

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y
AGROINDUSTRIA**

**DISEÑO DEL PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DE ESPUMA
FLORAL UTILIZANDO RESINA FENÓLICA TIPO RESOL Y
POLICARBONATO RECICLADO**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
QUÍMICO**

CRISTIAN SAÚL HERRERA ARCOS
saulha_ra@hotmail.com

DIRECTOR: ING. FRANCISCO JAVIER QUIROZ CHÁVEZ
francisco.quiroz@epn.edu.ec

Quito, abril del 2016

© Escuela Politécnica Nacional (2016)
Reservados todos los derechos de reproducción

DECLARACIÓN

Yo, Cristian Saúl Herrera Arcos, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado todas las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

Cristian Saúl Herrera Arcos

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por el Sr. Cristian Saúl Herrera Arcos, bajo mi supervisión.

Ing. Francisco Quiroz
DIRECTOR DE PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

A Dios, que me ha puesto pruebas día a día, le agradezco porque a pesar de esto cada segundo de mi vida he aprendido a valorar a las personas que están a mi lado y las que siempre formarán parte de mi vida.

Gracias a mi familia: a mi madre, mi padre, mis hermanos y hermanas, que siempre han estado apoyándome de muchas maneras sobre todo con sus sabios consejos.

A mis pilaguarkuingos, nuevos y viejos amigos que siempre llevaré en mi corazón, gracias por cada minuto compartido, por ayudarme, por hacerme reír, por pasar los mejores momentos en la poli y fuera de ella, por todas esas chumas inolvidables, los quiero.

Al Ingeniero Francisco Quiroz por confiar en mi capacidad de realizar las cosas, por su ayuda incondicional en la elaboración de este proyecto y sobre todo por su amistad.

Al Ingeniero Miguel Aldás por su ayuda técnica, consejos y amistad.

Al Ivancito y a Liz por sus consejos técnicos y por su gran amistad que me han brindado.

DEDICATORIA

Le dedico a toda mi familia que no permitieron que dejara mis sueños atrás, pero sobre todo a mi madre hermosa que me apoyo siempre y que desde el cielo siempre lo seguirá haciendo.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	PÁGINA
RESUMEN	xxi
INTRODUCCIÓN	xxiii
1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	1
1.1 Propiedades del policarbonato y aplicaciones	1
1.1.1 Generalidades	1
1.1.2 Estructura y morfología del PC	2
1.1.3 Obtención del policarbonato	3
1.1.4 Propiedades del policarbonato	5
1.1.4.1 Propiedades eléctricas	5
1.1.4.2 Propiedades mecánicas	5
1.1.4.3 Propiedades físicas	6
1.1.4.4 Propiedades térmicas	7
1.1.4.5 Propiedades químicas	7
1.1.5 Aplicaciones del policarbonato	8
1.1.6 Reciclaje de policarbonato	9
1.2 Resinas fenólicas	10
1.2.1 Generalidades	10
1.2.2 Resina fenólica tipo novalaca	12
1.2.3 Resina fenólica tipo resol	14
1.2.4 Métodos de análisis de las resinas fenólicas	17
1.2.4.1 Espectroscopía infrarroja (FTIR)	17
1.2.4.2 Calorimetría diferencial de barrido (DSC)	19
1.2.5 Proceso de obtención de la resina fenólica	20
1.2.6 Espumas fenólicas	21
1.2.6.1 Proceso de espumado	23
1.2.6.2 Materias primas del proceso de espumado	26
2. PARTE EXPERIMENTAL	31
2.1 Evaluación del efecto de la incorporación de policarbonato reciclado en la síntesis de la resina fenólica	31
2.1.1 Preparación de los bidones de pc para su disolución en fenol y posterior síntesis de la resina fenólica	31
2.1.2 Caracterización de la materia prima	31
2.1.2.1 Análisis por espectroscopia infrarroja	32
2.1.2.2 Calorimetría diferencial de barrido (DSC)	32
2.1.3 Influencia del tamaño y cantidad de policarbonato para la disolución y síntesis	33

2.1.3.1	Influencia del tamaño de PC para la disolución	33
2.1.3.2	Influencia de la cantidad de PC para la síntesis	33
2.1.4	Análisis del producto de la disolución de los bidones de policarbonato en fenol por espectroscopía infrarroja (FTIR)	34
2.1.5	Síntesis de la resina fenólica	34
2.1.5.1	Obtención de la resina fenólica sintetizada con policarbonato	34
2.1.5.2	Evaluación de la resina fenólica sintetizada con policarbonato	37
2.1.5.3	Obtención de la resina fenólica sintetizada con policarbonato en su formulación que cumpla con los parámetros para la elaboración de espuma floral con ayuda del programa statgraphics centurion xv.i.	39
2.1.6	Análisis del efecto de la incorporación de policarbonato reciclado en la síntesis de la resina fenólica	39
2.1.6.1	Análisis de las resinas fenólicas por espectroscopía infrarroja (FTIR)	39
2.1.6.2	Análisis de las resinas fenólicas por calorimetría diferencial de barrido (DSC)	39
2.2	Desarrollo del espumado a partir de la resina fenólica y policarbonato	40
2.2.1	Pruebas preliminares para determinar las variables de estudio del proceso de espumado	40
2.2.2	Obtención de la espuma floral a partir de la resina fenólica sintetizada con policarbonato	41
2.2.2.1	Evaluación de la espuma floral	42
2.2.3	Análisis de la espuma floral	42
2.2.3.1	Análisis por espectroscopía infrarroja	43
2.2.3.2	Análisis por calorimetría diferencial de barrido (DSC)	43
2.2.3.3	Análisis termogravimétrico (TGA)	43
2.3	Proceso para la obtención de espuma floral a escala piloto	44
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	45
3.1	Evaluación del efecto de la incorporación de PC reciclado en la síntesis de la resina fenólica	45
3.1.1	Caracterización de la materia prima	45
3.1.1.1	Espectroscopía infrarroja (FTIR)	45
3.1.1.2	Análisis por calorimetría diferencial de barrido	46
3.1.2	Influencia del tamaño y cantidad de policarbonato para la disolución y síntesis	47
3.1.2.1	Influencia del tamaño de pc para la disolución	47
3.1.2.2	Influencia de la cantidad de pc reciclado en la síntesis de la resina	48
3.1.3	Análisis del producto de la disolución de PC en fenol por FTIR	49
3.1.4	Síntesis de la resina fenólica	50

3.1.4.1	Evaluación de la resina fenólica sintetizada con policarbonato	50
3.1.4.2	Obtención de la resina fenólica sintetizada con policarbonato en su formulación que cumpla con los parámetros para la elaboración de espuma floral con ayuda del programa statgraphics centurion xv.i.	57
3.1.5	Análisis del efecto de la incorporación de policarbonato reciclado en la síntesis de la resina fenólica	60
3.1.5.1	Análisis de las resinas fenólicas por espectroscopía infrarroja (FTIR)	60
3.1.5.2	Comparación de los espectros de las resinas sintetizadas con y sin pc en su formulación	67
3.1.5.3	Análisis de las resinas fenólicas por calorimetría diferencial de barrido (DSC)	68
3.2	Desarrollo del espumado a partir de la resina fenólica y policarbonato	70
3.2.1	Pruebas preliminares para determinar las variables de estudio del proceso de espumado	70
3.2.2	Obtención de la espuma floral a partir de la resina fenólica sintetizada con policarbonato	73
3.2.2.1	Evaluación de la espuma floral	74
3.2.2.2	Obtención de la espuma floral que cumpla con los parámetros para su comercialización con ayuda del programa statgraphics centurion xv.i.	78
3.2.3	Análisis de la espuma floral	80
3.2.3.1	Análisis por espectroscopía infrarroja	80
3.2.3.2	Análisis por calorimetría diferencial de barrido (DSC)	83
3.2.3.3	Análisis termogravimétrico (TGA)	86
3.3	Proceso para la obtención de espuma floral a escala piloto	88
3.3.1	Ingeniería conceptual	88
3.3.1.1	Capacidad de la planta a escala piloto	88
3.3.1.2	Ubicación de la planta	88
3.3.2	Ingeniería básica	89
3.3.2.1	Descripción del proceso	89
3.3.2.2	Balance de masa y diagramas del proceso de obtención de espuma floral	90
3.3.3	Análisis de costos aproximados para la producción de espuma floral	94
3.3.3.1	Costos de reactivos y materia prima	94
3.3.3.2	Costo de mano de obra, agua y energía eléctrica	94
3.3.3.3	Cálculo del costo de producción aproximado por cada espuma floral	95
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	96
4.1	Conclusiones	96

	ix
4.2 Recomendaciones	97
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	99
ANEXOS	106

ÍNDICE DE TABLAS

		PÁGINA
Tabla 1. 1.	Bandas características de absorción del espectro de PC	3
Tabla 1. 2.	Propiedades eléctricas del policarbonato	5
Tabla 1. 3.	Propiedades mecánicas del policarbonato	6
Tabla 1. 4.	Propiedades físicas del policarbonato	6
Tabla 1. 5.	Propiedades térmicas del policarbonato	7
Tabla 1. 6.	Propiedades químicas del policarbonato	7
Tabla 1. 7.	Aplicaciones de las resinas fenólicas	12
Tabla 1. 8.	Propiedades de la resina tipo resol	27
Tabla 1. 9.	Agentes de soplado físicos alternativos y sus parámetros medioambientales	29
Tabla 2. 1.	Condiciones de operación	32
Tabla 2. 2.	Porcentajes en peso de fenol y PC usados para determinar la cantidad necesaria para la síntesis	34
Tabla 2. 3.	Factores del proceso de síntesis	36
Tabla 2. 4.	Número de tratamientos con su respectiva combinación de cada factor	36
Tabla 2. 5.	Proporciones utilizadas en las pruebas preliminares	41
Tabla 2. 6.	Número de tratamientos con su respectiva combinación de cada variable experimental	41
Tabla 3. 1.	Resultados de viscosidad para cada tratamiento	51
Tabla 3. 2.	Resultados del contenido de sólidos para cada tratamiento	53
Tabla 3. 3.	Resultados del formaldehído libre para cada tratamiento	55
Tabla 3. 4.	Tabla de optimización de los factores del proceso de síntesis	59
Tabla 3. 5.	Propiedades de la resina fenólica incorporada PC	59

Tabla 3. 6.	Bandas características de absorción del espectro de la resina tipo resol	62
Tabla 3. 7.	Proporciones de las variables dependientes para la formulación de la espuma floral	73
Tabla 3. 8.	Proporciones de las variables independientes para la formulación de la espuma floral	73
Tabla 3. 9.	Resultados de densidad para cada tratamiento	74
Tabla 3. 10.	Resultados de absorción de agua para cada tratamiento	76
Tabla 3. 11.	Tabla de optimización de los factores del proceso de espumado	79
Tabla 3. 12.	Propiedades de las espumas con y sin PC	80
Tabla 3. 13.	Grupos funcionales presentes en el espectro obtenido de la espuma floral “Oasis”	81
Tabla 3. 14.	Grupos funcionales presentes en el espectro obtenido de la espuma floral con PC	82
Tabla 3. 15.	Balance de masa	90
Tabla 3. 16.	Nomenclatura y simbología de los equipos del diagrama PFD del proceso de espumado	93
Tabla 3. 17.	Costos de los reactivos y del policarbonato reciclado	94
Tabla 3. 18.	Salario de los trabajadores	95
Tabla 3. 19.	Costos servicios básicos	95
Tabla 3. 20.	Costo por cada espuma floral producida	95
Tabla AI. 1.	Cantidad en peso de cada reactivo para el proceso de síntesis	108
Tabla AII. 1.	Resultado de las valoraciones	111
Tabla AIII. 1.	Datos propuestos para el proceso de espumado	112
Tabla AIII. 2.	Cantidades en peso utilizadas en las pruebas preliminares	112
Tabla AIII. 3.	Composición en peso de las variables dependientes para la formulación de la espuma floral	112
Tabla AIII. 4.	Composición en peso de las variables independientes para la formulación de la espuma floral	113

Tabla AIV. 1.	Coeficiente de variación de la viscosidad de cada tratamiento	114
Tabla AIV. 2.	Tabla ADEVA de los resultados de influencia de los factores en la viscosidad del proceso de síntesis de la resina incorporada PC en su formulación	115
Tabla AV. 1.	Coeficiente de variación del contenido de sólidos de cada tratamiento	116
Tabla AV. 2.	Tabla ADEVA de los resultados de influencia de los factores en el contenido de sólidos del proceso de síntesis de la resina incorporada PC en su formulación	116
Tabla AVI. 1.	Coeficiente de variación de formaldehído libre de cada tratamiento	118
Tabla AVI. 2.	Tabla ADEVA de los resultados de influencia de los factores en el contenido de formaldehído libre del proceso de síntesis de la resina incorporada PC en su formulación	118
Tabla AXI. 1.	Coeficiente de variación de la densidad de cada tratamiento	127
Tabla AXI. 2.	Tabla ADEVA de los resultados de influencia de las variable experimentales en la densidad de la espuma floral con PC en el proceso de espumado	127
Tabla AXII. 1.	Coeficiente de variación de la absorción de agua de cada tratamiento	129
Tabla AXII. 2.	Tabla ADEVA de los resultados de influencia de las variable experimentales en la absorción de agua de la espuma floral con PC en el proceso de espumado	129
Tabla AXV. 1.	Cantidad en peso de los reactivos para el proceso de síntesis	133
Tabla AXV. 2.	Composición de los reactivos para el proceso de espumado	135
Tabla AXVI. 1.	Costos de los reactivos y del policarbonato reciclado	137
Tabla AXVI. 2.	Salario de los trabajadores	138
Tabla AXVI. 3.	Consumo energético de los equipos del proceso	139
Tabla AXVII.1.	Hoja de especificaciones de la columna de destilación	144
Tabla AXVII.2.	Hoja de especificaciones de la maquina de espumado	145
Tabla AXVII.3.	Hoja de especificaciones del reactor de polimerización	146

Tabla AXVII.4. Hoja de especificaciones del molino de cuchillas

147

ÍNDICE DE FIGURAS

		PÁGINA
Figura 1. 1.	Demanda mundial de policarbonato	1
Figura 1. 2.	Policarbonato (PC)	2
Figura 1. 3.	Policondensación en función de policarbonato	4
Figura 1. 4.	Sal sódica de bisfenol A	4
Figura 1. 5.	Aplicaciones del policarbonato	8
Figura 1. 6.	El policarbonato en la industria y agricultura	9
Figura 1. 7.	Monómeros del policarbonato	10
Figura 1. 8.	Consumo de resinas fenólicas según la aplicación	11
Figura 1. 9.	Reacción del ión hidroximetilencarbonio con la molécula de fenol en las posiciones orto y para	13
Figura 1. 10.	Mezcla de isómeros de dihidroxidifenilmetano	13
Figura 1. 11.	Curado de una resina novalaca con HMTA	14
Figura 1. 12.	Formación del anión fenolato en las posiciones orto y para	14
Figura 1. 13.	Reacción entre el anión fenolato y formaldehído en las posiciones orto y para	15
Figura 1. 14.	Reacción de metilolación entre el fenol y formaldehído	15
Figura 1. 15.	Proceso de polimetilolación	16
Figura 1. 16.	Proceso de formación del retículo de la resina resol	16
Figura 1. 17.	Espectro de infrarrojo de la resina fenólica tipo resol	17
Figura 1. 18.	Espectro de infrarrojo de la resina fenólica tipo novalaca	18
Figura 1. 19.	DSC de las resinas fenólicas tipo resol y novala	19
Figura 1. 20.	Transiciones térmicas de un polímero	20
Figura 1. 21.	Esquema de un reactor para la producción de resina fenólica	21
Figura 1. 22.	Estructura de una espuma polimérica	22

Figura 1. 23.	Etapas de formación de las espumas fenólicas	23
Figura 1. 24.	Disposición del líquido en las celdas de la espuma	25
Figura 2. 1.	Esquema de los equipos del proceso de síntesis	35
Figura 3. 1.	Espectro del material recolectado superpuesto con el estándar del PC	45
Figura 3. 2.	Termograma obtenido por calorimetría diferencial de barrido del policarbonato reciclado	46
Figura 3. 3.	Material sin disolver por causa de baja temperatura	47
Figura 3. 4.	Mezcla 40% PC y 60% fenol a las condiciones de síntesis (T = 90 °C)	48
Figura 3. 5.	Espectros del producto de la disolución de PC en fenol	49
Figura 3. 6.	Diagrama de Pareto para efectos estandarizados de los factores sobre la viscosidad en la resina fenólica	51
Figura 3. 7.	Efecto de los factores sobre la viscosidad	52
Figura 3. 8.	Diagrama de Pareto para efectos estandarizados de los factores sobre el contenido de sólidos en la resina fenólica	54
Figura 3. 9.	Efecto de los factores sobre el contenido de sólidos en la resina	54
Figura 3. 10.	Diagrama de Pareto para efectos estandarizados de los factores sobre el contenido de formaldehído libre en la resina fenólica	56
Figura 3. 11.	Efecto de los factores sobre el contenido de formaldehído libre en la resina	57
Figura 3. 12.	Superficie múltiple de respuesta de las variables de salida	58
Figura 3. 13.	Gráfica de contornos de las variables de salida	58
Figura 3. 14.	Resinas fenólicas sintetizada con y sin PC en su formulación	60
Figura 3. 15.	Espectros de la resina fenólica incorporada PC en su formulación al inicio de la síntesis	61
Figura 3. 16.	Espectros de la resina fenólica incorporada PC en su formulación al tiempo de: t = 10 y t = 20 min	63

Figura 3. 17.	Espectros de la resina fenólica incorporada PC en su formulación al tiempo de: $t = 50$ y $t = 80$ min	64
Figura 3. 18.	Espectros de la resina fenólica incorporada PC en su formulación al tiempo final de síntesis de $t = 109$ min y de la resina como producto final	65
Figura 3. 19.	Espectros de la resina fenólica sin PC en su formulación al inicio de la síntesis	66
Figura 3. 20.	Espectros de la resina fenólica incorporada PC en su formulación al tiempo final de síntesis de $t = 109$ min y de la resina como producto final	67
Figura 3. 21.	Espectros de las resinas sintetizadas con y sin PC en su formulación	68
Figura 3. 22.	Termograma obtenido por calorimetría diferencial de barrido de la resina fenólica sin PC en su formulación	69
Figura 3. 23.	Termograma obtenido por calorimetría diferencial de barrido de la resina fenólica incorporada PC en su formulación	69
Figura 3. 24.	Proceso de espumado: a. prueba 1, b. prueba 2	71
Figura 3. 25.	Proceso de espumado: a. prueba 3, b. prueba 4	71
Figura 3. 26.	Proceso de espumado: a. prueba 5, b. prueba 6	72
Figura 3. 27.	Diagrama de Pareto para efectos estandarizados de los factores sobre la densidad en el proceso de espumado	75
Figura 3. 28.	Efecto de los factores sobre la densidad	76
Figura 3. 29.	Diagrama de Pareto para efectos estandarizados de las variables experimentales sobre la absorción de agua en el proceso de espumado	77
Figura 3. 30.	Efecto de las variables experimentales sobre la absorción de agua en el proceso de espumado	78
Figura 3. 31.	Superficie múltiple de respuesta de las variables de salida	79
Figura 3. 32.	Espectros superpuestos de la espuma floral con PC y “Oasis”	81
Figura 3. 33.	Espectros superpuestos de la espuma floral con y sin PC	83
Figura 3. 34.	Termograma del primer barrido de la espuma floral con PC	84

Figura 3. 35.	Termograma del primer barrido de la espuma floral “Oasis”	84
Figura 3. 36.	Termograma del segundo barrido de la espuma floral con PC	85
Figura 3. 37.	Termograma del segundo barrido de la espuma floral “Oasis”	85
Figura 3. 38.	Termograma de la espuma floral con PC obtenido a una velocidad de calentamiento de 10°C/min hasta 850 °C realizado en atmósfera de nitrógeno con un flujo de 50 mL/min	86
Figura 3. 39.	Termograma de la espuma oasis obtenido a una velocidad de calentamiento de 10°C/min hasta 850 °C realizado en atmósfera de nitrógeno con un flujo de 50 mL/min	87
Figura 3. 40.	Ubicación de la planta de producción de espuma floral	88
Figura 3. 41.	Diagrama de bloques (BFD) del proceso para la obtención de espuma floral	91
Figura 3. 42.	Diagrama de flujo (PFD) del proceso para la obtención de espuma floral	92
Figura AII. 1.	Titulación de la resina fenólica incorporada PC en su formulación	111
Figura AIV. 1.	Gráfica de superficie de respuesta de la viscosidad	115
Figura AIV. 2.	Gráfica de contornos de la viscosidad	115
Figura AV. 1.	Gráfica de superficie de respuesta del contenido de sólidos	117
Figura AV. 2.	Gráfica de contornos del contenido de sólidos	117
Figura AVI. 1.	Gráfica de superficie de respuesta del contenido de formaldehído libre	119
Figura AVI. 2.	Gráfica de contornos del formaldehído libre	119
Figura AVII. 1.	Análisis del Fenol libre en la resina sin PC	120
Figura AVII. 2.	Análisis del Fenol libre en la resina sin PC	120
Figura AVIII. 1.	Producto de la hidrólisis del PC	122
Figura AVIII. 2.	Espectro Infrarrojo obtenido de la hidrólisis del PC y de sus posibles productos	123
Figura AIX. 1.	Espectros superpuestos de la resina fenólica con PC a diferentes tiempos	124

Figura AIX. 2.	Espectros de la resina fenólica sin PC a diferentes tiempos de síntesis	124
Figura AX. 1.	Elución de los compuestos presentes en la resina de acuerdo a sus tiempos de retención	125
Figura AX.2.	Productos obtenidos de la cromatografía líquida	126
Figura AX. 3.	Interpretación del espectro a tiempo de elución de 20 minutos	126
Figura AXI. 1.	Gráfica de superficie de respuesta de la densidad de la espuma con PC	128
Figura AXI. 2.	Gráfica de contornos de la densidad de la espuma floral con PC	128
Figura AXII. 1.	Gráfica de superficie de respuesta de la absorción de agua en la espuma floral con PC	130
Figura AXII. 2.	Gráfica de contornos de la absorción de agua en la espuma floral con PC	130
Figura AXIII. 1.	Espectros de los reactivos del proceso de espumado	131
Figura AXIII. 2.	Termograma de la espuma floral sin PC	131
Figura AXVII.1.	Cotización de formaldehído	141
Figura AXVII.2.	Cotización de reactivos del espumado	142
Figura AXVII.3.	Cotización de fenol y éter de petróleo	143

ÍNDICE DE ANEXOS

	PÁGINA
ANEXO I Cálculo de la cantidad en peso de cada reactivo para el proceso de síntesis	107
ANEXO II Preparación de las soluciones para la determinación de formaldehído libre	109
ANEXO III Datos de experimentación	112
ANEXO IV Resultados obtenidos de la viscosidad	114
ANEXO V Resultados obtenidos del contenido de sólidos	116
ANEXO VI Resultados obtenidos del formaldehído libre	118
ANEXO VII Resultados obtenidos del fenol libre en las resina	120
ANEXO VIII Hidrólisis del PC	122
ANEXO IX Análisis FTIR de las resinas con y sin pc	124
ANEXO X Análisis de la resina por cromatografía	125
ANEXO XI Resultados obtenidos de la densidad	127
ANEXO XII Resultados obtenidos de absorción de agua	129
ANEXO XIII Espectros de los reactivos del proceso de espumado y termograma de la espuma sin PC	131
ANEXO XIV Capacidad de la planta a escala piloto	132
ANEXO XV Balance de masa	133

ANEXO XVI

Cálculo del costo de producción por cada espuma floral

137

ANEXO XVII

Cotización de los reactivos y hojas de especificaciones de equipos principales

141

RESUMEN

En el presente proyecto de investigación, se realizó el reciclaje químico de los bidones de policarbonato (PC) mediante una disolución en fenol. La solución obtenida, se utilizó para sintetizar una resina fenólica tipo resol que luego fue sometida a un proceso de espumado, para obtener espuma floral.

Una vez caracterizado los bidones de PC, se realizaron pruebas para determinar la influencia del tamaño en la disolución. Conjuntamente se determinó, la influencia de la cantidad de material que puede ser reciclado, ya que la mezcla resultante debe estar en estado líquido a las condiciones de la síntesis de la resina. El producto obtenido de la disolución del PC en fenol, se analizó por espectroscopia infrarroja.

Se realizó la síntesis de la resina y se analizó los factores del proceso con ayuda del programa STATGRAPHICS, utilizando un diseño factorial 3^2 . El diseño elegido permitió el estudio de los factores sobre las variables de salida, y se obtuvo sus valores óptimos para el proceso de síntesis de: una relación formaldehído/fenol de 2 y un tiempo de síntesis de 109 minutos. A las condiciones de los factores obtenidos, se sintetizó la resina fenólica utilizando PC como un reactivo más en su formulación tradicional. Lográndose obtener como producto, una resina que cumple con los parámetros para la producción de espuma floral.

La resina sintetizada con PC en su formulación, se caracterizó en comparación a una resina convencional sintetizada a las mismas condiciones, mediante espectroscopia infrarroja y calorimetría diferencial de barrido. También se realizó un estudio por cromatografía líquida a la resina fenólica sintetizada con PC en su formulación. Para obtener un mejor análisis del efecto de la incorporación de PC en la síntesis de la resina, se realizó la hidrólisis del PC y se analizó el producto obtenido por espectroscopia infrarroja.

Se realizó el espumado de la resina y se analizó los factores del proceso con ayuda del programa STATGRAPHICS, utilizando un diseño factorial 2^3 . Se obtuvo

los valores óptimos de las proporciones en peso de los factores de estudio, surfactante, agente de soplado y catalizador de 15, 8 y 30. La espuma floral obtenida presentó una densidad y absorción de $0,08 \text{ g/cm}^3$ y 21,3 veces su peso en agua, cumpliendo con las propiedades para su comercialización.

Se caracterizó la espuma en comparación de una espuma comercial “oasis” y otra sin PC obtenida en el laboratorio, mediante espectroscopia infrarroja, calorimetría diferencial de barrido y termogravimetría. Obteniéndose como resultado, unas estructuras semejantes, con la única diferencia; que la espuma con PC presenta un pico en los 1702 cm^{-1} que corresponde a un grupo carbonato.

Finalmente, se realizó el diseño de una planta a escala piloto para reciclar 200 kg/día de policarbonato reciclado. Se incluyó el diagrama de bloques (BFD) y el diagrama de flujo (PFD).

INTRODUCCIÓN

En los últimos años el gran incremento de la población mundial junto con las necesidades de las personas, ha generado un mayor desarrollo de diversos plásticos. El policarbonato al ser uno de aquellos materiales, gracias a su facilidad de producción, variedad de aplicaciones y bajo costo son los principales factores que determinan su uso en comparación con otros materiales. Se lo utiliza en la industria alimenticia para fabricar empaques y botellas para el envasado de comida y agua. Además, se lo utiliza para fabricar discos compactos y otros materiales, generando una gran cantidad de desperdicios (Achilias, 2012, pp. 4, 42).

En el Ecuador, en 2014, las importaciones de policarbonato fueron de 675,86 toneladas. Esto nos muestra un alto consumo de este material, lo que puede generar gran cantidad de desechos (Banco Central del Ecuador, 2012). La problemática actual del reciclaje de desechos de PC de consumo generalizado, radica en la falta de métodos de tratamiento para la producción de subproductos de mayor valor agregado (Gutierrez, Quesada, Ledezma y Starbird, 2011, p. 6).

El reciclaje de los desechos de PC se lo realiza mediante: reciclaje mecánico, químico y mediante la recuperación de energía a través de la incineración lo cual genera emisiones tóxicas. El reciclaje mecánico necesita de altas temperaturas para lograr fundir al PC, causando que se degrade y por ende disminuya sus propiedades limitando su uso y reprocesamiento al mezclarlo con materia prima virgen (Lorenzo, De la orden, Muñoz, Serrano y Martinez, 2013, p. 1). El reciclaje convencional de PC, se lo hace por el método químico mediante la despolimerización para obtener sus monómeros, bisfenol-A (BPA) y carbonato de dimetilo (DMC), mediante condiciones severas de temperatura y presión (Achilias, 2012, p. 43; Rosi, Bartoli, Undri, Frediani y Frediani, 2015, p. 2).

Por las limitaciones mencionadas anteriormente, el presente proyecto da una alternativa de reciclaje mediante la disolución de policarbonato en fenol, teniendo en consideración que el fenol es una de las materias primas para realizar la

síntesis de la resina fenólica, por lo tanto no se necesita de procesos adicionales para eliminar contaminantes de la resina.

Existen dos tipos de resinas fenólicas: Novalacas y Resoles. Se diferencian de acuerdo al tipo de catalizador utilizado, el cual puede ser ácido o básico. Se ha decidido realizar la síntesis de una resina fenólica tipo resol, la cual se obtiene de la reacción entre fenol y formaldehído en medio básico, debido a que el policarbonato es susceptible a hidrolizarse en presencia de bases fuertes. Los resoles se los utiliza como adhesivos para madera, barniz para fibras orgánicas e inorgánicas y para material granular arenoso, también son utilizados para la producción de plástico espumado (Hesse y Lang, 2012, p. 583-585).

Con todo lo expuesto, el presente proyecto da una alternativa de reciclaje químico de los desechos de PC mediante la producción de resina fenólica y espuma floral.

1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 PROPIEDADES DEL POLICARBONATO Y APLICACIONES

1.1.1 GENERALIDADES

El policarbonato (PC), fue desarrollado por primera vez en el año de 1953, por los químicos Daniel Fox de General Electric y Herman Schnell de Bayer AG. El material obtenido fue inmediatamente reconocido por tener propiedades únicas, como transparencia, una temperatura de transición vítrea alta y gran resistencia al impacto (Brunelle y Korn, 2005, pp. 1,2; Legrand y Bendler, 2000, pp. 8,9).

En la Figura 1.1, se presenta la demanda mundial de policarbonato de acuerdo a las distintas necesidades poblacionales. Como se puede observar, el consumo de este material es de 3.7 millones de toneladas métricas para la fabricación de diversos productos que son utilizados en distintas áreas (Wiesweg, 2012, p. 9).

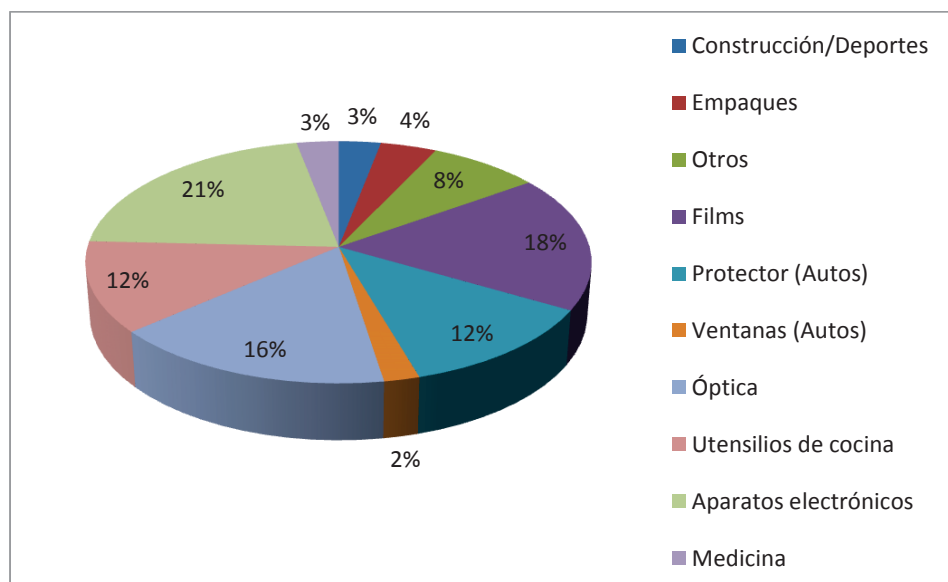


Figura 1. 1. Demanda mundial de policarbonato
(Wiesweg, 2012, p.9)

En los últimos años, el gran incremento de la población mundial junto con las necesidades de las personas, ha generado un mayor desarrollo de diversos

plásticos. La facilidad de producción, variedad de aplicaciones y bajo costo, son los principales factores que determinan su uso en comparación con otros materiales (Achilias, 2012, p. 3, Bigot, Kébir, Plasseraud y Burel, 2015, p. 127).

El policarbonato presenta excelentes propiedades mecánicas y físicas, las cuales son aprovechadas en la industria alimenticia para fabricar empaques y botellas para el envasado de comida y agua (Achilias, 2012, p. 42; Lorenzo, De La Orden, Muñoz, Serrano y Martínez, 2013, p. 1).

Debido a su excelente combinación de propiedades ópticas y térmicas, se lo utiliza para fabricar discos compactos, los cuales generan una gran cantidad de desperdicios (Brebú, Tamminen, Hannevold, Stocker y Spiridon, 2013, p. 88).

1.1.2 ESTRUCTURA Y MORFOLOGÍA DEL PC

El policarbonato es un poliéster lineal del ácido carbónico y dioles aromáticos, es un termoplástico amorfo con una estructura molecular no ramificada. No presenta un código de identificación único, por lo tanto se lo atribuye el #7 que significa “otros”.

En la Figura 1.2, se observa la estructura del PC (Achilias, 2012, p. 42).

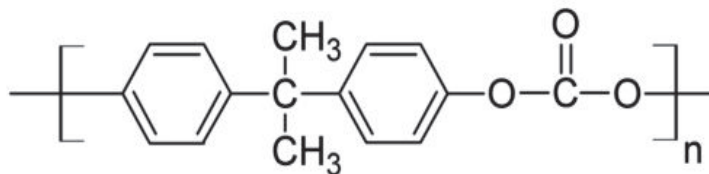


Figura 1. 2. Policarbonato (PC)
(Achilias, 2012, p.42)

La estructura cristalina que posee el policarbonato, se atribuye a los grupos bencénicos que se encuentran en la cadena principal. La Temperatura de transición vítrea del policarbonato es de 155 °C aproximadamente (Brunelle y

Korn, 2005, p.10), lo cual le permite tener elevadas propiedades térmicas y estabilidad dimensional elevada (Arco, Ramírez y Serrano, 2009, p. 39)

En Tabla 1.1 se presenta las bandas características del policarbonato. Se puede observar la banda cercana $1\ 771\ \text{cm}^{-1}$, perteneciente al grupo carbonilo del policarbonato.

Tabla 1. 1. Bandas características de absorción del espectro de PC

Frecuencia λ (cm^{-1})	Asignación
Señales características	
3 300 – 3 035	Estiramiento del enlace C–H de anillos aromáticos
2 971, 2 937, 2 876	Estiramiento simétrico del grupo –CH ₃
2 150 – 1 865	Enlaces C – H del anillo aromático (sobretono 880 – 730)
1 771	Grupo carbonilo del carbonato (> C = O)
1 603, 1 508	Deformación del enlaces C – C del anillo aromático
1 338, 1 365	Flexión simétrica en el plano del grupo > C(CH ₃) ₂
1 221, 1 198	Flexión en el plano del grupo > C(CH ₃) ₂
1 165	Estiramiento simétrico del enlaces C – O unido al carbonilo
Señales no características	
3 532	Enlaces O – H de grupo fenólico
2 300 – 2 150	En este rango, se presenta la respuesta de diversos grupos carbono - nitrogenados (ej, $-\text{N}^+ = \text{C}^-$, $-\text{C} = \text{C} = \text{N}$, $-\text{C} = \text{N}^+ = \text{N}^-$)

(Sánchez, 3003, p.115)

1.1.3 OBTENCIÓN DEL POLICARBONATO

El policarbonato es sintetizado por policondensación en estado fundido (en función), o en superficies de contacto. La policondensación en función se da vía

transesterificación del bisfenol A y carbonato de difenilo a temperaturas entre 150 y 300 °C en atmósfera de gas inerte y exclusión de oxígeno, como se indica en la Figura 1.3 (Brunelle y Korn, 2005, p.8, Legrand y Bendler, 2000, p. 12).

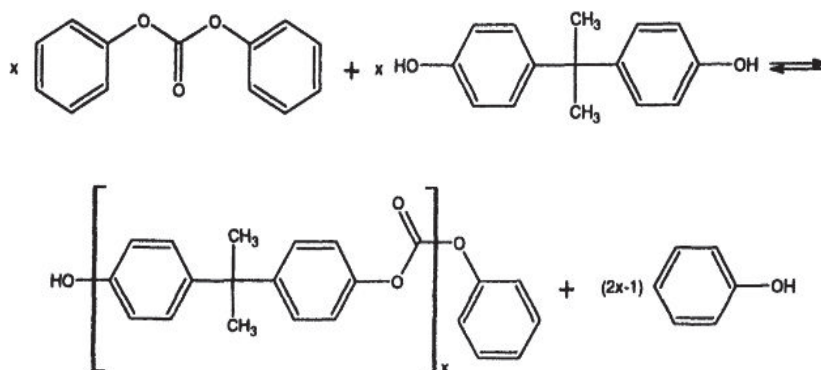


Figura 1.3. Policondensación en función de policarbonato
(Brunelle y Korn, 2005, p.8)

El fenol producido durante la reacción de esterificación, se elimina mediante destilación al vacío. El policarbonato sintetizado por este método, tiene pesos moleculares que se limitan a 30 000 g/mol debido a su alta viscosidad (Arco et al., 2009, p. 43).

En la Figura 1.4, se puede observar la reacción de obtención de PC en superficie de contacto.

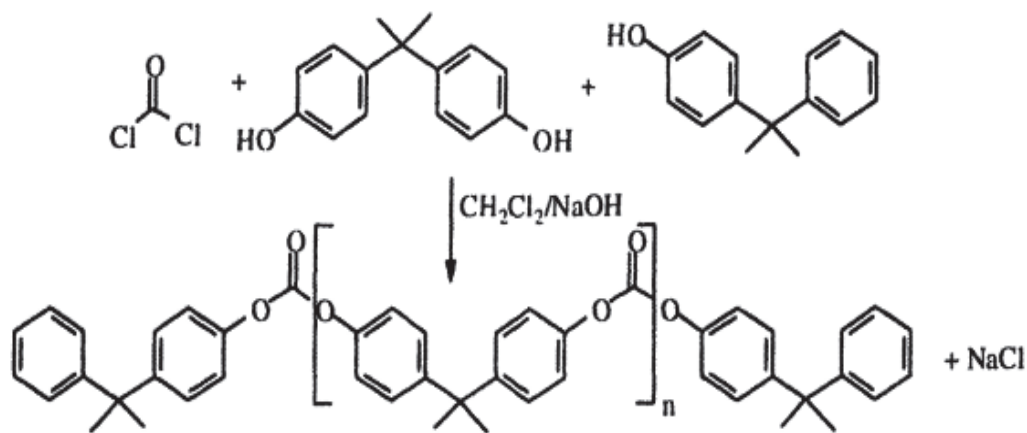


Figura 1.4. Sal sódica de bisfenol A
(Brunelle y Korn, 2005, p.10)

La síntesis de policarbonato mediante la policondensación en superficies de contacto, se produce entre el bisfenol A y fosgeno a 30 °C en presencia de hidróxido de sodio. La reacción comienza al interactuar el bisfenol A con el hidróxido de sodio para formar la sal sódica de bisfenol A, la síntesis continúa mediante la reacción de la sal sódica de bisfenol A con el fosgeno hasta obtener el policarbonato (Cifuentes y Franco, 2006, p. 28; Brunelle y Korn, 2005, p. 10).

