tiempo de retención (min.)	NOMBRE DEL COMPUESTO	Área	% Total of
2.853	4-Pentenal, 2-methyl-	4,41E+09	0.842
5.786	Cyclobutane	2,52E+10	4.809
6.095	2,6-Nonadien-1-ol	1,30E+09	0.249
6.361	1-Octyn-3-ol	7,51E+08	0.143
13.869	3-Tetradecene, (Z)-	1,27E+11	48.344
13.934	Dodecane	8,18E+09	1.562
15.398	Pentadecane	1,35E+10	4.269
15.442	Oxirane, dodecyl-	1,73E+09	0.330
16.463	1,12-Tridecadiene	1,99E+09	4.109
18.010	Nonadecane	1,25E+10	6.356
19.037	Cetene	1,03E+10	1.967
19.112	1-Heptadecene	4,88E+10	9.328
20.094	1,14-Tetradecanediol	6,45E+09	1.233
20.178	5-Octadecene, (E)-	6,75E+09	7.550
21.321	Eicosane	2,78E+09	0.530
22.295	1-Nonadecene	1,27E+10	2.433
22.342	Tetracosane	2,09E+09	0.681
23.279	3-Eicosene, (E)-	1,00E+10	1.914
24.222	1-Docosene	8,88E+09	3.080
24.261	Octacosane	1,42E+09	0.271

Tabla 36. Compuestos emitidos en la pirólisis de la Muestra 5 con la Rampa 3.

5.5.4. R4 (Rampa de temperatura de 700°C a 900°C a 50°C/min) en la Muestra 5.

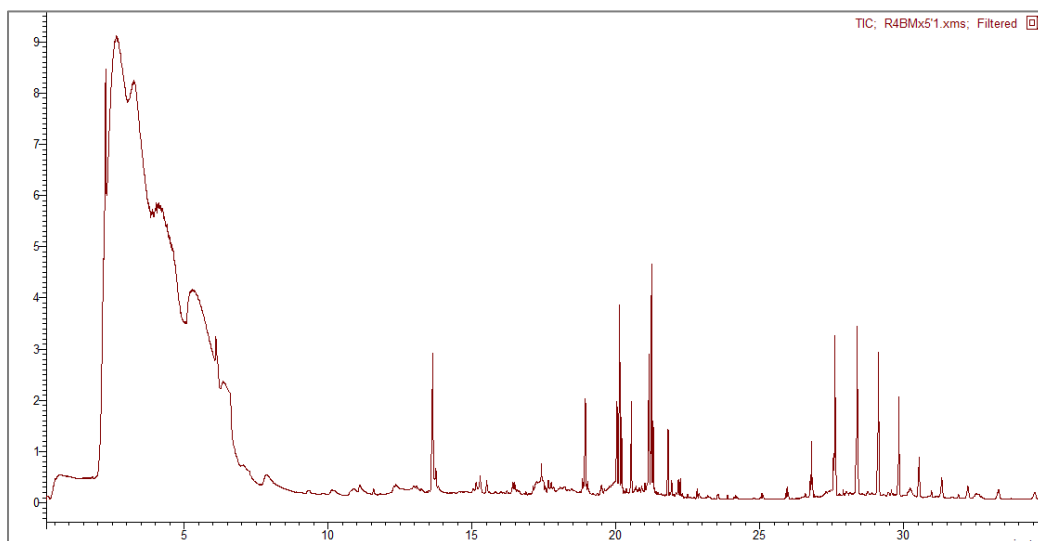


Figura 61. Cromatograma de la pirólisis de la Muestra 5 en la Rampa 4.

Tiempo de retención (min.)	NOMBRE DEL COMPUESTO	Área	% of Total
2.203	2-Butene	2,05E+10	1.487
2.277	Ethylene	3,47E+10	13.130
3.248	6-Azidotetrazolo(b)pyridazine	8,91E+10	20.09
4.021	Ethane	1,28E+10	1.460
4.397	Carbon monoxide	7,94E+09	0.577
5.065	Tri-ruthenium dodecacarbonyl	9,10E+09	0.661
6.352	Cyclopropane	1,71E+10	1.240
6.424	Methylenecyclopropane	1,38E+10	1.000
7.823	Bicyclo[4.2.0]octa-1,3,5-triene	5,01E+09	0.364
10.112	Indane	1,46E+09	0.179
11.066	Benzene, 1-ethynyl-4-methyl-	2,72E+09	0.198
12.354	Cetene	1,13E+09	0.082
13.634	Azulene	8,22E+09	0.597
13.745	1H-Indene, 1-methylene-	1,17E+09	0.085
15.282	Naphthalene, 1-methyl-	7,66E+08	0.056
17.409	Diethyl Phthalate	1,19E+09	0.086
18.936	Phthalic acid, butyl undecyl ester	4,97E+09	0.361
20.032	18-Nonadecen-1-ol	3,37E+09	0.245
20.127	5-Octadecene, (E)-	7,19E+09	0.523
20.192	Eicosane	1,80E+09	0.251
20.537	bis(Butenyl) adipate	3,27E+09	0.238

21.150	1,15-Pentadecanediol	4,72E+09	0.343
21.238	1-Nonadecene	9,01E+09	0.655
21.811	1,2-Benzenedicarboxylic acid, bis(2-methylpropyl) ester	2,51E+09	0.183
26.793	1-Hexacosene	1,63E+09	1.220
27.558	1,19-Eicosadiene	1,19E+09	0.247
27.638	Hentriacontane	1,51E+09	0.110
28.407	Tetratetracontane	2,17E+09	0.157
29.138	Tritetracontane	1,19E+09	0.086
30.530	Octacosyl trifluoroacetate	2,03E+09	0.147

Tabla 37. Compuestos emitidos en la pirolisis de la Muestra 5 con la Rampa 4.

6. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Tras obtener estos resultados es interesante estudiar y analizar las características de cada rampa de temperatura en cada muestra.

En el proceso de pirolisis, realizada en varias condiciones de temperatura y velocidad de calentamiento de las distintas muestras, la fracción líquida que queda en el pocillo en un segmento de temperaturas, será la que pasa a estado gaseoso en el siguiente segmento.

Tras los efluentes gaseosos analizados de 50°C a 300°C, lo que queda en el pocillo será la fracción líquida que se pirolizará en la siguiente etapa. De modo que se presenta como composición del posible fuel que queda una vez superado el intervalo 50 a 300°C, los efluentes gaseosos que aparezcan en el intervalo siguiente, por ejemplo de 300 a 500°C aproximadamente.

Por ello se han realizado varias pruebas experimentales a distintas rampas para corroborar dicha hipótesis.

Por medio de la revisión bibliográfica del análisis Py-GC-MS se determinó la temperatura de partida para realizar la pirolisis y ésta debía superar los 300-350°C pues en dichos estudios se lograron una mejor separación en comparación con temperaturas inferiores.

A continuación, a modo de resumen, podemos ver todos los compuestos obtenidos en los ensayos realizados y en cuál de ellos, pirolisis con distintas condiciones de trabajo (de rampas y velocidad de calentamiento) han aparecido.

También se han agrupado las cantidades (en % en peso del total) de los distintos grupos funcionales más relevantes para nuestro estudio y se han representado gráficamente su evolución en las distintas rampas en unos diagramas de barras.

La hipótesis de este estudio era principalmente generar compuestos que sirvieran como combustible para el proceso y eso requería elevadas proporciones de alcanos de cadena corta. De las tablas anteriores se observa que *estos compuestos no aparecen* en tales proporciones en estas condiciones de pirolisis.

Por ejemplo, el etano se hace presente en pequeñas cantidades, no en todas las muestras pero sí en 3 de ellas, cuando la velocidad de calentamiento es de 50°C/min alrededor de los 500°C.

Se ha señalado de manera especial la cantidad de etano obtenido en algunos análisis como representante de los compuestos objetivos que tenía nuestro estudio.

6.1. Muestra 1

HIDROCARBUROS	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9
1,12-Tridecadiene			X		X				
1,13-Tetradecadiene			X						
1,3,5,7-Cyclooctatetraene				X					
10-Heneicosene (c,t)	X								
17-Pentatriacontene								X	X
1-Decene			X				X		X
1-Docosene	X	X	X	X	X	X		X	X
1-Dodecene		X	X			X			X
1-Heptadecene		X	X					X	X
1H-Indene, 1-ethylidene-				X					
1-Iodo-2-methylundecane								X	
1-Nonadecene	X	X	X						
1-Octene		X							
1-Pentadecene				X					
1-Tetradecene		X	X			X		X	
1-Tridecene		X	X		X	X	X		X
2-Butyl-1-decene						X		X	
2-Tetradecene, (E)-							X		
2-Tridecene, (Z)-			X		X		X	X	X
3-Eicosene, (E)-		X			X	X	X	X	
3-Isopropoxy-1,1,1,7,7,7-hexamethyl-3,5,5-tris(trimethylsiloxy)tetrasiloxane			X						
5-Eicosene, (E)-					X	X	X	X	X
5-Octadecene, (E)-		X	X		X	X	X	X	X
5-Tridecene, (E)-			X						
7-Hexadecene, (Z)-			X			X	X	X	X
Acenaphthylene				X					
Azulene				X					
Bicyclo[4.2.0]octa-1,3,5-triene				X					
Cetene	X		X	X					X
Cyclododecane			X						
Cyclopropane, 1-heptyl-2-methyl-		X	X						
Dotriacontane						X		X	X
Eicosane	X	X			X	X	X	X	
Ethane	X	X							
Ethylene		X		X					
Heneicosane	X								
Heptacosane	X								
Heptacosane, 1-chloro-						X		X	X
Heptadecane	X	X	X		X	X	X	X	X
Heptane, 2,4-dimethyl-		X							
Hexacosane	X	X							
Hexane, 3-methyl-		X							
Hexatriacontane					X			X	
Indane				X					
Indene				X					
Naphthalene, 1,2-dihydro				X					
Naphthalene, 2-ethenyl-				X					
Nonadecane	X		X			X	X	X	

