

**EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE PINTURA A
PARTIR DE LOS RESIDUOS DE POLIESTIRENO
EXPANDIDO UTILIZANDO UN SOLVENTE AMIGABLE
CON EL AMBIENTE**

INVESTIGADORES

ISABEL CRISTINA ARCILA ARCILA
JULIANA MIRANDA GIRALDO

**PROYECTO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO DE
PROCESOS**

ASESORA

SANDRA GONZALEZ VILLA

**UNIVERSIDAD EAFIT
ESCUELA DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE PROCESOS
MEDELLÍN
2015**

Nota de aceptación

Firma del Presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Ciudad y Fecha

AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar de manera especial nuestros agradecimientos a todas las personas que de una u otra forma hicieron posible el desarrollo de nuestro proyecto de grado.

Principalmente a Dios por darnos la vida y permitirnos llegar hasta aquí. A nuestros padres por el amor, el apoyo y sus inigualables esfuerzos a lo largo de nuestra carrera profesional.

SANDRA MILENA GONZÁLEZ VILLA, asesora del proyecto, por su ayuda constante, sus valiosos aportes y disposición en todo el desarrollo del proyecto.

JUAN RODRIGO URIBE Y MAURICIO ARANGO, de Pinturas Uribe S.A., por su ayuda desinteresada en la realización de pruebas y haber compartido sus conocimientos.

JOHN JAIRO ESTRADA, laboratorios de procesos de la universidad EAFIT, por su constante colaboración en la realización de pruebas.

JUAN DIEGO MAYA, talleres de metalmecánica de la universidad EAFIT, por su colaboración en la elaboración de la copa Ford de viscosidad

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	11
INTRODUCCION	13
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
1.1. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN.....	15
1.2. HIPOTESIS.....	16
2. JUSTIFICACIÓN	17
2.1. IMPACTO AMBIENTAL	17
2.2. IMPACTO ECONÓMICO	18
2.3. IMPACTO SOCIAL	19
2.4. IMPACTO ACADÉMICO	19
3. MARCO REFERENCIAL	21
3.1. PINTURAS.....	21
3.1.1. Tipos de pintura.....	23
3.1.2. Composición química de la pintura.....	25
3.1.3. Fabricación de la pintura	28
3.2. POLIESTIRENO EXPANDIDO	31
3.2.1. Aplicaciones del poliestireno expandido	33
3.2.2. Procesos de Transformación del poliestireno expandido	34
3.3. PROBLEMÁTICA AMBIENTAL DEL PLÁSTICO Y EL EPS	35
3.4. RECICLAJE DEL POLIESTIRENO EXPANDIDO.....	37
3.4.1. Reciclaje directo	37
3.4.2. Reciclaje químico.....	38
3.4.3. Reciclaje mecánico.....	38
3.5. SOLUBILIDAD DEL POLIESTIRENO EXPANDIDO.....	40
3.6. DISOLVENTES.....	42
3.6.1. Clasificación de los disolventes	42
3.6.2. Usos y aplicaciones	43

3.6.3.	Efectos para la salud y riesgos para el medio ambiente.....	44
3.7.	SOLVENTES AMIGABLES CON EL AMBIENTE	45
3.7.1.	El D-Limoneno	46
4.	OBJETIVOS	47
4.1.	OBJETIVO GENERAL	47
4.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	47
5.	METODOLOGÍA.....	48
5.1.	CARACTERIZACIÓN DEL RESIDUO.....	48
5.1.1.	Espectrometría infrarroja por transformada de Fourier (FTIR)	48
5.1.2.	Análisis termo gravimétrico (TGA):.....	50
5.1.3.	Índice de fluidez.....	51
5.1.4.	Calorimetría diferencial de barrido (DSC).....	53
5.2.	DISEÑO DE EXPERIMENTOS.....	54
5.2.1.	Ensayos Preliminares	54
5.2.2.	Diseño Factorial (2 Factores-3 Niveles).....	56
5.2.3.	Determinación de las variables de respuesta	60
5.3.	COMPARACIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL PRODUCTO OBTENIDO CON UN PRODUCTO COMERCIAL.....	67
6.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	68
6.1.	CARACTERIZACIÓN DEL RESIDUO.....	68
6.1.1.	Espectrometría infrarroja por transformada de Fourier (FTIR)	68
6.1.2.	Análisis termogravimétrico (TGA).....	70
6.1.3.	Índice de fluidez (MFI)	71
6.1.4.	Calorimetría diferencial de barrido (DSC).....	73
6.2.	DISEÑO DE EXPERIMENTOS.....	75
6.2.1.	Tiempo de secado	76
6.2.2.	Adhesión.....	79
6.2.3.	Viscosidad	81
6.2.4.	Poder de cubrimiento.....	83
6.2.5.	Optimización del diseño de experimentos	85