1.1.4 PROPIEDADES DEL POLICARBONATO

1.1.4.1 Propiedades eléctricas

El policarbonato posee una cadena polimérica simétrica, la cual le atribuye excelentes propiedades eléctricas mediante una amplia banda de frecuencia hasta alcanzar una temperatura máxima de 125 °C. En la Tabla 1.2, se puede observar las propiedades eléctricas del PC (Groover, 2016, p. 201).

Tabla 1. 2. Propiedades eléctricas del policarbonato

Propiedades Eléctricas	
Resistencia Dieléctrica (kv * mm ⁻¹)	15 – 67
Resistividad Superficial (Ohm/sq)	1 015
Constante Dieléctrica a 1MHz	2,9
Factor de Disipación a 1 MHz	0,01
Resistividad de Volumen (Ohm*cm)	1 014 – 1 016

(Groover, 2016, p. 201)

1.1.4.2 Propiedades mecánicas

El policarbonato no posee una estructura cristalina definida, debido a los grupos bencénicos que se encuentran en su cadena principal atribuyéndole una estructura amorfa. Gracias a esta característica, el policarbonato posee excepcionales propiedades mecánicas, dureza y resistencia al impacto como se puede observar en la Tabla 1.3 (Legrand y Bendler, 2000, p. 16).

A pesar que el policarbonato a temperatura ambiente es rígido, gracias a sus grupos carbonato, fenileno e isopropilideno, le dan movilidad suficiente para disipar energía de impacto (Groover, 2016, p. 218).

Tabla 1. 3. Propiedades mecánicas del policarbonato

Propiedades Mecánicas	
Resistencia a la Tracción (MPa)	55 – 75
Resistencia a la Abrasión - ASTM D1044 (mg/1000 ciclos)	10 – 15
Dureza	M 70
Relación de Poisson	0,37
Coefficiente de Fricción	0,31
Módulo de Tracción (GPa)	2,3 – 2,4
Resistencia a la Compresión (MPa)	>80
Alargamiento a la Rotura (%)	100 – 150

(Groover, 2016, p. 218)

1.1.4.3 Propiedades físicas

En la Tabla 1.4, se puede observar las propiedades físicas del policarbonato.

Tabla 1. 4. Propiedades físicas del policarbonato

Propiedades Físicas	
Resistencia a la radiación UV	Aceptable
Índice de Oxígeno Límite (%)	25 – 27
Índice Refractivo	1,584 – 6
Absorción de Agua en 24 horas (%)	0,1
Densidad (g * cm ⁻³)	1,2

(Legrand y Bendler, 2000, p. 232)

Posee una resistencia aceptable a la radiación ultravioleta, sin embargo, se da una degradación en los 50 – 100 micrómetros en la superficie del material, provocando una decoloración, por lo que se utiliza estabilizadores para prevenir la fotodegradación (Legrand y Bendler, 2000, p. 232).

1.1.4.4 Propiedades térmicas

Como se puede observar en la Tabla 1.5, las excelentes propiedades térmicas del policarbonato y su buena estabilidad dimensional, se debe a la regularidad y a los grupos laterales polares que posee, los cuales aumentan su temperatura de transición vítrea (T_g) (Neky y Gail, 2006, p. 296).

Tabla 1. 5. Propiedades térmicas del policarbonato

Propiedades Térmicas	
Temperatura de deflexión en Caliente 1,8 MPa (°C)	128 – 138
Temperatura Mínima de Utilización (°C)	-135
Calor Específico (J K ⁻¹ kg ⁻¹)	1 200
Temperatura Máxima de Utilización (°C)	115 – 130
Conductividad Térmica (W m ⁻¹ K ⁻¹)	

(Neky y Gail, 2006, p. 296)

1.1.4.5 Propiedades químicas

El policarbonato es sensible a la hidrólisis, debido a que posee grupos carbonatos en su cadena principal y además pueden causar degradación al polímero. Como se puede observar en la Tabla 1.6, el policarbonato tiene una resistencia media a los álcalis debido a que en su presencia hidroliza (Universidad de Barcelona, 2015, p.1).

Tabla 1. 6. Propiedades químicas del policarbonato

Resistencia a los ácidos	Tiene muy buena resistencia a los ácidos débiles y una resistencia media a los ácidos fuertes.
Resistencia a los álcalis	Tiene resistencia media tanto a los álcalis débiles como los fuertes.
Resistencia a los disolventes orgánicos	Baja resistencia a las cetonas, halógenos e hidrocarburos aromáticos. Degradable en tetracloruro de carbono.

(Universidad de Barcelona, 2015, p.1)

1.1.5 APLICACIONES DEL POLICARBONATO

El policarbonato es un material de alto rendimiento, utilizado en una gran variedad de aplicaciones. La combinación única de sus propiedades, le atribuyen una gran durabilidad, transparencia y resistencia al impacto. Como se puede observar en la Figura 1.5, se lo puede utilizar para fabricar cascos de motocicletas, viseras protectoras, gafas, lentes, CDs, DVDs, bidones de agua y una gama de materiales más. El PC es utilizado en muchas aplicaciones médicas, gracias a su excelente resistencia al calor, los materiales que están en contacto directo con el cuerpo humano pueden ser esterilizados a altas temperaturas. Como por ejemplo, los equipos de cuidados intensivos o recipientes de almacenamiento médico (Plastics Europe, 2015, pp. 1,2).

Como se puede observar en la Figura 1.6, el PC también es utilizado en la construcción y en la agricultura, gracias a su combinación de propiedades que le permiten resistir condiciones ambientales muy severas. Se lo utiliza para fabricar invernaderos.



Figura 1. 5. Aplicaciones del policarbonato
(Plasco, 2015, p.22)



Figura 1. 6. El policarbonato en la industria y agricultura
(Plasco, 2015, p.13)

1.1.6 RECICLAJE DE POLICARBONATO

Con el rápido consumo de policarbonato, se ha incrementado su producción rápidamente. El reciclado químico de policarbonato en los últimos años, ha sido el centro de atención con la finalidad de obtener productos de mayor valor agregado. La metanólisis es uno de los métodos mas importantes desarrollados para obtener los monómeros que constituyen el policarbonato, que son: el bisfenol-A (BPA) y el dimetil carbonato (DMC). Sin embargo, debido la insolubilidad del PC en metanol, el proceso de metanolisis requiere de altas temperaturas y presiones en presencia de bases o ácidos concentrados (Achillas, 2012, p. 43; Rosi et al., 2015, p. 2).

Los catalizadores ácidos o bases utilizados en el método tradicional no pueden ser reusados, y además causan daños severos a los equipos por corrosión (Rosi et al., 2015, p. 2).

El reciclaje de policarbonato, se lo puede hacer mediante procesos mecánicos, químicos y termoquímicos. La pirólisis es una opción termoquímica mediante la cual se puede realizar una despolimerización del policarbonato, para obtener sus monómeros que son: el bisfenol A, fenol, 2,4-isopropil fenol y el 4-1,2 propilen fenol, como se puede observar en la Figura 1.7 (Rosi et al., 2015, p. 2).

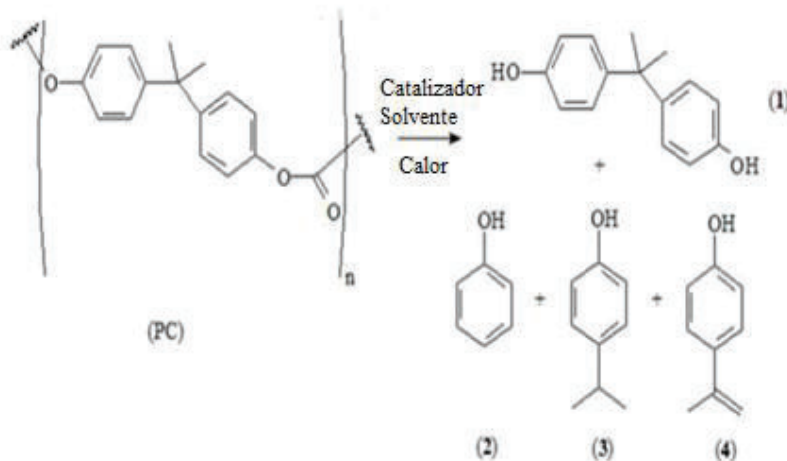


Figura 1. 7. Monómeros del policarbonato
(Rosi et al., 2015, p. 2).

La despolimerización de policarbonato reciclado a través de catalizadores básicos fuertes, por alcoholisis en condiciones supercríticas o cercanas a las críticas, han sido estudiadas para lograr obtener los monómeros de BPA y DMC. También se han realizado estudios para reciclar policarbonato, usando metanol como solvente e hidróxido de sodio como catalizador a temperaturas entre 75 y 180 °C, y a presiones entre los 2 y 25 MPa (Achilias, 2012, p.43).

1.2 RESINAS FENÓLICAS

1.2.1 GENERALIDADES

Las resinas fenólicas, fueron sintetizadas por primera vez en 1907 por el científico Leo Meckeland, mediante una reacción de policondensación entre el

formaldehído y fenol (Manfredi, De la Osa, Galego y Vázquez, 1999, p. 3867; Martínez, Gómez, Restrepo y Gañán, 2009, p. 1173; Rego, Adriaensens, Carleer y Gelan, 2004, p. 33; Solomon, Qiao y Caulfield, 2009, p. 3). Las resinas fenólicas, se han estudiado por varios años y siguen siendo las mejores resinas disponibles en el mercado (Bibin y Reghunadhan, 2014, p. 512).

El consumo de las resinas fenólicas a nivel mundial en el año 2001 fue de 2,9 millones de toneladas métricas, con un aumento del 2,5 % anualmente hasta el año 2006. En América y Europa Occidental, utilizan las resinas para adhesivos de madera, láminas y materiales de aislamiento (Alonso, 2002, p.21). En la Figura 1.8, se muestra el consumo de resinas fenólicas según el sector de aplicación en a nivel mundial en el año 2004, como se puede observar el 36,5 % se le atribuye a la fabricación de tableros, que son utilizados en el sector de la construcción (Pilato, 2010, p.157).

Las resinas fenólicas presentan una gran resistencia a los esfuerzos, resistencia a la humedad, elevada estabilidad térmica y dureza, lo cual permite encontrar una variedad de usos como: compuestos de moldeo, abrasivos, laminados, recubrimientos y una gran variedad de aplicaciones más como se indica en la Tabla 1.7 (Bibin y Reghunadhan, 2014, pp. 512, 513; Martínez et al., 2009, p. 1174; Pilato, 2012, p. 271).

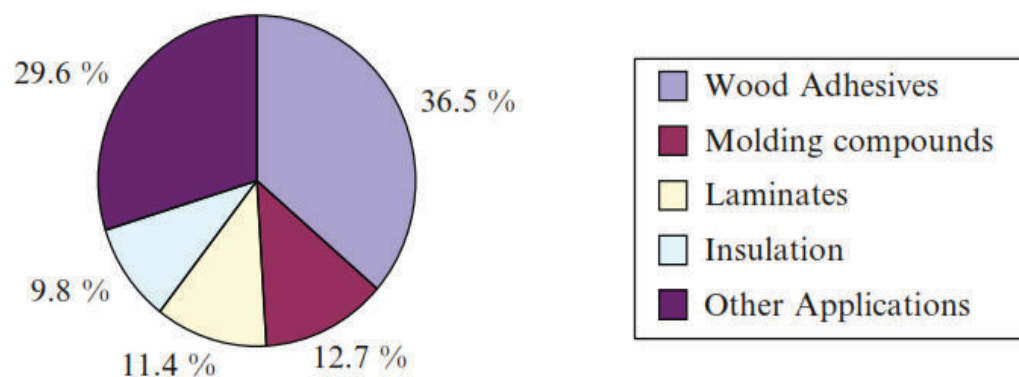


Figura 1. 8. Consumo de resinas fenólicas según la aplicación
(Pilato, 2010, p157)

Tabla 1. 7. Aplicaciones de las resinas fenólicas

Aplicación	Consumo (%)		Resina en el material (%)	Principal tipo de resina
	USA	Alemania		
Materiales de madera	55	27	10	Resol acuosa
Materiales aislantes	17,5	19	2 - 3	Resol acuosa alcalina
Compuestos de moldeo	6	12	40	Novalaca sólida o resol
Láminas	6	10	30 – 50	Resol acuosa
Pinturas, adhesivos	2,5	7	50	Resol o novalaca en disolución
Fundición, refractarios	4,5	10	2	Novalacas sólidas, resol acuosa y novalacas/HMTA en polvo
Abrasivos	1,5	3	12	Resol acuosa y novalaca/HMTA en polvo modificación o no

(Alonso, 2002, p.21)

Las resinas fenólicas, según el catalizador (ácido o básico) utilizado, se puede obtener resinas de tipo novalacas y resoles. La diferencia entre ambos materiales, radica en el proceso de curado. Las resinas tipo resol entrecruzan con el aumento de temperatura, debido a que en su estructura química presenta grupos metiloles. Por otra parte, las resinas novalacas necesitan de un catalizador, el cual permite el entrecruzamiento de las cadenas moleculares (Rogers y Long, 2003, p.378; Solomon et al., 2009, p.16).

1.2.2 RESINA FENÓLICA TIPO NOVALACA

Las resinas novalacas, se obtienen por una reacción de policondensación entre el fenol en exceso y formaldehído en medio ácido. Normalmente las novalacas, son

sólidos con puntos de fusión entre los 50 y 130 °C, y se los puede utilizar en forma de pastillas, resinas en polvo o en soluciones (Hesse y Lang, 2012, p. 584). En la primera etapa de reacción de la resina fenólica, se protona el metilenglicol (formaldehído en solución acuosa y medio ácido) para formar el ión hidroximetilencarbonio el cual reacciona con la molécula de fenol en las posiciones orto y para, como se observa en la Figura 1.9 (Alonso, 2002, p.19).

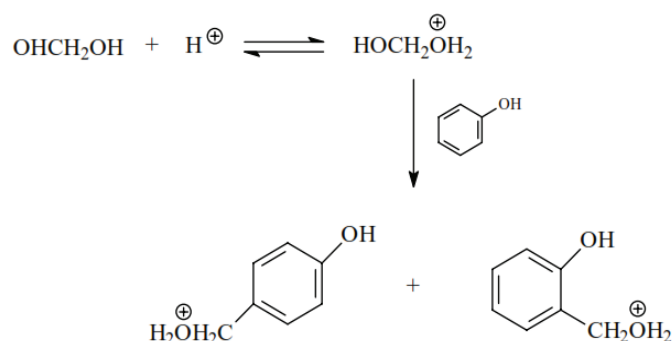


Figura 1. 9. Reacción del ión hidroximetilencarbonio con la molécula de fenol en las posiciones orto y para (Palacios, 2011, p.33; Alonso, 2002, p.19)

En la siguiente etapa, se da un estado de transición en el cual se produce una mezcla de isómeros mediante la formación de puentes de metileno en las posiciones *o - p'*, *p - p'* y *o - o'* entre los productos de la reacción anterior, como se indica en la Figura 1.10 (Palacios, 2011, p.33; Alonso, 2002, p.19).

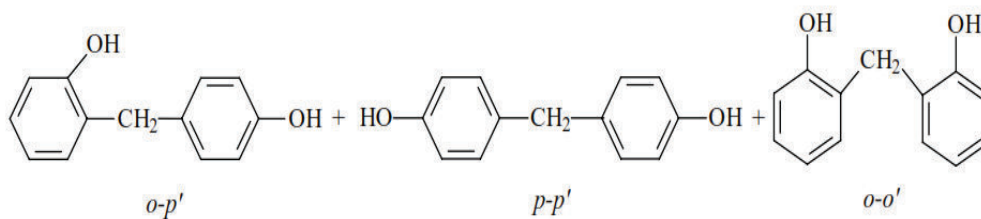


Figura 1. 10. Mezcla de isómeros de dihidroxidifenilmetano (Palacios, 2011, p.33; Alonso, 2002, p.19)

Las resinas novalacas, necesitan de un agente de curado para que el prepolímero policondense. En la Figura 1.11, se muestra la reacción del proceso de curado utilizando hexametilentetramina (HMTA).

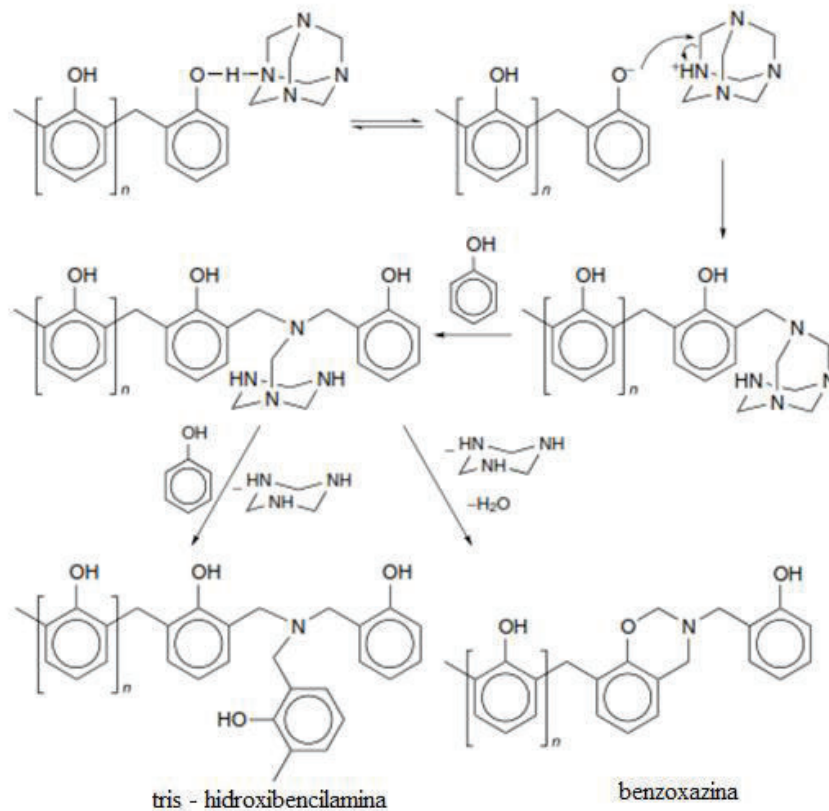


Figura 1. 11. Curado de una resina novalaca con HMTA
(Rogers y Long, 2003, p.390)

1.2.3 RESINA FENÓLICA TIPO RESOL

La resina fenólica tipo resol, es sintetizada con fenol y exceso de formaldehido a una temperatura entre los 40 y 100 °C, en presencia de un catalizador básico. El mecanismo de reacción en medio básico, para la formación del anión fenolato en las posiciones orto y para se presenta en la Figura 1.12 (Johannes, 2013, p. 159).

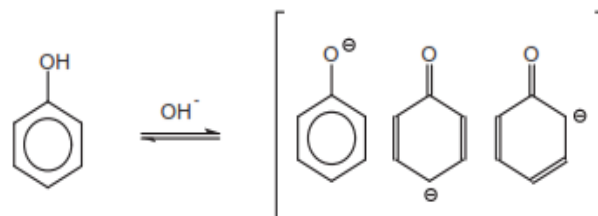


Figura 1. 12. Formación del anión fenolato en las posiciones orto y para
(Johannes, 2013, p.159; Espinoza, 2010, p.12)

Al adicionar el formaldehído, este reacciona con el anión fenolato en las posiciones orto y para, como se presenta en la Figura 1.10. Hasta obtener la resina fenólica, transcurre una serie de reacciones como se puede observar en las Figuras 1.13, 1.14, 1.15.

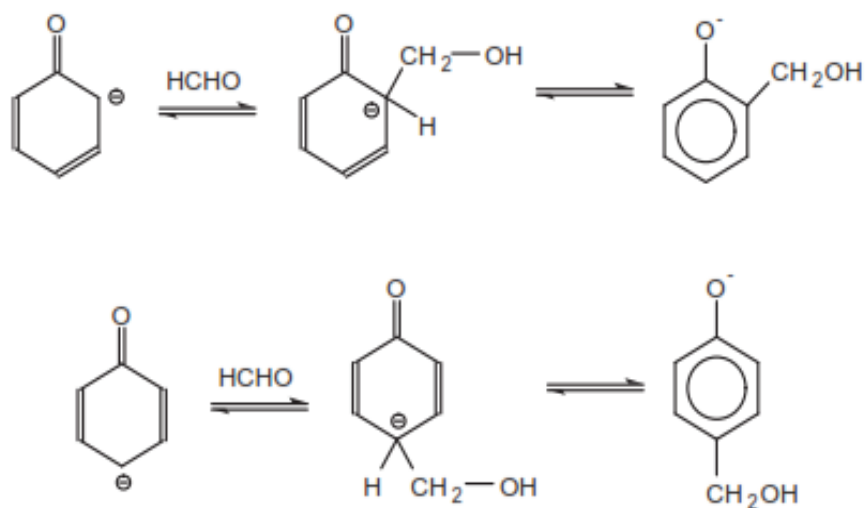


Figura 1. 13. Reacción entre el anión fenolato y formaldehído en las posiciones orto y para (Johannes, 2013, p.159; Espinoza, 2010, p.12)

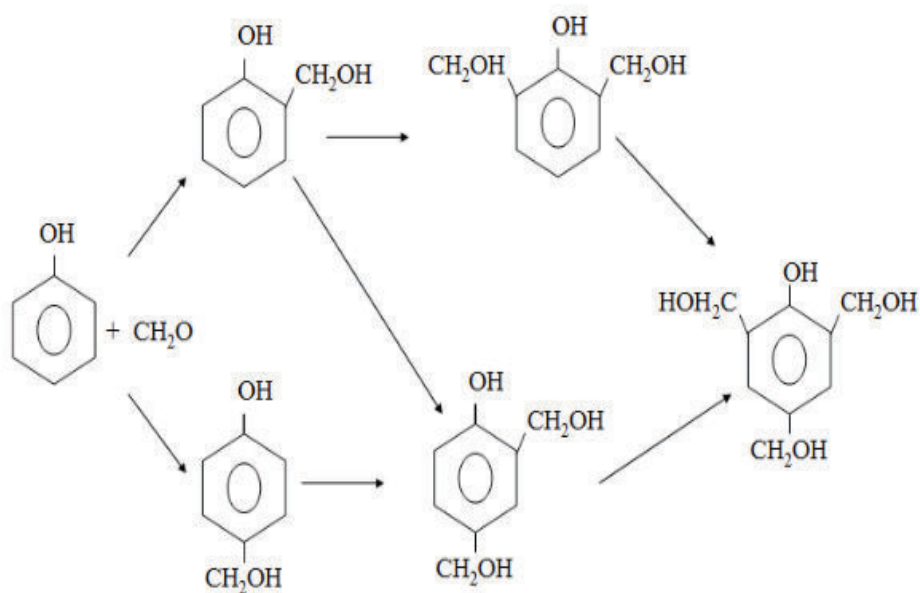


Figura 1. 14. Reacción de metilolación entre el fenol y formaldehído (Espinoza, 2010, p.12)

La condensación de los grupos metilol, incrementa el peso molecular mediante la formación de puentes metileno o éter, como se puede observar en la Figura 1.15.

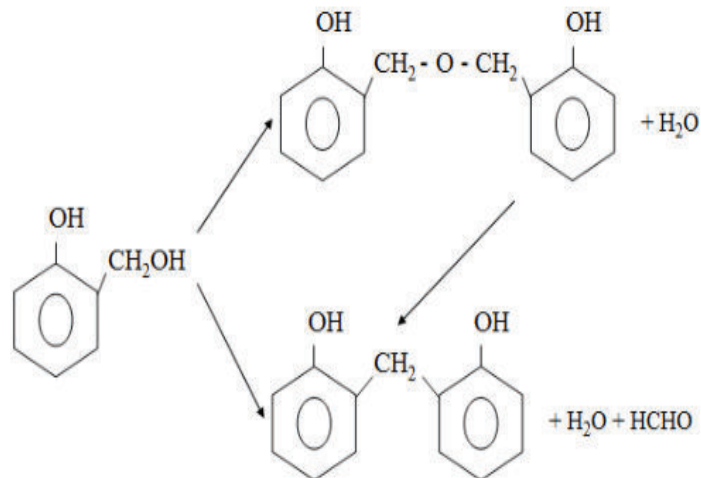


Figura 1. 15. Proceso de polimetilolación
(Espinoza, 2010, p.13)

Mientras avanza la reacción, la cadena polimérica sigue incrementando su tamaño y peso molecular, como se observa en la Figura 1.16.

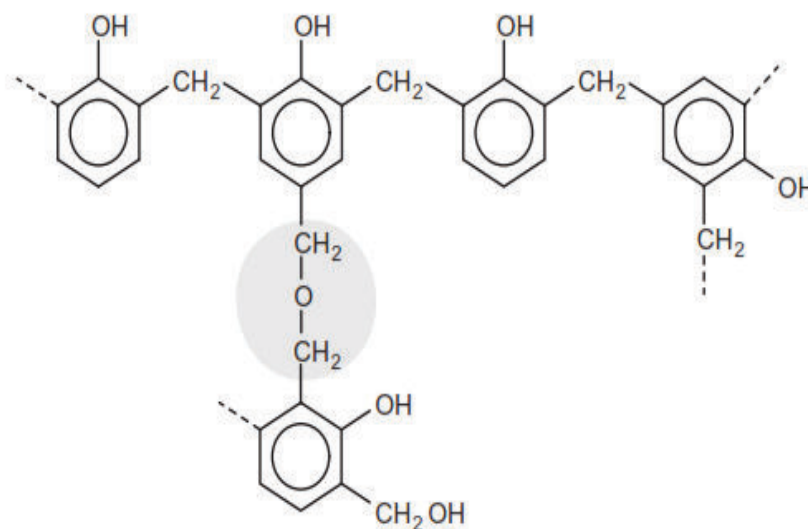


Figura 1. 16. Proceso de formación del retículo de la resina resol
(Johannes, 2013, p.160; Espinoza, 2010, p.13)

1.2.4 MÉTODOS DE ANÁLISIS DE LAS RESINAS FENÓLICAS

1.2.4.1 Espectroscopía infrarroja (FTIR)

La espectroscopía infrarroja, es una técnica analítica establecida para la caracterización de resinas fenólicas. Los espectros de infrarrojo de las resinas noalacas, son fácilmente distinguibles de las resina fenólicas tipo resol por la ausencia de las bandas de éter y de hidroximetil. En la Figura 1.17, se puede observar el espectro de infrarrojo de una resina tipo resol (Gasparetto, 2004, p. 78; Pilato, 2010, p. 109).

En la gráfica se puede observar una región próxima o una banda espectral cercana a los $1\ 000\text{ cm}^{-1}$, un pico alargado y bien definido que corresponde a los grupos metilol presentes en una resina tipo resol (Gasparetto, 2004, p. 77).

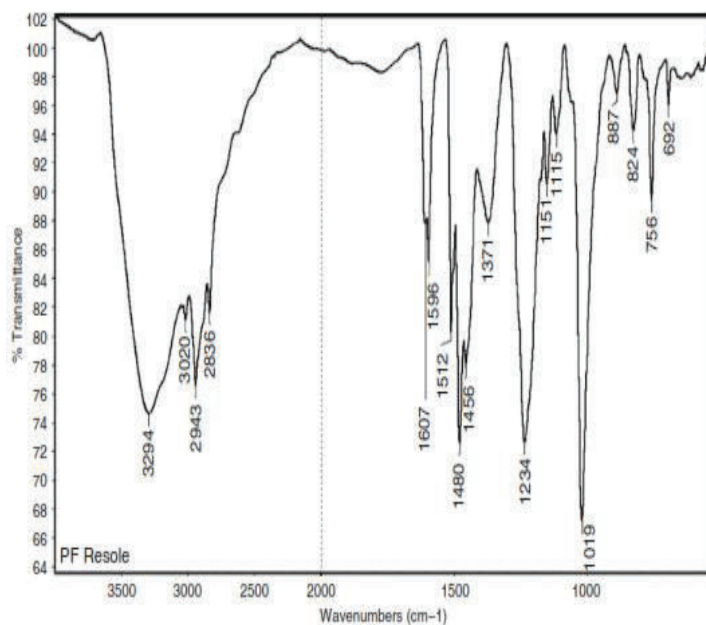


Figura 1. 17. Espectro de infrarrojo de la resina fenólica tipo resol (Pilato, 2010, p.109)

El análisis realizado por espectroscopía, en la actualidad implica el estudio en el cambio de las bandas del espectro infrarrojo producidos por las variaciones de los parámetros de reacción.

Las bandas de sustitución aromática, se pueden utilizar para comparar los niveles de sustitución orto y para en las resinas fenólicas tipo resol y novalaca. Las resina novalaca, presenta las bandas características de 812 y 753 cm^{-1} , que pertenecen a las sustituciones orto y para en el anillo fenólico como se puede observar en la Figura 1.18 (Pilato, 2010, p.110).

La diferencia más característica entre los espectros de las resinas resol y novalaca, se encuentra en la región de 900 a 700 cm^{-1} . En el espectro de la resina tipo resol, se puede observar tres bandas pequeñas consecutivas que aparecen del producto de las sustituciones en el anillo aromático en las posiciones 1.2.4, 1.2.4 – 1.4 y 1.2.6 – 1.2, y la resina novalaca presenta sustituciones en las posiciones 1.2.4 y 1.2.4 – 1.2 (Gasparetto, 2004, p. 79).

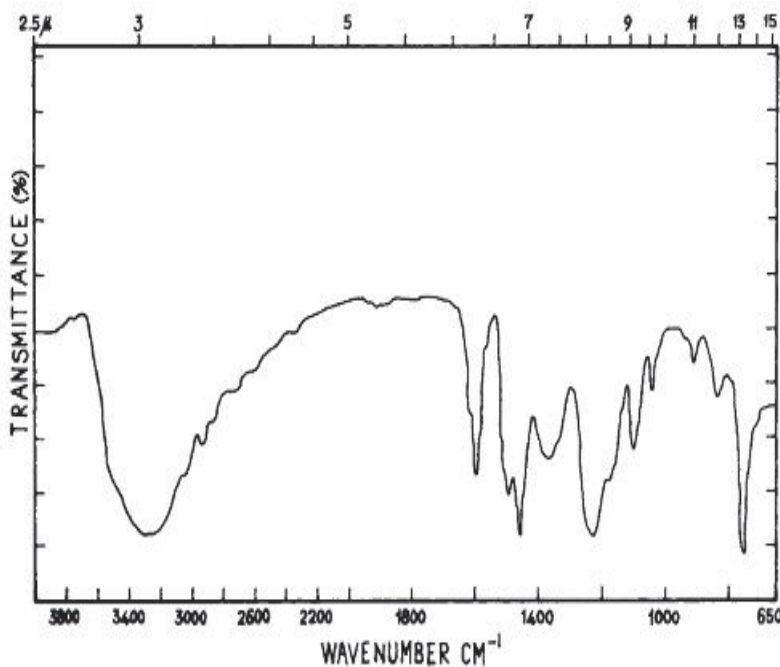


Figura 1. 18. Espectro de infrarrojo de la resina fenólica tipo novalaca (Tugtepe, 1990, p.87)

También se utiliza la espectroscopía de infrarrojo, para estudiar el avance de una reacción. Por ejemplo, se puede analizar el avance de la reacción de síntesis de la resina fenólica tipo resol, obteniendo muestras a diferentes intervalos de tiempos durante la síntesis.

Los espectros obtenidos, se los analiza a través de la cinética en la etapa de metilolación mediante el control de la banda del hidroximetil a $1\ 020\ \text{cm}^{-1}$, mientras que la reacción de condensación se la puede seguir a través de la formación de puentes de metileno a $1\ 480\ \text{cm}^{-1}$ (Pilato, 2010, p. 111).

1.2.4.2 Calorimetría diferencial de barrido (DSC)

La principal aplicación del análisis DSC en las resina fenólicas tipo resol y novalaca, es para determinar la temperatura de curado y el calor de reacción, como se puede observar en la Figura 1.19 (Gasparetto, 2004, p. 84; Pilato, 2010, p.122).

La calorimetría diferencial de barrido, se utiliza para determinar la temperatura de fusión, transición vítrea, grado de cristalinidad a través de la medición del flujo de calor asociado con los cambios exotérmicos y endotérmicos que ocurren durante las transiciones térmicas en un material.

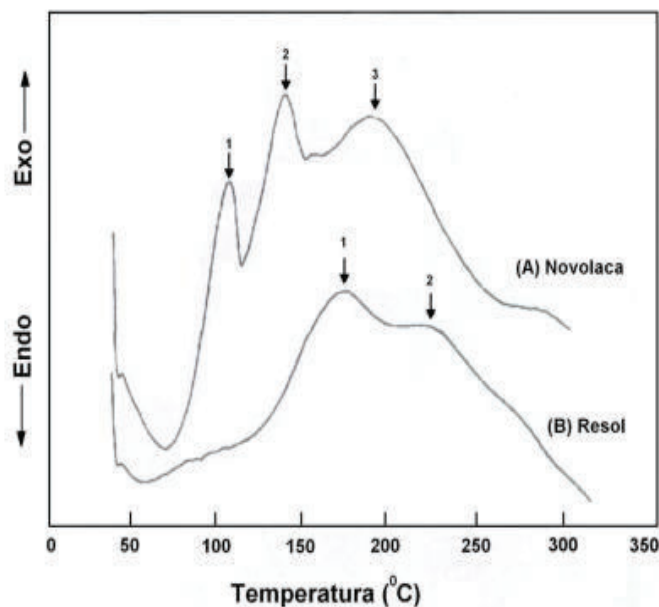


Figura 1. 19. DSC de las resinas fenólicas tipo resol y novalaca (Gasparetto, 2004, p. 84)

En la Figura 1.20 se observa las transiciones térmicas de un polímero, que se puede obtener a partir de un análisis de calorimetría diferencial de barrido.

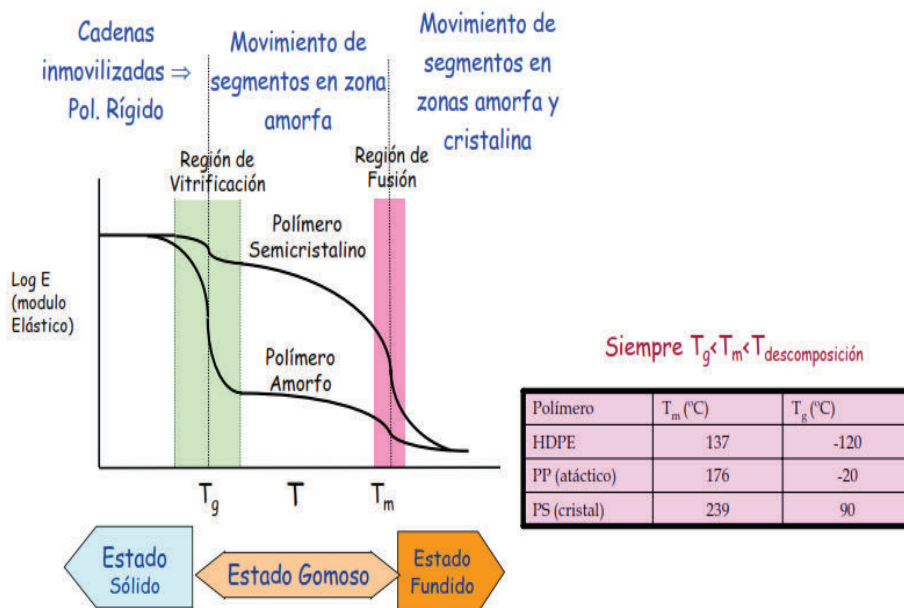


Figura 1. 20. Transiciones térmicas de un polímero
(Materiales poliméricos, 2015, p.11)

1.2.5 PROCESO DE OBTENCIÓN DE LA RESINA FENÓLICA

En la Figura 1.21, se indica el esquema de un reactor para la producción de resina fenólica por cargas. Las instalaciones de los reactores y equipos auxiliares son hechas de acero inoxidable (Pilato, 2010, p. 142; Rodríguez, Mujica, Martínez y Silva, 2009, p. 11).

Los procesos continuos, utilizan un proceso en cascada pero no son muy utilizados. Las resinas normalmente se producen en un proceso por lotes (batch), siguiendo los siguientes pasos: primero se dosifican las materias primas y se calienta el reactor a la temperatura de condensación, y se deja reaccionar hasta alcanzar los parámetros deseados. Luego se procede, con una destilación del exceso de agua solo si es necesario, se deja enfriar la resina y finalmente se descarga.

La producción se lleva a cabo en reactores que pueden ser calentados y enfriados por chaquetas o bobinas, y están equipados con condensadores de reflujo o destilación (Pilato, 2010, p. 142)

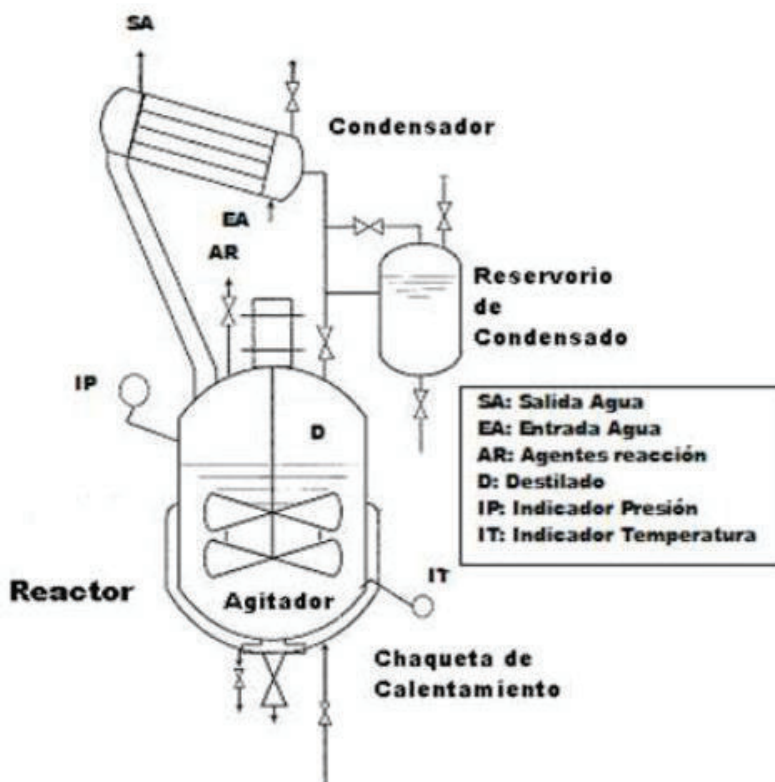


Figura 1. 21. Esquema de un reactor para la producción de resina fenólica (Rodríguez et al., 2009, p. 11).