Octacosane	X				X	X	X		X
Octadecane	X								
Oxirane, decyl-			X						
Oxirane, tetradecyl-	X								
Pentadecane	X	X	X			X	X	X	
Propane		X							
Tetracosane	X	X	X		X	X	X	X	X
Tetradecane					X	X	X	X	X
Tetratetracontane									X
Tridecane		X	X						
Undecane		X							

ALCOHOLES	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9
1,14-Tetradecanediol			X		X	X			
1,15-Pentadecanediol			X		X	X			
11-Dodecenol						X			
1-Decanol, 2-hexyl-	X		X						X
1-Dodecanol, 2-octyl-								X	
1-Octanol, 2-butyl-			X						
2,4-Di-tert-butylphenol	X				X			X	X
2-Ethyl-1-dodecanol	X								
2-Nonen-1-ol, (E)-	X								
7-Methyl-1-naphthol	X								
Behenic alcohol			X						
E-2-Octadecadecen-1-ol					X	X			
n-Tridecan-1-ol	X								
Phenol, 2,4-bis(1,1-dimethylpropyl)-									
Phenol, 4-(1,1-dimethylpropyl)-	X				X				X

ALDEHIDOS	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9
Decanal									X
Dodecanal	X					X			
Hexadecanal						X			X
Octadecanal						X			X

PLASTIFICANTES	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9
Bis(2-ethylhexyl) phthalate	X								
Diethyl Phthalate	X	X							

DERIVADOS DEL BENCENO	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9
Benzene				X					
Benzene, 1,1'-(1,3-propanediyl)bis-	X								
Biphenyl				X					
Cyclohexane, 1,3,5-triphenyl-	X	X							
Naphthalene, 1,2,3,4-tetrahydro-2-phenyl-	X								

OTROS COMPUESTOS	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9
(Benzyl)(3-benzyl-3H-[1,2,3]triazolo[4,5-d]pyrimidin-7-yl)amine	X								
.beta.-Hydroxypyruvic acid, trimethylsilyl ether, trimethylsilyl ester	X								
1,2-Benzenedicarboxylic acid	X								

1,2-Benzenedicarboxylic acid, bis(2-methylpropyl) ester	X	X	X			X			X
1,3-Benzenedicarboxylic acid, dimethyl ester	X								
1,3-Hexadien-5-yne				X					
1,4-Dioxo-1,2,3,4-tetrahydrophthalazine	X								
1-Octadecanesulphonyl chloride	X								
2(3H)-Furanone, dihydro-3-methyl-			X						
2-Nonadecanone									X
2-Octyl benzoate	X								
2-Pyrrolidinone, 1-methyl-	X								
3-Methyl-1,2-diazirine				X					
5,9,13,17-Tetramethyl 4,8,12,16-octadecatetraenoic acid	X								
6-Azidotetrazolo(b)pyridazine				X					
6-Oxabicyclo[3.1.0]hexan-2-one			X						
9-Octadecenoic acid (Z)-, 2-(acetyloxy)-1-[(acetyloxy)methyl]ethyl ester	X								
Benzoic acid, 2-benzoyl-, methyl ester	X								
Benzoic acid, 4-ethoxy-, ethyl ester	X								
Caprolactam									X
Carbon monoxide	X	X		X		X	X	X	X
Cyclopropylacetonitrile				X					
Dichloroacetic acid, 2-pentadecyl ester	X								
Formic acid, dodecyl ester	X								
Hydrazinecarboxamide		X					X		
Hydrogen cyanide		X							
Manganese, acetylpentacarbonyl-, (OC-6-21)-			X					X	
Nitrogen	X	X					X	X	X
Oxygen		X					X		X
Pentanoic acid, 10-undecenyl ester						X			
Phthalic acid, 2,7-dimethyloct-7-en-5-yn-4-yl isobutyl ester	X								
Phthalic acid, butyl 2-chloropropyl ester	X								
Phthalic acid, butyl undecyl ester		X							
Sulfurous acid, octadecyl pentyl ester						X			
Uramil-N,N-diacetic acid								X	
Vanadium, pentacarbonyl(.eta.3-2-propenyl)-				X					

Tabla 38. Compuestos relacionados con el experimento o ensayo de pirólisis realizado a distinta rampa de temperatura y distinta velocidad de calentamiento a la muestra 1.

	R1	R2	R3	R4
Rampa de T ^a	330-450 °C	450-500 °C	500-700 °C	700-900 °C
Velocidad de calentamiento	50 °C/min			
Alcoholes	2.866	0	6.9	0
Aldehídos	0.059	0	0	0
Benceno y derivados	0.326	0	0	2.479

(phenyl)				
Plastificantes (phatalates)	0.542	0.304	0	0
Etano	0.076	0.092	0	0

*Los resultados están expresados en % en peso del total.

Tabla 39. Cantidades de compuestos relevantes agrupados por grupos funcionales de la muestra 1 variando las temperaturas de las rampas y dejando constante la velocidad de calentamiento.

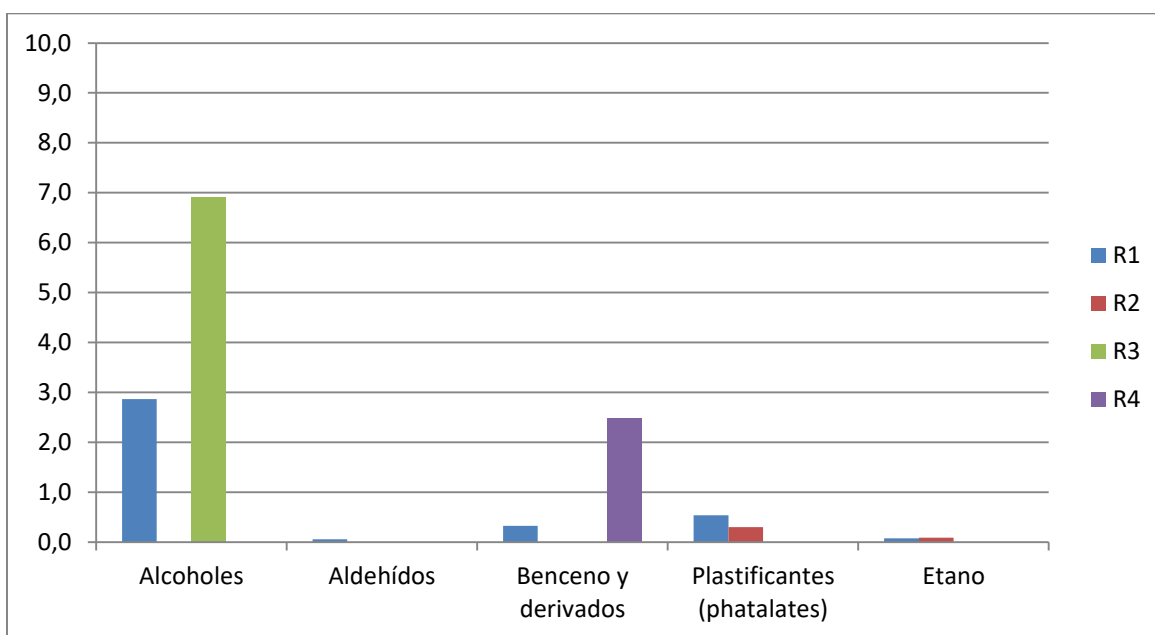


Figura 62. Diagrama de barras de los grupos funcionales obtenidos en la degradación de la muestra 1 variando la temperatura de las rampas y dejando constante la velocidad de calentamiento. (Elaboración propia)

	R5	R6	R7
Rampa de T ^a	300 - 500 °C		
Velocidad de calentamiento	20 °C/min	50 °C/min	80°C/min
Alcoholes	16.226	3.714	0
Aldehídos	0	0	1.063
Benceno y derivados (phenyl)	0	0	0

	R8	R9
Rampa de T ^a	250 - 450 °C	
Velocidad de calentamiento	50 °C/min	100 °C/min
Alcoholes	0.338	1.096
Aldehídos	0	0.441
Benceno y derivados (phenyl)	0	0

Plastificantes (phatalates)	0	0	0		Plastificantes (phatalates)	0	0
Etano	0	0	0		Etano	0	0

*Los resultados están expresados en % en peso del total.

Tabla 40. Cantidades de compuestos relevantes agrupados por grupos funcionales de la muestra 1 variando la velocidad de calentamiento de las rampas y dejando constantes las temperaturas de éstas.

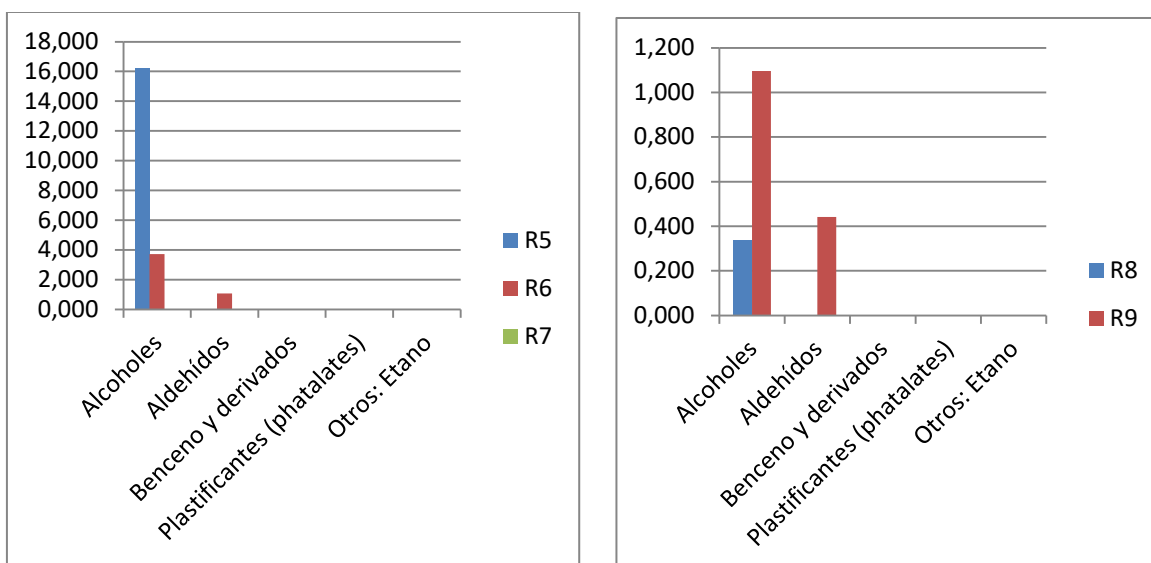


Figura 63. Diagrama de barras de los grupos funcionales obtenidos en la degradación de la muestra 1 variando la velocidad de calentamiento y dejando constante las temperaturas de las rampas. (Elaboración propia)