6.3.	COMPARACION DE LAS PROPIEDADES CON EL PRODUCTO COMERCIAL.....	88
6.3.1.	Tiempo de secado	89
6.3.2.	Adhesión.....	90
6.3.3.	Viscosidad	91
6.3.4.	Poder de cubrimiento.....	93
6.3.5.	Comparación	94
6.4.	USOS INDUSTRIALES.....	94
7.	CONCLUSIONES.....	96
8.	RECOMENDACIONES	98
	ANEXO 1.....	99
	ANEXO 2.....	100
	ANEXO 3.....	105
	ANEXO 4.....	109
	ANEXO 5.....	112
	ANEXO 6.....	115
	ANEXO 7.....	117
	ANEXO 8.....	118
9.	BIBLIOGRAFÍA.....	120

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Propiedades de una pintura de interiores y las características brindadas por las mismas.	21
Tabla 2. Tipos de pintura base agua.	23
Tabla 3. Tipos de pintura base solvente.	24
Tabla 4. Cargas naturales más usadas en pinturas plásticas.	28
Tabla 5. Métodos de transformación del poliestireno expandido y sus aplicaciones.	35
Tabla 6. Propiedades químicas del poliestireno expandido.	41
Tabla 7. Clasificación de las sustancias solventes.	42
Tabla 8. Condiciones de operación para la prueba de espectrometría infrarroja (FTIR) elaborada en el ICIPC.	49
Tabla 9. Condiciones de operación para la prueba de análisis termogravimétrico (TGA) elaborada en el ICIPC.	51
Tabla 10. Condiciones de operación para la prueba de índice de fluidez (MFI) elaborada por el ICIPC.	52
Tabla 11. Ensayos preliminares de solubilidad del poliestireno expandido en solventes comúnmente empleados para la fabricación de pintura.	55
Tabla 12. Matriz aleatorizada del diseño factorial 3^2	57
Tabla 13. Formulación para la elaboración de las pinturas en el diseño de experimentos.	60
Tabla 14. Resultados del análisis termogravimétrico realizado al residuo en el ICIPC.	70
Tabla 15. Resultados obtenidos en el diseño de experimentos multifactorial.	75
Tabla 16. Comparación de las propiedades fisicoquímicas y reológicas de la pintura sugerida y la comercial.	94

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Diagrama de bloques del proceso de elaboración de pintura.	29
Ilustración 2. Estructura molecular del poliestireno expandido.....	32
Ilustración 3. Reciclaje mecánico del poliestireno expandido y sus aplicaciones..	39
Ilustración 4. Espectrofotómetro Infrarrojo, Nicolet 6700 Thermo Scientific.	49
Ilustración 5. Analizador termo gravimétrico, TGA Q500, TA Instruments.	50
Ilustración 6. Equipo de medición del índice de fluidez marca Göttfert, modelo MP – E.....	52
Ilustración 7. Calorímetro diferencial de barrido con calentamiento modulado MDSC Q200, TA Instruments.....	53
Ilustración 8. A) Montaje de arrastre a vapor tipo Clevenger para extracción de D-Limoneno con cascaras de naranja en el laboratorio. B) Aceite extraído durante el arrastre de vapor.	56
Ilustración 9. Diagrama de bloques del procedimiento a seguir en la fabricación de la pintura a base de poliestireno expandido y limoneno.....	58
Ilustración 10. Procedimiento para la prueba de tiempo de secado.....	61
Ilustración 11. Procedimiento para la prueba de adhesión por el método de la cinta.....	62
Ilustración 12. Clasificación de los Resultados de la Prueba de Adhesión, Tomada de la norma ASTM3359.	63
Ilustración 13. Procedimiento para la prueba de viscosidad empleando la copa Ford.....	64
Ilustración 14. Copa Ford en acero inoxidable fabricada en la universidad EAFIT.	65
Ilustración 15. Procedimiento para la realización de la prueba de poder cubriente.	66
Ilustración 16. Escala de opacidad empleada en la prueba de poder cubriente....	67