1.2.6 ESPUMAS FENÓLICAS

Las espumas fenólicas se han utilizado por mucho tiempo en el campo del transporte, aislamiento, embalaje, mitigación de ruido, y también en edificios y automóviles (Szczureck, Fierro, Pizzi, Stauber y Celzard, 2014, p. 40).

Las espumas fenólicas, son unas de las varias espumas poliméricas orgánicas que se utilizan para aislamiento térmico, espumas florales y otras áreas de aplicación de espumas relacionadas. En comparación con otras espumas poliméricas orgánicas, posee una estructura celular completamente abierta para

obtener una saturación de agua total o una estructura celular cerrada. (Pilato, 2010, p.190)

Las espumas poliméricas están constituidas por un mínimo de dos fase, como se puede observar en la Figura 1.22, la fase gas y la resina que vendría a ser la matriz sólida de la espuma. (Bibin y Reghunadhan, 2014, p.518; Orozco, 2013, p. 12).

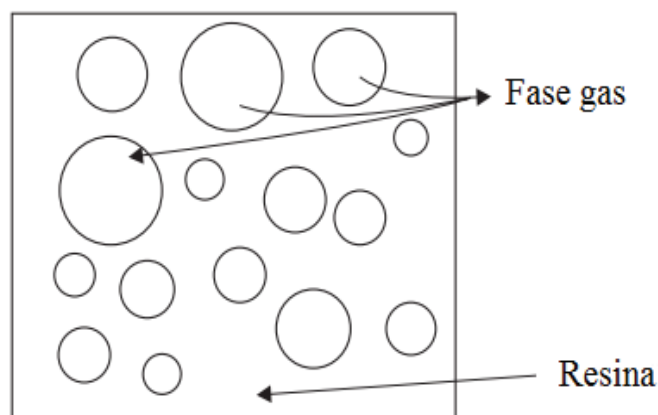


Figura 1. 22. Estructura de una espuma polimérica
(Bibin, 2014, p.518)

Las espumas fenólicas poseen una gran resistencia al fuego, y son térmicamente estables en un amplio rango de temperaturas, conservando su rendimiento y estabilidad desde los -196 a 200 °C. Sin embargo, son extremadamente friables y sus propiedades mecánicas son relativamente bajas en comparación con otras espumas poliméricas.

Estudios realizados en los últimos años, han demostrado que la utilización de fibra de vidrio como refuerzo, conjuntamente con flexibilizantes tales como: nitrilo butadieno (NBR), polietilenglicol (PEG), y polimetilmetacrilato (PMMA), es la forma mas eficaz de mejorar las propiedades mecánicas y disminuir la friabilidad de las espumas fenólicas (Zhou, Yao, Chen, Wei y Wu, 2013, p. 131).

La obtención de espumas fenólicas requiere el uso de un tensoactivo, resina tipo resol o novalaca, agente de soplado y de un catalizador. Después de la adición

del catalizador, se produce una reacción exotérmica la cual facilita la volatilización del agente de soplado, el cual queda atrapado en pequeñas burbujas de gas en la resina. La resina se transforma de un líquido viscoso en un gel y finalmente en un sólido rígido reticulado obteniéndose una espuma (Pilato 2010, p. 190; Schroer, Hudack, Soderquist y Beulich, 2008, p. 1).

La densidad de una espuma fenólica, obtenida con una resina tipo resol esta en el rango de 0,02407 a 0,08026 g/cm³, y dependiendo de la aplicación se ajustan los parámetros del proceso de espumado. (Espinoza, 2010, p. 4)

1.2.6.1 Proceso de espumado

Las espumas poliméricas de celdas abiertas o cerradas, siguen tres etapas de formación. Como se indica en la Figura 1.23, la primera etapa es la formación de las burbujas de gas, seguido del crecimiento y la estabilización de las mismas. (Orozco, 2013, p. 20)

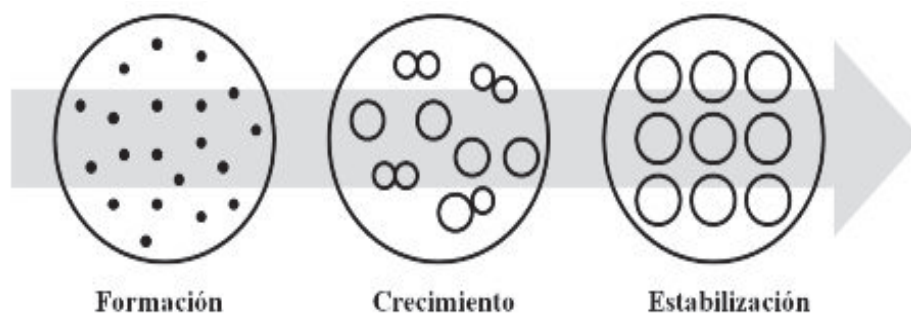


Figura 1. 23. Etapas de formación de las espumas fenólicas (Orozco, 2013, p. 20)

Primera etapa: Formación de las burbujas

La densidad celular en una espuma, no solo tiene efectos directos en sus propiedades físicas, se ha demostrado también que grandes números de celdas por volumen da un resultado más viscoso y estable en la espuma. Por lo tanto,

para mantener este parámetro es importante entender y controlar el mecanismo de nucleación en la espuma (Kaushiva, 1999, p. 22).

La nucleación de las burbujas inicia en el seno de la resina líquida, y mediante la adición de sustancias que disminuyen la tensión superficial favorece la formación de sistemas más homogéneos. La agitación mecánica y en algunos casos las reacciones exotérmicas generan zonas calientes, provocando una disminución en la tensión superficial, favoreciendo la formación de burbujas en la resina polimérica (Orozco, 2013, pp, 21, 22; Kaushiva, 1999, p. 23).

La formación de las burbujas, se da por la presencia de un gas que se difunde a través de la resina, el cual puede originarse de cinco fuentes distintas:

1. El gas desprendido por la reacción de la espuma
2. El gas arrastrado hacia la resina durante el proceso de mezclado
3. El gas disuelto en los reactivos líquidos
4. EL gas producido por agentes de soplado
5. El gas desprendido de la descomposición térmica de los reactivos

Segunda etapa: Crecimiento de las burbujas

En la primera etapa se produce la formación de las burbujas, el gas encapsulado genera una diferencia de presión en la burbuja con respecto al líquido que la rodea incrementando su tamaño, de acuerdo a la ecuación 1.1 (Kaushiva, 1999, p. 23; Orozco, 2013, p. 22).

$$\Delta P = \frac{2\gamma}{r} \quad [1.1]$$

Donde:

γ : tensión superficial del líquido

r: radio de las burbujas

De acuerdo a la ecuación 1.1, las burbujas más pequeñas ejercen mayor presión que las burbujas más grandes. Todas las espumas comienzan con una distribución de tamaños de burbujas, la difusión se produce desde las burbujas mas pequeñas hacia las mas grandes, a medida que aumenta el tiempo de reacción el tamaño de las burbujas para un sistema polidisperso se incrementan, pero el numero total de burbujas disminuye (Kaushiva, 1999, p. 23). La disminución de la tensión superficial por los tensoactivos, juegan un papel contrario en esta etapa del proceso de espumado, ocasionan una disminución en la diferencia de presión entre las burbujas, dando lugar a un incremento en la cantidad de las burbujas de menor tamaño (Orozco, 2013, p. 22).

Como se muestra en la Figura 1.24, el líquido reside en las laminillas y una meseta bordea las burbujas.

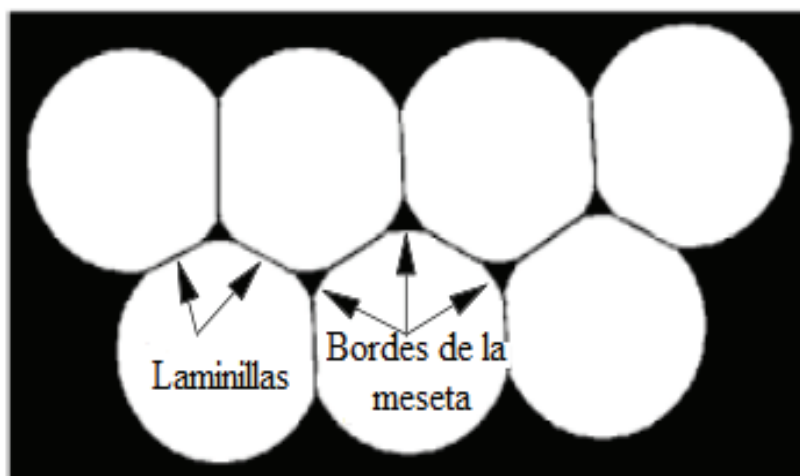


Figura 1. 24. Disposición del líquido en las celdas de la espuma
(Kaushiva, 1999, p. 23)

Es primordial tener en cuenta, que las fronteras de la meseta de la interfaces gas/líquido no son planas sino que se han curvado, generando una caída de presión a través de la interfaz, resultado que concuerda con la ecuación 1.1. Esto

significa que a mayor presión, las laminillas son más grandes y largas que los bordes de la meseta, ocasionando una fuerza de succión que extrae o drena el líquido de las laminillas provocando un adelgazamiento continuo en las paredes de las celdas de la espuma (Kaushiva, 1999, p. 23)

Tercera etapa: estabilización de las burbujas

En esta etapa, la reacción de gelificación debe haber avanzado lo suficiente para dar una estructura fuerte al polímero, de lo contrario la espuma colapsaría. Existe muchas teorías sobre el mecanismo de estabilización, pero al final todos se traducen en la apertura de las celdas (Kaushiva, 1999, p. 26).

La temperatura influye en la estabilidad de las burbujas. Al incrementar la temperatura en el sistema, la tensión superficial y la viscosidad disminuyen provocando que las laminillas disminuyan de espesor con mayor facilidad. Por otra parte, el aumento de temperatura favorece a la velocidad de polimerización y también a la estabilidad de las burbujas (Orozco, 2013, p. 24).

1.2.6.2 Materias primas del proceso de espumado

Surfactantes

Para la producción de espumas a partir de una resina líquida polar, y un hidrocarburo líquido no polar utilizado como agente de soplado, es necesario agregar un surfactante para formar una emulsión estable homogénea entre estas dos fases y además debe actuar como un agente activo reduciendo la tensión superficial de la resina. Los surfactantes proporcionan estabilidad a la resina durante la formación de la espuma, evitando el colapso o ruptura de la misma, permitiendo controlar la uniformidad y tamaño de las celdas en la estructura de la espuma polimérica. En la producción de espumas poliméricas se utiliza surfactantes iónicos, no iónicos y siliconas (Espinoza, 2010, p. 14; Kaushiva, 1999, p. 19; Orozco, 2013, p. 35).

Los surfactantes no iónicos y siliconas son los más utilizados en la producción de espumas poliméricas. La cantidad de surfactante utilizado, debe ser tal que garantice una estructura celular adecuada a la espuma. Si se adiciona poca cantidad de surfactante, ocasiona una desestabilización en la formación de las celdas de la espuma llevándola al colapso de su estructura celular, por otra parte al agregar demasiada cantidad de surfactante, la espuma puede hacerse muy plástica y colapsar (Espinoza, 2010, p. 14).

Para la producción de espumas fenólicas, se puede utilizar varios tipos de surfactantes. Se utiliza comúnmente los surfactantes no iónicos de la serie Tween (Espinoza, 2010, p. 14; Orozco, 2013, p. 35).

Resina fenólica

Las resinas fenólicas, deben cumplir ciertos parámetros los cuales son ajustados durante el proceso de síntesis (Pilato, 2010, p.201). En la Tabla 1.8, se muestran las propiedades que debe cumplir la resina fenólica tipo resol.

Tabla 1. 8. Propiedades de la resina tipo resol

Propiedades	Valor Ideal
Viscosidad (Cps)	1 900 – 2 300
pH (20°C)	6,1 – 7
Contenido de sólidos (%)	77 – 81
Fenol libre (%)	< 6,5
Formaldehído libre (%)	< 1,4

(Pilato, 2010, p.201)

Agentes de soplado

Los agentes de soplado, tienen como finalidad reducir el calor producido por la reacción exotérmica que se produce durante el proceso de gelificación de la

resina. Los gases producidos, generan la fase gas de la estructura de la resina permitiendo obtener un crecimiento uniforme de la red polimérica Espinoza, 2010, p. 14; Orozco, 2013, p. 33).

Los agentes de soplado se dividen en dos clases, físicos y químicos. Los agentes de soplado físicos, son líquidos de bajo punto de ebullición que volatilizan durante la reacción exotérmica entre la resina y el catalizador ácido, como ejemplo se puede mencionar a los freones, hidrocarburos saturados, etc (Espinoza, 2010, p. 15).

Los agentes de soplado químicos de tipo descomponible son: carbonato de amonio, nitrito de sodio, bicarbonato de sodio, nitrito de sodio y carbonato de sodio, son reactivos que se someten a una reacción química para generar uno o más componentes gaseosos (Kaushiva, 1999, p. 22; Orozco, 2013, p. 33; Pilato, 2010, p. 203).

Los agentes de soplado físicos empleados para la producción de espumas poliméricas, tienen un costo elevado y requieren un almacenamiento en equipos especiales, y son sustancias peligrosas que destruyen la capa de ozono. Como ejemplo están los hidroclorofluorocarbonos (HCFCs) y los clorofluorocarbonos (CFCs) (Espinoza, 2010, p. 15; Kaushiva, 1999, p. 20; Orozco, 2013, p. 33).

En la Tabla 1.9, se puede observar los agentes de soplado alternativos y sus parámetros medioambientales que son: el potencial de destrucción de ozono (ODP) y el potencial de calentamiento global (GWP) (Orozco, 2013, p. 33).

Como se puede observar, los agentes de soplado o espumantes n-pentano y isopentano tienen los valores más bajos de GWP Y ODP, por lo tanto son los más indicados para ser utilizados en el proceso de obtención de las espumas poliméricas (Orozco, 2013, p. 33).

Tabla 1. 9. Agentes de soplado físicos alternativos y sus parámetros medioambientales

Agente espumante	GWP	ODP
R - 365mfc	810	0
R - 245fa	820	0
R - 134 ^a	1 300	0
R - 11	4 000	1
R - 141b	630	0,11
R - 142b	1 800	0,065
R - 152 ^a	140	0
n - pentano	11	0
Iso - pentano	11	0

(Orozco, 2013, p. 33)

Catalizadores

Los catalizadores producen una reacción exotérmica, la cual genera el calor necesario para evaporar el agente de soplado permitiendo que se de el espumado del polímero. Si en el proceso de espumado, se utiliza poca cantidad de catalizador, la reacción de reticulación procederá muy lentamente y no habrá la viscosidad suficiente en el polímero cuando empiecen abrirse las celdas, provocando el colapso de la espuma (Orozco, 2013, p. 39; Pilato, 2010, p. 200).

Por otra parte, si se utiliza demasiado catalizador, como consecuencia el proceso de reticulación se da mucho más rápido, lo cual no permite la expansión de la burbuja ocasionando que no ocurra la apertura de las celdas (Kaushiva, 1999, p. 17).

En la formulación de espumas fenólicas, se utiliza en su mayoría los ácidos inorgánicos, como el ácido sulfúrico, pero se tiene como desventaja que produce corrosión en los equipos. Por lo tanto, estos ácidos inorgánicos en gran medida han sido remplazados por ácidos orgánicos menos corrosivos como: el ácido

toluensulfónico, fenolsulfónico y silensulfónico (Orozco, 2013, p. 36; Pilato, 2010, p. 203).

2. PARTE EXPERIMENTAL

2.1 EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE POLICARBONATO RECICLADO EN LA SÍNTESIS DE LA RESINA FENÓLICA

2.1.1 PREPARACIÓN DE LOS BIDONES DE PC PARA SU DISOLUCIÓN EN FENOL Y POSTERIOR SÍNTESIS DE LA RESINA FENÓLICA

Para el desarrollo del presente proyecto de investigación, se recolectaron 12 bidones de PC procedentes de la empresa de agua mineral San Felipe localizada en la Provincia de Cotopaxi, cantón Latacunga. Para la preparación de los bidones de PC previo a su disolución en fenol, se siguió los siguientes pasos:

1. Se realizó un lavado a mano con agua y detergente (polvo) para retirar los residuos de polvo y contenido orgánico, para evitar la contaminación del polímero durante el proceso de molienda.
2. La reducción de tamaño, se lo hizo en dos etapas: primero se cortó manualmente las botellas en pedazos de aproximadamente 8 x 8 cm. Continuando con la molienda, se la realizó en un molino de cuchillas hasta obtener una cantidad de 5 kg de PC molido. Se utilizó tamices de diferentes medidas y se logró identificar tamaños de partículas entre 0,85 a 6,00 mm.

2.1.2 CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA

Se realizó un muestreo por cuarteo, con la finalidad de obtener una muestra representativa de todo el polímero molido, el cual permitirá el estudio de sus propiedades características. Se colocó los bidones molidos en una superficie plana y se dividió en cuatro partes iguales y se procedió a mezclar y homogenizar el material de cada división, se realizó el mismo proceso hasta reducir la muestra a la cantidad necesaria para el posterior análisis.

2.1.2.1 Análisis por espectroscopia infrarroja

La materia prima se caracterizó mediante un análisis de espectroscopía infrarroja (FTIR). Para realizar el análisis FTIR, fue necesario obtener una lámina delgada mediante el prensado de 0,6 g de material, utilizando una prensa Carver Modelo 2112-2 bajo las condiciones de operación que se indican en la Tabla 2.1.

Tabla 2. 1. Condiciones de operación

Condiciones de operación	Valor	Unidades
Temperatura	200	°C
Presión	25000	Psi
Tiempo	5	Min

Las láminas obtenidas, se analizaron por transmitancia desde los 4 000 hasta los 450 cm^{-1} mediante la utilización del método de HATR (Horizontal Attenuated Total Reflection) en un espectrofotómetro de infrarrojo Perkin Elmer modelo Spectrum One.

2.1.2.2 Calorimetría diferencial de barrido (DSC)

Las propiedades térmicas de la materia prima, se las obtuvo mediante un calorímetro diferencial de barrido netzsch, modelo DSC 204 F1 phoenix provisto de un intercooler para el enfriamiento a velocidad constante.

Se pesó aproximadamente 20 mg de la muestra y se colocó en una cápsula de aluminio. El análisis se realizó desde 20 °C hasta 200 °C, con una tasa de calentamiento de 10 °C/min en una atmósfera de nitrógeno con un flujo de 20 mL/min con base la norma ASTM D7426 – 08 "Método de prueba estándar para la asignación del Procedimiento de DSC para determinar la Tg de un polímero o un compuesto elastomérico ", realizándose los siguientes procesos:

- a) Calentamiento: desde los 20 °C hasta los 200 °C a una tasa de calentamiento de 10 °C/min.
- b) Paso isotermal: la temperatura se mantuvo constante a 200 °C durante 5 minutos.
- c) Enfriamiento: desde los 200 °C hasta los 20 °C.

2.1.3 INFLUENCIA DEL TAMAÑO Y CANTIDAD DE POLICARBONATO PARA LA DISOLUCIÓN Y SÍNTESIS

2.1.3.1 Influencia del tamaño de PC para la disolución

El análisis de la influencia del tamaño de PC en la disolución, se lo realizó utilizando tamaños de material de 2, 4 y 6 mm. Se colocó el material en un reactor con agitación mecánica, provisto de un sistema de calentamiento y reflujo. La disolución se llevó a cabo a 151 °C y presión atmosférica.

Se disolvió 10 gr de PC, utilizando 40 gr de solvente para cada caso. Se decidió utilizar la misma cantidad de solvente, para poder tener una mejor apreciación del efecto del tamaño del PC durante el proceso de disolución. Si se utilizaba mayor cantidad de solvente, el efecto posiblemente hubiera sido similar, debido a que la cantidad utilizada de PC no satura la solución.

El material de 6 mm se demoró en disolver 15 minutos aproximadamente, debido a que se formaba una masa pegajosa posiblemente a causa del tamaño que impedía que se de un mayor contacto con el solvente. El PC de 4 mm, se disolvió en 9 minutos y el de tamaño de 2 mm en un tiempo de 3 minutos.

2.1.3.2 Influencia de la cantidad de PC para la síntesis

Se realizó la disolución del material a diferentes porcentajes en peso, como se indican en la Tabla 2.2. La resina fenólica se sintetiza a 90 °C, por lo tanto la

cantidad de PC que se utilice debe garantizar que a dicha temperatura la mezcla PC–fenol debe encontrarse en solución.

Tabla 2. 2. Porcentajes en peso de fenol y PC usados para determinar la cantidad necesaria para la síntesis

Fenol (%)	Policarbonato (%)
80	20
75	25
70	30
65	35
60	40
55	45

2.1.4 ANÁLISIS DEL PRODUCTO DE LA DISOLUCIÓN DE LOS BIDONES DE POLICARBONATO EN FENOL POR ESPECTROSCOPIA INFRARROJA (FTIR)

El análisis se realizó por FTIR, para caracterizar estructuralmente el producto obtenido de la disolución de PC en Fenol. Los espectros obtenidos, fueron analizados en comparación con los estándares correspondientes del PC y fenol. Se utilizó, bromuro de potasio previamente secado a 100 °C durante 3 horas y se elaboró una pastilla, con ayuda de una prensa marca carver. La muestra líquida, se colocó sobre la pastilla de bromuro de potasio y se procedió con el análisis en el infrarrojo por transmitancia desde los 4 000 hasta los 450 cm⁻¹.

2.1.5 SÍNTESIS DE LA RESINA FENÓLICA

2.1.5.1 Obtención de la resina fenólica sintetizada con policarbonato

La síntesis de la resina fenólica a escala de laboratorio, se llevó a cabo mediante la reacción de policondensación entre el producto obtenido en la disolución (PC-

fenol), formaldehído y una solución al 50% p/p de hidróxido de sodio como catalizador (Ma, Zhang, Wang, Xu y Chu, 2012, p. 3097; Espinoza, 2010, p. 43). De acuerdo con los estudios realizados anteriormente, se mantuvo la reacción a una temperatura cercana a los 90 °C y pH 9 utilizando una solución al 50% en p/p de hidróxido de sodio como catalizador. Una vez finalizado el tiempo de síntesis, se neutralizó con ácido clorhídrico 1 N y se realizó una destilación simple del agua producto de la reacción.

Se utilizó un reactor de 1 000 ml de capacidad con agitación mecánica, reflujo y un sistema de calentamiento como se puede observar en la Figura 2.1.

Para determinar la relación formaldehído/fenol y el tiempo de síntesis que permitan obtener la mejor resina para la producción de espuma floral, se utilizó un diseño factorial 3^2 .



Figura 2. 1. Esquema de los equipos del proceso de síntesis

En la Tabla 2.3, se presentan los factores que son: la relación formaldehído/fenol y el tiempo de síntesis. Y como variables de salida son: la viscosidad, porcentaje de sólidos y formaldehído libre.

Tabla 2. 3. Factores del proceso de síntesis

Factores	Valor
formaldehído/fenol (moles)	1,6:1
	2,0:1
	2,4:1
Tiempo (min)	90
	105
	120

El diseño experimental, permitió el análisis del efecto de los factores seleccionados en el proceso de síntesis sobre las variables de salida, para la elaboración de resina fenólica con PC, mediante la utilización del programa STATGRAPHICS Centurion XV.I. Con base al diseño experimental elegido, se indica en la Tabla 2.4 la combinación de los factores para cada tratamiento.

Tabla 2. 4. Número de tratamientos con su respectiva combinación de cada factor

Tratamientos	Factores	
	T (°C)	Relación molar (Formaldehído/Fenol)
1	90	1,60
2	105	1,60
3	120	1,60
4	90	2,00
5	105	2,00
6	120	2,00
7	90	2,40
8	105	2,40
9	120	2,40

Se estableció, la cantidad en peso de PC reciclado y fenol. Además, se calculó el volumen de formaldehído de cada relación molar para el proceso de síntesis, como se encuentra descrito en el ANEXO I.

2.1.5.2 Evaluación de la resina fenólica sintetizada con policarbonato

Determinación de la viscosidad

La viscosidad se determinó siguiendo el procedimiento B de acuerdo con la norma ASTM D1084-08 (2014) “Método de prueba estándar para determinar la viscosidad en adhesivos”. Se colocó 300 ml de la resina fenólica en un vaso de 500 ml, y se procedió a medir la viscosidad a diferentes velocidades de giro cuyo torque producido por el eje sea mayor al 10% con ayuda de un viscosímetro Brookfield. Se utilizó el husillo número 62, debido que a distintas velocidades se obtuvo los mejores resultados.

Determinación del contenido de sólidos

De acuerdo con la norma ASTM D2369-10 (e1) “Método de prueba estándar para determinar el porcentaje de sólidos”, se determinó el porcentaje de sólidos presentes en la resina fenólica sintetizada con policarbonato. Se cortó un pedazo de papel de aluminio y se lo pesó, luego se colocó entre 0,4 y 0,9 g de resina que se sintetizó con policarbonato en su formulación y se introdujo en una estufa a una temperatura de 110 °C durante una hora.

Determinación del formaldehído libre

El porcentaje de formaldehído libre, se determinó por titulación de acuerdo al método A de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 278 (2001) “Método para determinar el contenido de formaldehído libre en pinturas y productos afines”.

Para la titulación de la muestra se siguió los siguientes pasos:

1. Con ayuda de una pipeta volumétrica, se midió 25 cm³ de una solución de sulfito de sodio 0,2 M y 10 cm³ de una solución de ácido sulfúrico 0,2 N y se colocó en un matraz de 125 cm³. Se agitó manualmente para tener una buena homogenización.
2. Se pesó entre 6 y 10 gr de resina que se sintetizó y se colocó en el matraz y se agitó.
3. Se colocó de 3 a 5 gotas de indicador de timolftaleína y se tituló desde una bureta con hidróxido de sodio 0,1 N (valorado) hasta alcanzar un punto de viraje de color ligeramente azul claro.
4. Por último, se registró el volumen de hidróxido de sodio gastado en cada titulación.

Se siguió el mismo procedimiento, para determinar el volumen de hidróxido de sodio gastado en el blanco. En el ANEXO II, se presentan los cálculos realizados para la formulación de cada solución y la gráfica de la titulación de la resina fenólica.

Se calculó el formaldehído libre, como porcentaje en masa utilizando la siguiente ecuación:

$$FI = \frac{V_B - V_M \times N \times 3,0026}{W} \quad [2.1]$$

Donde:

FI: formaldehído libre

VB: volumen de hidróxido de sodio consumido en la titulación durante el blanco en cm³

VM: volumen de hidróxido de sodio consumido en la titulación de la muestra en cm³

N: normalidad de la solución de hidróxido de sodio

W: masa de la muestra en gramos

2.1.5.3 Obtención de la resina fenólica sintetizada con policarbonato en su formulación que cumpla con los parámetros para la elaboración de espuma floral con ayuda del programa STATGRAPHICS Centurion XV.I.

Para poder determinar la relación formaldehído/fenol y tiempo de síntesis, que permitan obtener una resina fenólica que cumpla con los parámetros para la elaboración de espuma floral, se utilizó la gráfica de superficie múltiple de respuesta. Dicha gráfica permite el análisis en conjunto de las variables de salida permitiendo obtener un punto de conveniencia, en el cual se halla el mejor valor de los factores para la elaboración de la resina.

2.1.6 ANÁLISIS DEL EFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE POLICARBONATO RECICLADO EN LA SÍNTESIS DE LA RESINA FENÓLICA

2.1.6.1 Análisis de las resinas fenólicas por espectroscopía infrarroja (FTIR)

El análisis del espectro infrarrojo de las resinas fenólicas, se realizó de igual manera que en el acápite 2.1.4. Se hizo la comparación, entre los grupos funcionales de las respectivas resinas fenólicas sintetizadas con y sin PC.

2.1.6.2 Análisis de las resinas fenólicas por calorimetría diferencial de barrido (DSC)

El análisis de las propiedades térmicas de las resinas fenólicas, se realizó de igual manera que en el acápite 2.1.2.2, con la única diferencia que se trabajó a diferentes barridos como se explica a continuación: Primero, se calentó el “pan” desde -50 °C hasta 250 °C a una tasa de calentamiento de 10 °C/min.

Continuando con un paso isoterma, manteniendo la temperatura constante a 250 °C durante 5 minutos. Después, se enfrió el sistema desde 250 °C a -50 °C a una velocidad de 10 °C/min. Luego se repitió un paso isoterma, manteniendo la temperatura constante a -50 °C durante 5 minutos. Finalmente, se realizó un calentamiento desde -50 °C hasta 250 °C a 10 °C/min.

2.2 DESARROLLO DEL ESPUMADO A PARTIR DE LA RESINA FENÓLICA Y POLICARBONATO

2.2.1 PRUEBAS PRELIMINARES PARA DETERMINAR LAS VARIABLES DE ESTUDIO DEL PROCESO DE ESPUMADO

Las pruebas preliminares para la elaboración de espuma floral, se llevó a cabo mediante el siguiente proceso de espumado:

1. Primero, la resina fenólica sintetizada con policarbonato se mezcló con surfactante (Tween 80), agente de humectación (texapón), tintura de color verde y úrea (para reducir el olor de formaldehído) y se mezcló durante 15 minutos.
2. Luego se adicionó agente de soplado (Éter de petróleo) y ácido catalizador (ácido sulfónico) y se agitó 5 minutos hasta obtener una mezcla homogénea.
3. Finalmente la mezcla resultante se vertió en un molde precalentado a 90 °C durante 60 minutos (Orozco, 2013, p. 74).

Las variables experimentales y proporciones de los reactivos del proceso, se establecieron mediante pruebas preliminares con base a los datos de experimentación que se muestran en el ANEXO III propuestos por Espinoza, (2010, p. 43).

En la Tabla 2.5, se presenta las proporciones (partes por peso) utilizadas en las pruebas preliminares a partir de los datos utilizados por Espinoza (2010), para hallar las variables que afectan el proceso de espumado. En el ANEXO III se presenta las cantidades a utilizar en cada prueba preliminar realizadas.

Tabla 2. 5. Proporciones utilizadas en las pruebas preliminares

Reactivos	Proporciones					
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5	Prueba 6
Resina	100	100	100	100	100	100
Surfactante	15	10	12	8	10	15
Agente de humectación	2.5	5	7.5	6	5	5
Colorante	10	7	6	5	6	6
Agente de soplado	5	6	5	8	5	8
Ácido Catalizador	50	30	40	45	30	40
Úrea	3	3	3	3	3	3

2.2.2 OBTENCIÓN DE LA ESPUMA FLORAL A PARTIR DE LA RESINA FENÓLICA SINTETIZADA CON POLICARBONATO

Para analizar el proceso, se realizó un diseño experimental 2^3 , realizándose tres repeticiones por tratamiento. Con base al diseño experimental elegido, se indica en la Tabla 2.6 la combinación de las variables experimentales para cada tratamiento. Se realizó tres replicas para cada tratamiento.

Tabla 2. 6. Número de tratamientos con su respectiva combinación de cada variable experimental

Tratamientos	Variables experimentales		
	Surfactante (g)	Agente de soplado (g)	Catalizador (g)
1	2	1,2	6
2	3	1,2	6
3	2	1,6	6
4	3	1,6	6
5	2	1,2	8
6	3	1,2	8
7	2	1,6	8
8	3	1,6	8

2.2.2.1 Evaluación de la espuma floral

Determinación de la densidad

La densidad se determinó de acuerdo a la norma ASTM D1622/D1622M (2014) “Método de prueba estándar para determinar la densidad en plásticos celulares rígidos”. Se cortó la espuma floral, en forma de un cubo con medidas de 3 x 3 x 3 cm y se procedió a pesarla en una balanza Mettler Toledo modelo PG 5002-S, 5 100 g, 0,01 g. La densidad se calculó utilizando la siguiente fórmula:

$$d = \frac{w}{V} \quad [2.2]$$

Donde:

W: peso de la muestra

V: volumen de la muestra

Determinación de Absorción de agua

Se determinó mediante la cantidad de veces que puede absorber la espuma su propio peso en agua, utilizando la siguiente fórmula. Como resultado se obtiene, el número de veces el peso de la espuma que puede absorber en agua.

$$\text{Absorción de agua} = \frac{\text{Peso de agua absorbida}}{\text{Peso de la espuma}} \quad [2.3]$$

2.2.3 ANÁLISIS DE LA ESPUMA FLORAL

Con la finalidad de tener una caracterización más completa de la espuma, se realizó tres análisis en comparación con la espuma obtenida de la resina sin PC y la espuma comercial “Oasis”.

2.2.3.1 Análisis por espectroscopía infrarroja

El análisis del espectro infrarrojo de las espumas florales, se realizó de igual manera que en el acápite 2.1.2.1. Se hizo la comparación entre los grupos funcionales de las respectivas espumas florales obtenidas del proceso de espumado de las resinas sintetizadas con y sin PC, en comparación de con una espuma floral comercial "Oasis".

2.2.3.2 Análisis por calorimetría diferencial de barrido (DSC)

El análisis de las propiedades térmicas de las espumas florales, se realizó de igual manera que en el acápite 2.1.2.2, con la única diferencia que se trabajó a diferentes barridos, como se explica a continuación: Primero se calentó el la cápsula de aluminio desde -50 °C hasta 150 °C a una tasa de calentamiento de 10 °C/min.

Continuando con un paso isotermal, manteniendo la temperatura constante a 150 °C durante 5 minutos. Después se enfrió el sistema desde 150 °C a -50 °C a una velocidad de 10 °C/min. Luego se repitió un paso isotermal, manteniendo la temperatura constante a -50 °C durante 5 minutos. Finalmente, se realizó un calentamiento desde -50 °C hasta 150 °C a 10 /min.

2.2.3.3 Análisis termogravimétrico (TGA)

Se pesó aproximadamente 4 mg de muestra y se colocó en una cápsula de platino, luego se procedió a realizar el análisis mediante un proceso de calentamiento desde los 23 °C hasta los 850 °C a una velocidad de calentamiento de 20 °C/min, en una atmósfera de nitrógeno con un flujo de 50 mL/min utilizando el equipo termogravimétrico Shimadzu modelo TGA – 50.

2.3 PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DE ESPUMA FLORAL A ESCALA PILOTO

Una vez establecidas las condiciones adecuadas de los procesos de obtención, de la resina fenólica sintetizada con PC y de espumado, se continuó con el diseño del proceso para la obtención de espuma floral.

Para el diseño del proceso de espumado, se estableció la capacidad de la planta piloto para reciclar el 7% del total de desechos que se generan de las importaciones que Ecuador a realizado en el 2014 (Banco Central del Ecuador, 2014). Se tomó como base el porcentaje del 7% de los desechos de PC, debido a que se puede obtener dicha cantidad de material de la empresa embotelladora de agua. Además, dicha cantidad permite realizar el proceso a escala piloto, permitiendo reproducir las condiciones del proceso.

En el ANEXO XIV se presenta el cálculo del reciclaje diario de PC, el cual corresponde a 197,13 Kg/día. Por facilidad de cálculo, se decidió tomar como base la cantidad de 200 kg de policarbonato para su reciclaje, mediante el proceso de obtención de espuma floral a escala piloto.

Se estableció las operaciones unitarias en un diagrama de bloques (BFD). Se esquematizaron en un diagrama de flujo (PFD) los equipos a utilizar en la planta piloto y con base al balance de masa, también se incluyó las composiciones de las corrientes.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE PC RECICLADO EN LA SÍNTESIS DE LA RESINA FENÓLICA

3.1.1 CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA

3.1.1.1 Espectroscopia Infrarroja (FTIR)

En la Figura 3.1 se hace una comparación entre los espectros IR del estándar del PC superpuesto con el material recolectado de los bidones de agua.

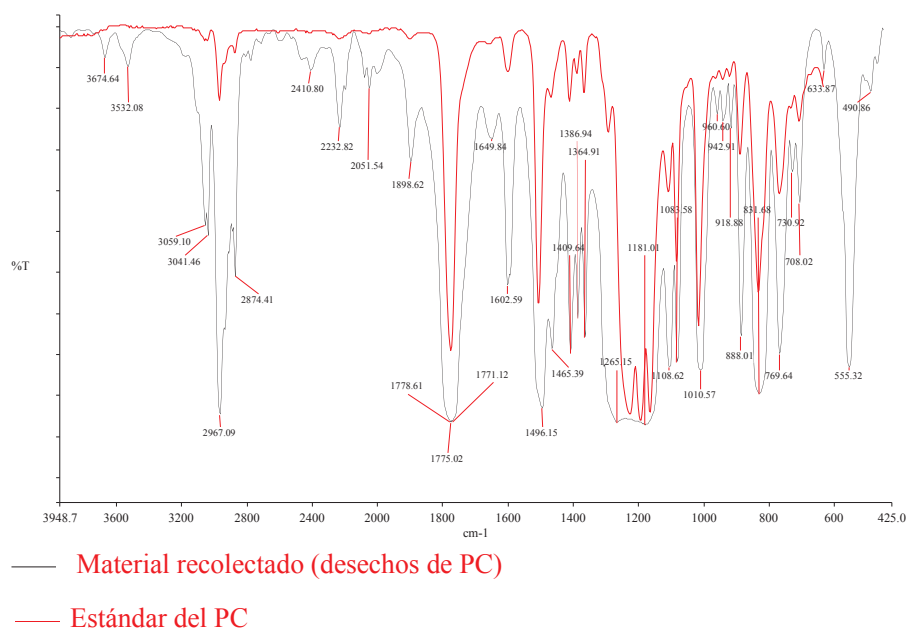


Figura 3. 1. Espectro del material recolectado superpuesto con el estándar del PC

Del espectro de infrarrojo de los desechos de bidones de PC, se obtuvo como resultado las bandas de 3 041, 2 874, 2 051, 1 171, 1 602 y 1 364 cm⁻¹ que corresponde a las señales características del policarbonato. Además se puede evidenciar que el espectro del estándar de PC, presenta la misma banda a 1 171 cm⁻¹ perteneciente al grupo carbonilo del carbonato.

En el espectro del material recolectado, se analizaron las bandas dentro del rango de: 3 300 – 3 035 y 2 150 – 1 865 cm^{-1} correspondientes al anillo aromático, su presencia es debido al estiramiento y flexión fuera del plano del enlace C–H con sus respectivos sobretonos en la región de 880 – 730 cm^{-1} . Características que presenta el PC comercial, con el nombre de LEXAN 135. Además, el espectro de infrarrojo del material recolectado de PC presenta señales no características de 3 532 cm^{-1} , a causa del estiramiento del enlace (OH) y 2 232 cm^{-1} debido a la posible presencia de grupos carbono/nitrogenados en la muestra, los cuales son utilizados para prevenir la fotodegradación.