Observaciones:

- **El Etano**, compuesto relevante para usarlo como combustible se origina en muy pocas cantidades y sólo en el principio del intervalo de temperaturas de 330-450°C en la rampa 1 y al final de la rampa 2 de 450-500 °C. Cabe destacar también una pequeña fracción de etileno en la rampa 2 y 4.
- Surge el **Benceno o algunos derivados** (Biphenyl) sobre todo en elevadas temperaturas, concretamente en la rampa de 700 a 900°C.
- Los **alcoholes** aparecen de forma desigual en las rampas 1 y 3, mientras que los **aldehídos** no aparecen a lo largo de las pirolisis a excepción de una fracción mínima, casi insignificante, en las bajas temperaturas.
- **Plastificantes (phtalates)** solo salen en temperaturas inferiores a 500°C

- Hay un aumento de alcoholes considerable en temperaturas de 300 a 500°C cuando calentamos de forma más lenta, sobre unos 20°C, disminuyendo conforme aumentamos la velocidad de calefacción.
- Los aldehídos aparecen levemente en velocidades medias, altas.

6.2. Muestra 2.

HIDROCARBUROS	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9
(Z)-Hex-2-ene, 5-methyl-						X			
1,10-Undecadiene			X			X			
1,11-Dodecadiene		X	X	X		X	X		
1,12-Tridecadiene		X	X	X	X	X	X	X	
1,13-Tetradecadiene		X		X					
1,19-Eicosadiene	X					X	X		X
17-Pentatriacontene								X	X
1-Decene		X	X		X	X	X		
1-Docosene	X		X		X	X	X	X	X
1-Dodecene		X	X		X	X	X		
1-Heptadecene			X	X				X	
1-Heptene						X			
1-Hexacosene	X			X					
1-Hexene					X				
1-Hexene, 2-methyl-							X		
1-Iodo-2-methylundecane						X	X	X	
1-Nonadecene	X		X	X					
1-Nonene					X				
1-Octene									
1-Octene, 3,7-dimethyl-					X		X		
1-Pentadecene				X					
1-Pentadecene, 2-methyl-								X	X
1-Tetracosene	X								
1-Tetradecene	X	X	X			X	X		
1-Tridecene			X	X	X	X	X		
2-(2',4',4',6',6',8',8'-Heptamethyltetrasiloxan-2'-yloxy)-2,4,4,6,6,8,8,10,10-nonamethylcyclopentasiloxane								X	X
2-Butene			X		X				
2-Butyl-1-decene		X	X		X	X	X	X	
2-Methyl-n-1-tridecene		X			X		X		
2-Methyltetracosane									
2-Tetradecene, (E)-					X			X	
2-Tridecene, (Z)-								X	
2-Undecene, (Z)-			X						
3-Eicosene, (E)-		X	X		X	X			
3-Hexadecene, (Z)-					X	X			
3-Methylphenylacetylene				X					
3-Tetradecene, (Z)-		X							
3-Tridecene, (Z)-								X	
3-Undecene, (Z)-			X						

5-Eicosene, (E)-					X	X	X		
5-Octadecene, (E)-		X	X	X	X	X	X	X	X
7-Hexadecene, (Z)-			X				X	X	
Acenaphthylene				X					
Azulene				X					
Benzene, 2-propenyl-				X					
Bicyclo[4.2.0]octa-1,3,5-triene				X					
Cetene	X			X					X
cis,cis-5,9-Tetradecadiene			X						
Cyclopentane, 3-hexyl-1,1-dimethyl-		X							
Cyclopropane, 1-ethyl-2-heptyl-				X					
Cyclopropane, 1-heptyl-2-methyl-		X		X			X		
Cyclopropane, 1-methyl-2-octyl-						X			
Cyclopropylacetylene				X					
Decane						X	X		
Decane, 5-methyl-6-methylene-						X	X		
Dodecane				X		X	X	X	
Dotriacontane					X	X	X	X	X
Eicosane	X	X			X	X	X		
Ethylene				X					
Hentriacontane	X								
Heptacosane		X							
Heptacosane, 1-chloro-						X	X	X	X
Heptadecane	X				X	X	X	X	X
Hexacosane	X	X			X				
Hexane, 2,4-dimethyl-					X				
Hexatriacontane						X	X	X	
Indene				X					
Isopropylcyclobutane									
Naphthalene				X					
Naphthalene, 1,2-dihydro-				X					
Naphthalene, 2-ethenyl-				X					
Naphthalene, 2-methyl-				X					
Nonadecane							X	X	X
Nonane			X						
Octacosane		X							X
Octadecane, 1-(ethenyloxy)-									X
Octane					X				
Oxirane, dodecyl-								X	
Oxirane, tetradecyl			X						
Pentadecane	X	X			X	X	X	X	X
Propane									
Silane, trichlorodocosyl-			X						
Styrene				X					
Tetracontane, 3,5,24-trimethyl-									X
Tetracosane		X			X				
Tetradecane					X			X	
Tetratetracontane		X						X	
Tridecane		X							
Z-1,9-Dodecadiene							X		
Z-1,9-Hexadecadiene			X						

ALCOHOLES	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9
1,14-Tetradecanediol			X		X	X	X	X	
1,15-Pentadecanediol		X			X	X			X
1,3-Propanediol, 2-dodecyl			X						
11-Hexadecen-1-ol, (Z)-			X						
18-Nonadecen-1-ol		X	X		X				
1-Decanol, 2-hexyl-									X
1-Dodecanol, 2-hexyl-		X							
1-Eicosanol					X				
1-Octanol, 2-butyl-			X		X				
2,4-Di-tert-butylphenol						X	X	X	X
2-Ethyl-1-dodecanol									X
2-Nonen-1-ol, (E)-			X						
2-Tridecen-1-ol, (E)-								X	
Butenyl Butanediol Adipate	X								
Cyclopropyl carbinol			X						
E-2-Octadecadecen-1-ol					X	X		X	
n-Nonadecanol-1			X					X	
Phenol, 3,5-bis(1,1-dimethylethyl)-	.							X	

ALDEHIDOS	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9
13-Methyltetradecanal			X						
2-Nonenal, (E)-			X						
9-Octadecenal			X						
Decanal			X						
Dodecanal					X			X	
Hexadecanal					X			X	
Undecanal	.		X						

PLASTIFICANTES	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9
Bis(2-ethylhexyl) phthalate	X				X				
Diethyl Phthalate	.	X							

BENCENO	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9
Benzene	.			X					
Benzene, 2-propenyl				X					

OTROS COMPUESTOS	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9
1,2-Benzenedicarboxylic acid, bis(2-methylpropyl) ester	X							X	X
1-Octadecyne			X						
2H-Pyran-2-one, tetrahydro-6,6-dimethyl-			X						
2-Tetradecanone								X	
6-Azidotetrazolo(b)pyridazine				X					
bis(Butenyl) adipate	X								
Carbon monoxide									X

Carbonic acid, eicosyl vinyl ester									
Dextroamphetamine				X					
Manganese, acetylpentacarbonyl-, (OC-6-21)-				X					X
Nitrogen									X
Octacosyl trifluoroacetate	X								
Oxalic acid, isobutyl nonyl ester								X	
Oxygen									X
Pentafluoropropionic acid, 10-undecenyl ester								X	
Pentanoic acid, 10-undecenyl ester						X		X	X
Sulfurous acid, decyl 2-propyl ester									X
Terephthalic acid, di(but-3-enyl) ester	X								
Uramil-N,N-diacetic acid							X		
Vanadium, pentacarbonyl(.eta.3-2-propenyl)-				X					

Tabla 41. Compuestos relacionados con el experimento o ensayo de pirolisis realizado a distinta rampa de temperatura y distinta velocidad de calentamiento a la muestra2.

	R1	R2	R3	R4	R3LENTA
Rampa de T ^a	330-450 °C	450-500 °C	500-700 °C	700-900 °C	500-700
Velocidad de calentamiento	50 °C/min				20
Alcoholes	1,089	3,660	3.134	0	12,334
Aldehídos	0	0	0	0	3.233
Benceno y derivados (phenyl)	0	0	0	15.109	0
Plastificantes (phatalates)	14,34	0	0	0	0
Etano	0	0	0	0	0

*Los resultados están expresados en % en peso del total.

Tabla 42. Cantidades de compuestos relevantes agrupados por grupos funcionales de la muestra 2 variando las temperaturas de las rampas y dejando constante la velocidad de calentamiento.