3.1.1.2 Análisis por calorimetría diferencial de barrido

En la Figura 3.2, se indica el termograma obtenido del análisis en DSC correspondiente al material recolectado de los bidones de agua de PC.

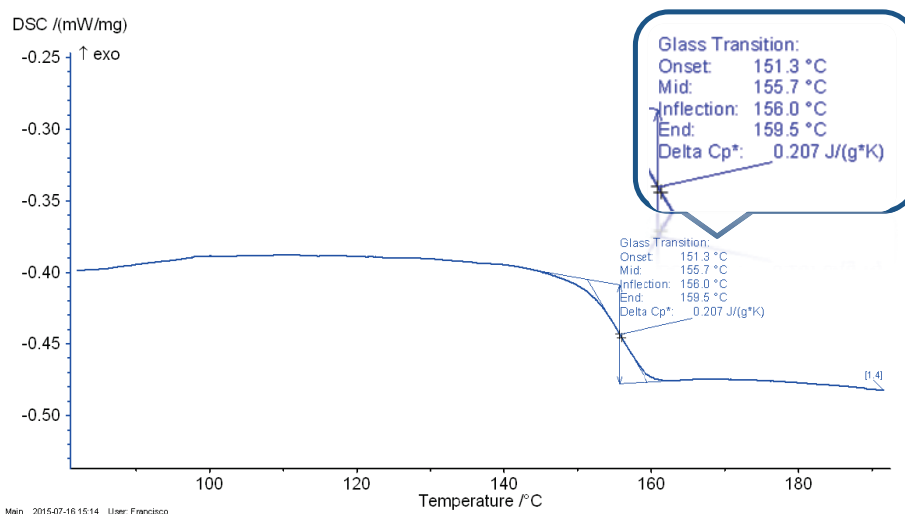


Figura 3. 2. Termograma obtenido por calorimetría diferencial de barrido del policarbonato reciclado

El material recolectado de los desechos de PC, presenta una temperatura de transición vítrea de 155,7 °C, siendo un valor comparable a la Tg del PC de 155 °C según datos bibliográficos.

3.1.2 INFLUENCIA DEL TAMAÑO Y CANTIDAD DE POLICARBONATO PARA LA DISOLUCIÓN Y SÍNTESIS

El resultado de las pruebas de disolución de PC en fenol fue satisfactorio, se logro determinar el tamaño y la cantidad de material para el proceso de disolución y síntesis.

3.1.2.1 Influencia del tamaño de PC para la disolución

El proceso de disolución se realizó a una temperatura de 151 °C, debido que; a temperaturas menores el material se vuelve gomoso y se forma una masa pegajosa como se puede observar en la Figura 3.3, además afecta al proceso de agitación produciendo que el equipo vibre excesivamente.



Figura 3. 3. Material sin disolver por causa de baja temperatura

La influencia del tamaño también fue un factor importante en el proceso de disolución. A tamaños mayores de 4 mm el material no se disuelve fácilmente y se adhiere a las paredes del reactor, debido a la posibilidad de que el área de contacto con el solvente sea muy baja. Por lo tanto se puede utilizar el material de

4 mm o de menor tamaño para realizar la disolución, la cual se efectúa con mayor facilidad.

3.1.2.2 Influencia de la cantidad de PC reciclado en la síntesis de la resina

La cantidad de PC disuelto en fenol a las condiciones de síntesis, debe garantizar que se mantenga la solución en estado líquido. Como se puede observar en la Figura 3.4, a porcentajes mayores del 35% p/p de PC la solución comienza a solidificarse.



Figura 3. 4. Mezcla 40% PC y 60% fenol a las condiciones de síntesis ($T = 90\text{ }^{\circ}\text{C}$)

Por lo tanto, se decidió utilizar el 35% p/p de PC, ya que el propósito principal es el de utilizar la máxima cantidad de material reciclado a las condiciones de la síntesis de la resina fenólica.

3.1.3 ANÁLISIS DEL PRODUCTO DE LA DISOLUCIÓN DE PC EN FENOL POR FTIR

Los espectros obtenidos del producto de la disolución a diferentes concentraciones de PC, se muestran en la Figura 3.5. Como se puede observar en la banda cercana a los 1771 cm^{-1} , va aumentando conforme aumenta la concentración de PC en la mezcla.

La disolución inicia, cuando las pequeñas moléculas de disolvente penetran el material formando un gel. El proceso continúa hasta que se obtiene una disolución total del PC, donde las macromoléculas se encuentran separadas formando un ovillo más o menos solvatado dependiendo de la calidad del disolvente (Gonzales, 2015, pp. 66, 67).

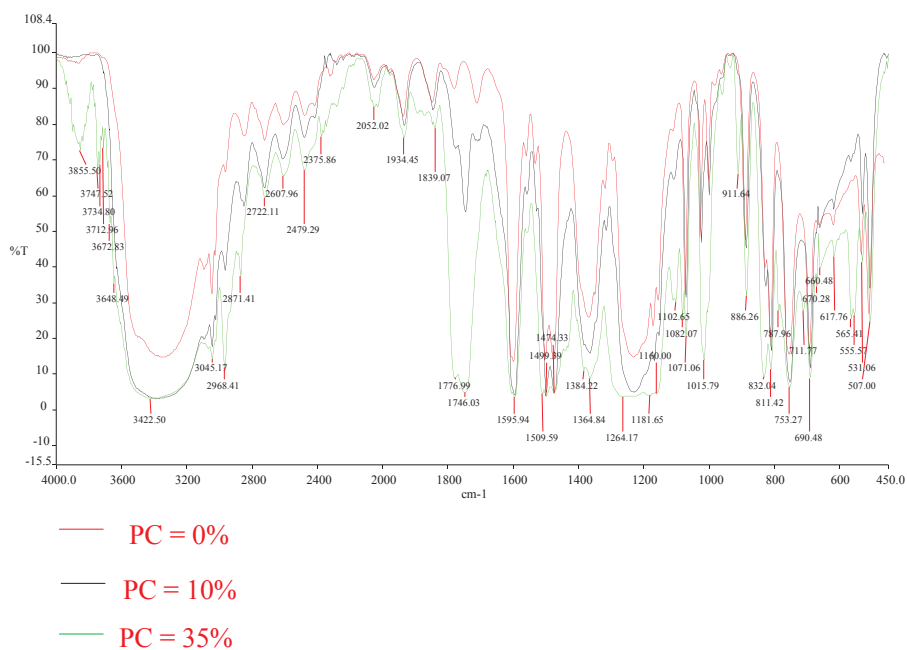


Figura 3. 5. Espectros del producto de la disolución de PC en fenol

La disolución del PC, se da por la posible formación de puentes de hidrogeno del grupo hidroxilo del fenol enlazados a los grupos carbonilo, provocando un debilitamiento del enlace C=O lo que produce un desplazamiento de la banda,

como se puede evidenciar en las bandas cercanas a 1776 y 1746 cm^{-1} , las cuales se incrementan al aumentar la concentración de PC en la mezcla (Cesteros, 2004, pp. 116,117).

3.1.4 SÍNTESIS DE LA RESINA FENÓLICA

3.1.4.1 Evaluación de la resina fenólica sintetizada con policarbonato

Se midió las variables de salida, tres veces para cada tratamiento, correspondiente a su respectiva réplica, para garantizar valores fiables de acuerdo a cada norma utilizada en el contenido de sólidos y formaldehído libre. Para obtener los datos de viscosidad, se midió entre cuatro y ocho veces cada tratamiento, dependiendo de la muestra y del porcentaje de torque que debe ser mayor al 10%.

Determinación de la viscosidad

Los resultados obtenidos de la viscosidad, para cada tratamiento con sus respectivas réplicas y desviaciones estándar se muestran en la Tabla 3.1.

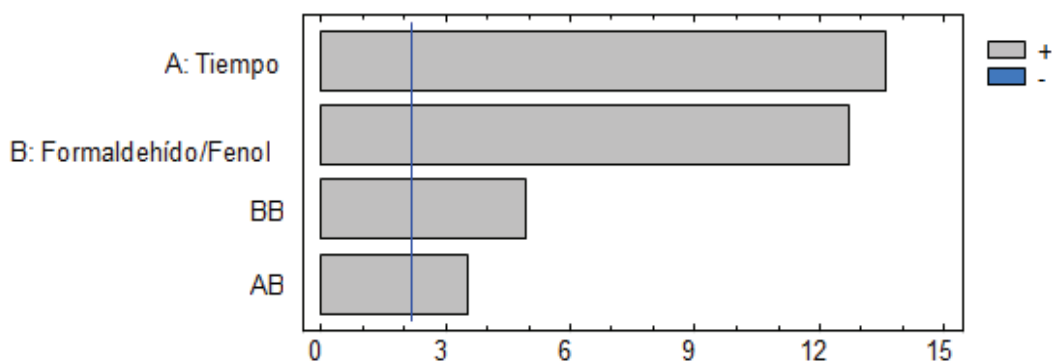
Además se calculó el coeficiente de variación dividiendo la desviación estándar para la media de cada tratamiento, el cual permite identificar si los resultados son fiables para ser analizados en el programa STATGRAPHICS, mientras su valor sea menor al 20% los datos son aceptables (Dane, 2008, p. 5).

Los resultados del coeficiente de variación de cada tratamiento, se presentan en el ANEXO IV. Como se puede observar los tratamientos tienen un porcentaje menor al 10% en el coeficiente de variación, esto se debe a que los valores de la viscosidad presentan mayor homogeneidad entre ellos.

Tabla 3. 1. Resultados de viscosidad para cada tratamiento

Tratamientos	Viscosidad (Cps)	
	Réplica 1	Réplica 2
1	438,75 ± 16,82	550,45 ± 19,32
2	1 333,14 ± 18,50	1 183,67 ± 28,39
3	2360,86 ± 39,81	2 560,00 ± 31,89
4	813,50 ± 3 6,84	706,00 ± 37,98
5	1 547,00 ± 20,53	1 643,40 ± 22,84
6	3 351,20 ± 104,60	2 815,13 ± 87,24
7	1 906,83 ± 56,77	1 705,80 ± 94,67
8	4 573,80 ± 145,51	4 197,00 ± 117,88
9	5 639,67 ± 80,10	5 282,00 ± 301,60

A continuación, se presentan los resultados obtenidos mediante la utilización del programa STATGRAPHICS. En la Figura 3.6, se muestra el efecto de los factores sobre la viscosidad y la interacción entre ellos en el proceso de síntesis.

**Figura 3. 6.** Diagrama de Pareto para efectos estandarizados de los factores sobre la viscosidad en la resina fenólica

Como se puede observar en el diagrama de Pareto, el tiempo y la relación formaldehído/Fenol influyen significativamente en el proceso de síntesis de la resina incorporada PC en su formulación, debido a que su incremento provoca un aumento en la viscosidad.

También se puede evidenciar que la interacción de los factores sobre la viscosidad es positiva y que tiene una influencia casi de igual magnitud en el proceso. En el ANEXO IV, se presenta la Tabla ADEVA en la cual se puede comprobar que los factores y sus respectivas interacciones influyen significativamente ($p < 0,05$) en la viscosidad en el proceso de síntesis.

En la Figura 3.7, se observa que el tiempo tiene un efecto lineal y que la relación formaldehído/fenol un efecto cuadrático sobre la viscosidad, comprobándose que el diseño elegido en el proceso de síntesis de la resina es el adecuado.

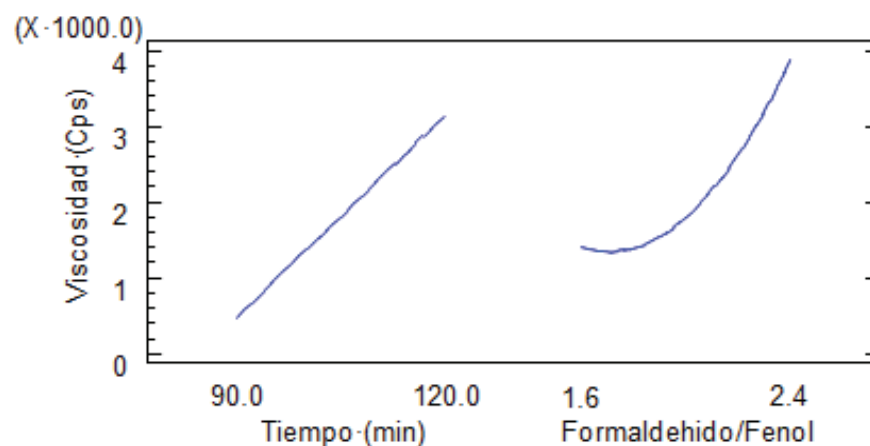


Figura 3. 7. Efecto de los factores sobre la viscosidad

Las figuras obtenidas del efecto de los factores presentan la misma tendencia de acuerdo con los estudios realizados por Ma, Zhang, Wang, Xu y Chu (2013), en el cual reporta que la viscosidad aumenta conforme avanza el tiempo y que la relación formaldehído/fenol tiene una mayor incidencia sobre el proceso; a mayor cantidad de formaldehído mayor viscosidad (p. 3098).

En el ANEXO IV se presenta las gráficas de contorno y de superficie de respuesta, las cuales permiten determinar dentro de una región específica, a que condiciones se obtiene la resina fenólica que cumpla con la viscosidad adecuada para la elaboración de espuma floral que esta en un rango de viscosidades 1 900–2 300 Cps.

Determinación del contenido de sólidos

Los valores obtenidos del contenido de sólidos para cada tratamiento con sus respectivas réplicas se muestran en la Tabla 3.2.

Tabla 3. 2. Resultados del contenido de sólidos para cada tratamiento

Tratamientos	Sólidos (%)	
	Réplica 1	Réplica 2
1	65,81 ± 0,74	68,15 ± 0,71
2	72,40 ± 0,81	70,33 ± 0,79
3	74,25 ± 0,05	75,02 ± 0,83
4	73,15 ± 1,01	72,82 ± 0,52
5	75,25 ± 0,44	76,46 ± 0,40
6	79,68 ± 0,30	79,09 ± 0,31
7	73,38 ± 0,41	74,67 ± 0,58
8	78,80 ± 0,37	77,32 ± 0,43
9	81,04 ± 0,90	80,14 ± 0,25

En el ANEXO V, se adjuntan los resultados del coeficiente de variación de cada réplica. Como se puede observar en los datos obtenidos del coeficiente de variación, las variables de cada tratamiento presentan una gran homogeneidad entre ellos, por lo tanto los resultados de las pruebas realizadas del contenido de sólidos son aceptables.

En la Figura 3.8 se indica el efecto de los factores en el contenido de sólidos del proceso de obtención de resina fenólica incorporada PC en su formulación.

Como se puede observar en el diagrama de Pareto, el tiempo y la relación formaldehído/fenol tienen un efecto estadísticamente significativo en el contenido de sólidos, con la diferencia que la relación formaldehído/fenol tiene un efecto significativo pero negativo debido a que el contenido de sólidos comienza a adquirir un valor constante. También se puede evidenciar que el tiempo tiene una

influencia casi igual que la relación Formaldehído/fenol en la obtención de la resina, por lo tanto ambos factores son de gran importancia en el proceso. En el

ANEXO V se presenta la Tabla ADEVA, en la cual se puede comprobar que los factores y sus respectivas interacciones influyen significativamente ($p < 0,05$) en el contenido de sólidos en el proceso de síntesis.

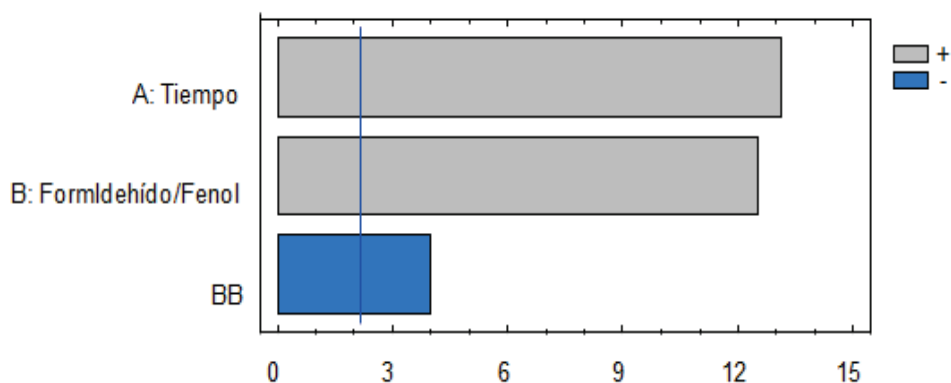


Figura 3. 8. Diagrama de Pareto para efectos estandarizados de los factores sobre el contenido de sólidos en la resina fenólica

A continuación, la Figura 3.9 muestra el efecto de los factores sobre el contenido de solidos en la resina.

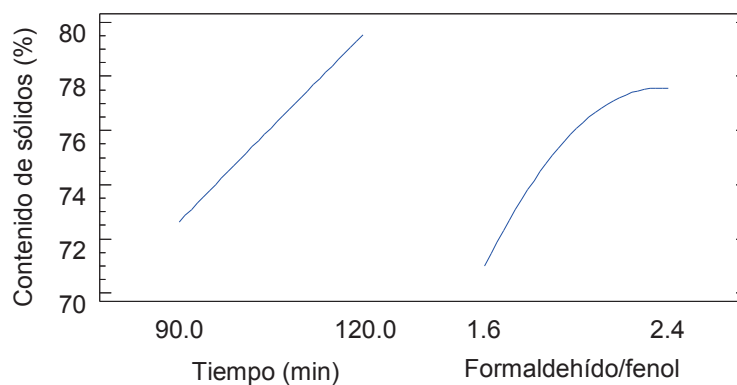


Figura 3. 9. Efecto de los factores sobre el contenido de solidos en la resina

En la gráfica se puede observar que el tiempo tiene un efecto lineal y que la relación formaldehído/fenol un efecto cuadrático sobre el contenido de sólidos en

la resina. Los resultados obtenidos del contenido de sólidos son comparables con los valores de los estudios realizados por Manfredi et al (1999) y Ma et al (2013), los cuales presentan una tendencia constante conforme aumenta la relación formaldehído fenol y el tiempo del proceso de síntesis de la resina (p. 3868; p. 3098).

Del análisis realizado, se puede evidenciar que a medida que aumenta la relación formaldehído/fenol y el tiempo de síntesis el contenido de sólidos y la viscosidad se incrementan, debido a que los dos factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre las variables de salida. En el ANEXO V se presenta la gráfica de contornos y de superficie de respuesta en las cuales se puede observa la región en la cual se puede obtener la resina fenólica incorporada PC en su formulación con el contenido de sólidos dentro del rango de 77–81%.

Determinación del formaldehído libre

En la Tabla 3.3 se presentan los resultados obtenidos por titulación del formaldehído libre presente en la resina.

Tabla 3. 3. Resultados del formaldehído libre para cada tratamiento

Tratamientos	Formaldehído libre (%)	
	Réplica 1	Réplica 2
1	1,02± 0,02	1,13± 0,01
2	0,83± 0,03	0,97± 0,05
3	0,61± 0,00	0,57± 0,01
4	1,56± 0,02	1,59± 0,08
5	1,29± 0,00	1,26± 0,01
6	0,87± 0,01	0,94± 0,01
7	2,70± 0,15	2,55± 0,26
8	1,92± 0,04	2,26± 0,07
9	1,19± 0,07	1,39± 0,01

En el ANEXO VI se adjuntan los resultados del coeficiente de variación de cada tratamiento. Se puede observar, que presentan los resultados gran homogeneidad entre ellos. Por lo tanto, los valores obtenidos de formaldehído libre son aceptables para su análisis.

En la Figura 3.10 se puede observar el diagrama de Pareto, en el cual se representan la influencia de cada factor y la interacción entre ellos. Como se puede apreciar en el diagrama de Pareto, la relación formaldehído/fenol y el tiempo tiene un efecto estadísticamente significativo en el contenido de formaldehído libre en la resina- Este resultado se debe, que al tener mayor cantidad de formaldehído se obtendrá en el producto mayor formaldehído libre. Además se observa que la interacción de los dos factores, influye negativamente y que la relación formaldehído/fenol tiene mayor incidencia en el proceso.

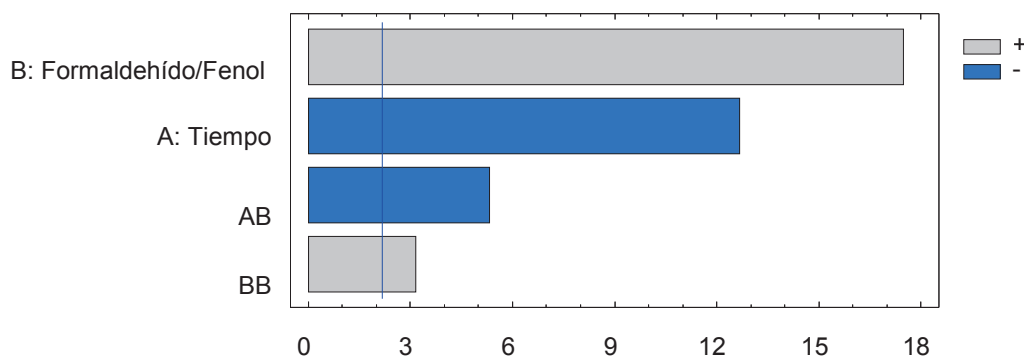


Figura 3. 10. Diagrama de Pareto para efectos estandarizados de los factores sobre el contenido de formaldehído libre en la resina fenólica

En el ANEXO VI se presenta la Tabla ADEVA, en la cual se puede comprobar que los factores y sus respectivas interacciones influyen significativamente ($p < 0,05$) en el contenido de formaldehído libre en el proceso de síntesis.

En la Figura 3.11 de efecto de los factores en el proceso de síntesis, se puede observar que el tiempo tiene un efecto lineal y que la relación formaldehído/fenol un efecto cuadrático sobre el contenido de formaldehído libre en la resina.

Los resultados obtenidos de formaldehído libre son comparables con los valores del estudio realizado por Manfredi et al (1999), conforme avanza el tiempo de síntesis disminuye el contenido de formaldehído. En el ANEXO VI, se indica la gráfica de contornos y de superficie de respuesta donde se observa la región en la cual se puede obtener la resina fenólica incorporada PC en su formulación, con un contenido de formaldehído libre menor al 1,4%.

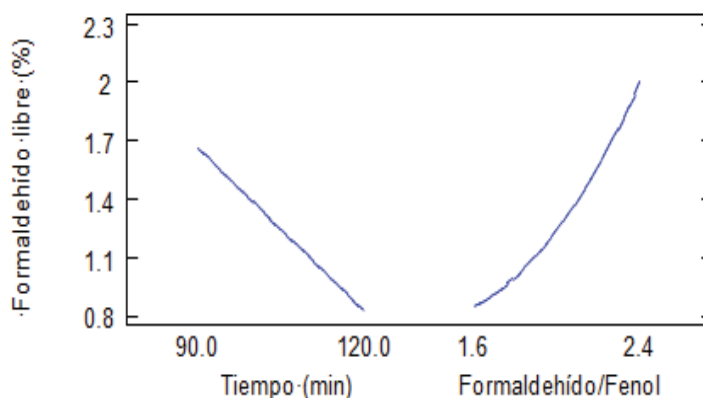


Figura 3. 11. Efecto de los factores sobre el contenido de formaldehído libre en la resina

3.1.4.2 Obtención de la resina fenólica sintetizada con policarbonato en su formulación que cumpla con los parámetros para la elaboración de espuma floral con ayuda del programa STATGRAPHICS Centurion XVI.I.

Con base a la evaluación de las variables de salida, se determinó que la relación formaldehído/fenol y tiempo de síntesis influyen de manera distinta en la obtención de la resina fenólica, por lo tanto para hallar el mejor valor en el cual se encuentran los parámetros que permiten obtener una resina que cumpla con las propiedades necesarias para la elaboración de espuma floral, se realizó un solo análisis en conjunto de las variables.

En la Figura 3.12 se puede observar la gráfica de superficie múltiple de respuesta de las variables de salida, en función de los factores del proceso de síntesis y de los valores de conveniencia.

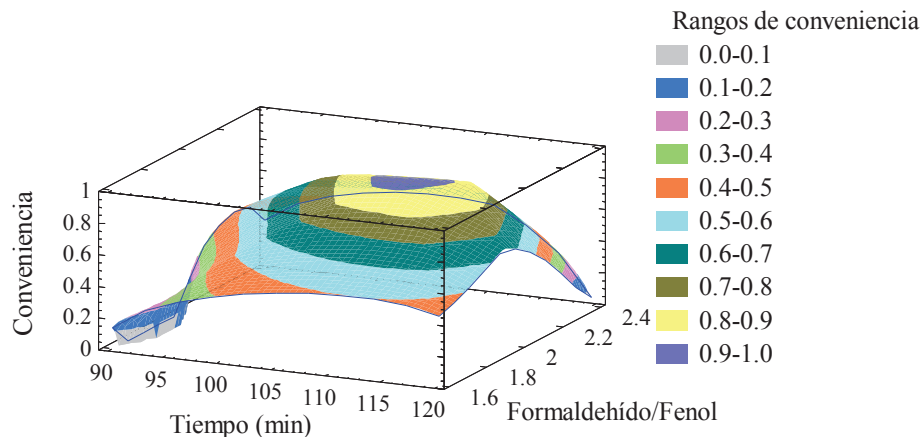


Figura 3. 12. Superficie múltiple de respuesta de las variables de salida

Como se puede apreciar en la gráfica de superficie múltiple de respuesta, cada región está pintada de acuerdo al rango de conveniencia en la cual se puede encontrar un mejor valor simultáneo para todos los factores, los cuales permitirán obtener una resina que cumpla con los parámetros para la elaboración de espuma floral.

Para tener una mejor apreciación de lo que ocurre en la superficie de respuesta, se muestra a continuación la gráfica de contornos que se indica en la Figura 3.13. En ella se puede diferenciar la zona de color morado en la cual se puede evidenciar la región de conveniencia entre 0,9 y 1,0, dentro de este rango se puede observar el mejor valor simultáneo en 0,98 para realizar el proceso de síntesis.

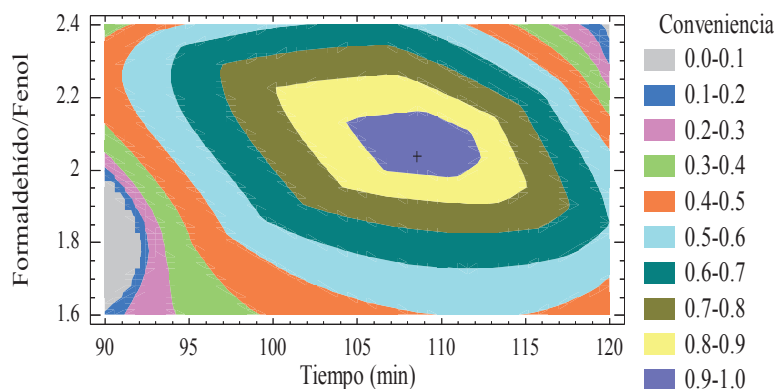


Figura 3. 13. Gráfica de contornos de las variables de salida

En la Tabla 3.4 se presentan los resultados del mejor valor simultáneo, de los factores obtenidos del análisis en conjunto de los resultados de las variables de salida del proceso de síntesis.

Tabla 3. 4. Tabla de optimización de los factores del proceso de síntesis

Factor	Valor inferior	Valor superior	Mejor valor
Tiempo (minutos)	90	120	109
Relación Formaldehido-fenol	1,6	2,4	2
Punto de Conveniencia	0,98		

Se realizó la síntesis de la resina fenólica con y sin PC en su formulación, a las condiciones que el programa predijo que se obtendría una resina que cumple con las propiedades para la elaboración de espumas florales, como se muestra en la Tabla 3.5. El pH de la resina se obtuvo con un pH metro y el porcentaje de fenol libre se determinó mediante espectrofotometría, utilizando el método MAM-46/APHA 5530 B MODIFICADO y método rápido HACH, realizado en la Universidad Central del Ecuador que se presenta los en el ANEXO VII.

Los datos obtenidos de las propiedades de la resina fenólica incorporada PC en su formulación, están dentro del rango en la cual se puede utilizar para la elaboración de espuma floral. Se puede evidenciar la influencia del PC en la resina fenólica, en el incremento de la viscosidad y en el contenido de sólidos.

Tabla 3. 5. Propiedades de la resina fenólica incorporada PC

Propiedades	Valor Ideal	Resina con PC	Resina sin PC
Viscosidad (Cps)	1 900 – 2 300	2 280	1683
pH (20°C)	6,1 – 7	6,8	6,7
Contenido de solidos (%)	77 – 81	80	76,6
Fenol libre (%)	< 6,5	0,46	0,47
Formaldehido libre (%)	< 1,4	1,3	1,2

En la Figura 3.14 se puede observar la resina de color ámbar sintetizada sin PC y también la resina con PC de color verde-azulado.



Figura 3. 14. Resinas fenólicas sintetizada con y sin PC en su formulación

3.1.5 ANÁLISIS DEL EFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE POLICARBONATO RECICLADO EN LA SÍNTESIS DE LA RESINA FENÓLICA

3.1.5.1 Análisis de las resinas fenólicas por espectroscopía infrarroja (FTIR)

A continuación se presenta el análisis individual de las resinas con y sin PC en su formulación. Se lo realizó durante el proceso de síntesis a diferentes tiempos, para tener una mejor apreciación de los cambios estructurales que suceden durante la obtención de la resina.

Análisis de las resina fenólica incorporada PC en su formulación por FTIR

En la Figura 3.15 se muestra los espectros de la resina fenólica incorporada PC en su formulación a los tiempos de síntesis de: $t = 0$ y $t = 5$ min.

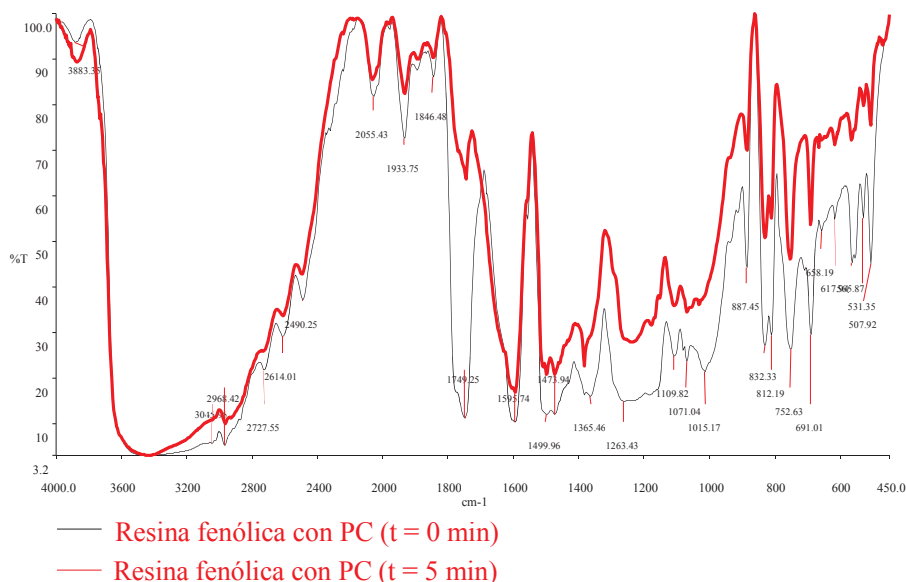


Figura 3. 15. Espectros de la resina fenólica incorporada PC en su formulación al inicio de la síntesis

Como se puede observar en el espectro de la resina (t = 5 min), la disminución de la banda cercana a $1\,749\text{ cm}^{-1}$ correspondiente al grupo carbonilo del carbonato, debido a la hidrólisis que sufre el PC (con base a pruebas experimentales realizadas, como se puede observar en el ANEXO VIII). También se puede evidenciar que la reacción entre el anión fenolato y el formaldehído (posiciones orto y para) se llevan a cabo, mediante la aparición de bandas cercanas a 760 , 790 y 880 cm^{-1} señales que corresponden a una resina fenólica tipo resol, como se puede apreciar en la Tabla 3.6.

Se encontró, la existencia de bandas características en $3\,365\text{ cm}^{-1}$ debido al estiramiento del grupo hidroxilo del fenol, en $2\,966\text{ cm}^{-1}$ producto del estiramiento del enlace C–H del anillo aromático, en $1\,509\text{ cm}^{-1}$ y $1\,236\text{ cm}^{-1}$ señales producto del estiramiento de los enlaces C=C y C–C del anillo fenólico. Con base a lo expuesto, se evidencia la reacción inmediata de los reactivos y del PC para formar la resina.

Tabla 3. 6. Bandas características de absorción del espectro de la resina tipo resol

Frecuencia λ (cm^{-1})	Asignación
3 600 – 3 100	Estiramiento del enlace O–H del fenol y del hidroximetil
2 980 – 2 820	Estiramiento del enlace C–H alifático dentro y fuera del plano
1 610 – 1 500	Estiramiento del enlace C=C del anillo fenólico
1 480	Torsión del enlace CH ₂
1 235	Estiramiento del enlace C–O del grupo fenólico
1 160	Deformación en el plano del enlace C–H del anillo aromático
1 120 – 1 080	Deformación en el plano del enlace C–H del anillo aromático y del enlace C–O–C del éter
1 020	Estiramiento del enlace C–O del hidroximetil
880	Sustituciones (<i>o</i> , <i>p</i> y <i>o</i> , <i>o'</i> , <i>p</i>) en el fenol
820	2H libres adyacentes (<i>p</i> -sustituídos)
790	3H libres adyacentes (<i>o</i> , <i>o'</i> -sustituídos)
760	4H libres adyacentes (<i>o</i> -sustituídos)
690	5H libres adyacentes

(Rogers y Long, 2003, p.243; Pilato, 2010, p.117)

En la Figura 3.16 se observa los espectros de la resina fenólica incorporada PC en su formulación a los tiempos de síntesis de: $t = 10$ y $t = 20$ min.

Como se puede observar en el espectro de la resina a $t = 10$ min, la banda característica de $1\,749\text{ cm}^{-1}$ del carbonato a desaparecido totalmente a causa de la hidrólisis que sufre el PC durante los diez primeros minutos de síntesis. Se evidencia también la aparición de la banda cercana a $1\,020\text{ cm}^{-1}$ que corresponde al estiramiento del enlace C–O del hidroximetil, como se puede apreciar en la Tabla 3.6.

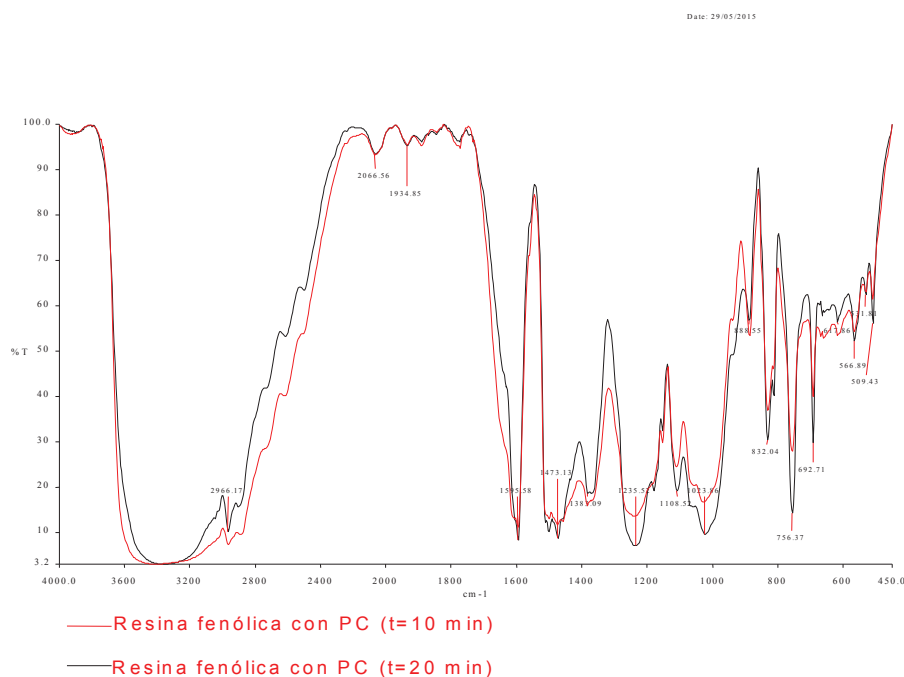


Figura 3. 16. Espectros de la resina fenólica incorporada PC en su formulación al tiempo de: t = 10 y t = 20 min

En el espectro de la resina a t = 20 min, se observa el incremento de la intensidad de las bandas en 889, 832 y 756 cm^{-1} debido a las sustituciones en las posiciones (o, p - o, o', p - p - o), este aumento se debe al tiempo de reacción y a la interacción entre el anión fenolato y formaldehído.

A continuación en la Figura 3.17 se observa los espectros de la resina fenólica incorporada PC en su formulación a los tiempos de síntesis de: t = 50 y t = 80 min.

Como se puede observar en el espectro de la resina a t = 20 y t = 80 min, el incremento de la intensidad de las bandas cercanas en 889, 832 y 756 cm^{-1} se hace mas evidente debido a las sustituciones que sufre el fenol en las posiciones (o, p - o, o', p - p - o). La disminución de la banda cercana a 690 cm^{-1} da constancia que los grupos fenólicos con 5H libres disminuyen conforme avanza la reacción como se puede apreciar en la Tabla 3.6.

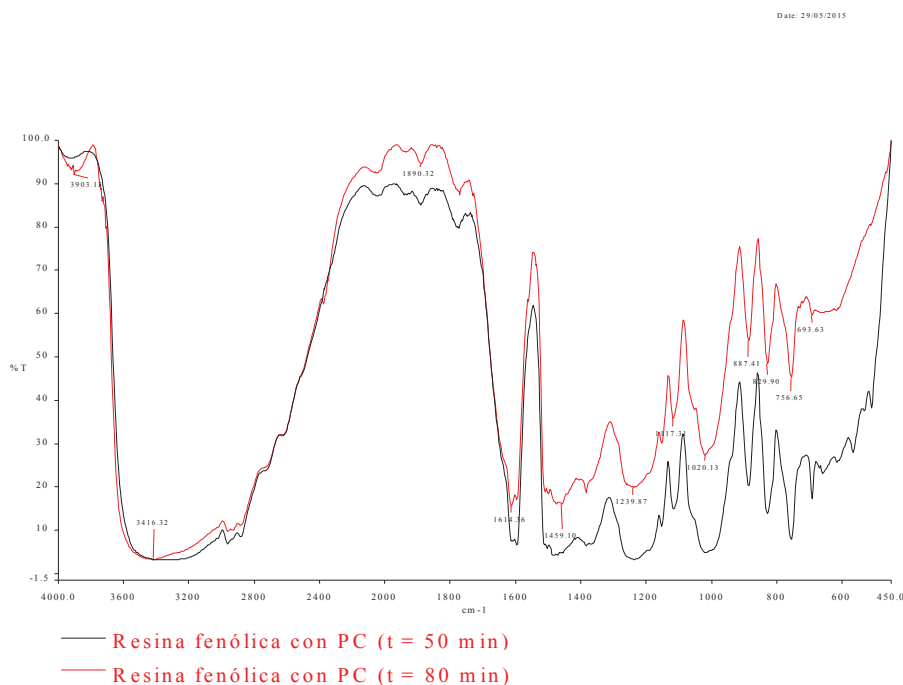


Figura 3. 17. Espectros de la resina fenólica incorporada PC en su formulación al tiempo de: t = 50 y t = 80 min

En la Figura 3.18 se observa los espectros de la resina fenólica incorporada PC en su formulación al tiempo final de síntesis de t = 109 min y luego de haber sido neutralizada y sometida a un proceso de destilación simple para obtener la resina como producto final. En el ANEXO IX se presenta los espectros superpuestos a diferentes tiempos durante el proceso de síntesis de la resina con PC.

En los espectros superpuestos de las resinas fenólicas incorporadas PC en su formulación se puede observar la diferencia en el espesor de los picos en las bandas cercana a 3417 cm^{-1} , esto se debe a la disminución del agua en la resina después del proceso de destilación.

También se puede observar en los espectros los picos bien definidos de las bandas en 888 , 829 y 757 cm^{-1} ; debido a las sustituciones que sufre el fenol en las posiciones (*o*, *p* – *o*, *o'*, *p* – *p* – *o*). Se evidencia también la banda a 1020 cm^{-1} que corresponde al estiramiento del enlace C–O del grupo hidroximetil y las bandas entre 1120 y 1080 cm^{-1} producto de la deformación en el plano del

enlace C–H del anillo aromático. Todas las bandas expuestas son características de una resina fenólica tipo resol.

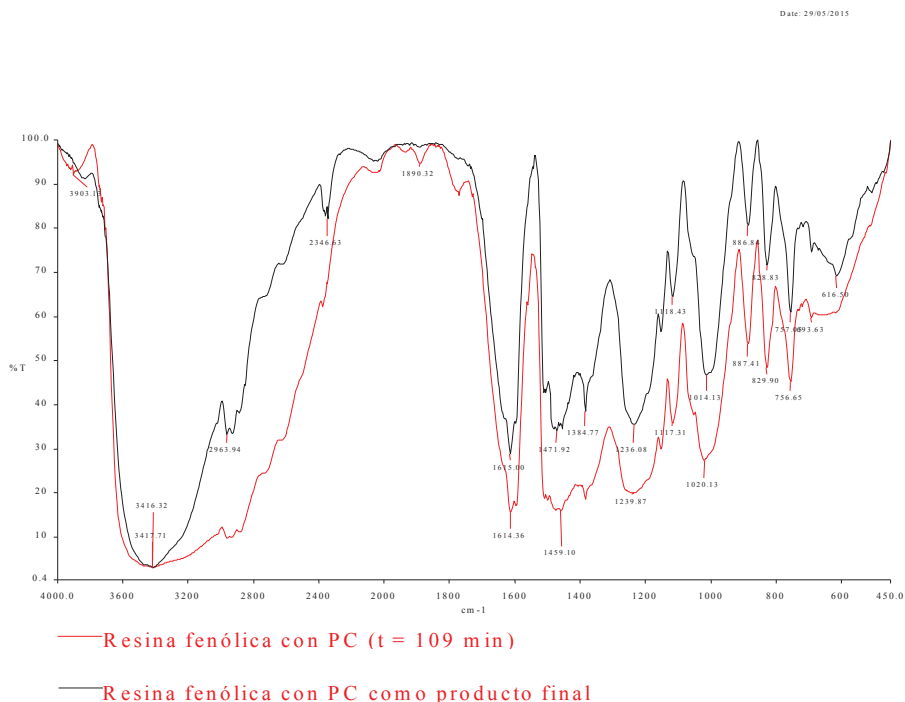


Figura 3. 18. Espectros de la resina fenólica incorporada PC en su formulación al tiempo final de síntesis de $t = 109$ min y de la resina como producto final

Análisis de las resina fenólica sin PC por FTIR

En la Figura 3.19 se muestra los espectros de la resina fenólica a los tiempos de síntesis de: $t = 5$ y $t = 10$ min. Como se puede observar en el espectro de la resina a $t = 10$ min, la existencia de bandas cercanas en 3365 cm^{-1} debido al estiramiento del grupo hidroxilo del fenol en 2958 cm^{-1} producto del estiramiento del enlace C–H del anillo aromático, en 1500 cm^{-1} y 1240 cm^{-1} son señales producto del estiramiento de los enlaces C=C y C–C del anillo fenólico.

También se evidencia el incremento de la intensidad de las bandas en 889, 830 y 757 cm^{-1} debido a las sustituciones en las posiciones (*o*, *p* – *o*, *o'*, *p* – *p* – *o*), la

disminución de la banda cercana a 690 cm^{-1} da constancia que los grupos fenólicos con 5H libres disminuyen conforme avanza la reacción.

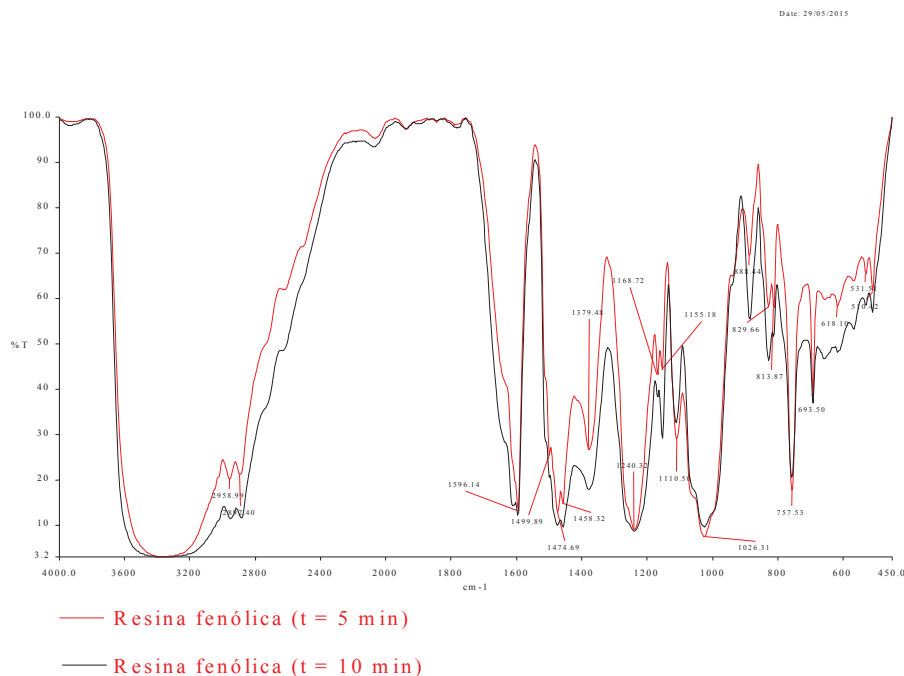


Figura 3. 19. Espectros de la resina fenólica sin PC en su formulación al inicio de la síntesis

En el ANEXO IX se muestra los espectros obtenidos a diferentes tiempos durante el proceso de síntesis de la resina sin PC.

En la Figura 3.20 se observa los espectros de la resina fenólica, al tiempo final de síntesis de $t = 109\text{ min}$ y luego de haber sido neutralizada y sometida al proceso de destilación simple para obtener la resina como producto final.

En los espectros superpuestos de las resinas fenólicas, se puede observar la diferencia en el espesor de los picos en las bandas cercana a $3\ 444\text{ cm}^{-1}$, esto se debe a la disminución del agua en la resina después del proceso de destilación. También se puede observar en los espectros las bandas de 889 , 828 y 759 cm^{-1} ; debido a las sustituciones que sufre el fenol en las posiciones (o , $p - o$, o' , $p - p - o$). Se evidencia también la banda a $1\ 020\text{ cm}^{-1}$, que corresponde al estiramiento

del enlace C–O del grupo hidroximetil y las bandas entre 1 120 y 1 080 cm^{-1} como producto de la deformación en el plano del enlace C–H del anillo aromático.

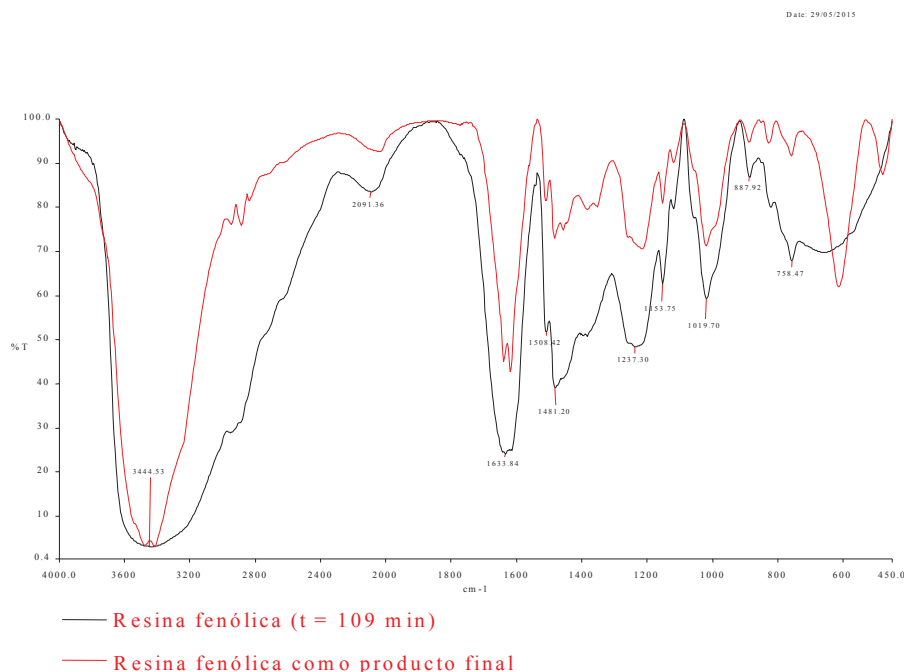


Figura 3. 20. Espectros de la resina fenólica incorporada PC en su formulación al tiempo final de síntesis de $t = 109$ min y de la resina como producto final

Las bandas características de la Tabla 3.9 pertenecientes a una resina tipo resol, son comparables con las bandas obtenidas en el espectro de la resina como producto final.

3.1.5.2 Comparación de los espectros de las resinas sintetizadas con y sin PC en su formulación

Con base al análisis individual de las resinas sintetizadas con y sin PC en su formulación, se pudo comprobar que poseen las mismas bandas características de una resina fenólica tipo resol, como se puede observar en la Figura 3.21. En los espectros superpuestos de las resinas fenólicas con y sin PC en su formulación, se puede observar la diferencia en el espesor de los picos en las bandas cercana a $3\ 417\ \text{cm}^{-1}$ debido a que existe un residuo mayor de agua.

La diferencia más notoria que se puede observar en los espectros de las resinas sintetizadas con y sin PC son: los picos de las bandas en 888, 829 y 757 cm^{-1} ; debido a las sustituciones que sufre el fenol en las posiciones (*o*, *p* – *o*, *o'*, *p* – *p* – *o*). Las tres bandas consecutivas constituyen la característica principal de una resina fenólica tipo resol (Gasparetto, 2004, p. 79).

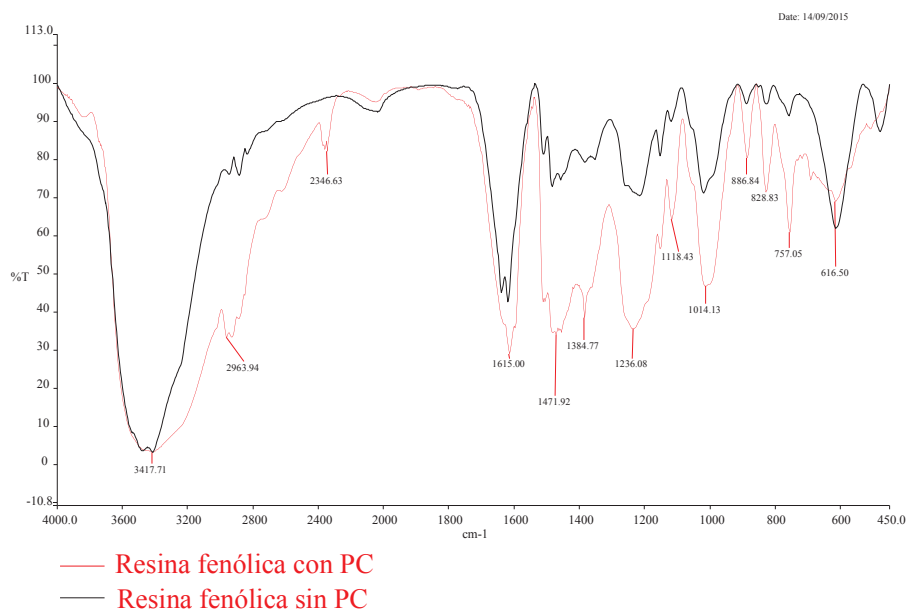


Figura 3. 21. Espectros de las resinas sintetizadas con y sin PC en su formulación

El incremento de los picos en el espectro de la resina fenólica con PC, se lo atribuye a los productos de la hidrólisis del PC que se generaron durante la síntesis, que pasan a formar parte de la estructura química de la resina mediante sustituciones (*o*, *p* – *o*, *o'*, *p* – *p* – *o*) en el anillo fenólico.

3.1.5.3 Análisis de las resinas fenólicas por calorimetría diferencial de barrido (DSC)

En la Figura 3.22, se observa el termograma obtenido del análisis en DSC correspondiente a la resina fenólica sin PC en su formulación. Como se puede apreciar, la temperatura de transición vítrea (T_g) de la resina fenólica sintetizada sin PC en su formulación es de 41,9 °C. Según bibliografía, la temperatura de

transición vítrea de un resina fenólica tipo resol se encuentra entre los 33 y 43 °C (Knop, Pilato, 2013, p. 150).

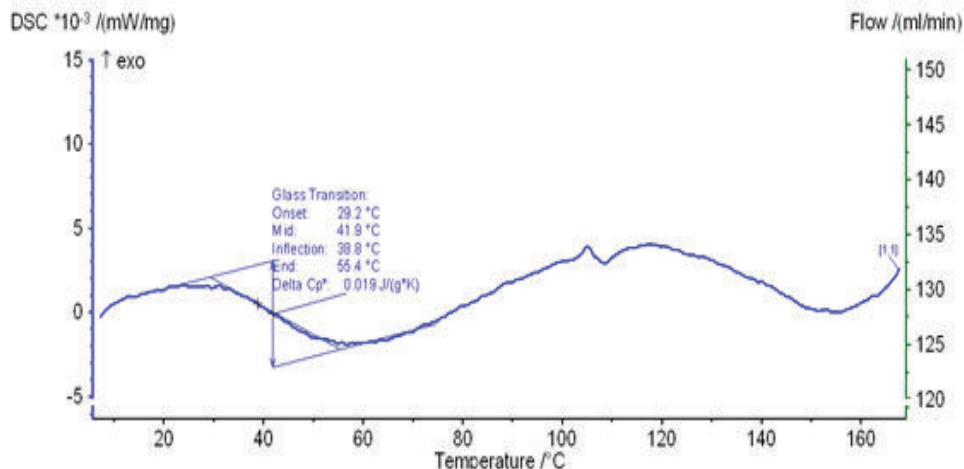


Figura 3. 22. Termograma obtenido por calorimetría diferencial de barrido de la resina fenólica sin PC en su formulación

En la Figura 3.23 se observa el termograma obtenido del análisis en DSC correspondiente a la resina fenólica sin PC en su formulación.

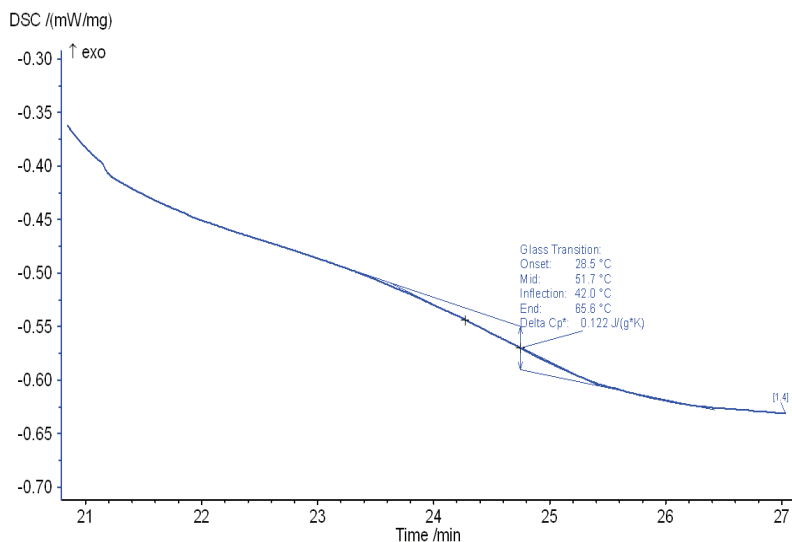


Figura 3. 23. Termograma obtenido por calorimetría diferencial de barrido de la resina fenólica incorporada PC en su formulación

Como se puede observar en la gráfica, la temperatura de transición vítrea (T_g) de la resina fenólica sintetizada con PC en su formulación es de 51,7 °C. El aumento

de la Tg, se asume al posible incremento de los grupos laterales polares debido a las sustituciones (*o*, *p* – *o*, *o'*, *p* – *p* – *o*) en el anillo fenólico, incrementando la rigidez de la cadena e impidiendo su rotación a causa de sustituyentes más voluminosos como, el Bisfenol-A producto de la hidrólisis del PC durante el proceso de síntesis.

3.2 DESARROLLO DEL ESPUMADO A PARTIR DE LA RESINA FENÓLICA Y POLICARBONATO

3.2.1 PRUEBAS PRELIMINARES PARA DETERMINAR LAS VARIABLES DE ESTUDIO DEL PROCESO DE ESPUMADO

A continuación se presenta las pruebas realizadas para determinar las variables de estudio y sus respectivos niveles, utilizando las proporciones propuestas en el acápite 2.2.1.

En la Figura 3.24 se puede observar el resultado del proceso de espumado de las pruebas preliminares 1 y 2. Como se puede visualizar, la diferencia de color de las espumas obtenidas se debe al exceso de catalizador utilizado en el proceso de espumado. También se puede observar, la influencia del agente de soplado en el tamaño de las espumas, el cual incide directamente en la densidad la cual disminuye de 0,11 a 0,09 g/cm³, y la absorción de agua aumenta de 18,4 a 19,2. Lo cual es correcto, a menor densidad la espuma va a tener mayores celdas abiertas para contener agua.

El surfactante al modificar la tensión superficial de la resina, le da estabilidad durante el proceso de espumado, ayudando a controlar el tamaño y la uniformidad de las celdas de la estructura de la espuma. Por lo tanto, a mayor o menor cantidad de surfactante las propiedades de la espuma se ven afectadas.

De acuerdo a estudios realizados por Alonso (2002), la cantidad de úrea se mantuvo constante en una proporción de 3. Cantidades superiores afectaría la

viscosidad de la resina y por ende las propiedades finales de la espuma fenólica (p. 180). La cantidad utilizada de úrea en las pruebas 1 y 2, permitió disminuir el olor de formaldehído en su totalidad.

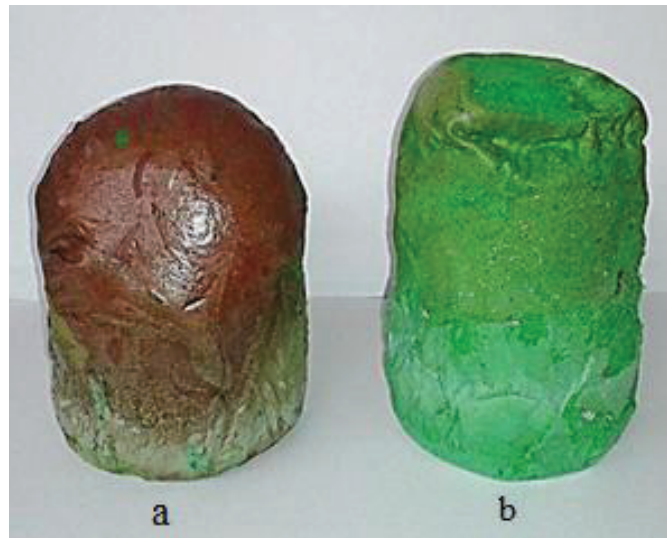


Figura 3. 24. Proceso de espumado: **a.** prueba 1, **b.** prueba 2

En la Figura 3.25, se puede observar el resultado del proceso de espumado de las pruebas preliminares 3 y 4. La cantidad de catalizador utilizado en la prueba 4, aun sigue siendo demasiado, como se puede constatar por el color cafe del ácido sulfónico sobre la superficie de la espuma.

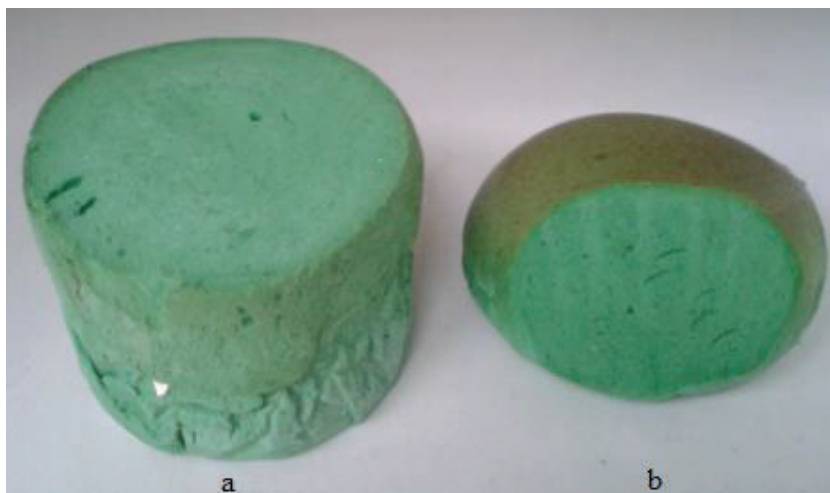


Figura 3. 25. Proceso de espumado: **a.** prueba 3, **b.** prueba 4

En la prueba 3 se puede observar una espuma de color uniforme y de mayor volumen, a pesar que la cantidad de agente de soplado es menor que de la prueba 4. Esto se debe, a que la cantidad de surfactante utilizado es insuficiente para reducir la tensión superficial de la resina y a su vez proporcionar una interface entre la resina fenólica polar y el agente de soplado no polar.

Por lo tanto, al disminuir la cantidad de surfactante, disminuye la absorción de agua en las pruebas 3 y 4 en 15,3 a 11,2. Por lo contrario, la densidad aumenta de 0,12 a 0,2 g/cm³. Al disminuir el surfactante, el proceso de espumado se ve afectado debido a que no existe la cantidad suficiente para formar una interface entre el agente de soplado y la resina.

En la Figura 3.26 se puede ver el resultado del proceso de espumado de las pruebas preliminares 5 y 6. Como se puede observar los resultados de las pruebas 5 y 6, las espumas presentan el mismo color verde claro, debido a que se utilizó la misma cantidad de colorante.



Figura 3. 26. Proceso de espumado: **a.** prueba 5, **b.** prueba 6

Se puede evidenciar la influencia del agente de soplado en el tamaño de las espumas y también en la densidad, que disminuye de 0,11 a 0,08 g/cm³ y la absorción aumenta de 18,5 a 23,2. Por lo tanto, la cantidad de agente de

humectación utilizado en las pruebas finales, permitió la obtención de espumas con propiedades finales de gran relevancia, por lo tanto se decidió mantener constante dicho valor.

Con base a las pruebas preliminares realizadas, se determinó las variables experimentales y sus respectivas proporciones que corresponden a cada nivel de estudio, tal como se indica en la Tabla 3.7 así como también las variables independientes que se muestran en la Tabla 3.8.

Tabla 3. 7. Proporciones de las variables dependientes para la formulación de la espuma floral

Compuestos	Proporción 1	Proporción 2
Agente de soplado (éter de petróleo)	6	8
Surfactante (Tween 80)	10	15
Catalizador ácido (ácido sulfónico)	30	40

Tabla 3. 8. Proporciones de las variables independientes para la formulación de la espuma floral

Compuestos	Proporción
Resina	100
Texapón	5
Úrea	3
Colorante verde	6

3.2.2 OBTENCIÓN DE LA ESPUMA FLORAL A PARTIR DE LA RESINA FENÓLICA SINTETIZADA CON POLICARBONATO

Con los datos obtenidos de las pruebas preliminares, se estableció la cantidad en peso de los reactivos para el proceso de espumado, como se puede observar en el ANEXO III.

3.2.2.1 Evaluación de la espuma floral

El diseño experimental elegido, permitió satisfactoriamente el estudio del efecto de los factores sobre las variables de salida y la optimización del proceso para la elaboración de espuma floral, mediante la utilización del programa STATGRAPHICS Centurion XV.I.

Determinación de la densidad

Los resultados obtenidos de la densidad para cada tratamiento con sus respectivas réplicas se muestran en la Tabla 3.9, además se realizó el mismo análisis que en el acápite 3.1.2.1 de los datos con ayuda del coeficiente de variación el cual permite identificar si los resultados son fiables para ser analizados en el programa STATGRAPHICS que se presentan en el ANEXO XI.

Como se puede observar todos los tratamientos tienen un porcentaje aceptable en el coeficiente de variación, esto se debe a que los valores de las variables presentan una buena homogeneidad entre ellos. Por lo tanto, los valores de densidad se pueden utilizar para el análisis de las variables experimentales del proceso de espumado.

Tabla 3. 9. Resultados de densidad para cada tratamiento

Tratamientos	Densidad g/cm ³		
	Réplica 1	Réplica 2	Réplica 3
1	0,13 ± 0,007	0,16 ± 0,008	0,15 ± 0,005
2	0,09 ± 0,004	0,12 ± 0,012	0,11 ± 0,006
3	0,07 ± 0,003	0,07 ± 0,004	0,07 ± 0,002
4	0,1 ± 0,010	0,12 ± 0,005	0,11 ± 0,004
5	0,14 ± 0,015	0,17 ± 0,003	0,16 ± 0,008
6	0,3 ± 0,014	0,32 ± 0,014	0,31 ± 0,004
7	0,12 ± 0,003	0,11 ± 0,008	0,11 ± 0,004
8	0,11 ± 0,012	0,13 ± 0,003	0,12 ± 0,004

A continuación se presentan los resultados obtenidos mediante la utilización del programa STATGRAPHICS. En la Figura 3.27 se muestra el efecto de las variables experimentales sobre la densidad.

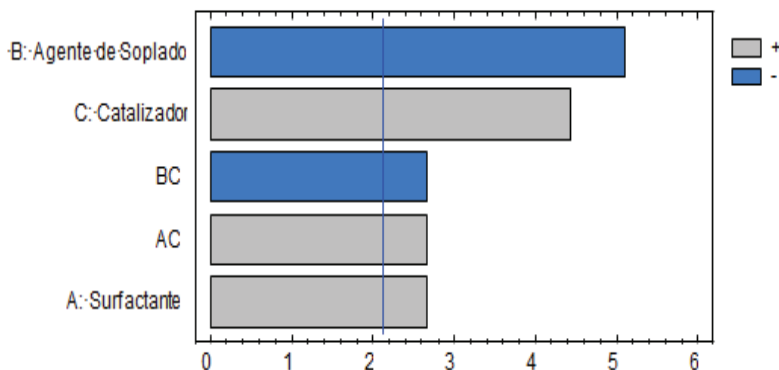


Figura 3. 27. Diagrama de Pareto para efectos estandarizados de los factores sobre la densidad en el proceso de espumado

Como se puede observar en el diagrama de Pareto, el catalizador y el surfactante tienen una influencia significativamente positiva en el proceso de espumado. Este comportamiento es debido, a que el aumentar dichos reactivos la densidad aumenta, por lo tanto la interacción entre ellos es positiva. Por otra parte, el agente de soplado tiene una influencia negativa en el proceso, debido a que su aumento ocasiona una disminución en dicha propiedad. Por lo tanto, el surfactante y el catalizador son variables importantes, las cuales permitirán obtener una estructura estable en la espuma.

En el ANEXO XI, se presenta la Tabla ADEVA, en la cual se puede comprobar que los factores y sus respectivas interacciones influyen significativamente ($p < 0,05$) en la densidad en el proceso de espumado. Para poder determinar a que condiciones se obtiene la espuma floral que cumpla con la densidad adecuada para su comercialización, se analizó la gráfica de contornos y de superficie de respuesta, que se indica en la ANEXO XI.

En la Figura 3.28 se observa que las variables experimentales tiene un efecto lineal sobre la densidad, comprobándose que el diseño elegido en el proceso de espumado de la resina, es el adecuado.

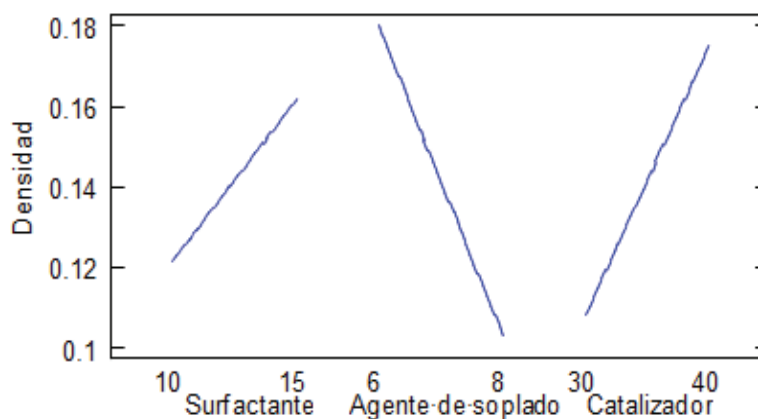


Figura 3. 28. Efecto de los factores sobre la densidad

Determinación de la absorción de agua

Los valores obtenidos de absorción de agua para cada tratamiento con sus respectivas réplicas, se muestran en la Tabla 3.10. En el ANEXO XII se adjuntan los resultados del coeficiente de variación de cada tratamiento. Como se puede observar en los resultados obtenidos del coeficiente de variación, las variables de cada tratamiento presentan una gran homogeneidad entre ellos, por lo tanto los datos de las pruebas realizadas del contenido de sólidos son aceptables.

Tabla 3. 10. Resultados de absorción de agua para cada tratamiento

Tratamientos	Absorción de agua		
	Réplica 1	Réplica 2	Réplica 3
1	10,76 ± 0,82	10,18 ± 0,15	10,43 ± 0,14
2	20,95 ± 0,18	18,82 ± 1,53	19,73 ± 0,29
3	22,38 ± 0,36	25,25 ± 0,30	23,75 ± 0,90
4	19,23 ± 1,32	18,39 ± 0,46	18,75 ± 0,17
5	9,67 ± 1,45	7,93 ± 0,16	8,7 ± 0,39
6	5,37 ± 0,48	6,22 ± 0,07	5,82 ± 0,65
7	16,94 ± 0,33	18,52 ± 0,11	17,7 ± 0,14
8	22,05 ± 0,21	19,06 ± 0,21	20,41 ± 0,16

En la Figura 3.29 se indica el efecto de las variables experimentales en la absorción de agua en el proceso de espumado. Como se puede observar en el diagrama de Pareto, el agente de soplado tiene un efecto estadísticamente significativo positivo en la absorción de agua, al aumentar el agente de soplado dicha propiedad se ve beneficiada. En cambio el catalizador tiene un efecto estadísticamente significativo negativo, debido a que su incremento afecta a las propiedades de la espuma. Por lo tanto, el agente de soplado y catalizador influyen directamente en la absorción de agua de la espuma.

También se puede evidenciar, que el surfactante no tiene un efecto significativo en el proceso de espumado ni las interacciones entre las variables, por lo cual se excluyeron del diagrama de Pareto.

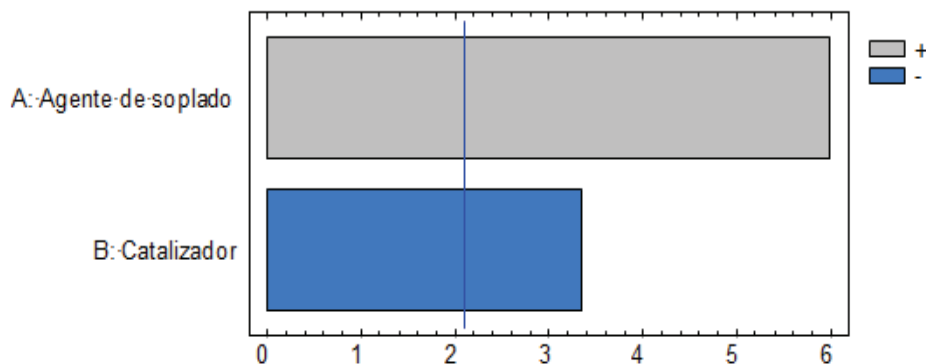


Figura 3. 29. Diagrama de Pareto para efectos estandarizados de las variables experimentales sobre la absorción de agua en el proceso de espumado

En el ANEXO XII, se presenta la Tabla ADEVA en la cual se puede comprobar que los factores y sus respectivas interacciones influyen significativamente ($p < 0,05$) en la absorción de agua en el proceso de espumado.

En la Figura 3.30, se muestra el efecto de las variables experimentales sobre la absorción de agua. En la gráfica de efecto de las variables experimentales en el proceso de espumado, se puede observar que el agente de soplado y el catalizador tienen un efecto lineal sobre la absorción de agua. Además se puede comprobar que el agente de soplado tiene un efecto positiva y el catalizador un efecto negativo en la absorción de agua. En el ANEXO XII, se indica la gráfica de

contornos y de superficie de respuesta, en las cuales se puede observar la región de color rojo, en la que se puede obtener la máxima cantidad de absorción de agua.

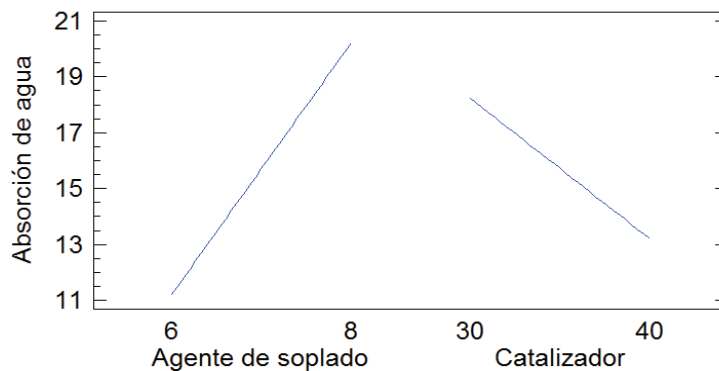


Figura 3. 30. Efecto de las variables experimentales sobre la absorción de agua en el proceso de espumado

3.2.2.2 Obtención de la espuma floral que cumpla con los parámetros para su comercialización con ayuda del programa STATGRAPHICS Centurion XV.I.

Con base a la evaluación de las variables de salida, se determinó que las variables experimentales influyen de manera distinta en la obtención de espuma floral. Por lo tanto, para hallar el mejor valor en el cual se encuentran los parámetros que permitan su comercialización, se realizó un solo análisis en conjunto de las variables.

En la Figura 3.31, se puede observar la gráfica de superficie de respuesta de las variables de salida en función de las variables experimentales del proceso de espumado, y de los valores de conveniencia. Como se puede observar en la gráfica de superficie múltiple de respuesta, cada región está pintada de acuerdo al rango de conveniencia que representa la región en la cual se puede hallar un punto óptimo simultáneo para todas las variables experimentales, los cuales permitirán obtener una espuma floral que cumpla con los parámetros para su comercialización. Se puede diferenciar la zona de color amarillo en la cual se

puede evidenciar la región de conveniencia entre 0,8 y 0,9, dentro de este rango se puede observar el mejor valor simultaneo en 0,89 para realizar el proceso de espumado.

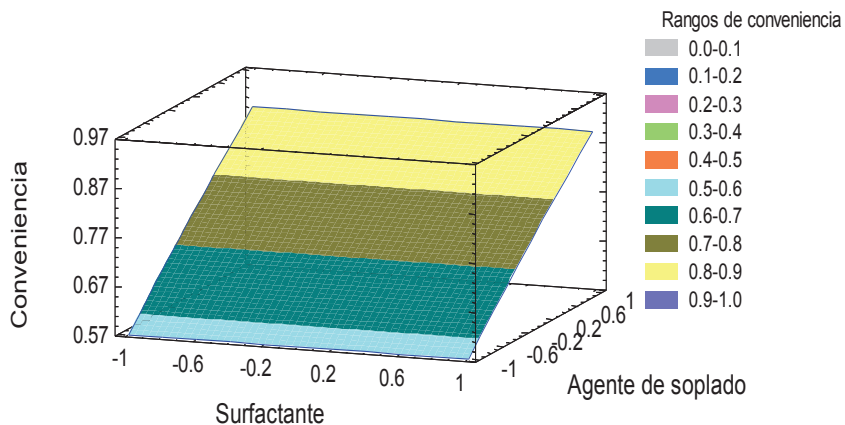


Figura 3. 31. Superficie múltiple de respuesta de las variables de salida

En la Tabla 3.11, se muestra los resultados del mejor valor simultáneo de las variables experimentales obtenidas del análisis en conjunto de los resultados de las variables de salida del proceso de síntesis. Con los valores de las variables experimentales que se muestran en la Tabla 3.11, se realizó el proceso de espumado de las resinas sintetizadas con y sin PC en su formulación y sus propiedades obtenidas se presentan en la Tabla 3.12.

Tabla 3. 11. Tabla de optimización de los factores del proceso de espumado

Factor	Valor inferior	Valor superior	Mejor valor
Surfactante (Tween 80)	10	15	15
Agente de Soplado	6	8	8
Catalizador	30	40	30

Se obtuvo una espuma floral con PC de una densidad de 0,08 g/cm³ con una capacidad de absorción de agua de 21,3 veces su peso, propiedades similares a una espuma floral que debe absorber varias veces su peso en agua, entre 20 a 50 veces su peso y tener una densidad adecuada.

Tabla 3. 12. Propiedades de las espumas con y sin PC

Propiedades	Espuma con PC	Espuma sin PC
Absorción de agua	21,3	14,5
Densidad (g/cm ³)	0,08	0,12

Los valores obtenidos de densidad y absorción de agua de la espuma sin PC, difieren debido a que sus propiedades no están dentro de los parámetros para la formulación de una espuma floral. También se ven afectadas las propiedades finales de la espuma, por la dosificación de los reactivos en el proceso de espumado.