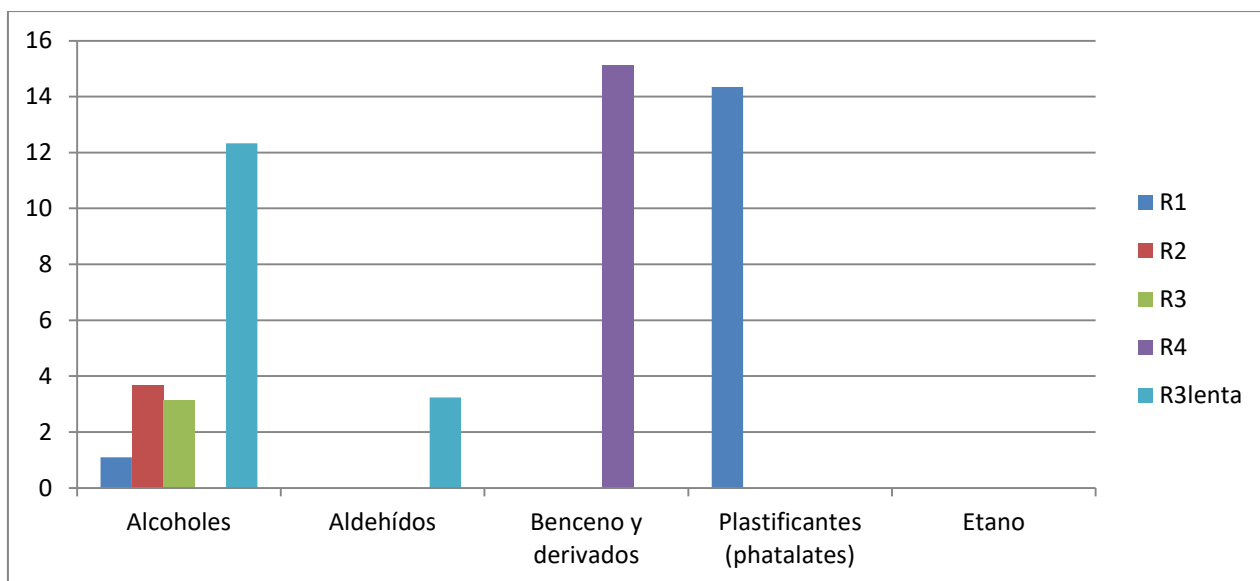


Figura 64. Diagrama de barras de los grupos funcionales obtenidos en la degradación de la muestra 2 variando la temperatura de las rampas y dejando constante la velocidad de calentamiento. (Elaboración propia)

	R5	R6	R7
Rampa de T ^a	300 - 500 °C		
Velocidad de calentamiento	20 °C/min	50 °C/min	Velocidad de calentamiento
Alcoholes	5,170	1,820	0.686
Aldehídos	1,911	0	0
Benceno y derivados	0	0	0
Plastificantes (phatalates)	0.202	0	0
Etano	0	0	0

	R8	R9
Rampa de T ^a	250 - 450 °C	
Velocidad de calentamiento	50 °C/min	100 °C/min
Alcoholes	4,440	0,461
Aldehídos	0.235	0
Benceno y derivados	0	0
Plastificantes (phatalates)	0	0
Etano	0	0

*Los resultados están expresados en % en peso del total.

Tabla 43. Cantidades de compuestos relevantes agrupados por grupos funcionales de la muestra 2 variando la velocidad de calentamiento de las rampas y dejando constantes las temperaturas de éstas.

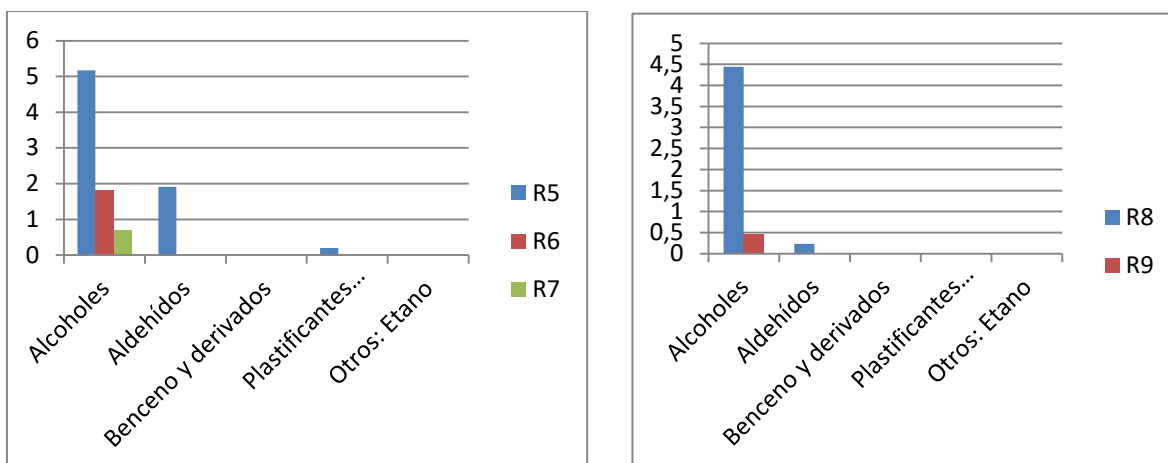


Figura 65. Diagrama de barras de los grupos funcionales obtenidos en la degradación de la muestra 2 variando la velocidad de calentamiento y dejando constante las temperaturas de las rampas. (Elaboración propia)

Observaciones:

- La mayoría de los componentes siguen siendo **hidrocarburos**.
- En la R3 LENTA Y R9 aparecen al principio de la pirolisis numerosos picos de compuestos **derivados del Nickel y el Rutenio** (Nickel tetracarbonyl y Tri-ruthenium dodecacarbonyl).
- Los plastificantes (phatalates) aparecen en un destacable 14,34 % en la temperatura de 330-450 °C a 50 °C/min, sin aparecer en ninguna de las otras pirolisis a excepción de en aproximadamente la misma temperatura, 300-500°C calentando de forma más lenta, a 20°C/min.
- La composición **de alcoholes** está presente prácticamente en todas las pirolisis disminuyendo a altas velocidades de calentamiento, incluso llegando a desaparecer a elevadas temperaturas de rampa de pirolisis (700-900 °C).
- La cantidad **de aldehidos** es muy pequeña
- Hemos hecho una pirolisis extra en la rampa de 500 a 700 °C disminuyendo su velocidad de calentamiento de 50°C/min a 20°C/min viendo un considerable aumento en su composición en alcoholes (de un 1.089% a un 12.324%) y como aparecen una cantidad de 3.233% de **aldehídos** que antes no había.

- Al degradar el plástico de esta muestra a altas temperaturas y velocidad media aparece un porcentaje notable **de Benceno y derivados** (15.109%), al igual que en la muestra anterior.
- En la pirolisis de esta muestra no aparece ninguna traza de **Etano**.

6.3. Muestra 3.

HIDROCARBUROS	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R4	R7	R8
1,11-Dodecadiene		X	X		-	-	-	-	-
1,12-Tridecadiene		X	X	X	-	-	-	-	-
1,13-Tetradecadiene		X	X		-	-	-	-	-
1,19-Eicosadiene		X	X	X	-	-	-	-	-
1,9-Decadiene			X		-	-	-	-	-
1-Decene		X	X		-	-	-	-	-
1-Docosene	X	X	X	X	-	-	-	-	-
1-Dodecene		X	X		-	-	-	-	-
1-Heptadecene		X	X		-	-	-	-	-
1-Heptene		X			-	-	-	-	-
1-Hexacosene	X	X	X	X	-	-	-	-	-
1H-Indene, 1-methylene-				X	-	-	-	-	-
1-Nonadecene	X		X	X	-	-	-	-	-
1-Nonene		X	X		-	-	-	-	-
1-Octene		X			-	-	-	-	-
1-Tetradecene	X	X	X		-	-	-	-	-
1-Tridecene		X	X		-	-	-	-	-
2-Butyl-1-decene		X			-	-	-	-	-
2-Methyl-n-1-tridecene		X			-	-	-	-	-
2-Tridecene, (Z)-			X		-	-	-	-	-
3-Eicosene, (E)-	X	X	X	X	-	-	-	-	-
3-Methylphenylacetylene				X	-	-	-	-	-
5-Eicosene, (E)-	X	X			-	-	-	-	-
5-Octadecene, (E)-	X	X	X	X	-	-	-	-	-
5-Tridecene, (E)-				X	-	-	-	-	-
Acenaphthylene				X	-	-	-	-	-
Cetene	X		X	X	-	-	-	-	-
Cyclopropane, 1-heptyl-2-methyl-		X	X		-	-	-	-	-
Decane		X	X		-	-	-	-	-
Dotriacontane	X				-	-	-	-	-
Eicosane	X	X	X	X	-	-	-	-	-
Ethylene				X	-	-	-	-	-
Hentriacontane	X	X	X	X	-	-	-	-	-
Heptadecane	X	X	X		-	-	-	-	-
Heptane, 2,4-dimethyl-		X			-	-	-	-	-
Hexacosane	X	X			-	-	-	-	-
Hexane, 2,4-dimethyl-		X			-	-	-	-	-

Hexane, 3-methyl-		X			-	-	-	-	-
Naphthalene				X	-	-	-	-	-
Naphthalene, 2-methyl-				X	-	-	-	-	-
Nonadecane	X	X			-	-	-	-	-
Octacosane	X	X			-	-	-	-	-
Pentadecane	X	X	X		-	-	-	-	-
Silane, trichlorodocosyl-			X		-	-	-	-	-
Styrene				X	-	-	-	-	-
Tetracosane	X	X	X		-	-	-	-	-
Tetradecane			X	X	-	-	-	-	-
Tridecane		X			-	-	-	-	-
Undecane		X			-	-	-	-	-

ALCOHOL	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R4	R7	R8
1,15-Pentadecanediol		X			-	-	-	-	-
11-Hexadecen-1-ol, (Z)-			X	X	-	-	-	-	-
18-Nonadecen-1-ol	X	X	X	X	-	-	-	-	-
1-Eicosanol	X				-	-	-	-	-
1-Octanol, 2-butyl-	X				-	-	-	-	-

ALDEHIDOS	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R4	R7	R8
13-Methyltetradecanal	X				-	-	-	-	-
2-Decenal, (Z)-	X				-	-	-	-	-
4-Pentenal, 2-methyl-		X			-	-	-	-	-
9-Octadecenal	X				-	-	-	-	-
9-Tetradecenal, (Z)-	X				-	-	-	-	-
Decanal	X				-	-	-	-	-
Dodecanal	X				-	-	-	-	-
Hexadecanal	X				-	-	-	-	-
Undecanal	X				-	-	-	-	-

PLASTIFICANTES	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R4	R7	R8
Bis(2-ethylhexyl) phthalate	X				-	-	-	-	-
Diethyl Phthalate	X	X			-	-	-	-	-

BENCENO	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R4	R7	R8
Benzene				X	-	-	-	-	-
Benzene, 1-propynyl-				X	-	-	-	-	-

OTROS COMPUESTOS	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R4	R7	R8
1,2-Benzenedicarboxylic acid, bis(2-methylpropyl) ester	X	X			-	-	-	-	-
2-Hexanamine, 4-methyl-				X	-	-	-	-	-
3,6-Octadecadiynoic acid, methyl ester		X			-	-	-	-	-
6-Azidotetrazolo(b)pyridazine				X	-	-	-	-	-

bis(Butenyl) adipate				X	-	-	-	-	-
Cyanoic acid, 2-methylpropyl ester		X			-	-	-	-	-
Cyclohexanamine, N-(benzoyloxy)-	X				-	-	-	-	-
Cyclopentanecarboxylic acid, 2-pentadecyl ester				X	-	-	-	-	-
Hexatriacontyl pentafluoropropionate		X		X	-	-	-	-	-
Manganese, acetylpentacarbonyl-, (OC-6-21)-		X			-	-	-	-	-
Nickel tetracarbonyl	X				-	-	-	-	-
Nitrogen				X	-	-	-	-	-
Octacosyl trifluoroacetate	X	X		X	-	-	-	-	-
Octatriacontyl pentafluoropropionate	X			X	-	-	-	-	-
Phthalic acid, 5-methylhex-2-yl heptadecyl ester	X				-	-	-	-	-
Phthalic acid, ethyl pentadecyl ester	X				-	-	-	-	-
Phthalic anhydride				X	-	-	-	-	-
Tetratriacontyl heptafluorobutyrate	X			X	-	-	-	-	-

Tabla 44. Compuestos relacionados con el experimento o ensayo de pirólisis realizado a distinta rampa de temperatura y distinta velocidad de calentamiento a la muestra 3.