3.2.3 ANÁLISIS DE LA ESPUMA FLORAL

3.2.3.1 Análisis por espectroscopía infrarroja

En la Figura 3.32 se observa los espectros superpuestos de las espumas florales con PC y "Oasis". Como se puede observar en las Tablas 3.13 y 3.14, los espectros presentan similitudes en las bandas de 2 924 y 2 855 cm⁻¹ pertenecientes al grupo alquilo, también se puede observar la presencia del grupo hidroxilo en la frecuencia de 3 370 cm⁻¹ debido a la presencia de agua.

Se puede evidenciar en las bandas de 1 034, 830 y 751 cm⁻¹, la presencia del ácido sulfónico en las espumas florales. Por lo tanto, se utiliza el mismo catalizador para la elaboración de la espuma comercial "Oasis". La diferencia más notoria entre los espectros, se puede observar en la banda de 1 702 cm⁻¹, señal que corresponde al grupo carbonilo presente en la estructura de la espuma floral con PC. Las espumas florales pueden ser fabricadas con distintos reactivos, lo cual determina sus propiedades finales.

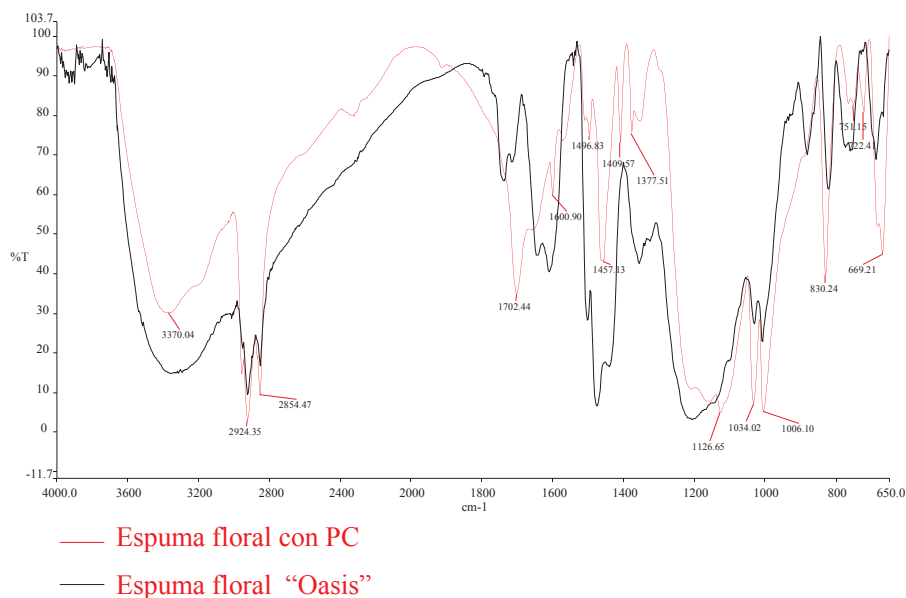


Figura 3.32. Espectros superpuestos de la espuma floral con PC y “Oasis”

Tabla 3.13. Grupos funcionales presentes en el espectro obtenido de la espuma floral “Oasis”

Frecuencia λ (cm^{-1})	Grupo Funcional
3 030 - 2 855 1 485 - 1 415	grupo alquilo
3 540 - 3 200 1 205 - 885	hidroxilo
1 230 - 1 160 1 085 - 1 030 810 - 740	Ácido sulfónico sutitución aromatic

Con la finalidad de tener una mejor caracterización, se realizó el análisis de los espectros superpuestos de las espumas florales con y sin PC obtenidas en el laboratorio, como se observa en la Figura 3.33.

Como se puede observar en la gráfica, los espectros presentan las mismas bandas características en 2 924 y 2 855 cm^{-1} pertenecientes al grupo alquilo, la presencia del grupo hidroxilo en la frecuencia de 3 370 cm^{-1} y se puede evidenciar en las bandas de 1 034, 830 y 751 cm^{-1} la presencia del ácido sulfónico como se

indica en la Tabla 3.14, con la única diferencia que se puede observar en la señal de $1\,702\text{ cm}^{-1}$ que corresponde al grupo carbonilo presente en la estructura de la espuma floral con PC.

Tabla 3. 14. Grupos funcionales presentes en el espectro obtenido de la espuma floral con PC

Frecuencia λ (cm^{-1})	Grupo Funcional
3 030 - 2 855 1 485 - 1 415	grupo alquilo
2 940 - 2 920 2 870 - 2 840 1 470 - 1 450 730 – 715	grupo alquilo cadena larga
3 450 - 3 300 3 000 - 2 850 1 470 - 1 365 1 200 - 950	grupo alquilo - hidroxilo
1 720 - 1 701 1 620 - 1 575	grupo carbonil
3 540 - 3 200 1 205 – 885	Grupo hidroxilo
3 676 - 3 225 1 265 - 1 176 1 250 - 1 150 1 055 - 1 005 835 - 690	Ácido sulfónico sustitución aromatic

La aparición de la banda del grupo carbonilo en la espuma con PC, se puede deber, a la posibilidad de una reacción de esterificación de los productos de la hidrólisis con los reactivos utilizados en el proceso de espumado. Por lo cual se realizó una cromatografía líquida y del análisis por FTIR se obtuvo como subproductos de la resina fenólica el: fenol, 4-nonilfenol y 4(1,1-dimetil-etil) fenol como se puede observar en el ANEXO X.

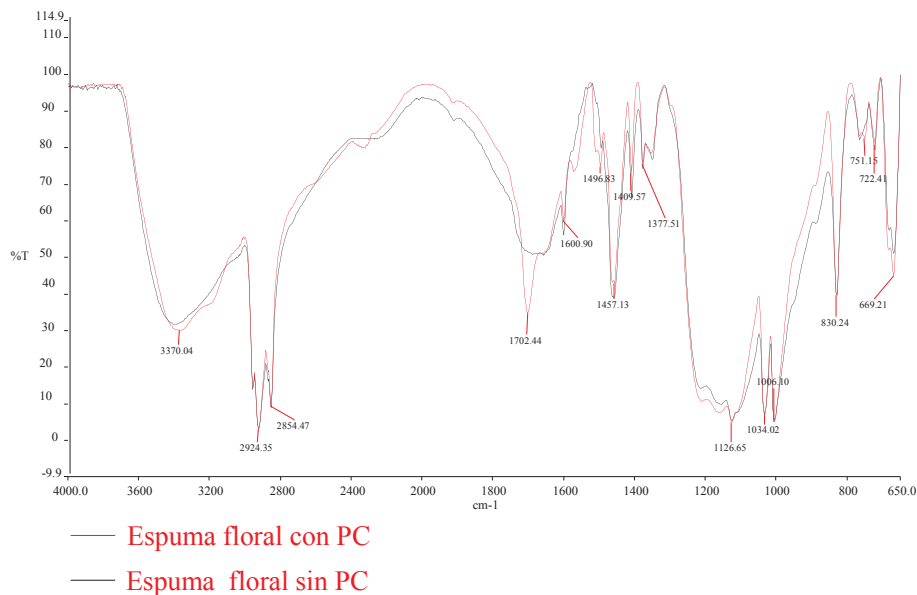


Figura 3. 33. Espectros superpuestos de la espuma floral con y sin PC

3.2.3.2 Análisis por calorimetría diferencial de barrido (DSC)

En la Figura 3.34, se muestra el termograma obtenido del primer barrido de la espuma floral con PC.

Como se puede observar en el primer barrido de la espuma floral con PC, presenta un pico endotérmico a una temperatura de 68,6 °C y la espuma floral “Oasis” un pico endotérmico a una temperatura de 57,7 °C, como se puede comprobar en la Figura 3.35.

La aparición de los picos endotérmicos en las espumas florales con PC y “Oasis”, es a causa del proceso de fusión de los segmentos cristalinos debido a la agregación molecular de alta energía cohesiva (Mazo, Yarce y Ríos, 2011, p. 65). La notable diferencia en la temperatura de fusión, se asume por la presencia de los grupos carbonatos en la estructura de la espuma incrementando las fuerzas intermoleculares y por ende se necesita mayor cantidad de energía para poder fundir.

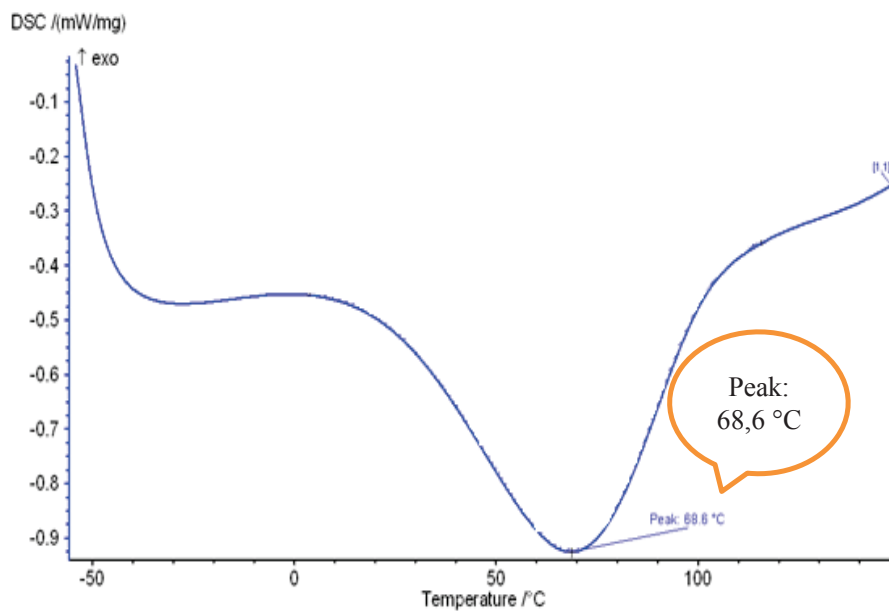


Figura 3. 34. Termograma del primer barrido de la espuma floral con PC

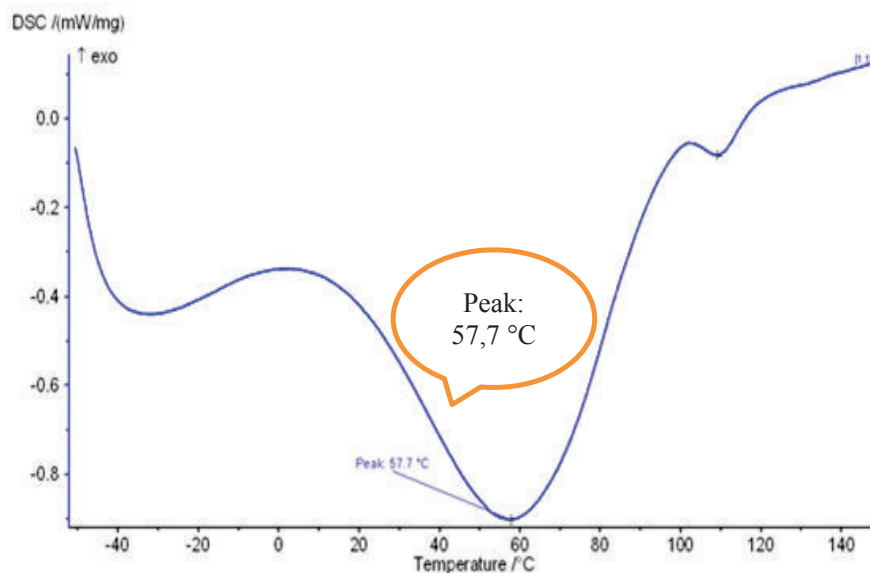


Figura 3. 35. Termograma del primer barrido de la espuma floral "Oasis"

Como se puede verificar en los termogramas del primer barrido de las espumas florales con PC Y "Oasis" no se puede observar la presencia de una temperatura de transición vítrea, para lo cual se utilizó los termogramas del segundo barrido como se puede observar en la Figura 3.36 y 3.37.

En los termogramas del segundo barrido de las espumas florales con PC Y “Oasis” tampoco se puede apreciar las temperaturas de transición vítreas, esto se debe a la posibilidad, de que los reactivos utilizados en el proceso de espumado le atribuyen propiedades plásticas a las espumas florales provocando una reducción en sus propiedades térmicas (Orozco, 2013 p. 33).

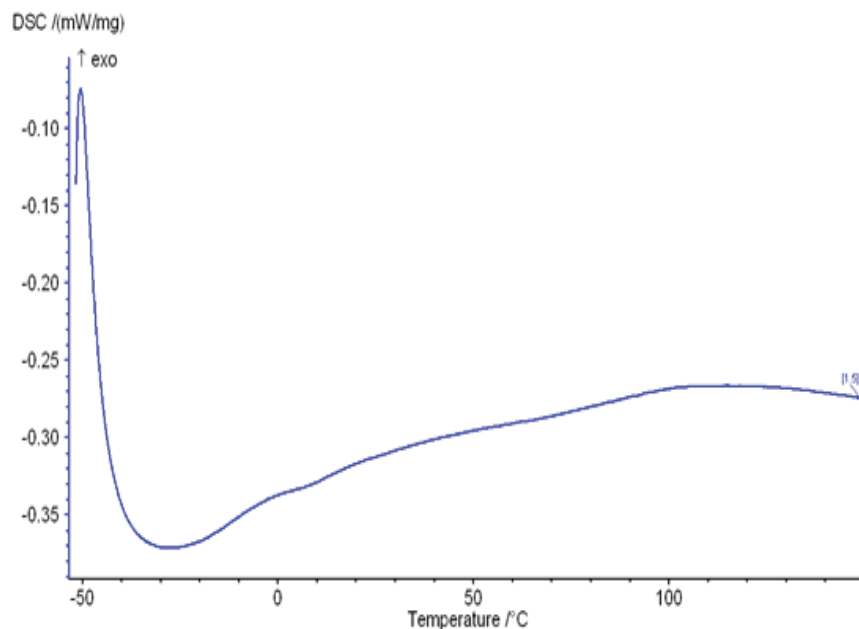


Figura 3.36. Termograma del segundo barrido de la espuma floral con PC

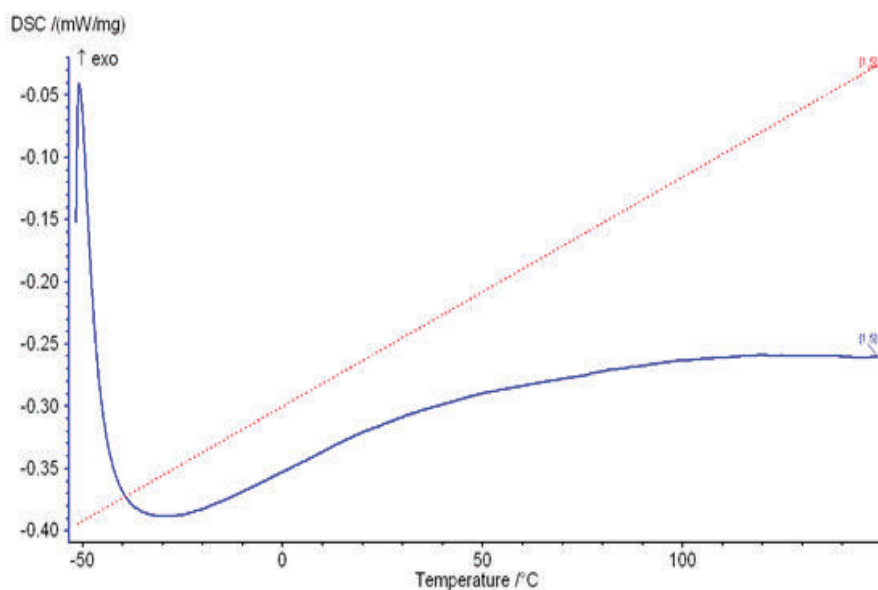


Figura 3.37. Termograma del segundo barrido de la espuma floral “Oasis”

Como por ejemplo, el tensoactivo (Tween 80), el cual es utilizado para crear una interface entre el agente de espumado y el catalizador provocando la disminución de la viscosidad de la resina fenólica; adicionado en grandes cantidades la espuma puede colapsar o hacerse muy plástica (Espinoza, 2010 p, 14).

3.2.3.3 Análisis termogravimétrico (TGA)

En la Figura 3.38 se presenta el termograma obtenido de la espuma floral con PC. El termograma, presenta cuatro zonas de degradación térmica de la espuma floral con PC. En comparación con el termograma de la Figura 3.39 perteneciente al de la espuma floral oasis, se observan solo tres desviaciones.

La primera desviación presente en la espuma floral con PC, inicia a los 37,30 °C y termina a los 67,01 °C con una perdida de peso de 2,89%. De igual manera, se observa en la espuma oasis en el rango de 28,96 °C a 59,86 °C, una perdida de peso de 3,37%, debido a la posibilidad de que se encuentre encapsulado el agente de soplado en las celdas de la espuma.

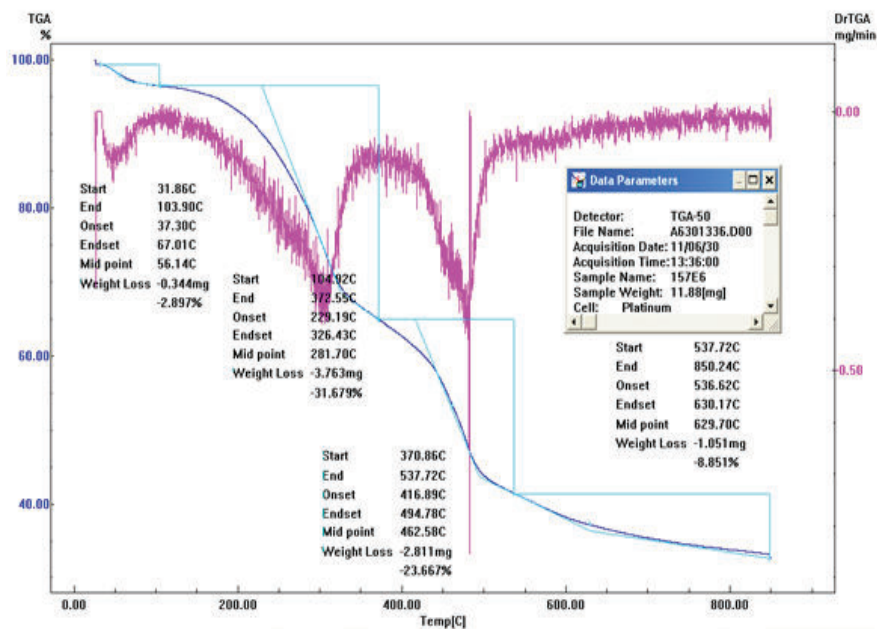


Figura 3.38. Termograma de la espuma floral con PC obtenido a una velocidad de calentamiento de 10°C/min hasta 850 °C realizado en atmósfera de nitrógeno con un flujo de 50 mL/min

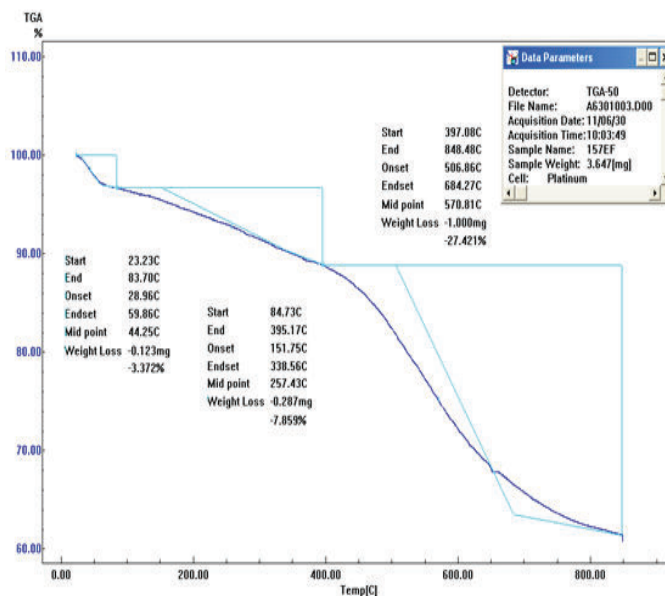


Figura 3. 39. Termograma de la espuma oasis obtenido a una velocidad de calentamiento de 10°C/min hasta 850 °C realizado en atmósfera de nitrógeno con un flujo de 50 mL/min

En el estudio realizado por HU, Zhou, Zhang y Liu (2012), establece que la segunda región de descomposición térmica de la espuma floral inicia en a los 200 °C y finaliza a los 500 °C, produciéndose una pérdida de peso debido a la ruptura de los enlaces débiles de metileno y éter, liberando formaldehido y agua (p. 559). También concluye, que en el rango de 500 a 800 °C se da la tercera descomposición térmica en la cual la espuma sufre la destrucción de su estructura molecular.

En el ANEXO XIII, se representa la gráfica del termograma obtenido del análisis termogravimétrico de la espuma floral sin PC, en la cual se puede observar que existen cuatro desviaciones correspondientes a las descomposiciones térmicas sufridas por la espuma. Por lo tanto, la segunda desviación en los termogramas de las espumas con y sin PC, se debe a la posible perdida de formaldehido y agua encapsulada, que se liberan durante la ruptura de las paredes de las celdas. La tercera degradación térmica, es causada por la posible ruptura de los enlaces débiles de metileno y éter. La ultima degradación y perdida de peso se atribuye a la destrucción de la estructura molecular de la espuma.

3.3 PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DE ESPUMA FLORAL A ESCALA PILOTO

3.3.1 INGENIERÍA CONCEPTUAL

3.3.1.1 Capacidad de la planta a escala piloto

La capacidad de la planta a escala piloto se estableció con base a la información del Banco Central del Ecuador (2014), se estimó el 7% del total de los desechos de PC que se generan de las importaciones para su procesamiento. Por lo tanto, para el diseño del proceso para la obtención de espuma floral se utilizará la cantidad de 200 kg de residuos de PC/día. En el ANEXO XIV se presenta el cálculo de la capacidad de la planta.

3.3.1.2 Ubicación de la planta

La planta estará ubicada en la parte Norte de Latacunga, Panamericana norte, Lotización La Calerita (Parque Industrial Cotopaxi), como se muestra en la Figura 3.40.

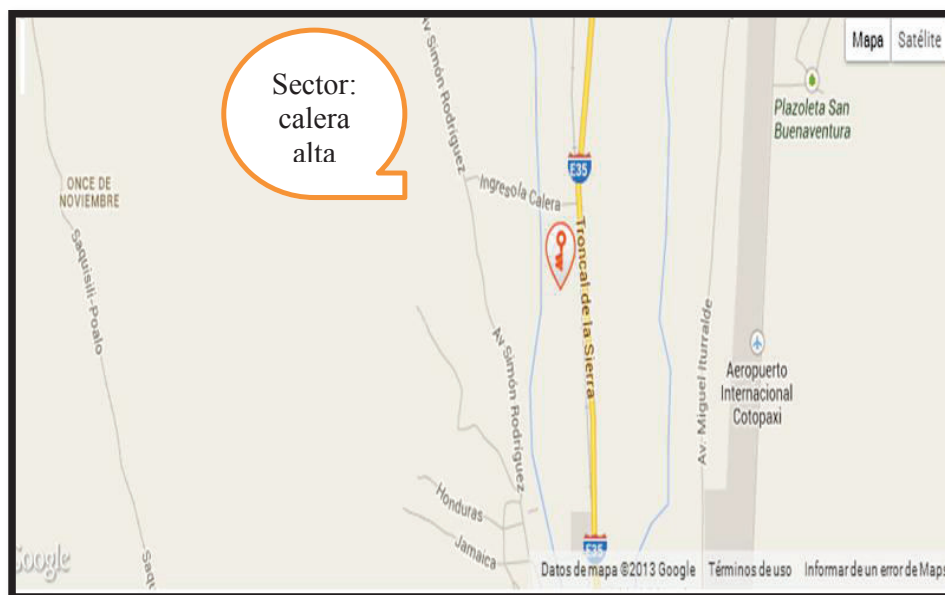


Figura 3. 40. Ubicación de la planta de producción de espuma floral (Google Maps, 2016)

La ubicación de la planta fue elegida, debido a que el sector es la zona industrial de Latacunga. Además, el sitio es considerado zona de seguridad por encontrarse en la parte alta del sector.

3.3.2 INGENIERÍA BÁSICA

3.3.2.1 Descripción del proceso

Los bidones de agua, son lavados para eliminar impurezas y residuos orgánicos, luego son molidos a tamaños de 4 mm y guardados en un silo de almacenamiento.

El material fragmentado, es llevado a un reactor Batch (el cual será cargado cada vez que se realice el proceso de disolución y síntesis que se requiere de un tiempo determinado) para ser disuelto con fenol a una temperatura de 151 °C.

Para evitar el uso innecesario de más equipos, en el mismo reactor se sintetiza la resina a 90 °C, se agrega el catalizador hasta obtener un pH de 9. Seguido, se añade el formaldehído y se espera 109 minutos y se neutraliza con ácido clorhídrico 1 N. Finalizada la síntesis se destila el agua producto de la reacción.

Obtenida la resina, se transporta a un tanque de almacenamiento, la que se utiliza de acuerdo a las necesidades del proceso de espumado.

La reacción de espumado se realiza en un recipiente con agitación, en el cual se agrega el surfactante (Tween 80), agente de humectación (texapón), tintura de color verde y úrea (para reducir el olor de formaldehido) y se mezcla durante 15 minutos. Luego se adiciona el agente de soplado (Éter de petróleo) y ácido catalizador (Ácido sulfónico) y se agita hasta obtener una mezcla homogénea, la cual se vierte en un molde precalentado a 90 °C durante 60 minutos.

3.3.2.2 Balance de masa y diagramas del proceso de obtención de espuma floral

En la Tabla 3.15 se presenta el balance de masa de las corrientes del proceso de espumado para la obtención de espuma floral. En el ANEXO XV se representa los cálculos correspondientes al balance de masa.

Tabla 3. 15. Balance de masa

Número de corriente	1	2	3	4	5	6	7
PC kg/día	200	200	200	200	200		
Fenol kg/día						371,29	
Hidróxido de sodio kg/día						2,48	
Formaldehído kg/día						644,29	
Ácido clorhídrico kg/día						7,36	
Agua kg/día							
Resina más agua kg/día							1 217,82
Tween 80 kg/día							
Texapón kg/día							
Úrea kg/día							
Tintura verde kg/día							
Éter de petróleo kg/día							
Ácido sulfónico kg/día							
Flujo másico kg/día	200	200	200	200	200	1 025,41	1 217,82
Número de corriente	8	9	10	11	12	13	14
PC kg/día							
Fenol kg/día							
Hidróxido de sodio kg/día							
Formaldehído kg/día							
Ácido clorhídrico kg/día							
Agua kg/día	227,72						
Resina kg/día		990,10	990,10				
Tween 80 kg/día				148,52			
Texapón kg/día				49,51			
Úrea kg/día				29,70			
Tintura verde kg/día				59,41			
Éter de petróleo kg/día					79,21		
Ácido sulfónico kg/día						297,03	
Flujo másico kg/día	227,72	1 217,82	990,10	287,13	79,21	297,03	1 653,47

Diagramas de flujos (BFD) y (PFD)

En la Figura 3.41 se describen las operaciones unitarias del proceso de espumado para la obtención de espuma floral mediante el diagrama de bloques (BFD) y con base al mismo se presenta el diagrama de flujo (PFD) en la Figura 3.42.

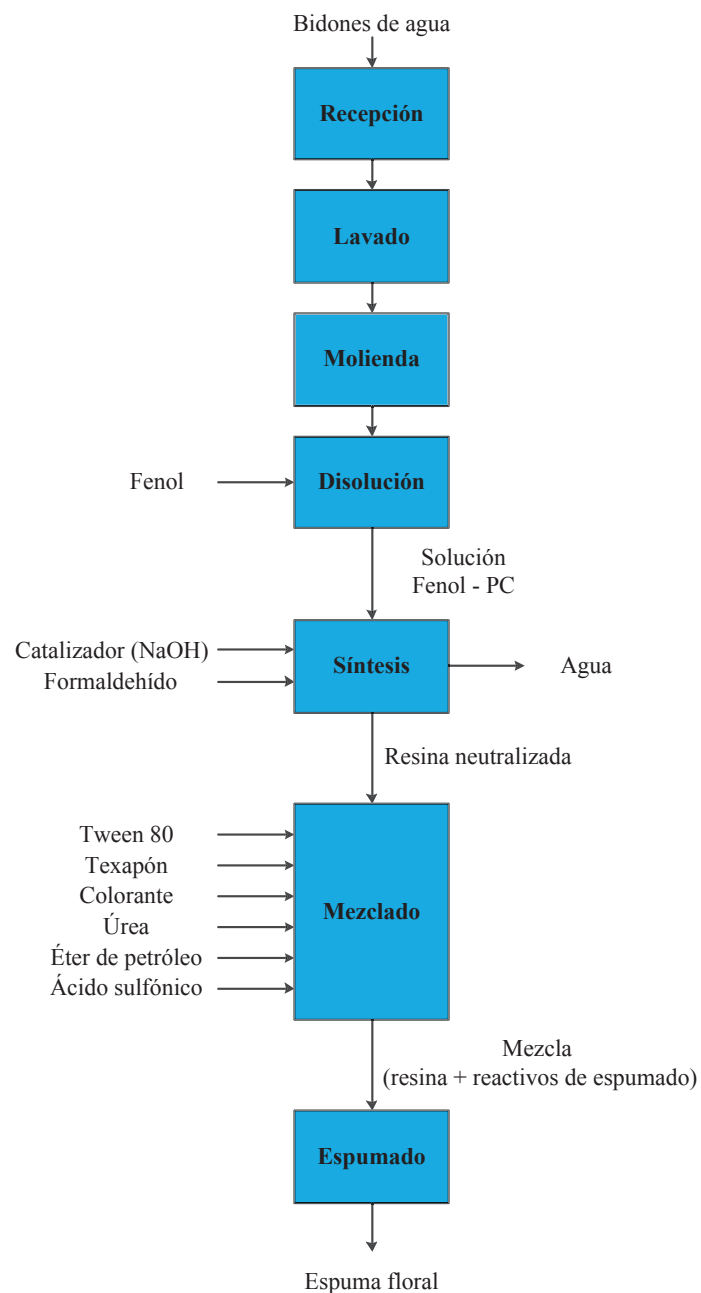
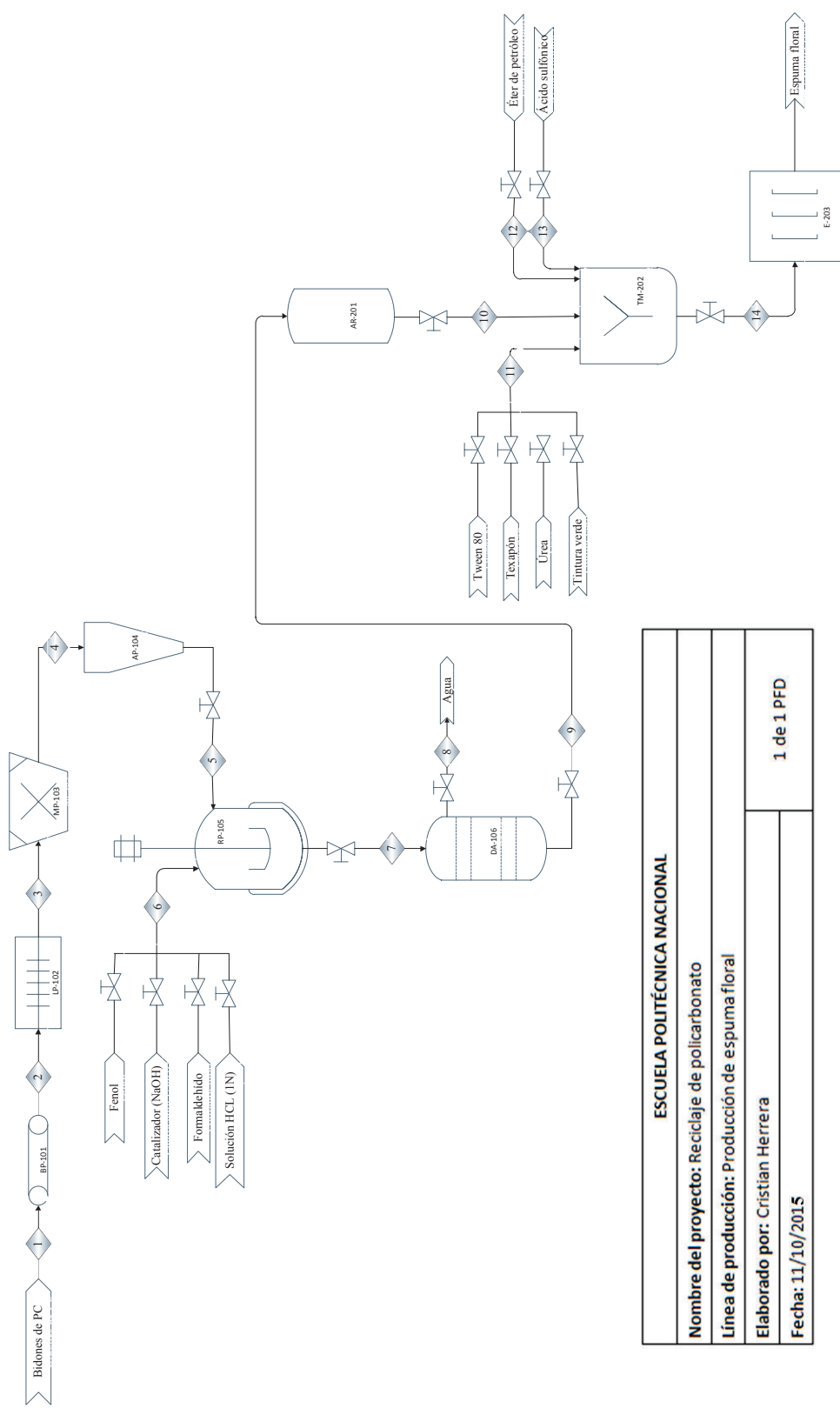


Figura 3. 41. Diagrama de bloques (BFD) del proceso para la obtención de espuma floral






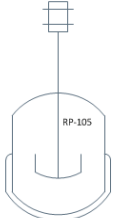



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL	
Nombre del proyecto: Reciclaje de policarbonato	
Línea de producción: Producción de espuma floral	
Elaborado por: Cristian Herrera	1 de 1 PFD
Fecha: 11/10/2015	

Figura 3. 42. Diagrama de flujo (PFD) del proceso para la obtención de espuma floral

Principales equipos del proceso

Para tener una mejor comprensión del diagrama PFD, en la Tabla 3.16 se muestra la simbología y nomenclatura de los principales equipos del proceso de obtención de espuma floral.

Tabla 3. 16. Nomenclatura y simbología de los equipos del diagrama PFD del proceso de espumado

Nomenclatura y simbología	Equipo	Ubicación
	Lavadora	Área 1
	Molino de cuchillas	Área 1
	Silo de almacenamiento (PC molido)	Área 1
	Reactor utilizado para la disolución del PC y síntesis de la resina	Área 1
	Tanque de almacenamiento (resina)	Área 2
	Tanque de mezcla de reactivos de espumado	Área 2
	Estufa (reacción de espumado)	Área 2

3.3.3 ANÁLISIS DE COSTOS APROXIMADOS PARA LA PRODUCCIÓN DE ESPUMA FLORAL

3.3.3.1 Costos de reactivos y materia prima

En la Tabla 3.17 se presenta el costo del policarbonato reciclado y de los demás reactivos utilizados en el proceso de obtención de espuma floral.

Tabla 3. 17. Costos de los reactivos y del policarbonato reciclado

Producto	Cantidad (Kg)	Precio unitario (\$)	Precio total (\$)
Policarbonato	200	1,8	360
Fenol	371,29	1,2	445,54
Formaldehído	644,29	2,33	1 501,19
Texapón	49,51	4,26	210,89
Tween 80	148,52	5	742,58
Úrea	29,70	3,8	112,87
Colorante	59,41	4,75	282,18
Éter de petróleo	79,21	1,6	126,73
Ácido sulfónico	297,03	6	1 782,18
Total			5 564,16

Cabe resaltar que el costo del policarbonato, se calculó con base al precio de las botellas de PET recicladas, debido a la falta de datos del reciclaje de bidones de policarbonato.

3.3.3.2 Costo de mano de obra, agua y energía eléctrica

En la Tabla 3.18 se muestra el salario de los trabajadores y del gerente. La planta de producción de espuma floral, tendrá: 1 secretaria, 4 trabajadores y un gerente general. En la Tabla 3.19 se muestra el costo mensual por consumo de agua y de energía, en el ANEXO XVI se muestra el cálculo realizado con sus respectivos recargos.

Tabla 3. 18. Salario de los trabajadores

Cargo	Número de empleados	Salario (\$)
Secretaria	1	416,19
Operarios	4	1 664,76
Gerente	1	2 351,92
Total		4 432,87

Tabla 3. 19. Costos servicios básicos

Servicio	Costo (\$/mes)
Agua	29,03
Energía eléctrica	917,14
Total	946,17

3.3.3.3 Cálculo del costo de producción aproximado por cada espuma floral

En la Tabla 3.20 se muestra el costo de producción por cada espuma floral de medidas de 55 x 32 x 23 mm. En el ANEXO XVI se presenta el cálculo realizado para determinar el costo de producción de cada espuma floral.

Tabla 3. 20. Costo por cada espuma floral producida

Descripción	Valor (\$)
Materia prima	0,67
Mano de obra	0,03
Agua	0,0002
Energía eléctrica	0,006
Total	0,71

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

1. Mediante el estudio de la influencia de la cantidad de PC a utilizar en la síntesis de la resina, se determinó que el 35% p/p de PC respecto al fenol es el adecuado, debido a que la mezcla a la temperatura de síntesis permanece en solución.
2. Los diseños experimentales elegidos, permitieron el análisis del efecto de los factores seleccionados en el proceso de síntesis y de espumado sobre las variables de salida para la elaboración de resina fenólica y espuma floral mediante la utilización del programa STATGRAPHICS Centurion XV.I.
3. Utilizando la solución obtenida de la disolución de PC en fenol, se logró sintetizar una resina fenólica con una relación formaldehído/fenol de 2 en un tiempo de 109 minutos a 90 °C. Logrando incrementar la cantidad del producto en un 25% en volumen.
4. Se logró comprobar que el policarbonato sufre una hidrólisis durante el proceso de síntesis al utilizar un catalizador básico. Como se pudo evidenciar en el espectro que se realizó al producto obtenido de la hidrólisis, la banda característica del grupo carbonilo desaparece.
5. La evaluación de la resina fenólica con PC en su formulación en comparación con una resina fenólica sintetizada a las mismas condiciones fue satisfactoria. La resina con PC en su formulación tiene una viscosidad de 2 280 Cps, un contenido de sólidos de 80 %, fenol libre de 0,46 % y formaldehído libre de 1,3 % cumpliendo con los parámetros de una resina convencional para la elaboración de espuma floral.