	R1	R2	R3	R4
Rampa de T ^a	330-450 °C	450-500 °C	500-700 °C	700-900 °C
Velocidad de calentamiento	50 °C/min			
Alcoholes	1,006	1,923	2,129	0,541
Aldehídos	10,823	6,198	0,000	0,000
Benceno y derivados (phenyl)	0,000	0,000	0,000	14,025
Plastificantes (phatalates)	1,711	0,639	0,000	0,000
Etano	0,000	0,000	0,000	0,000

*Los resultados están expresados en % en peso del total.

Tabla 45. Cantidades de compuestos relevantes agrupados por grupos funcionales de la muestra 3 variando las temperaturas de las rampas y dejando constante la velocidad de calentamiento.

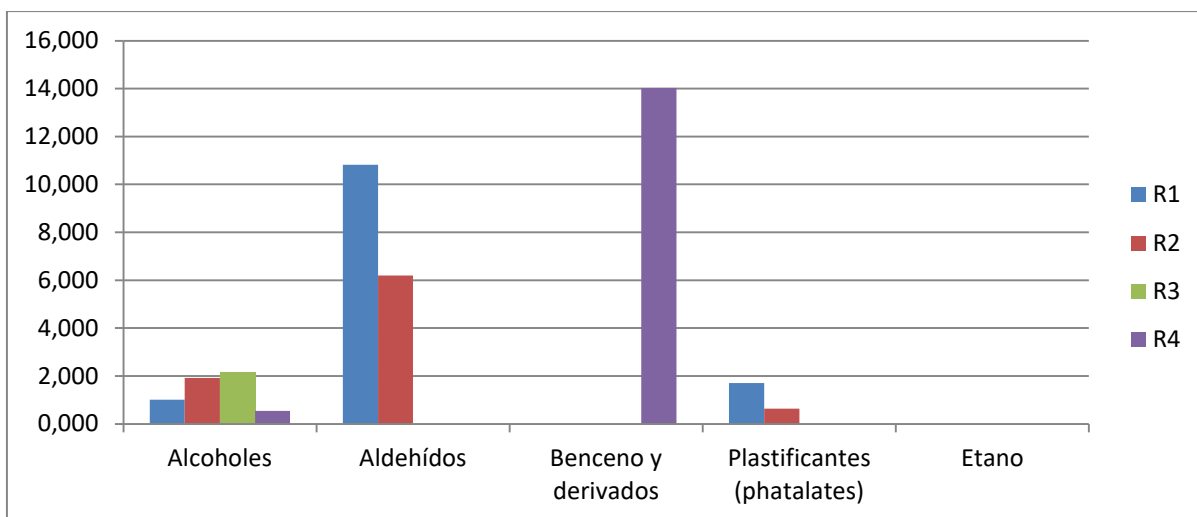


Figura 66. Diagrama de barras de los grupos funcionales obtenidos en la degradación de la muestra 3 variando la temperatura de las rampas y dejando constante la velocidad de calentamiento. (*Elaboración propia*)

Observaciones:

- Vuelve a aparecer una cantidad importante de **Benceno** y derivados cuando se somete la muestra a altas temperaturas 700-900 °C.
- La cantidad de **alcoholes** resultante es muy pequeña, aunque siempre presente.
- Los **aldehídos** aparecen en cantidades considerables en temperaturas inferiores a 500 °C, al igual que los **plastificantes** pero en menor cantidad.
- El **Etano** no se hace presente en la degradación de esta muestra.

6.4. Muestra 4.

HIDROCARBUROS	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9
1,3-Butadiene						X			
1,3-Dioxolane, 4,5-dimethyl-2-pentadecyl-	X								
1,4-Dioxane-2,5-dione, 3,6-dimethyl	X						X	X	X
1,4-Dioxane-2,5-dione, 3,6-dimethyl-, (3S-cis)-						X		X	X
1,6-Dioxacyclododecane-7,12-dione		X				X	X	X	X
17-Pentatriacontene						X			
1-Butene, 3-propoxy-									X
1-Docosene				X					
1-Hexacosene		X	X	X					
1-Nonadecene				X					
1-Tetracosene	X								
1-Tetradecene			X						

4-Heptafluorobutyryloxyhexadecane			X						
5-Octadecene, (E)-				X					
7-Heptadecene, 17-chloro-			X						
Adipate Dimethylolpropane								X	
Bicyclo[1.1.0]butane			X						
Cetene	X			X					
cis-2-Methyl-7-octadecene		X							
Cyclobutene			X						
Cycloheptane, bromo-						X			
Eicosane				X					
Ethane		X							
Ethyne, fluoro-				X					
Hentriacontane		X							
Heptadecane									X
Methylenecyclopropane		X	X						
Naphthalene				X					
Nonadecane		X							
Oxirane, ethyl-								X	
Propene				X					
Tetracosane				X					
Tetrapentacontane, 1,54-dibromo-			X						
Tritetracontane		X				X			

ALCOHOLES	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9
2-Heptanol								X	
2-Nonanol								X	
2-Nonen-1-ol						X		X	
2-Tridecanol									X
3-Buten-1-ol							X		
Butanediol adipate									X
Butenyl Butanediol Adipate	X					X	X	X	X
18-Nonadecen-1-ol				X					
Cyclopropyl carbinol	X	X	X						
Furaneol	X						X	X	
Octacosanol	X								
Pentaethylene glycol	X								
Triethylene glycol	X							X	X
Z,E-2,13-Octadecadien-1-ol	.		X						

ALDEHIDOS	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9
11-Hexadecynal						X			
2-Decenal, (E)-	X					X		X	X
2-Undecenal						X			
5-Hydroxymethylfurfural	X					X			X
Nonanal	.	X	X				X	X	X

PLASTIFICANTES	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9
Diethyl Phthalate	.	X							

BENCENO	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9
1-Butanone, 1-phenyl-			X						
2-Phenyl-4-ethylidene-2-oxazolin-5-one		X							X
2,2'-Bi-1,3-dioxolane, 2-phenyl-									X
Benzene				X					
Biphenyl				X					
Ethanedione, diphenyl-							X		

OTROS COMPUESTOS	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9
(S)-(+)-1-Cyclohexylethylamine				X					
.beta.-1,5-Dibenzoyl-2-deoxy-ribofuranose						X	X		
1-(1'-Pyrrolidiny)-2-propanone						X			
1,2-Benzenedicarboxylic acid				X					
1,2-Cyclopentanedione, 3-methyl-		X							
1,4:3,6-Dianhydro-.alpha.-d-glucopyranose	X					X	X	X	X
1,6-Dioxacyclododecane-7,12-dione	X								
1-Butyne			X						
2-((But-3-enyloxy)carbonyl)benzoic acid		X				X		X	X
2,7-Oxepanedione	X								
2-Butyne							X		
2-Cyclohexen-1-one, 3-methyl-									X
2-Heptynoic acid			X						
2H-Pyran, 3,4-dihydro-		X							
2-Oxepanone, 7-methyl-							X		
2-Propen-1-one, 1-(2,2-dimethylcyclopropyl)-						X			
2-Propenoic acid, 2,2,3,3,4,4,5,5,6,6,7,7,8,8,8-pentadecafluorooctyl ester							X		
3a,7a-Epoxy-1H-inden-1-one, hexahydro-						X		X	
3-Butenyl adipate	X	X				X	X	X	
4-(2-Acetoxyphenyl)-1-ethyl-3-methyl-5-(4-nitrophenyl)pyrazole				X					
4-Hydroxybutyl acrylate									X
4-Oxatricyclo[4.3.1.1(3,8)]undecan-5-one	X								
4-Pentenoic acid						X			
5-Hidroxymethylfurfural							X		
6-Azidotetrazolo(b)pyridazine				X					
8-Nonenoic acid		X							
9-Hexadecenoic acid			X						
Acetic acid, 2-(methylaminoethyl) ester					X				
Azodicarbonamide						X			
Benzeneacetic acid, .alpha.-oxo-, methyl ester	X					X			
Benzoic acid	X	X	X			X	X		
Benzoic acid, 2-methylpropyl ester		X					X		
Benzoic acid, 4-methyl-						X			
Benzoic acid, 4-methyl-, propyl ester						X			
Benzoic acid, pentyl ester									
Benzoic acid, silver(1+) salt		X							
bis(Butenyl) adipate	X	X				X	X	X	X

But-3-en-1-yl 2-methylbutanoate								X	
Butanoic acid	X								
Butyl benzoate	X					X	X	X	
Carbon dioxide				X					
Carbonic acid, eicosyl vinyl ester						X			
Cyclohexanamine, N-(benzoyloxy)-							X		X
Cyclopentaneundecanoic acid			X			X			
Cyclopentanone	X	X	X				X	X	
Cyclopropyl carbinol						X			
dl-3-Aminoisobutyric acid, N-methyl-, methyl ester				X					
dl-Alanine				X					
Heptanediamide, N,N'-di-benzoyloxy-		X					X		X
Hexanedioic acid	X	X							
Hexanoic acid		X							
Hydroxyurea				X					
Isophthalic acid, butyl 2,4,6-trichlorophenyl ester						X	X		
Levogluosenone	X								
N,N,O-Triacetylhydroxylamine				X					
n-Hexylmethylamine				X					
Nickel tetracarbonyl	X			X	X		X		
Nitrogen									
Nonanoic acid	X	X				X			
Octacosyl trifluoroacetate	X	X		X					
Octatriacontyl pentafluoropropionate		X		X					
Octatriacontyl trifluoroacetate				X					
Oleic Acid	X		X			X	X	X	X
Pentanoic acid	X	X	X				X		
Pentanoic acid, 10-undecenyl ester			X						
Pentanoic acid, 3-butenyl ester	X	X				X	X		X
Phthalic acid, 8-bromoctyl isobutyl ester		X							
R-(-)-Cyclohexylethylamine							X		
Sebacic acid, di(but-3-enyl) ester	X					X	X	X	X
Succinic acid, di(but-3-en-1-yl) ester	X							X	X
Succinic anhydride		X					X	X	
Terephthalic acid, di(but-3-enyl) ester	X	X				X	X	X	X
Tetrahydrofuran	X	X					X	X	
Tetratriacontyl heptafluorobutyrate		X	X						
Tiglic acid			X						
Uramil-N,N-diacetic acid	X								
Vinyl caprylate						X			

Tabla 46. Compuestos relacionados con el experimento o ensayo de pirolisis realizado a distinta rampa de temperatura y distinta velocidad de calentamiento de la muestra4.

	R1	R2	R3	R4
Rampa de T ^a	330-450 °C	450-500 °C	500-700 °C	700-900 °C
Velocidad de calentamiento	50 °C/min			
Alcoholes	40,711	14,590	15,263	0,183
Aldehídos	0,767	0,060	0,000	0,000
Benceno y derivados (phenyl)	0,000	0,304	0,000	5,349
Plastificantes (phatalates)	0,247	0,000	0,000	0,000
Etano	0,000	4,120	0,000	0,000

*Los resultados están expresados en % en peso del total.

Tabla 47. Cantidades de compuestos relevantes agrupados por grupos funcionales de la muestra 4 variando las temperaturas de las rampas y dejando constante la velocidad de calentamiento.

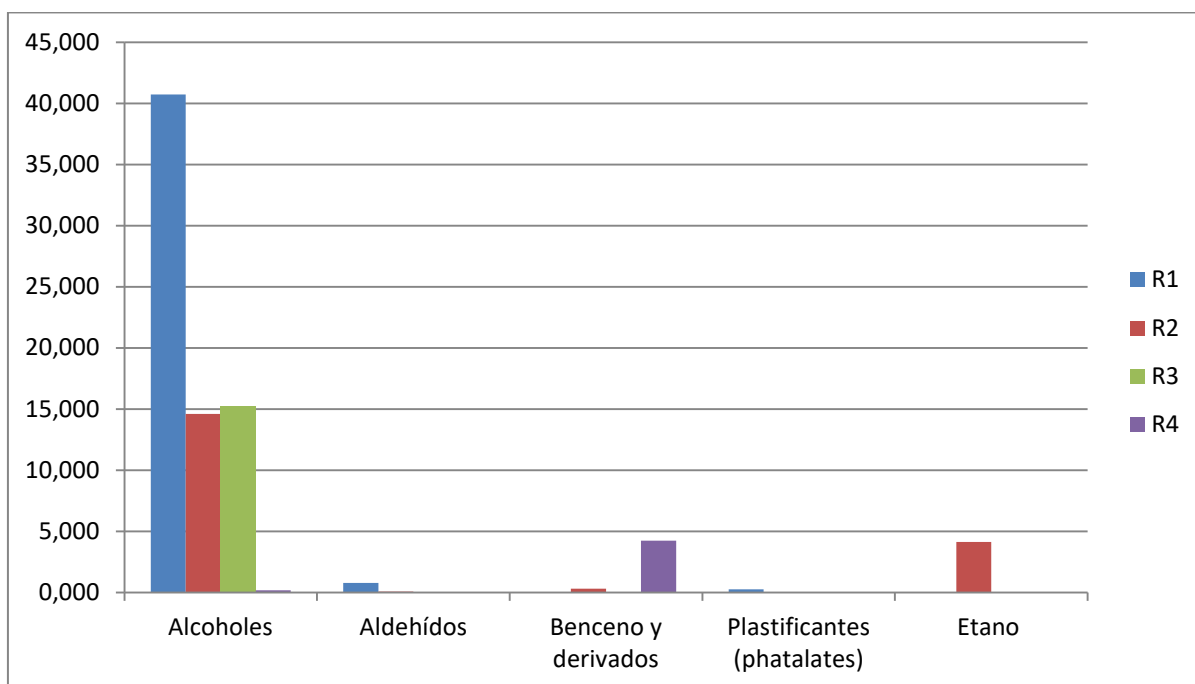


Figura 67. Diagrama de barras de los grupos funcionales obtenidos en la degradación de la muestra 4 variando la temperatura de las rampas y dejando constante la velocidad de calentamiento. (Elaboración propia)

	R5	R6	R7
Rampa de T ^a	300 - 500 °C		
Velocidad de calentamiento	20 °C/min	50 °C/min	Velocidad de calentamiento
Alcoholes	0,000	1,805	4,817
Aldehídos	0,000	3,930	0,302
Benceno y derivados (phenyl)	0,000	0,000	0,963
Plastificantes (phatalates)	0,000	0,000	0,000
Etano	0,000	0,000	0,000

	R8	R9
Rampa de T ^a	250 - 450 °C	
Velocidad de calentamiento	50 °C/min	100 °C/min
Alcoholes	2,918	3,277
Aldehídos	0,488	1,441
Benceno y derivados (phenyl)	0,000	3.121
Plastificantes (phatalates)	0,000	0,000
Etano	0,000	0,000

*Los resultados están expresados en % en peso del total.

Tabla 48. Cantidades de compuestos relevantes agrupados por grupos funcionales de la muestra 4 variando la velocidad de calentamiento de las rampas y dejando constantes las temperaturas de éstas.

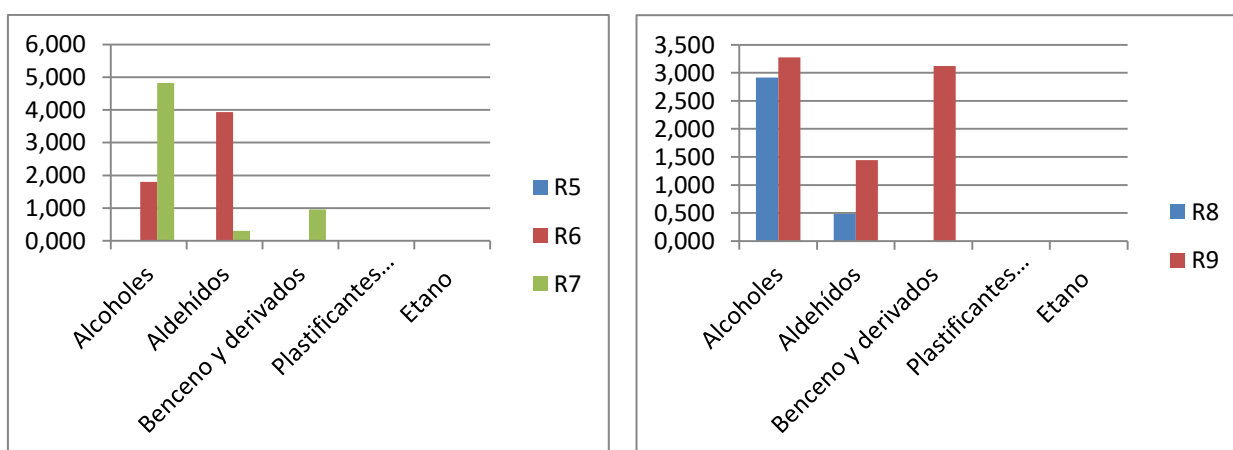


Figura 68. Diagrama de barras de los grupos funcionales obtenidos en la degradación de la muestra 4 variando la velocidad de calentamiento y dejando constante las temperaturas de las rampas. (Elaboración propia)

Observaciones:

- Aparece de nuevo **Etano** al calentar la muestra alrededor de los 500°C a una velocidad de 50°C/min.
- La presencia de **alcoholes** está en todos los análisis, destacando un porcentaje elevado de un 40% en la primera rampa de temperaturas inferiores alrededor de los 500°C, disminuyendo cuanto mayor es la temperatura.

- Los **aldehídos** han sido prácticamente nulos, exceptuando un 4% en la rampa 6 y un 1.5% en la rampa 9, en las dos alrededor de los 450°C a velocidades distintas de calentamiento.