6. Para tener una mejor caracterización de la resina con PC en su formulación se realizó una cromatografía líquida, obteniéndose como subproductos fenol, 4-nonilfenol y 4(1,1-dimetil-etil) fenol.
7. El proceso de espumado de la resina sintetizada con PC en su formulación tuvo resultados positivos, se obtuvo una espuma de iguales propiedades que la de una espuma comercial.
8. En La caracterización de las espumas por espectroscopía infrarroja, se encontró la diferencia más notoria entre los espectros la banda de 1702 cm^{-1} , señal que corresponde al posible grupo carbonilo presente en la estructura de la espuma floral con pc.
9. Se logró el diseño del proceso para la obtención de espuma floral a escala piloto, mediante el reciclaje de 200 kg/día de bidones de PC, se incluyó los diagramas BFD y PFD del proceso.
10. Se determinó que la producción de una pieza de espuma floral de medidas de 55 x 32 x 23 mm tiene un costo de \$0,71. El costo de una espuma de las mismas características en el mercado es de \$1,20, comprobándose que el proceso es rentable por el incremento de resina al utilizar PC reciclado.

4.2 RECOMENDACIONES

1. Analizar las propiedades mecánicas de la resina sintetizada con PC en su formulación y compararlas con las propiedades de una resina comercial.
2. Realizar una caracterización de la resina por resonancia magnética nuclear (RMN) para determinar las composiciones de cada compuesto presente en la resina.

3. Se puede realizar un estudio en el cual se utilice una mayor temperatura de síntesis, la cual garantizará un mayor reciclaje de PC.
4. Realizar una caracterización más minuciosa del PC reciclado, analizando varias muestras de material molido, para obtener resultados fiables y reducir posibles fuentes de error.
5. Ampliar el estudio de las aplicaciones de la resina fenólica sintetizada con PC en su formulación.
6. Estudiar las propiedades mecánicas de la espuma con PC y compararlas con las propiedades de una espuma comercial.
7. Para obtener un mejor análisis termogravimétrico, se debe utilizar un equipo en el cual se pueda caracterizar los gases que se generan a diferentes temperaturas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Achilias D. (2012). Recent Advances in the Chemical Recycling of Polymers (PP, PS, LDPE, HDPE, PC, Nylon, PMMA). *Material Recycling-Trends and Perspectives*. 1(2012), 3-46. Recuperado de http://www.academia.edu/5881874/1_Recent_Advances_in_the_Chemical_Recycling_of_Polymers (Mayo, 2014)
2. Alonso, M. (2002). *Formulación y curado de resinas fenol-formaldehído tipo "resol" con sustitución parcial del fenol por lignosulfonatos modificados*, (Disertación doctoral no publicada). Universidad Complutense de Madrid, Madrid, España.
3. Banco Central Del Ecuador. (2014). Consulta de totales por nandina. Recuperado de http://www.portal.bce.fin.ec/vto_bueno/seguridad/ComercioExteriorEst.jsp. (Febrero, 2015)
4. Bibin, J. y Reghunadhan, C. (2014). *Syntactic Foams. Handbook of thermoset plastics [Versión Adobe Digital editions]*. doi: 10.1016/B978-1-4557-3107-7.00013-0
5. Bigot S., Kébir N., Plasseraud L. y Burel F. (2015). Organocatalytic synthesis of new telechelic polycarbonates and of their chemical reactivity. *Polymer*, 66(2015), 127. doi: 10.1016/j. polymer. 2015. 04.046
6. Brebu M., Tamminen T., Hannevold L., Stoker M. y Spiridon L. (2014). Catalytic upgrading of-pyrolysis oils from bisphenol A polycarbonate and lignins. *Polymer Degradation and Stability*, 102 (2014), 88. doi: 10.1016/j. polymdegradstab.2014.01.035

7. Brunelle D. y Korn M. (2005). *Advances in Polycarbonates*. American Chemical Society. Recuperado de:
8. Cesteros, L. (2004). Aplicaciones de la FTIR al estudio de las interacciones polímero-polímero. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 5(3), 116-119.
9. Cifuentes, C. y Franco, B. (2004). Recuperación de policarbonato post-consumo a partir de discos compactos e incorporación a una formulación de resinas fenol formaldehído (Informe de tesis no publicado). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga,
10. De Arco, A., Ramírez, E.y Serrano, R. (2009). Caracterización de las propiedades mecánicas según la influencia de los elementos externos al policarbonato en discos compactos recuperados, (Informe de tesis no publicado). Universidad Autónoma de Occidente, Santiado de Cali, Colombia.
11. Elaplas. (2015). *Propiedades Físicas Policarbonato (PC)*. Recuperados de <http://www.elaplas.es/wp-content/uploads/policarbonato.pdf>
12. Espinoza, D. (2010). Elaboración de espumas florales fenólicas que incorporan nutrientes, sustancias inhibidoras de etileno, preservantes y bactericidas para la conservación prolongada de plantas obtenidas in vitro en el laboratorio de cultivo de tejidos (Informe de tesis no publicado). Univerddidad Politécnica del Ejército, Quito, Ecuador.
13. Gasparetto, S. (2004). Síntese e caracterizacao de resinasfenólicas líquidas do tipo novalaca aplicáveis no processo de pultrusao. (Disertación doctoral no publicada). Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul, Porto Alegre, Brasil.

14. Gonzales, M. (2015). Propiedades químicas y físicas de polímeros. E.T.S.I.A. Universidad Politécnica de Madrid. Recuperado de: http://ruc.udc.es/bitstream/2183/9641/1/CC_32_art_3.pdf (Agosto, 2015)
15. Groover, M. (1997). *Manufactura Moderna. Materiales, Procesos y Sistemas* (1ra.ed.). México: McGraw-Hill. (Marzo, 2016)
16. Gutierrez F., Quesada J., Ledezma A. y Starbird R. (2011). Obtención de productos de mayor valor agregado por pirólisis de policarbonato con catalíticos inorgánicos utilizando el material de reciclaje del ITCR. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Recuperado de http://www.materiales-sam.org.ar/sitio/revista/trabajo_MANFREDI.pdf (Octubre, 2014)
17. Gutiérrez, H. De La Vara, R. (2008). *Análisis y diseño de experimentos* (2da. ed.). México: McGraw-Hill.
18. Hatakeyama, K., Kojima, T. y Funazukuri, T. (2013). Chemical recycling of polycarbonate in dilute aqueous ammonia solution under hydrothermal conditions. *Applied Chemistry*, 16(1-13), 124. doi: 10.1007/s10163-013-0151-8
19. Hesse W. y Lang J. (2012). Phenolic Resins. *Wiley- VCH Encyclopedia of Industrial Chemistry*. 26(2012). 583 - 597. doi: 10.1002/14356007.a19_371.pub2
20. Hu, L., Zhou, Y., Zhang, M. y Liu, R. (2012). Characterization and properties of a lignosulfonate-based phenolic foam. *Lignin-based phenolic foam*, 7(1), 559. Recuperado de

21. Johannes, F. (2013). Phenol/Formaldehyde Resins. Reactive polymers fundamentals and applications [Versión Adobe Digital editions]. doi: 10.1016/B978-1-14557-3149-7.00004-8
22. Knop, A. Pilato, L. (2013). Phenolic Resins: Chemistry, Applications and Performance. Recuperado de (Agosto 2015)
23. Kaushiva, B. (1999). Structure-property relationships of flexible polyurethane foams. (Disertación doctoral no publicada). Virginia Polytechnic Institute and State University, Virginia, Blacksburg.
24. Legrand D. y Bendler J. (2000). Handbook of Polycarbonate Science and Technology. Plastics Engineering. Recuperado de [http:// www.dekker .com](http://www.dekker.com) (Abril, 2015)
25. Lorenzo V., De La Orden M., Muñoz C., Serrano L. y Martínez J. (2013). Mechanical characterization of virgin and recovered polycarbonate based nanocomposites by means of Depth Sensing Indentation measurements. *Polymer*, 55(2014), 1. doi: 10.106/j.eurolymj.2014.03 (Mayo 2014)
26. Ma, Y., Zhang, W., Wang, C., Xu, Y. y Chu, F. (2012). The Effect of formaldehyde/Phenol (F/P) Molar Ratios on Function and Curing Kinetics of High-Solid Resol Phenolic Resins. *Wiley Journal of Applied Polymer Science*. 129(2013). 3098. doi: 10.1002/app.38869
27. Ma. Y, Zhang. W, Wang. C, Xu. Y, y Chu, F. (2012). The Effect of formaldehyde/Phenol (F/P) Molar Ratios on Function and Curing Kinetics of High-Solid Resol Phenolic Resins. *Wiley Journal of Applied Polymer Science*. 129(2013). 3097. doi: 10.1002/app.38869

28. Manfredi, L., De la Osa, O., Galego, N. y Vázquez, A. (1999). Structure - properties relationship for resol with different formaldehyde/phenol molar ratio. *Polymer*, 40(1999), 3867-3869. Recuperado de
29. Martínez, J., Gómez, C., Restrepo, D. y Gañán, P. (2009). Evaluación del curado de resinas fenólicas tipo novalaca modificadas con lignina por espectroscopía infrarroja por transformadas de fourier. *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*, 3(2009), 1173. Recuperado de : www.polimeros.labb.usb.ve/RLMM/home.html (Mayo, 2015)
30. Materiales poliéricos. (2015). Propiedades polímeros. Recuperado de (Octubre, 2015)
31. Mazo, P., Yarce, O. y Ríos, L. (2011). Síntesis de espumas rígidas de poliuretano obtenidas a partir de aceite de castor y poliglicerol empleando calentamiento por microondas. *Polimeros*, 21(1), 65. doi: 10.1590/S0104-14282011005000006
32. Neki, K. y Geil, P. (2006). Morphology-property studies of amorphous polycarbonate. *Journal of Macromolecular Science, Part B: Physics*, 8(1-2), 296. doi: 10.1080/00222347308245805
33. Orozco, B. (2013). Formulación y caracterización de espumas fenólicas tipo resol reforzadas con lignosulfonato cálcico y con partículas de "Pinus Radiata". (Disertación doctoral no publicada). Universidad Complutense de Madrid, Madrid, España.
34. Palacios, J. (2011). Síntesis de resinas fenol formaldehído estoxiladas y fenol formaldehído para uso como desemulsionante y dispersante de asfaltenos (Informe de tesis no publicado). Universidad de Oriente, Puerto de la Cruz, Venezuela.

35. Pilato, L. (2010). Phenolic Resins: A century of Progress [Versión Adobe Digital]. doi: 10.1007/978-3-642-04714-5
36. Plasco. (2015). Plásticos y complementos. Recuperado de http://plasco.com.mx/upload/productos/3_273.pdf (Octubre, 2015)
37. Plastics Europe. (2015). Polycarbonate-a key contributor to a modern lifestyle. Recuperado de http://www.bisphenol-a-europe.Org/uploads/Lay_MaterialBenefits_09092009.pdf (Octubre, 2015)
38. Rego, R., Adriaenssens, P., Carleer, R. y Gelan, J. (2004). Full quantitative carbon-13 NMR characterization of resol phenol-formaldehyde prepolymer resins. *Polymer*, 45(2004), 33. doi: 10.1016/j.polymer.2013.10.078
39. Rodríguez, M., Mujica, V., Martínez, A. y Silva, S. (2009). Factibilidad técnico-económico de una planta de producción de resinas fenólicas (tipo resol). 16(3), 11. Recuperado de <http://servicio.bc.uc.edu.ve/ingenieria/revista/a16n3/art1.pdf>
40. Rogers, M. y Long, T. (2003). Synthetic methods in step-growth polymers [Versión DX Reader]. Recuperado de www.copyright.com (Febrero, 2015)
41. Rosi, L., Bartoli M., Undri A., Frediani M. y Frediani P. (2015). Synthesis of Dianols or BPA through catalytic hydrolysis/glycolysis of waste polycarbonates using a microwave heating. *Journal of molecular CATALYSIS*. 1 (2015), 1-23. doi: 10.1016/j.mocata.2015.07.027
42. Schroer, D., Hudack, M., Soderquist, M. y Beulich, I. (2008). Rigid polymeric foam boardstock technical assessment. Recuperado de

43. Solomon, D., Qiao, G. y Caulfield, M. (2009). Polymers based on phenols. Chemistry of functional groups [Versión Adobe Digital editions]. doi: 10.1002/9780470682531.pat0296
44. Szczurek, A., Fierro, V., Pizzi, A., Stauber, M. y Celzard, A. (2014). A new method for preparing tennin-based foams. *Industrial crops and products*, 54(2014), 40. doi: 10.1016/j.indcrop.2014.01.012
45. Tugtepe, M. y Ozgumus. (1990). Modified phenol-formaldehyde novalac. Resin: Synthesis and thermal oxidative degradation, [Versión DX Reader]. Recuperado de
46. Universidad de Barcelona. (2015). Materials. Recuperado de <http://www.ub.edu/cmematerials/es/content/policarbonato> (Noviembre, 2015)
47. Wiesweg M. (2012). PC & PP. Market Update. Recuperado de: http://www.media-tech.net/fileadmin/templates/association/Hamburg_2012/Presentations_HH12/Weisweg.pdf (Octubre, 2015)
48. Zhou, J., Yao, Z., Chen, Y., Wei, D. y Wu, Y. (2013). Thermomechanical analyses of phenolic foam reinforced with glass fiber mat. *Materials and design*, 51(2013), 131. doi: 10.1016/j.matdes.2013.04.030

ANEXOS

ANEXO I

CÁLCULO DE LA CANTIDAD EN PESO DE CADA REACTIVO PARA EL PROCESO DE SÍNTESIS

Fenol

Para el fenol se puso como base 150 g, para garantizar la obtención de resina fenólica entre los 270 y 300 ml, para poder determinar la viscosidad de acuerdo al Norma pertinente.

Policarbonato reciclado

Con base a las pruebas preliminares, se determinó que el 35% p/p con respecto al fenol es lo adecuado para realizar la síntesis de la resina.

$$\frac{35 \text{ g PC}}{65 \text{ g Fenol}} \times 150 \text{ g Fenol} = 80,8 \text{ g}$$

Formaldehído

Se calculó la cantidad de formaldehído, tomando como ejemplo la relación molar de 1,6. Se utilizó formaldehído al 37% y de densidad 1,09 g/mL.

$$\text{Moles de Fenol} = 150 \text{ g Fenol} \times \frac{1 \text{ mol}}{95,124 \text{ g Fenol}} = 1,6 \text{ mol}$$

$$\text{Formaldehído a utiliza} = 1,6 \text{ mol} \times 1,6 \times \frac{30,03 \text{ g Formaldehído}}{1 \text{ mol}} \times$$

$$\frac{1 \text{ 000 mL solución}}{1 \text{ 090 g solución}} \times \frac{100 \text{ g solución}}{37 \text{ g de Formaldehído}} = 190,62 \text{ mL}$$

En la Tabla Al.1, se presenta la cantidad de cada reactivo a utilizar para el número de tratamientos de acuerdo al diseño experimental elegido.

Tabla AI. 1. Cantidad en peso de cada reactivo para el proceso de síntesis

Relación Molar (Formaldehído/Fenol)	Reactivos	Cantidad
1,6	PC	80,8 g
	Fenol	150 g
	Formaldehido	190,6 ml
2,0	PC	80,8 g
	Fenol	150 g
	Formaldehido	238,8 ml
2,4	PC	80,8 g
	Fenol	150 g
	Formaldehido	285,9 ml

La cantidad en peso del PC y fenol se mantuvieron constantes, por lo tanto solo se calculó la cantidad de formaldehído para cada relación molar en el que se ve involucrado,

ANEXO II PREPARACIÓN DE LAS SOLUCIONES PARA LA DETERMINACIÓN DE FORMALDEHÍDO LIBRE

Solución de sulfito de sodio

Se preparó una solución de 1 000 mL de sulfito de sodio 0,2 M. El peso molecular del sulfito de sodio es de 126,043 g/mol.

$$\text{sulfito de sodio} = 1\,000 \text{ mL de Solución} \times \frac{0,2 \text{ mol de sulfito de sodio}}{1\,000 \text{ mL de solución}} \times \frac{126,043 \text{ g de sulfito de sodio}}{1 \text{ mol de sulfito de sodio}}$$

sulfito de sodio = 25,2 g

Solución de ácido sulfúrico

Se preparó una solución de 1000 mL de ácido sulfúrico 0,2 N. Se dispuso de una solución de ácido sulfúrico al 98% y su densidad es de 1,84 g/cm³.

$$\text{ácido sulfúrico} = \frac{0,2 \text{ Eq ácido sulfúrico}}{1\,000 \text{ cm}^3 \text{ de solución}} \times 1000 \text{ cm}^3 \text{ de solución}$$

$$\begin{aligned} \text{ácido sulfúrico concentrado} &= 0,2 \text{ Eq ácido sulfúrico} \times \frac{1 \text{ mol ácido sulfúrico}}{2 \text{ Eq ácido sulfúrico}} \times \\ &\frac{98 \text{ g ácido sulfúrico}}{1 \text{ mol ácido sulfúrico}} \times \frac{1 \text{ cm}^3 \text{ solución}}{1,84 \text{ g solución}} \times \frac{100 \text{ g solución}}{98 \text{ g ácido sulfúrico}} \end{aligned}$$

ácido sulfúrico concentrado = 5,43 mL

Solución de hidróxido de sodio

Se preparó una solución de 1000 mL de hidróxido de sodio 0,1 N (valorado).

$$\text{Hidróxido de sodio} = \frac{0,1 \text{ Eq Hidróxido de sodio}}{1\,000 \text{ mL de solución}} \times \frac{1 \text{ mol}}{1 \text{ Eq}} \times 39,9 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

$$\text{Hidróxido de sodio} = \frac{3,99 \text{ g de Hidróxido de sodio}}{1\ 000 \text{ mL de solución}}$$

La valoración de la solución de hidróxido de sodio se lo realizó mediante titulación con ftalato ácido de potasio, utilizando fenolftaleína como indicador.

Procedimiento:

1. Se pesó la cantidad de 0,21 g de ftalato ácido de potasio y se disolvió en 10 mL de agua destilada en un erlenmeyer.
2. Se añadió 2 ó 3 gotas del indicador de fenolftaleína.
3. Se valoró con la disolución de NaOH 0,1 N hasta que la disolución adquirió una tonalidad rosa.
4. Se anotó el volumen gastado y se calculó el factor F de la disolución utilizando la siguiente formula:

$$F = \frac{a \times 1000}{Eq \times V \times 0,1} \quad [A1.1]$$

Donde:

a: gramos utilizados de ftalato ácido de potasio

Eq: peso equivalente de ftalato ácido de potasio (204,22 g/mol)

V: volumen (ml) de hidróxido de sodio gastado en la valoración

En la Tabla A11.1 se presenta los resultados obtenidos de las valoraciones realizadas.

Tabla AII. 1. Resultado de las valoraciones

Valoración	Volumen de NaOH consumido (mL)	Factor F
1	11,25	0,91
2	11	0,93
3	11,35	0,9
Promedio	11,2	0,91

La normalidad exacta se calculó multiplicando el promedio del factor F con la normalidad de la disolución preparada (0,1 N).

$$\text{Normalidad exacta} = 0,91 \times 0,1 = 0,091 \text{ N}$$

A continuación se presenta la Figura AII.1. Titulación de la resina fenólica incorporada PC en su formulación, en la cual se observa que en su punto de viraje adquiere un color azul.

**Figura AII. 1.** Titulación de la resina fenólica incorporada PC en su formulación

ANEXO III DATOS DE EXPERIMENTACIÓN

Tabla AIII. 1. Datos propuestos para el proceso de espumado

REACTIVOS	PROPORCIÓN
Resina	100,0
Surfactante	17,5
Agente de humectación	5,0
Colorante	15,0
Agente de soplado	25,0
Ácido Catalizador	50,0
Úrea	10,0

Tabla AIII. 2. Cantidades en peso utilizadas en las pruebas preliminares

Reactivos	Pruebas preliminares					
	1	2	3	4	5	6
Resina (g)	20	20	20	20	20	20
Surfactante (g)	3	2	2,4	1,6	2	3
Agente de humectación (g)	0,5	1	1,5	1,2	1	1
Colorante (g)	2	1,4	1,2	1	1,2	1,2
Agente de soplado (g)	1	1,2	1	1,6	1	1,6
Ácido Catalizador (g)	10	6	8	9	6	8
Úrea (g)	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6

Tabla AIII. 3. Composición en peso de las variables dependientes para la formulación de la espuma floral

Compuestos	Composición 1	Composición 2
Agente de soplado (éter de petróleo)	1,2 g	1,6 g
Surfactante (Tween 80)	2 g	3 g
Catalizador ácido (ácido sulfónico)	6 g	8 g

Tabla AIII. 4. Composición en peso de las variables independientes para la formulación de la espuma floral

Compuestos	Composición
Resina	20 g
Texapón	1 g
Úrea	0,6 g
Colorante verde	1,2 g

ANEXO IV RESULTADOS OBTENIDOS DE LA VISCOSIDAD

Tabla AIV. 1 Coeficiente de variación de cada tratamiento de la viscosidad

Coeficiente de variación (%)	
Réplica 1	Réplica 2
3,83	3,51
1,39	2,40
1,69	1,25
4,53	5,38
1,33	1,39
3,12	3,10
2,98	5,55
3,18	2,81
1,42	5,71

Tabla AIV, 2. Tabla ADEVA de los resultados de influencia de los factores en la viscosidad del proceso de síntesis de la resina incorporada PC en su formulación

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
A:Tiempo	2,10E+12	1	2,10E+12	184,64	0,0000
B:Formaldehído/Fenol	1,84E+12	1	1,84E+12	161,92	0,0000
Interacción AB	1,43E+11	1	1,43E+11	12,52	0,0041
Interacción BB	2,77E+11	1	2,77E+11	24,28	0,0003
Error Total	1,37E+11	12	113 922		
Total (corr.)	4,51E+12	17			

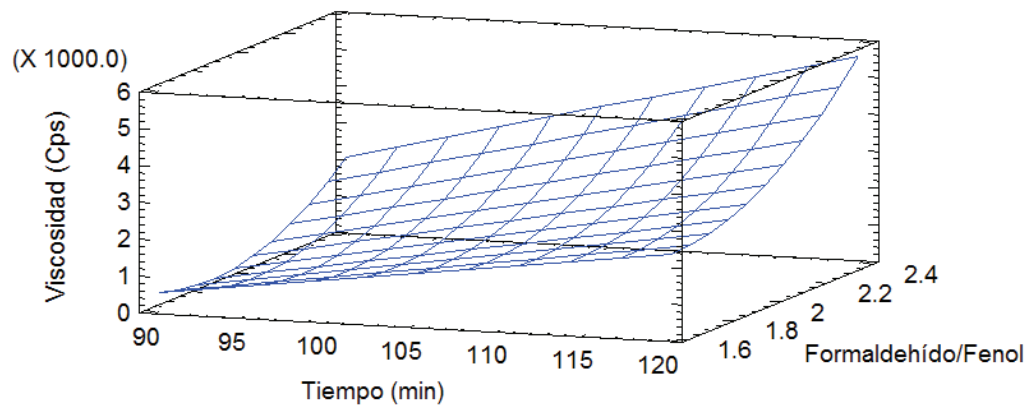


Figura AIV. 1. Gráfica de superficie de respuesta de la viscosidad

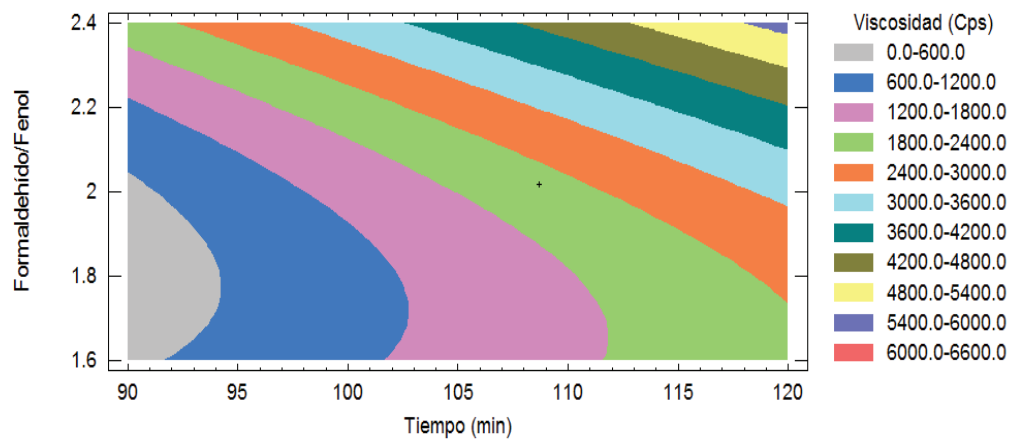


Figura AIV. 2. Gráfica de contornos de la viscosidad

Como se puede observar en la grafica de superficie de respuesta la influencia del tiempo y la relación formaldehído/fenol sobre la viscosidad.

Para tener una mejor apreciación se presenta la grafica de contornos en la cual se puede observar la región de color verde, donde se halla el rango ideal de viscosidad.

ANEXO V

RESULTADOS OBTENIDOS DEL CONTENIDO DE SÓLIDOS

Tabla AV. 1. Coeficiente de variación del contenido de sólidos para cada tratamiento

Coeficiente de variación (%)	
Réplica 1	Réplica 2
1,125	1,037
1,116	1,127
0,072	1,112
1,384	0,718
0,581	0,525
0,373	0,395
0,553	0,773
0,468	0,556
1,113	0,313

Tabla AV. 2. Tabla ADEVA de los resultados de influencia de los factores en el contenido de sólidos del proceso de síntesis de la resina incorporada PC en su formulación

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
A:Tiempo	141,802	1	141,802	172,51	0,0000
B:Formoldehído/Fenol	129,218	1	129,218	157,20	0,0000
BB	12,9472	1	12,9472	15,75	0,0016
Blocks	0,00344679	1	0,00344679	0,00	0,9494
Total error	10,6861	13	0,822011		
Total (corr.)	294,657	17			

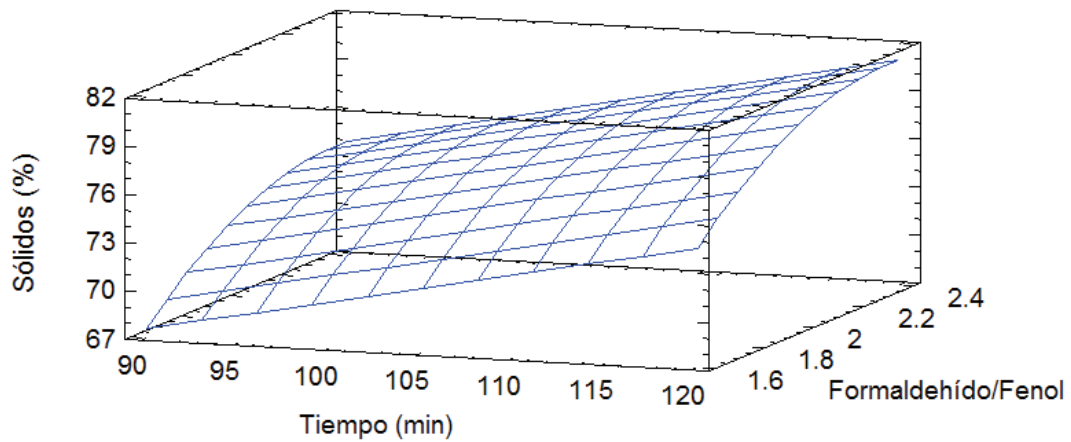


Figura AV. 1. Gráfica de superficie de respuesta del contenido de sólidos

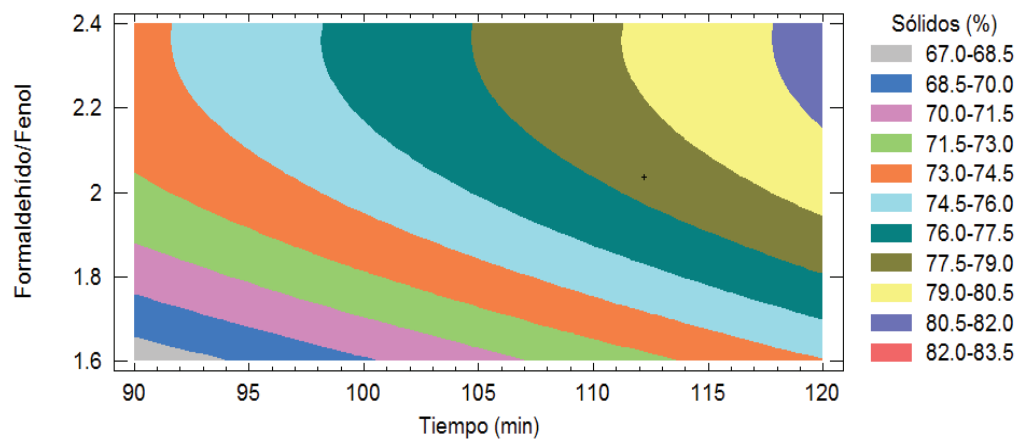


Figura AV. 2. Gráfica de contornos del contenido de sólidos

Como se puede observar en la gráfica de superficie de respuesta el contenido de sólidos empieza a tener valores muy cercanos, adquiriendo una tendencia constante.

En la gráfica de contornos se puede observar la región de color verde oscuro, donde se halla el rango ideal del contenido de sólidos.

ANEXO VI RESULTADOS OBTENIDOS DEL FORMALDEHÍDO LIBRE

Tabla AVI. 1. Coeficientes de variación del formaldehído libre para cada tratamiento

Coeficiente de variación (%)	
Réplica 1	Réplica 2
1,77	0,79
4,13	4,93
0,59	0,93
1,24	4,75
0,28	0,51
1,22	1,52
5,49	10,30
2,27	3,15
5,88	1,00

Tabla AVI. 2. Tabla ADEVA de los resultados de influencia de los factores en el contenido de formaldehído libre del proceso de síntesis de la resina incorporada PC en su formulación

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
A:Tiempo	2,06435	1	2,06435	160,83	0,0000
B:Formoldehído/fenol	3,92831	1	3,92831	306,05	0,0000
AB	0,364175	1	0,364175	28,37	0,0002
BB	0,128966	1	0,128966	10,05	0,0081

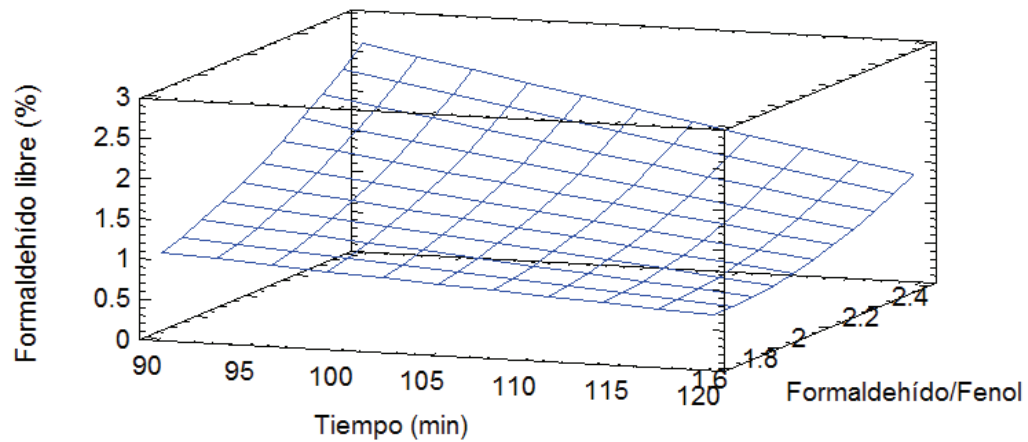


Figura AVI. 1. Gráfica de superficie de respuesta del contenido de formaldehído libre

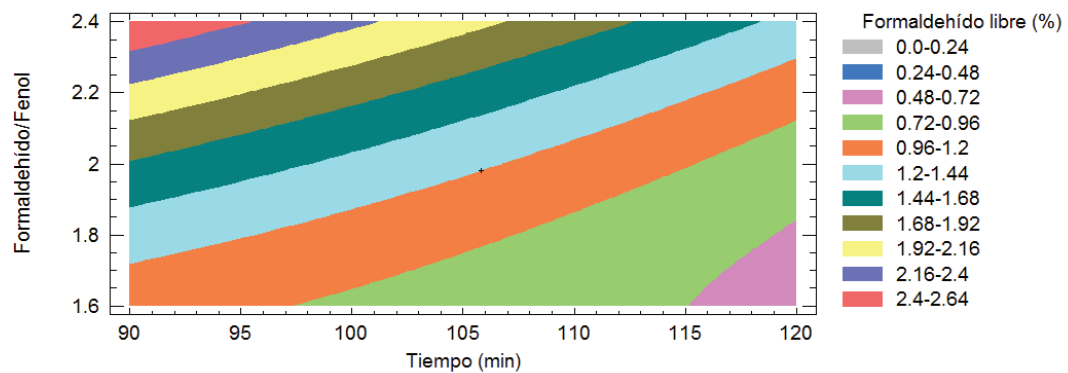


Figura AVI. 2. Gráfica de contornos del formaldehído libre

Como se puede observar en la gráfica de superficie de respuesta el contenido de formaldehído libre empieza a disminuir conforme avanza el tiempo.

En la gráfica de contornos se puede observar las zonas de color verde y anaranjado, donde se halla el rango ideal de contenido de formaldehído libre.

ANEXO VII

RESULTADOS OBTENIDOS DEL FENOL LIBRE EN LAS RESINAS



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
OFERTA DE SERVICIOS Y PRODUCTOS


LABORATORIO DE QUÍMICA AMBIENTAL
INFORME DE RESULTADOS

INF-LAB-QAM-38999
 ORDEN DE TRABAJO No 50457

SOLICITADO POR:	HERRERA
DIRECCIÓN:	LAS CASAS
FECHA DE RECEPCIÓN:	01/09/2015
HORA DE RECEPCIÓN:	14H40
MUESTRA DE:	AGUA
DESCRIPCIÓN:	M1
FECHA DE ANÁLISIS:	DEL 01/09/2015 AL 23/09/2015
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS A LA SECRETARÍA:	28/09/15
CARACTERÍSTICAS DE LAS MUESTRAS:	MUY TURBIA ROSA PALIDO
ESTADO:	LIQUIDO
CONTENIDO:	500ml
MUESTREADO POR:	EL CLIENTE
OBSERVACIONES:	Los resultados que constan en el presente informe se refieren a la muestra tomada por el cliente y entregado al personal técnico del OSP.

INFORME

PARÁMETROS	UNIDADES	RESULTADOS	MÉTODO
FENOL	mg/l	472	MAM-48/PHA 5530 B MODIFICADO Y METODO RAPIDO HACH


 B.F. ALICIA CEIPA
 JEFE AREA DE AMBIENTAL



RAM-47-04
 Dirección: Francisco Ibañez s/n y Gilberto Ceiro Soleraf - Teléfonos: 2502-262 / 2502-456, ext. 15, 18, 21, 31, 33
 Teléfono: 3216-740 - Web: www.faq.uce.edu.ec - E-mail: laboratorioosp@hotmail.com

Figura AVII. 1. Análisis del Fenol libre en la resina sin PC



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
OFERTA DE SERVICIOS Y PRODUCTOS

LABORATORIO DE QUÍMICA AMBIENTAL
INFORME DE RESULTADOS

INF-LAB-QAM-39000
ORDEN DE TRABAJO No 60457

SOLICITADO POR:	HERRERA
DIRECCIÓN:	LAS CASAS
FECHA DE RECEPCIÓN:	01/09/2015
HORA DE RECEPCIÓN:	14H48
MUESTRA DE:	AGUA
DESCRIPCIÓN:	M2
FECHA DE ANÁLISIS:	DEL 01/09/2015 AL 23/09/2015
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS A LA SECRETARÍA:	28/09/15
CARACTERÍSTICAS DE LAS MUESTRAS:	TURBIA ROJIZO
ESTADO:	LIQUIDO
CONTENIDO:	500ml
MUESTREO POR:	EL CUENTE
OBSERVACIONES:	Los resultados que constan en el presente informe se refieren a la muestra tomada por el cliente y entregado al personal técnico del OSP.

INFORME

PARÁMETROS	UNIDADES	RESULTADOS	MÉTODO
FENOL	% p/v	0.45	MAM-46/AF/HA 5530 B MODIFICADO Y METODO RAPIDO HACH


B.F. ALICIA CEP
JEFE AREA DE AMBIENTAL



Dirección: Francisco Miteri a/n y Gilberto Gatto Sabra - Teléfonos: 2502-7077-2502-456, ext. 15, 18, 21, 31, 33
Teléfono: 3216-740 - Web: www.facquimica.edu.ec - E-mail: laboratorioosp@hotmail.com

Figura AVII. 2. Análisis del Fenol libre en la resina sin PC

ANEXO VIII HIDRÓLISIS DEL PC



Figura AVIII. 1. Producto de la hidrólisis del PC

Análisis de la hidrólisis del policarbonato por espectroscopia infrarroja (FTIR)

En la Figura AVIII. 1, se puede apreciar los espectros superpuestos de los posibles productos de la hidrólisis del PC.

Se puede evidenciar en el espectro de la hidrólisis del PC que las bandas entre $1776 - 1746 \text{ cm}^{-1}$ pertenecientes al grupo carbonato desaparecen totalmente. En la Figura 3.16 se indica los espectros obtenidos de la hidrólisis del PC y de sus posibles productos.

Según los estudios realizados por Hatakeyama, Kojima y Funazukuri (2013), la hidrólisis del PC en presencia de hidróxido de sodio da como productos gran cantidad de monómeros, Bisfenol-A y dimetil carbonato (p. 124). Del análisis del espectro de infrarrojo se puede observar la presencia del Bisfenol-A, comprobándose que el PC sufre una hidrólisis durante el proceso de síntesis de la resina fenólica.