6.5. Muestra 5.

HIDROCARBUROS	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9
1,10-Undecadiene		X			-	-	-	-	-
1,12-Tridecadiene		X	X		-	-	-	-	-
1,19-Eicosadiene				X	-	-	-	-	-
1,6-Dioxacyclododecane-7,12-dione	X				-	-	-	-	-
1-Decene		X			-	-	-	-	-
1-Docosene		X	X		-	-	-	-	-
1-Dodecene	X	X			-	-	-	-	-
1-Heptadecene			X		-	-	-	-	-
1-Hexacosene	X			X	-	-	-	-	-
1H-Indene, 1-methylene-		X		X	-	-	-	-	-
1-Nonadecene	X	X	X	X	-	-	-	-	-
1-Octene		X			-	-	-	-	-
1-Pentadecene, 2-methyl-	X				-	-	-	-	-
1-Tetracosene	X				-	-	-	-	-
1-Tetradecene		X			-	-	-	-	-
1-Tridecene	X	X			-	-	-	-	-
1-Undecene					-	-	-	-	-
2-Butene				X	-	-	-	-	-
2-Butyl-1-decene	X	X			-	-	-	-	-
2-Methyl-1-tetradecene		X			-	-	-	-	-
2-Methyl-n-1-tridecene		X			-	-	-	-	-
2-Tridecene, (Z)-		X			-	-	-	-	-
3-Eicosene, (E)-		X	X		-	-	-	-	-
3-Tetradecene, (Z)-			X		-	-	-	-	-
5-Eicosene, (E)-		X			-	-	-	-	-
5-Octadecene, (E)-			X	X	-	-	-	-	-
5-Undecene, 2-methyl-, (Z)-		X			-	-	-	-	-
7-Hexadecene, (Z)-	X				-	-	-	-	-
9-Eicosene, (E)-	X				-	-	-	-	-
Azulene				X	-	-	-	-	-
Bicyclo[4.2.0]octa-1,3,5-triene				X	-	-	-	-	-
Cetene	X	X	X	X	-	-	-	-	-
Cyclobutane			X		-	-	-	-	-
Cyclododecane		X			-	-	-	-	-
Cyclopropane				X	-	-	-	-	-
Cyclopropane, 1-heptyl-2-methyl-		X			-	-	-	-	-
Decane		X			-	-	-	-	-
Decane, 5-methyl-6-methylene-		X			-	-	-	-	-
Dodecane			X		-	-	-	-	-
Eicosane	X	X	X	X	-	-	-	-	-
Ethane				X	-	-	-	-	-
Ethylene				X	-	-	-	-	-

Hentriacontane		X		X	-	-	-	-	-
Heptacosane		X			-	-	-	-	-
Heptadecane	X	X			-	-	-	-	-
Indane				X	-	-	-	-	-
Methylenecyclopropane				X	-	-	-	-	-
Naphthalene, 1-methyl-				X	-	-	-	-	-
Nonadecane			X		-	-	-	-	-
Nonane, 5-methylene-		X			-	-	-	-	-
Octacosane	X		X		-	-	-	-	-
Oxirane, dodecyl-			X		-	-	-	-	-
Pentadecane	X	X	X		-	-	-	-	-
Tetracosane			X		-	-	-	-	-
Tetradecane	X				-	-	-	-	-
Tetratetracontane	X			X	-	-	-	-	-
Tridecane	X	X			-	-	-	-	-
Tritetracontane	X			X	-	-	-	-	-
Z-1,9-Hexadecadiene		X			-	-	-	-	-

ALCOHOLES	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9
1,14-Tetradecanediol			X		-	-	-	-	-
1,15-Pentadecanediol				X	-	-	-	-	-
18-Nonadecen-1-ol				X	-	-	-	-	-
1-Eicosanol	X				-	-	-	-	-
1-Isoquinolinemethanol, .alpha.-ethyl-1,2,3,4-tetrahydro-, (R*,S*)-(.-.-.)-	X				-	-	-	-	-
1-Octyn-3-ol			X		-	-	-	-	-
2,6-Nonadien-1-ol			X		-	-	-	-	-
Butenyl Butanediol Adipate	X				-	-	-	-	-
Octacosanol	X				-	-	-	-	-

ALDEHIDOS	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R4	R7	R8
4-Pentenal, 2-methyl-		X	X		-	-	-	-	-

PLASTIFICANTES	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R4	R7	R8
Diethyl Phthalate				X	-	-	-	-	-

BENCENOS	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R4	R7	R8
Benzene, 1-ethynyl-4-methyl-				X	-	-	-	-	-
2,6-Dimethylphenyl isocyanate	X				-	-	-	-	-

OTROS COMPUESTOS	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9
.beta.-D-Glucopyranose, 1,6-anhydro-	X				-	-	-	-	-
1,2-Benzenedicarboxylic acid, bis(2-methylpropyl) ester		X		X	-	-	-	-	-
1,2-Benzenedicarboxylic acid, butyl cyclohexyl ester	X				-	-	-	-	-

2-((But-3-enyloxy)carbonyl)benzoic acid	X				-	-	-	-	-
3-Butenyl adipate	X	X			-	-	-	-	-
6-Azidotetrazolo(b)pyridazine				X	-	-	-	-	-
bis(Butenyl) adipate	X	X		X	-	-	-	-	-
Butyl benzoate	X				-	-	-	-	-
Carbon monoxide				X	-	-	-	-	-
Heptanediamide, N,N'-di-benzoyloxy-	X				-	-	-	-	-
Hexatriacontyl pentafluoropropionate	X				-	-	-	-	-
Methanone, (4-bromo-5-methyl-2-nitro-3-thienyl)(phenyl)-	X				-	-	-	-	-
Nitrogen	X				-	-	-	-	-
Octacosyl trifluoroacetate		X		X	-	-	-	-	-
Phthalic acid, butyl undecyl ester	X			X	-	-	-	-	-
Succinic anhydride	X				-	-	-	-	-
Terephthalic acid, di(but-3-enyl) ester	X	X			-	-	-	-	-
Tetratriacontyl heptafluorobutyrate	X				-	-	-	-	-

Tabla 49. Compuestos relacionados con el experimento o ensayo de pirólisis realizado a distinta rampa de temperatura y distinta velocidad de calentamiento de la muestra 5.

	R1	R2	R3	R4
Rampa de T ^a	330-450 °C	450-500 °C	500-700 °C	700-900 °C
Velocidad de calentamiento	50 °C/min			
Alcoholes	2,859	0,000	1,625	0,588
Aldehídos	0,000	2,565	0,842	0,000
Benceno y derivados (phenyl)	5,288	0,000	0,000	0,198
Plastificantes (phatalates)	0,000	0,000	0,000	0,086
Etano	0,000	0,000	0,000	1,460

*Los resultados están expresados en % en peso del total.

Tabla 50. Cantidades de compuestos relevantes agrupados por grupos funcionales de la muestra 5 variando las temperaturas de las rampas y dejando constante la velocidad de calentamiento.

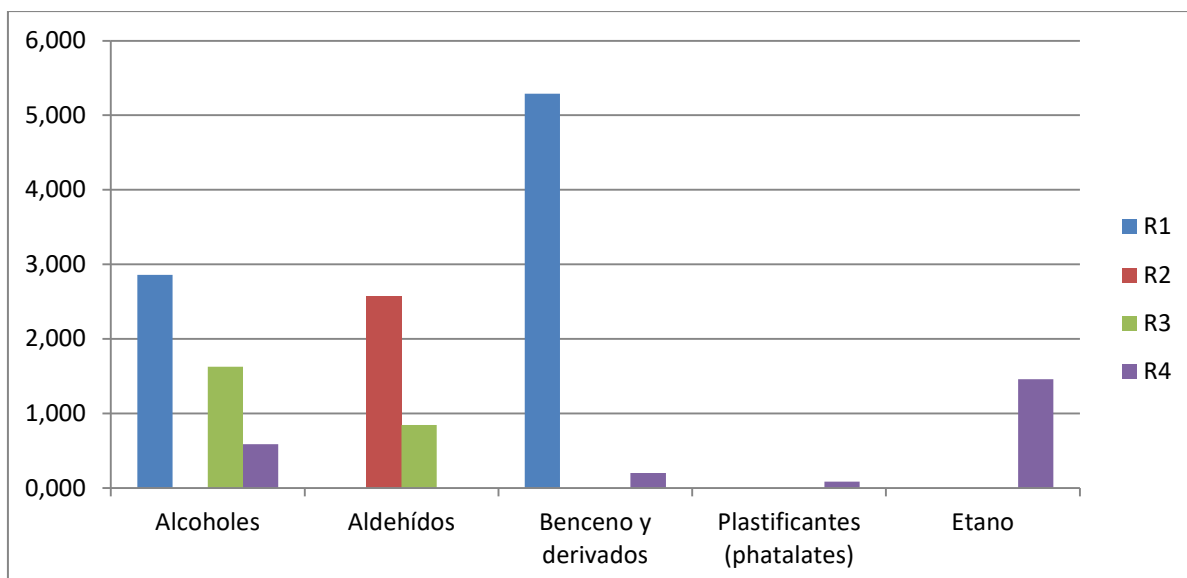


Figura 69. Diagrama de barras de los grupos funcionales obtenidos en la degradación de la muestra 5 variando la temperatura de las rampas y dejando constante la velocidad de calentamiento. (Elaboración propia)

Observaciones:

- Aparece el **Etano** al principio de la rampa 4, de nuevo a temperaturas elevadas y a una velocidad de calentamiento media de 50°C/min, al igual que el **benceno**, aunque éste a menor cantidad.
- Predominan **los alcoholes** a bajas temperaturas, disminuyendo su cantidad conforme aumenta la temperatura de la pirolisis.
- En esta muestra surge una cantidad destacable de **aldehídos** alrededor de los 500°C, disminuyendo conforme aumenta la temperatura de degradación.

7. CONCLUSIONES.

De los resultados presentados previamente referentes a la pirolisis de LDPE se puede deducir las siguientes conclusiones:

- Mediante la cromatografía acoplada al detector de masas se obtuvo la composición de la fracción líquida tras las pirolisis de las muestras de LDPE. En ella se encontraron, entre otros, alcanos, alquenos y alcoholes; igualmente presentes en combustibles como la gasolina y el diésel. Sin embargo, los principales productos obtenidos son los hidrocarburos pesados que no se pueden utilizar directamente y deben convertirse en hidrocarburos más ligeros de cadenas más cortas. Por lo que se puede determinar que en las condiciones del trabajo, *no se obtienen efluentes líquidos con potencial de retroalimentación del proceso.*
- La obtención de etano como hidrocarburo de cadena corta mediante pirolisis de LDPE es favorecida cuando se lleva a cabo mediante un calentamiento de velocidad media, sobre unos 50°C/min y en las rampas cuya temperatura se aproxima a los 500°C. A pesar de ello las cantidades siguen siendo muy pequeñas.
- A altas temperaturas, generalmente superiores a 700°C, se empiezan a obtener cantidades considerables de compuestos derivados del benceno (incluso el propio benceno).
- Las 5 muestras de LDPE analizadas presentan parecidos resultados tras sus pirolisis. Quizás la muestra 4, al tratarse de LDPE procedente de una bolsa ya usada presenta alguna variación en el aumento de la presencia de alcoholes.
- En la pirolisis de LDPE, la velocidad de calentamiento en la degradación por pirolisis muestra una influencia poco significativa sobre el rendimiento de los productos líquidos generados en las condiciones usadas.
- En el futuro se podrían realizar más trabajos en el futuro para comprender y desarrollar aún más este estudio. Se proponen a tener en cuenta las siguientes indicaciones:
 - Realizar un diseño experimental más amplio, modificando el rango de las variables y evaluando el uso de pirolisis rápida y pirolisis flash para el Polietileno u otros tipos.
 - En el presente trabajo no se ha trabajado con la presión a la hora de realizar las pirolisis. El realizar de nuevo estos análisis modificando la presión de trabajo

podría cambiar la composición de la fracción líquida favorablemente a los compuestos buscados.