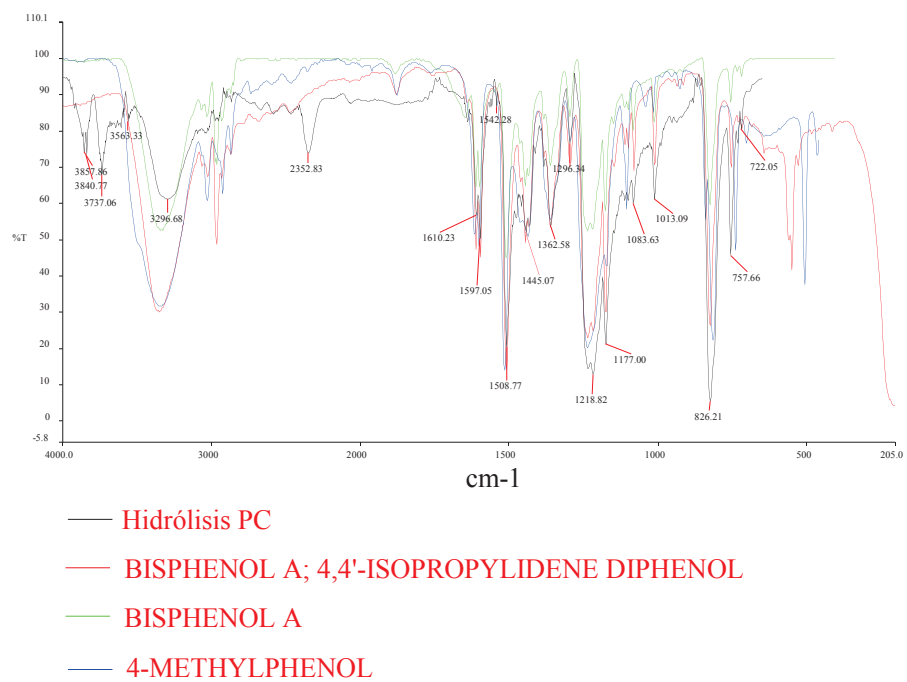


Figura AVIII. 2. Espectro Infrarrojo obtenido de la hidrólisis del PC y de sus posibles productos

ANEXO IX ANÁLISIS FTIR DE LAS RESINAS CON Y SIN PC

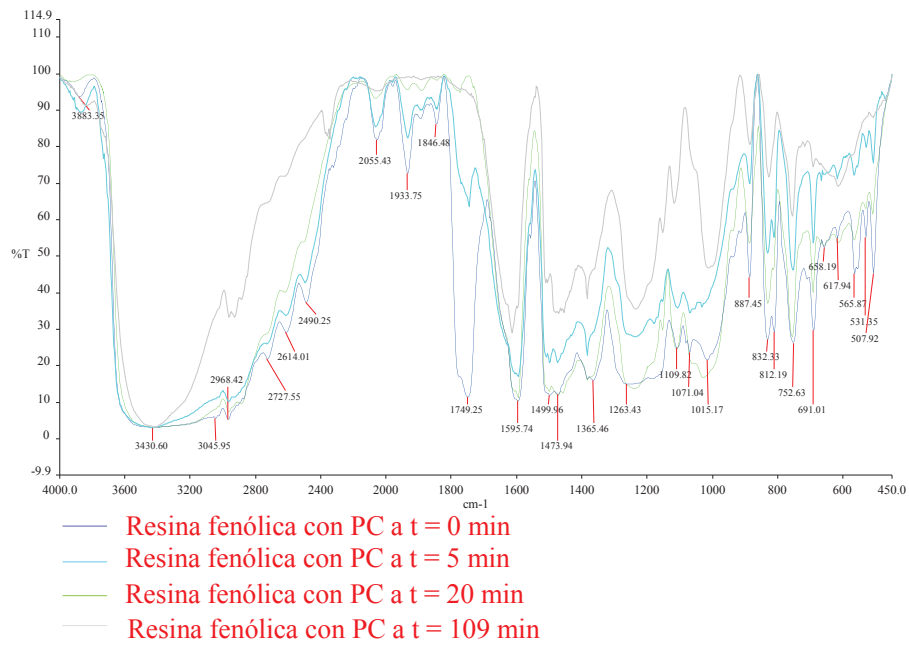


Figura AIX. 1. Espectros superpuestos de la resina fenólica con PC a diferentes tiempos

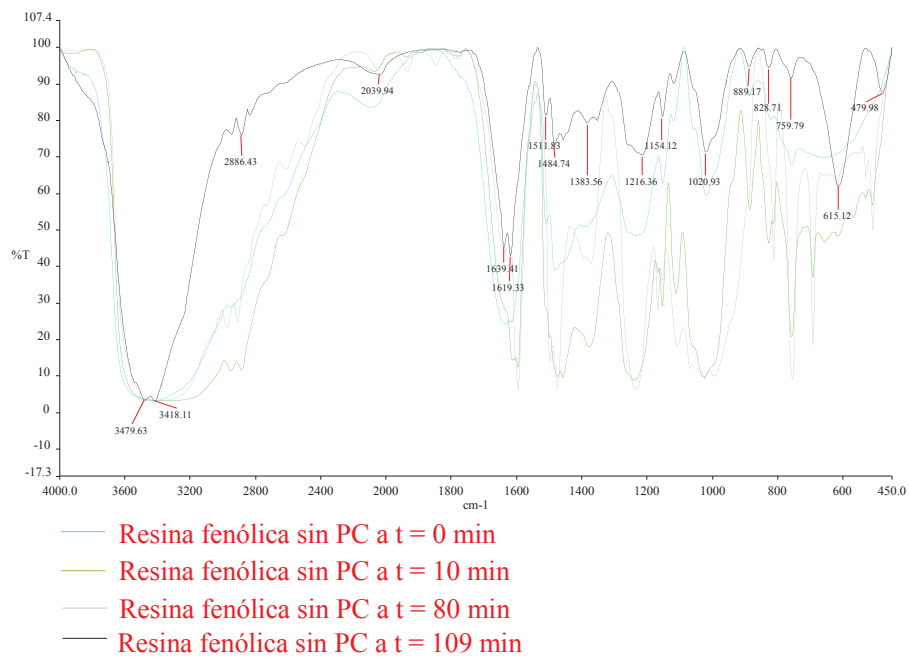


Figura AIX. 2. Espectros de la resina fenólica sin PC a diferentes tiempos de síntesis

ANEXO X ANÁLISIS DE LA RESINA POR CROMATOGRAFÍA



Figura AX. 1. Elución de los compuestos presentes en la resina de acuerdo a sus tiempos de retención

Análisis de los productos obtenidos de la cromatografía líquida de la resina fenólica sintetizada con policarbonato en su formulación por espectroscopía infrarroja (FTIR)

En la Figura AX.1, se presenta los espectros de infrarrojo de las primeras muestras obtenidas a distintos tiempos de elución.

Se puede observar en los espectros los picos de las bandas en 888, 817 y 759 cm^{-1} ; debido a las sustituciones que sufre el fenol en las posiciones (*o*, *p* – *o*, *o'*, *p* – *p* – *o*), las tres bandas consecutivas constituyen la característica principal de la resina fenólica. Por lo tanto los espectros obtenidos corresponde a la resina que se ha separado de acuerdo a distintos pesos moleculares.

Se efectuó la interpretación de los espectros correspondientes a los tiempos de elución de 20 y 50 minutos, utilizando el programa Spectrum v.302 IR Tutor.

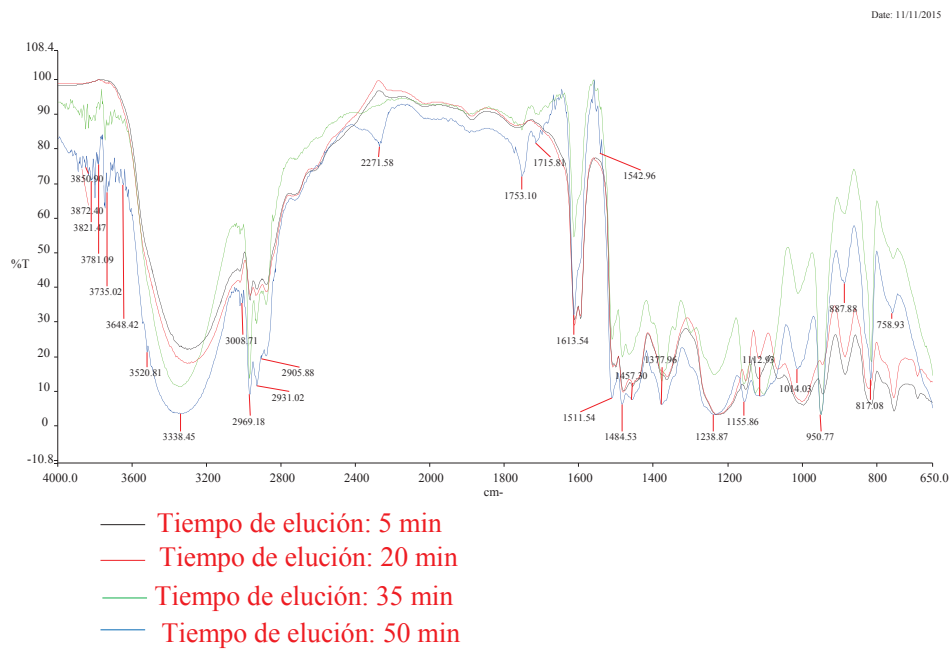


Figura AX.2. Productos obtenidos de la cromatografía líquida

En la Figura AX.3, se puede observar de los posibles subproductos de la resina fenólica con PC.

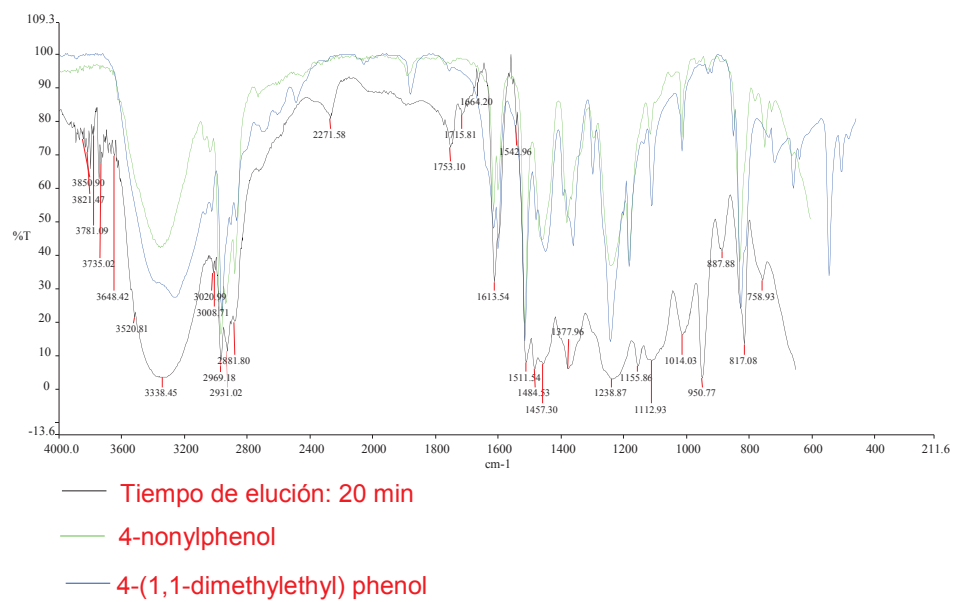


Figura AX. 3. Interpretación del espectro a tiempo de elución de 20 minutos

ANEXO XI RESULTADOS OBTENIDOS DE LA DENSIDAD

Tabla AXI. 1. Coeficiente de variación de la densidad de cada tratamiento

Tratamientos	Coeficiente de variación (%)		
	Réplica 1	Réplica 2	Réplica 3
1	5,50%	5,17%	3,24%
2	4,63%	9,95%	5,69%
3	4,28%	5,30%	3,47%
4	9,86%	3,91%	3,67%
5	10,99%	1,53%	4,95%
6	4,74%	4,29%	1,29%
7	2,41%	7,71%	3,89%
8	10,89%	2,32%	3,48%

Tabla AXI. 2. Tabla ADEVA de los resultados de influencia de las variable experimentales en la densidad de la espuma floral con PC en el proceso de espumado

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
A:Texapon	0,0096	1	0,0096	7,06	0,0172
B:Agente de soplado Soplado	0,0352667	1	0,0352667	25,92	0,0001
C:Catalizador	0,0266667	1	0,0266667	19,60	0,0004
AC	0,0096	1	0,0096	7,06	0,0172
BC	0,0096	1	0,0096	7,06	0,0172
Total error	0,0217667	16	0,00136042		

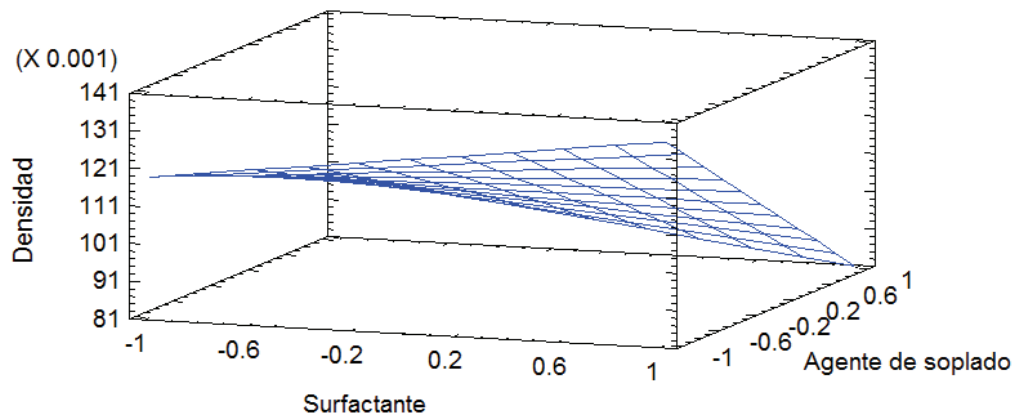


Figura AXI. 1. Gráfica de superficie de respuesta de la densidad de la espuma floral con PC

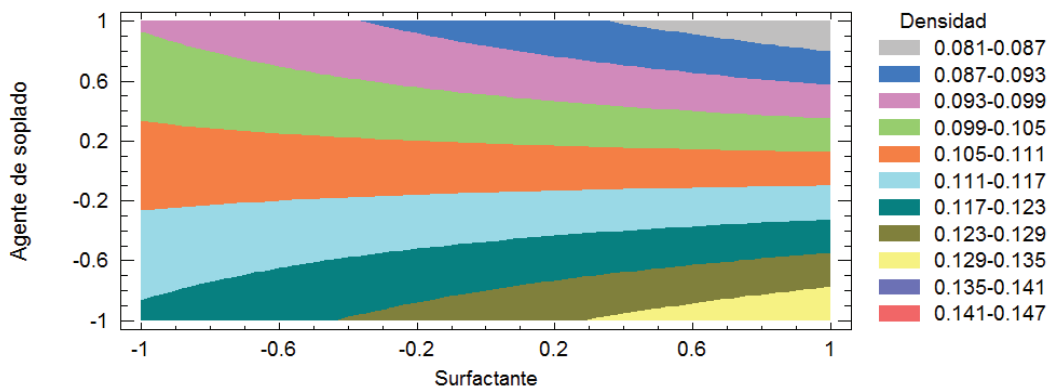


Figura AXI. 2. Gráfica de contornos de la densidad de la espuma floral con PC

En la gráfica de superficie de respuesta se puede observar que la densidad aumenta conforme se incrementa el surfactante y disminuye el agente de soplado, manteniendo el catalizador en su valor mas bajo.

En la grafica de contornos se puede identificar la zona de color gris en la cual se puede obtener una espuma floral con la densidad apropiada para la elaboración de espuma floral.

ANEXO XII RESULTADOS OBTENIDOS DE ABSORCIÓN DE AGUA

Tabla AXII. 1. Coeficiente de variación de la absorción de agua para cada tratamiento

Tratamientos	Coeficiente de variación (%)		
	Réplica 1	Réplica 2	Réplica 3
1	7,62%	1,47%	1,36%
2	0,88%	8,11%	1,46%
3	1,60%	1,18%	3,77%
4	6,85%	2,49%	0,93%
5	15,03%	2,02%	4,46%
6	8,96%	1,12%	11,25%
7	1,96%	0,60%	0,79%
8	0,97%	1,11%	0,70%

Tabla AXII. 2. Tabla ADEVA de los resultados de influencia de las variable experimentales en la absorción de agua de la espuma floral con PC en el proceso de espumado

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
B:Agente de Soplado	484,651	1	484,651	35,88	0,0000
C:Catalizador	151,152	1	151,152	11,19	0,0034
Blocks	0,5821	2	0,29105	0,02	0,9787
Total error	256,638	19	13,5073		
Total (corr.)	893,023	23			

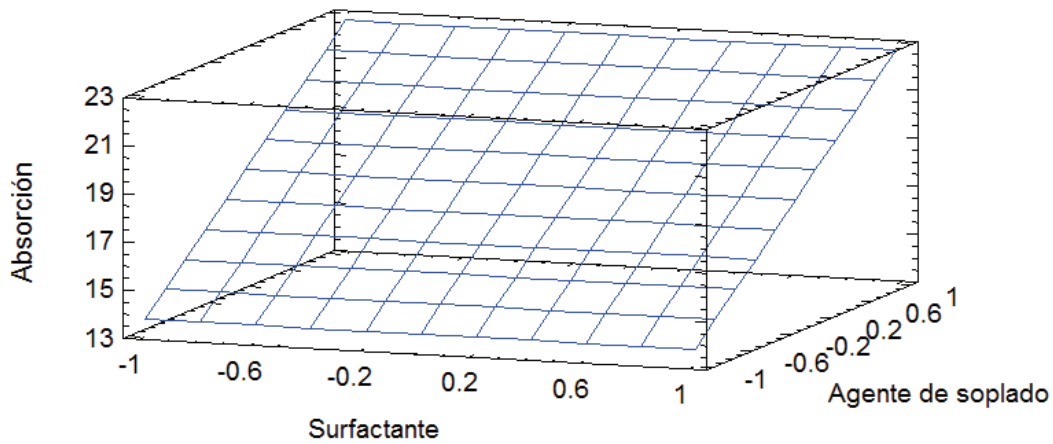


Figura AXII. 1. Gráfica de superficie de respuesta de la absorción de agua en la espuma floral con PC

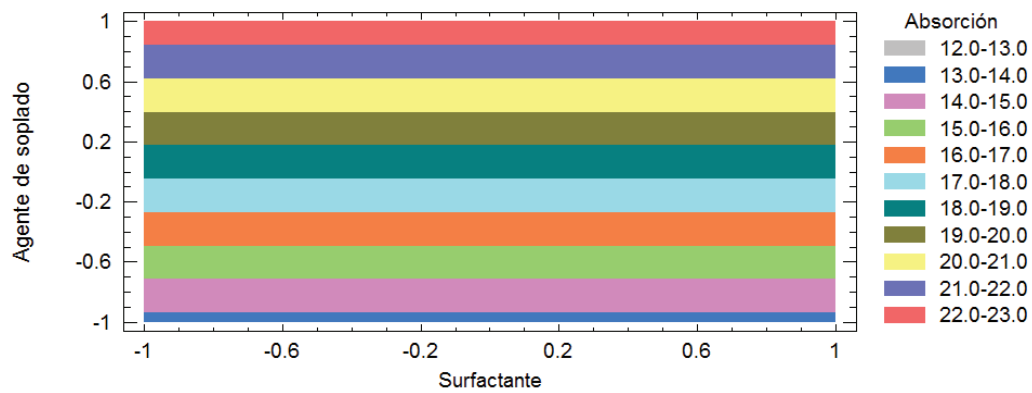


Figura AXII. 2. Gráfica de contornos de la absorción de agua en la espuma floral con PC

En la gráfica de superficie de respuesta se puede observar que la absorción de agua aumenta conforme se incrementa el agente de soplado y a valores bajos de surfactante, manteniendo el catalizador en su valor mas bajo.

En la gráfica de contornos se puede identificar la zona de color rojo en la cual se puede obtener una espuma floral con la densidad apropiada para la elaboración de espuma floral, en la que se puede obtener la máxima cantidad de absorción de agua en el proceso de espumado.

ANEXO XIII

ESPECTROS DE LOS REACTIVOS DEL PROCESO DE ESPUMADO Y TERMOGRAMA DE LA ESPUMA SIN PC

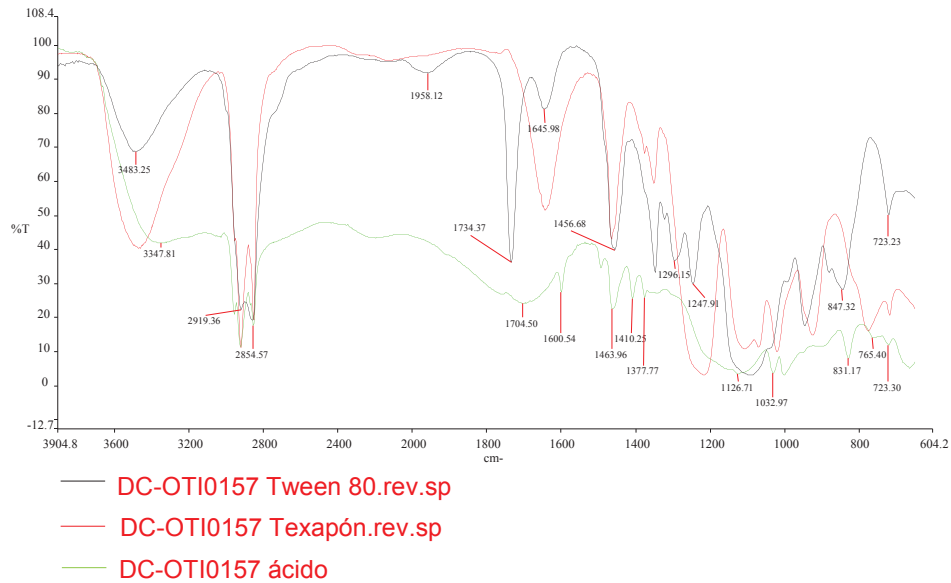


Figura AXIII. 1. Espectros de los reactivos del proceso de espumado

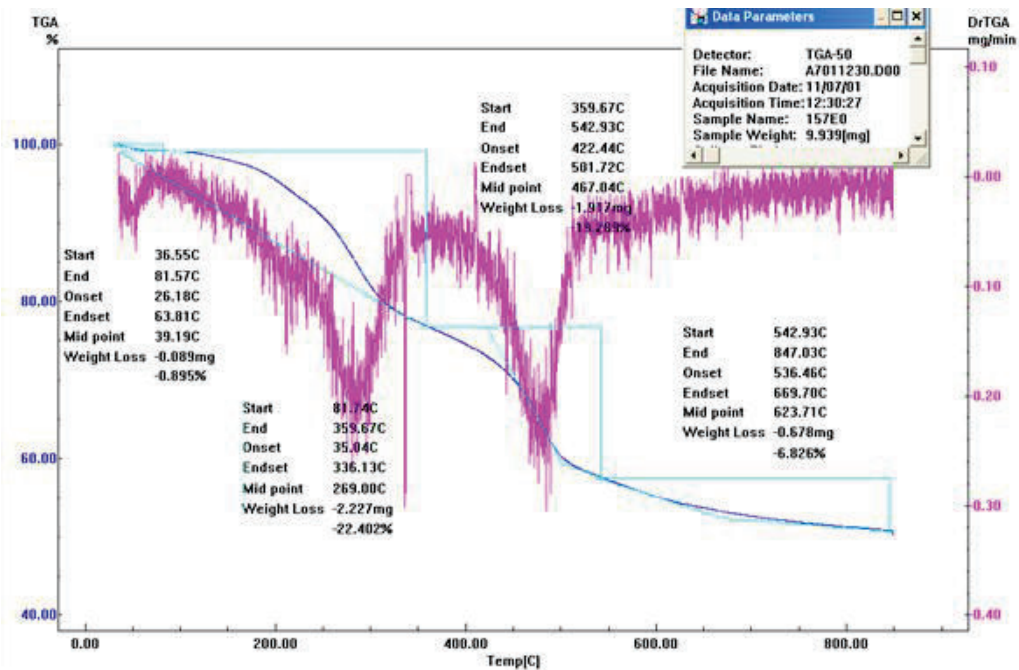


Figura AXIII. 2. Termograma de la espuma floral sin PC

ANEXO XIV CAPACIDAD DE LA PLANTA A ESCALA PILOTO

Con ayuda de la información proporcionada por el Banco Central del Ecuador (2014), se tomó como base de cálculo para la capacidad de la planta a escala piloto el 7% del total de los desechos que se generan respecto a las 675,86 toneladas/año de las importaciones de PC.

El cálculo se lo realizó para los cinco días laborables de la semana, en total 20 días al mes:

$$675,86 \frac{\text{ton}}{\text{año}} \times \frac{1 \text{ año}}{12 \text{ meses}} \times \frac{1 \text{ mes}}{20 \text{ días}} = 2,82 \frac{\text{ton}}{\text{día}}$$

El 7% de los desechos de las importaciones es:

$$2,82 \frac{\text{ton}}{\text{día}} \times \frac{7}{100} \times \frac{1000 \text{ kg}}{1 \text{ ton}} = 197,13 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

Por facilidad de cálculo se decidió tomar como base la cantidad de 200 kg de policarbonato, para su reciclaje mediante el proceso de obtención de espuma floral a escala piloto.

ANEXO XV BALANCE DE MASA

ETAPA 1: Obtención de la resina fenólica

Con base a las pruebas realizadas a escala laboratorio, se logró establecer los valores para el proceso de síntesis como se puede observar en la Tabla AXVII.1, las cuales servirán de partida para calcular las cantidades necesarias de reactivos para procesar 200 kg de PC reciclado

Tabla AXV. 1. Cantidad en peso de los reactivos para el proceso de síntesis

Relación Molar (Formaldehído/Fenol)	Reactivos	Cantidad
2,0	PC	80,8 g
	Fenol	150 g
	Formaldehido	238,8 ml

El balance de masa se lo realizó para las corrientes principales del proceso de reciclaje de PC, para la obtención de espuma floral.

De la corriente 1 – 5 se realiza el proceso de lavado, molienda y de llenado al reactor de 200 kg/día de PC. Luego se realiza la disolución y proceso de síntesis en el mismo reactor, los reactivos ingresan por la corriente 6.

Fenol

$$\frac{0,150 \text{ kg fenol}}{0,0808 \text{ kgPC}} \times 200 \frac{\text{kg PC}}{\text{día}} = 371,287 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

Hidróxido de sodio

Se utilizó 1 g de NaOH en 150 g de fenol.

$$\frac{0,001 \text{ kg NaOH}}{0,150 \text{ kg fenol}} \times 371,287 \frac{\text{kg fenol}}{\text{día}} = 2,475 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

Formaldehído

$$\frac{0,239 \text{ kg formaldehído}}{0,0808 \text{ kg PC}} \times 200 \frac{\text{kg PC}}{\text{día}} = 644,287 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

Neutralización con HCL 1 N

Para neutralizar la resina producida por 150 g de fenol, se utilizó 30 ml de una solución HCL 1 N.

$$\frac{0,03 \text{ ml HCL}}{0,150 \text{ kg fenol}} \times 371,287 \frac{\text{kg fenol}}{\text{día}} = 74,257 \frac{\text{mL}}{\text{día}}$$

Para prepara la solución de HCl 1 N se necesita la cantidad de HCl concentrado de:

$$\frac{74,257 \frac{\text{mL solución HCl}}{\text{día}} \times 1 \text{ N}}{12,01 \text{ N HCl concentrado}} \times 1,19 \frac{\text{kg HCl concentrado}}{\text{mL solución HCl}} = 7,358 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

Resina obtenida

Una vez neutralizada la resina, pasa a una columna de destilación para eliminar el contenido de agua.

Corriente 7: Resina + agua

De 150 g de fenol se obtuvo 492 g de resina más agua.

$$\frac{0,492 \text{ kg}}{0,150 \text{ kg fenol}} \times 371,287 \frac{\text{kg fenol}}{\text{día}} = 1217,82 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

Corriente 8: Agua producto de la destilación

De 150 g de fenol se obtuvo 92 g de agua producto de la reacción.

$$\frac{0,092 \text{ kg agua}}{0,150 \text{ kg fenol}} \times 371,287 \frac{\text{kg fenol}}{\text{día}} = 227,723 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

Corriente 9: Resina

$$1\,217,82 \frac{\text{kg resina+agua}}{\text{día}} - 227,723 \frac{\text{kg agua}}{\text{día}} = 990,099 \frac{\text{kg resina}}{\text{día}}$$

ETAPA 2: Obtención de la espuma floral

Con base a las pruebas realizadas, se logró establecer los valores para el proceso de espumado como se puede observar en la Tabla AXVII.2, las cuales servirán de partida para calcular las cantidades necesarias de reactivos para procesar 909,099 kg/día de resina.

Tabla AXV. 2. Composición de los reactivos para el proceso de espumado

Compuestos	Composición
Agente de soplado (éter de petróleo)	1,6 g
Surfactante (Tween 80)	3 g
Catalizador ácido (ácido sulfónico)	6 g
Resina	20 g
Texapón	1 g
Úrea	0,6 g
Colorante verde	1,2 g

Tween 80

$$\frac{0,003 \text{ kg Tween 80}}{0,002 \text{ kg resina}} \times 990,099 \frac{\text{kg resina}}{\text{día}} = 148,515 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

Texapón

$$\frac{0,001 \text{ kg Texapón}}{0,002 \text{ kg resina}} \times 990,099 \frac{\text{kg resina}}{\text{día}} = 49,505 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

Úrea

$$\frac{0,0006 \text{ kg úrea}}{0,002 \text{ kg resina}} \times 990,099 \frac{\text{kg resina}}{\text{día}} = 29,703 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

Tintura verde

$$\frac{0,0012 \text{ kg Tintura verde}}{0,002 \text{ kg resina}} \times 990,099 \frac{\text{kg resina}}{\text{día}} = 59,406 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

Agente de soplado

$$\frac{0,0016 \text{ kg éter}}{0,002 \text{ kg resina}} \times 990,099 \frac{\text{kg resina}}{\text{día}} = 79,208 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

Catalizador

$$\frac{0,006 \text{ kg Tintura verde}}{0,002 \text{ kg resina}} \times 990,099 \frac{\text{kg resina}}{\text{día}} = 297,03 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

ANEXO XVI

CÁLCULO DEL COSTO DE PRODUCCIÓN POR CADA ESPUMA FLORAL

- **Cálculo de la cantidad de espumas producidas por día de trabajo**

Datos obtenidos del balance de masa:

Cantidad de resina producida: 990,09 kg/día. Para la producción de cada pieza de espuma floral, se utiliza la cantidad de 0,12 kg.

$$\frac{990,09 \frac{\text{kg}}{\text{día}}}{0,12 \frac{\text{kg}}{\text{espuma}}} = 8\,250,75$$

Por lo tanto se producirán 8 250 espumas/día

En la Tabla AXVI.1, se muestra los costos de los reactivos en la producción de espuma floral.

Tabla AXVI.1. Costos de los reactivos y del policarbonato reciclado

Producto	Cantidad (Kg)	Precio unitario (\$)	Precio total (\$)
Policarbonato	200	1,8	360
Fenol	371,29	1,2	445,54
Formaldehído	644,29	2,33	1 501,19
Texapón	49,51	4,26	210,89
Tween 80	148,52	5	742,58
Úrea	29,70	3,8	112,87
Colorante	59,41	4,75	282,18
Éter de petróleo	79,21	1,6	126,73
Ácido sulfónico	297,03	6	1 782,18
Total			5 564,16

$$\text{Costo de cada espuma} = \frac{\text{Costos de materia prima x día}}{\text{Costo producción x día}}$$

$$\text{Costo de cada espuma} = \frac{5\,564,16 \$}{8\,250 \text{ espumas}} = 0,67 \frac{\$}{\text{espuma}}$$

- Cálculo del costo de mano de obra

Tabla AXVI.2. Salario de los trabajadores

Cargo	Número de empleados	Salario (\$)
Secretaria	1	416,19
Operarios	4	1 664,76
Gerente	1	2 351,92
Total		4 432,87

$$\frac{4\,432,87\$}{\text{mes}} \times \frac{1 \text{ mes}}{165\,000 \text{ espumas}} = 0,03 \frac{\$}{\text{espuma}}$$

- **Cálculo del costo de agua mensual**

Para el cálculo del costo de agua. Se consideró el consumo de la lavadora de las botellas y de la columna de destilación. También se consideró los recargos que se debe pagar.

Consumo de agua mensual

$$\frac{1,42 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \times 20 \text{ días}}{1 \text{ mes}} = 28,4 \frac{\text{m}^3}{\text{mes}}$$

$$28,4 \frac{\text{m}^3}{\text{mes}} \times \frac{0,72\$}{1 \text{ m}^3} = 20,45 \frac{\$}{\text{mes}}$$

Se cobra un 36,6 % del consumo mensual por alcantarillado

$$20,45 \frac{\$}{\text{mes}} \times 0,366 = 7,48 \frac{\$}{\text{mes}}$$

Se suma una tarifa de \$ 1,10 por comercialización

$$20,45 \frac{\$}{\text{mes}} + 7,48 \frac{\$}{\text{mes}} + 1,10 \frac{\$}{\text{mes}} = 29,03 \frac{\$}{\text{mes}}$$

$$29,03 \frac{\$}{\text{mes}} \times \frac{1 \text{ mes}}{165 \text{ 000 espumas}} = 0,0002 \frac{\$}{\text{espuma}}$$

- **Cálculo del costo del consumo de energía mensual**

Se realizó el cálculo del consumo de energía con los recargos pertinentes. El costo de KWh para consumo industrial es de \$0,068.

En la Tabla AXVI.3, se muestra la energía demandada por día.

Tabla AXVI.3. Consumo energético de los equipos del proceso

Equipo	Potencia demandada KW	Horas de funcionamiento al día	Energía demandada (KWh/día)
Molino	1,5	4	6
Reactor	24	5	120
Lavadora	2,5	2	5
Maquina de espumado	22	8	176
Total	50		307

$$6 \text{ 140 KWh} \times 0,068 \frac{\$}{\text{mes}} = 417,64 \frac{\$}{\text{mes}}$$

Se cobra un recargo por zona industrial de \$4,182 por KWmes

$$100 \text{ KW} \times 4,182 \frac{\$}{\text{KWmes}} = 418,20 \frac{\$}{\text{mes}}$$

Se añade un 5% por alumbrado público

$$417,64 \frac{\$}{\text{mes}} \times (0,05) = 20,88 \frac{\$}{\text{mes}}$$

10% Tasa de recolección de basura

$$417,64 \frac{\$}{\text{mes}} \times (0,1) = 41,76 \frac{\$}{\text{mes}}$$

Factura en razón de comercialización

$$1,414 \frac{\$}{\text{mes}}$$

Contribución al cuerpo de bomberos

$$17,52 \frac{\$}{\text{mes}}$$

$$417,64 \frac{\$}{\text{mes}} + 418,20 \frac{\$}{\text{mes}} + 20,88 \frac{\$}{\text{mes}} + 41,76 \frac{\$}{\text{mes}} + 1,414 \frac{\$}{\text{mes}} + 17,52 \frac{\$}{\text{mes}}$$

$$917,414 \frac{\$}{\text{mes}}$$

$$917,414 \frac{\$}{\text{mes}} \times \frac{1 \text{ mes}}{165\,000 \text{ espumas}} = 0,006 \frac{\$}{\text{espuma}}$$

- **Cálculo del costo de producción por cada espuma floral**

$$0,67 \frac{\$}{\text{espuma}} + 0,03 \frac{\$}{\text{espuma}} + 0,0002 \frac{\$}{\text{espuma}} + 0,006 \frac{\$}{\text{espuma}} = 0,71 \frac{\$}{\text{espuma}}$$

ANEXO XVII
COTIZACIÓN DE LOS REACTIVOS Y HOJAS DE
ESPECIFICACIONES DE EQUIPOS PRINCIPALES



Quito, 17 DE MARZO DEL 2016

Cotización: 555

Atención: CRISTIAN HERRERA

RUC: 1715642938001

Por medio de la presente damos a conocer nuestra propuesta para la adquisición de:

ITE M	CAN. T.	DETALLE	VALOR UNITAR IO	VALOR TOTA	MARCA	ENTREGA
1	1	 FORMALDEHIDO GRADO USP 30% B	70,00	70,00	TAYWAN	ENTREGA INMEDIAT A SALVO VENTA
2	1	 FENOL P.A, 500 G	25,00	25,00	LOBACHE MIE	ENTREGA INMEDIAT A SALVO VENTA
SUBTOTAL				95,00		
IVA				11,40		
FLETE						
TOTAL				106,40		

Figura AXVII.1. Cotización de formaldehído



DIRECCIÓN

Av. Mariana de Jesús 1709 y Ulloa
Quito, Ecuador

Teléfonos: 2524846 / 2550948

Quito, 15 de Marzo de 2016

Cristian Herrera
EPN

Fono:
0998614115

Producto	Cantidad (Kg)	Precio unitario (\$)	Precio total (\$)
Texapón	50	4.26	213
Tween 80	150	5	750
Úrea	30	3.8	114
Colorante	60	4.75	285
Ácido sulfónico	300	6	1800
Total			3162

Entrega inmediata.

Figura AXVII.2. Cotización de reactivos espumado

 Anhui Eapearl Chemical Co.,Ltd 安徽易普化工有限公司		
Producto	Cantidad (TM)	Precio total (\$)
Eter de petróleo 	1	1600
Fenol grado USP 	1	1200
Total		2800

Puerto: Dalian

Capacidad de suministro: 3000 Tonelada/s Métrica/s por Mes

Cantidad de pedido mínima: 1 Tonelada/s Métrica/s

Plazo de entrega: Dentro de 10 días después del pago adelantado

Solicitante: Cristian Herrera

Condiciones de pago: L/C, T/T, Western Union

Fecha: marzo, 2016

Figura AXVII.3. Cotización de fenol y éter de petróleo

Tabla AXVII.1. Hoja de especificaciones de la columna de destilación


HOJA DE ESPECIFICACIÓN N° 01		
Nombre del equipo: Columna de destilación		
Fabricante: Wuxi Rising Machiney	Modelo: JH-400	Material de construcción: AISI-304
		Número en planta: 1
Dimensiones: Alto (H) 2200 mm Ancho (A) 1300 mmLargo (L) 3000 mm		Parámetros de diseño: Potencia: 36 KW
Función: Recuperación de agua		
Modalidad de operación: Batch		
Esquema del equipo:		
		

Tabla AXVII.2. Hoja de especificaciones de la maquina de espumado

HOJA DE ESPECIFICACIÓN N° 02		
Nombre del equipo: Maquina de espumado		
Fabricante: Huiya	Modelo: hy	Material de construcción: AISI-304
		Número en planta: 1
Dimensiones: Alto (H) 2300 mm Ancho (A) 1900 mm Largo (L) 3350 mm		Parámetros de diseño: 22 KW
Función: Espumado		
Modalidad de operación: Continuo		
Esquema del equipo:		
  <p>Item Number HY-FPJ</p>		

Tabla AXVII.3. Hoja de especificaciones del reactor de polimerización

HOJA DE ESPECIFICACIÓN N° 03		
Nombre del equipo: Reactor de polimerización		
Fabricante: Continental	Modelo: Df-sk-102	Material de construcción: AISI-304
		Número en planta: 1
Dimensiones: Alto (H) 2,8 m Diámetro (D) 1 m		Parámetros de diseño: 24 KW
Función: Disolución y síntesis		
Modalidad de operación: Batch		
Esquema del equipo:		
		

Tabla AXVII.4. Hoja de especificaciones del molino de cuchillas

HOJA DE ESPECIFICACIÓN N° 04		
Nombre del equipo: Molino de cuchillas		
Fabricante: FRITSCH	Modelo: VDE-0530	Material de construcción: AISI-304
		Número en planta: 1
Dimensiones: Alto (H) 4200 mm Ancho (A) 4800 mm Largo (L) 6900 mm		Parámetros de diseño: 1,5 KW
Función: Disolución y síntesis		
Modalidad de operación: Batch		
Esquema del equipo:		
		