- Añadir y analizar la influencia de distintos catalizadores en el proceso y compararla con la pirolisis térmica estudiada para producir productos específicos.
- El diseño del reactor también es importante para encontrar una forma eficiente de calentar y pirolizar las materias primas. Probar con otros reactores para realizar la pirolisis podría variar los resultados.
- Un parámetro del proceso que afecta la extensión del agrietamiento de las cadenas de hidrocarburos pesadas o largas puede ser el tiempo de residencia del vapor en la zona de calentamiento. Cuanto más largo sea el tiempo de residencia del vapor, más ligeros o cortos serán los productos de hidrocarburo. Podrían repetirse estos análisis variando, aumentando, este tiempo.
- Se propone probar con un proceso de pirólisis por etapas con una temperatura del primer paso de 300-350 °C y una temperatura del segundo paso de 500 °C, optimizando tal proceso e investigando las propiedades del producto y su mejora.
- Evaluar el rendimiento del producto líquido realizando combinaciones entre ambos tipos de Polietileno, tanto HDPE como LDPE variando la duración del proceso.

8. BIBLIOGRAFÍA.

- ACTECO productos y servicios, S.L. La Reutilización de Plásticos, clave en el desarrollo de la Economía Circular. En: Acteco [en línea]. Disponible en: <https://www.acteco.es/la-reutilizacion-de-plasticos-clave-en-el-desarrollo-de-la-economia-circular/> . Marzo, 2019.
- Aguado J., Serrano De. “Feedstock recycling of plastic wastes” The Royal Society of Chemistry, Cambridge (1999).
- Alonso Morales, María Noelia. OBTENCIÓN DE SÓLIDOS CARBONOSOS MEDIANTE PIRÓLISIS DE POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD. Tesis doctoral. Madrid: Universidad Autónoma de Madrid. 2008.
- ALONSO, José Aguado, et al. El papel de la química en la valorización de los residuos plásticos. En *Anales de la Real Sociedad Española de Química*. Real Sociedad Española de Química, 2011. p. 76-83.
- Andrady A.L. “Plastics and the environment” Wiley-Interscience, Hoboken, New Jersey (2003).
- Arandes J.M., Bilbao J., López Valerio D. “Reciclado de residuos plásticos” Revista Iberoamericana de Polímeros 5(1), 28-45 (2004).
- Arnapla y Cicloplast. (2017). “Cifras y datos clave de los plásticos y su reciclado en España” Disponible en: http://www.cicloplast.com/ftp/cifras_datos_clave_plasticos_y_su_reciclado_en_espana.pdf
- Berrueco C., Mastral F.J., Esperanza E., Ceamanos J. “Production of waxes and tras from the continuous pyrolysis of high density polyethylene. Influence of operation variables” Energy and fuels 16, 1148-1153 (2002).
- Centre for Industry Education Collaboration (CIEC). Polymers: Polyethylene. En: The Essential Chemical Industry [en línea]. Disponible en: <http://www.essentialchemicalindustry.org/polymers/polyehene.html.2017>.
- CESCE (2016). Informe sectorial de la economía española. Sector químico (CESCE, eds.) 56 p.
- Cicloplast, Anarpla (2017). Cifras y datos clave de los plásticos y su reciclado en España. Datos de 2017. Informe anual. 17 p.

- Conesa Ferrer, Juan Antonio. Estudio de la pirólisis de residuos plásticos de polietileno y neumáticos usados. Tesis doctoral. Alicante: Universidad de Alicante. 1996.
- Cozzani V., Nicoletta C., Rovatti M., Tognotti L. “Influence of gas-phase reactions on the product yields obtained in the pyrolysis of polyethylene” Industrial and Engineering Chemistry Research 36, 342-348 (1997).
- Ecoembes. (2020). “Ecoembes y el reciclaje del futuro.” Disponible en: <https://www.ecoembes.com/es/ciudadanos/sobre-nosotros/proyectosdestacados/reciclos>
- Freinkel, Susan. Plásticos, un idilio tóxico. San Francisco. Tusquets editores, S.A. 2011.
- García Lorente, José. La historia de los plásticos. En: EsPlásticos [en línea]. Disponible en: <https://esplasticos.es/2020/11/13/la-historia-de-los-plasticos/>. 2020.
- Geyer, R., Jambeck, J. R. y Law, K. L. (2020). «Production, use, and fate of all plastics ever made». Science Advances, 3(7), pp. 25-29
- Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2017), Production, use, and fate of all plastics ever made, {Producción}, uso y destino de todos los plásticos fabricados. Science Advances, 3(7), e1700782. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782>
- Greenpeace (2017). La problemática de los plásticos en Europa. Informe anual. 8 p.
- Grid-Arendal. Plastic on the Peak. En: Grid-Arendal [en línea]. Disponible en: <https://news.grida.no/plastic-on-the-peak>. 2021.
- Hermida, E. (2011). Polímeros. En J. M. Kirschenbaum (Ed.), Colección Materiales y Materias primas, 5-70. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, República Argentina.
- Hernández Férez, María del Remedio. Evaluación de la pirolisis térmica y catalítica de polietileno en lecho fluidizado como técnica de reciclado. Influencia de las variables sobre los productos generados. Tesis doctoral. Alicante: Universidad de Alicante. 2007.
- Hernández, M.R., García A.N., Gómez A., Agulló J., Marcilla A. “Effect of residence time on volatile products obtained in the HDPE pyrolysis in the presence and absence of HZSM-5” Industrial and Engineering Chemistry Research 45, 8770- 8778 (2006).
- León Romero, Diana. Jiménez Rodríguez, Paula Andrea. Evaluación de la obtención de hidrocarburos mediante pirolisis a partir de residuos de HDPE y LDPE. Tesis doctoral. Bogotá: Fundación Universidad de América Facultad de ingenierías. 2018.
- Méndez Prieto, M.C. Adrián. Reciclado químico: una alternativa de valor dentro de la economía circular de los plásticos. En: Plastics Technology Mexico [en línea].

Disponible en: <https://www.pt-mexico.com/articulos/reciclado-quimico-una-alternativa-de-valor-dentro-de-la-economia-circular-de-los-plasticos>. Agosto, 2020.

- Miller, J.V. et al. Evaluation of three pyrolyzer technologies for quantitative pyrolysis-gas chromatography-mass spectrometry (Py-GC-MS) of tire tread polymer in an artificial sediment matrix. Science direct. Environmental Advances 8 (2022) 100213.
- Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (MARM) (2010). Capítulo II. Actividades sectoriales del MARM durante 2009. D) Gestión de residuos. En MARM: El medio ambiente y el medio rural y marino en España 2009. Editorial Centro de Publicaciones Secretaría General Técnica del Ministerio de Medio Ambiente, 338-428.
- Nogueras, Bulmaro. Reactores químicos. En: IQR [en línea]. Disponible en: <https://www.ingenieriaquimicareviews.com/search/label/reactores%20qu%C3%ADMICOS?&max-results=6>. 2020.
- Oviedo Rodríguez, José Alejandro. Dimensionamiento de una planta piloto de destilación para una mezcla de hidrocarburos proveniente de la pirolisis de plásticos, realizada por la compañía Balanced Energy. Proyecto de Graduación. San José: Universidad de Costa Rica. 2018.
- Parker Laura. 2018. “El Plástico”. National Geographic
- Parker, L. (2017). “El 91 % del plástico que fabricamos no se recicla”. National Geographic, 9 de noviembre. Disponible en: <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/2017/07/el-91-por-cientodel-plastico-que-fabricamos-no-se-recicla>
- PlasticsEurope. Plastics – The facts 2018. An analysis of European plastics production, demand and waste data. Disponible en: <http://www.plasticseurope.org/information-centre/publications.aspx>. 2018.
- Poustma M.L. “Reexamination of the pyrolysis of polyethylene: data needs, free radical mechanistic considerations, and thermochemical kinetic simulation of initial product-forming pathways” Macromolecules 36, 8931-8957 (2003).
- Red de desarrollo sostenible. Producción y consumo mundial de plásticos. En: rds.org.co [en línea]. Disponible en: <https://rds.org.co/es/novedades/produccion-y-consumo-mundial-de-plasticos>. Marzo, 2022.
- Reutilización de residuos plásticos. En: Atria Innovation. [en línea]. Disponible en: <https://www.atriainnovation.com/reutilizacion-de-residuos-plasticos/>. Abril, 2022.

- Serna Morales, Yeraldin. Guateque, Jhon. Ávila Torres, Patricia. Recuperación de Hidrocarburos a partir de residuos de polietileno de baja densidad. *Informador Técnico (Colombia)* 80(2) Julio - Diciembre 2016: 121-127.
- Sophonrat, Nanta. Pyrolysis of mixed plastics and paper to produce fuels and other chemicals. Tesis doctoral. KTH Royal Institute of Technology. Estocolmo. 2019.
- Soto Medina, José Manuel. Reciclado Mecánico del material plástico procedente de la fracción resto de las plantas de tratamiento de residuos sólidos urbanos. Tesis doctoral. Granada: Universidad de Granada. 2021.
- Statista, 2021. Producción de plástico a nivel mundial de 1950 a 2019.
- Tecnología de los plásticos. PET. En: Blog dedicado a los materiales plásticos, características, usos, fabricación, procesos de transformación y reciclado. Disponible en: <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/05/pet.html> . 2012.
- UNEP (2009). Converting waste plastics into a resource. Osaka, Japón: United Nations Environment Programme.