Ilustración 17. Espectro infrarrojo para la muestra de polvillo de EPS recolectado elaborada en el ICIPC y la comparación del mismo con la biblioteca del Instituto.	69
Ilustración 18. Termograma obtenido de la prueba de TGA, elaborado por ICPC para la muestra de polvillo de poliestireno expandido.	70
Ilustración 19. Resultados de la prueba de Índice de fluidez elaborada por ICIPC para la muestra de polvillo de poliestireno expandido.	72
Ilustración 20. Aspecto físico del polvillo de EPS luego de la fundición.	73
Ilustración 21. Termograma obtenido durante la prueba de DSC elaborado por ICIPC para la muestra de polvillo de EPS.	74
Ilustración 22. Tabla ANOVA para la variable de respuesta Tiempo de secado.	76
Ilustración 23. Diagrama de Pareto para la variable de respuesta tiempo de secado.	77
Ilustración 24. Gráfico de interacciones de los factores de concentración y temperatura en el tiempo de secado de la pintura.	78
Ilustración 25. Tabla ANOVA para la variable de respuesta de Adhesión.	79
Ilustración 26. Diagrama de Pareto para la variable de respuesta Adhesión.	80
Ilustración 27. Gráfico de interacciones de los factores de concentración y temperatura en la adhesión de la pintura.	81
Ilustración 28. Tabla ANOVA para la variable de respuesta de Viscosidad.	81
Ilustración 29. Diagrama de Pareto para la variable de respuesta Viscosidad.	82
Ilustración 30. Gráfico de interacciones de los factores de concentración y temperatura en la viscosidad de la pintura.	83
Ilustración 31. Tabla ANOVA para la variable de respuesta Poder de cubrimiento.	83
Ilustración 32. Diagrama de Pareto para la variable de respuesta Poder de cubrimiento.	84
Ilustración 33. Gráfico de interacciones de los factores de concentración y temperatura en el poder cubriente de la pintura.	85
Ilustración 34. Datos establecidos para la optimización del diseño factorial elaborado en Statgraphics.	86

Ilustración 35. Resultados de la optimización del diseño multifactorial elaborado para la pintura.	87
Ilustración 36. Grafica de superficie para la optimización del diseño multifactorial de la pintura.....	88
Ilustración 37. Prueba de secado al tacto para la muestra de pintura comercial... 89	
Ilustración 38.Resultado de la prueba de adhesión a la muestra comercial por el método de la cinta.	90
Ilustración 39. Resultado de la prueba de adhesión para la muestra a 25°C con 50% de concentración.....	91
Ilustración 40. Prueba de viscosidad empleando la copa Ford #5.	92
Ilustración 41. Comparación de muestras en la prueba de poder de cubrimiento. 93	

RESUMEN

Con la evaluación de la producción de pintura a partir de los residuos de poliestireno expandido (EPS) utilizando un solvente amigable con el ambiente, se pretende dar uso post industrial a los desechos de poliestireno expandido que cada vez se acumulan más en los rellenos sanitarios, lo que genera un descontento debido a su volumen. Además de darle un trato más amigable a la fabricación de pintura buscando un solvente que no resulte tan tóxico para el trato humano y para el ambiente.

El desarrollo del proyecto se lleva a cabo planteando una metodología de investigación que sugiere inicialmente pruebas de caracterización al residuo de poliestireno expandido, que permiten saber características propias del material. Luego de esto, se realiza un diseño de experimentos multifactorial con dos factores y tres niveles, donde se analiza el efecto de la temperatura en la fase de mezclado y la relación que tiene la concentración de poliestireno expandido como vehículo en la elaboración de pintura. En el diseño se evalúan cuatro variables de respuesta: adhesión, viscosidad, tiempo de secado y poder de cubrimiento, comparando luego estas mismas propiedades con las realizadas en una pintura comercial.

El estudio muestra un alto grado de influencia de la concentración de poliestireno expandido sobre las propiedades de la pintura obtenida, mejorando cada una de ellas a medida que se aumenta la cantidad de poliestireno expandido. Se observó también que la temperatura influyó en el tiempo de secado, es decir a mayor temperatura en la fase de mezclado mayor fue el tiempo que se demoró la pintura en secar. Por último, al comparar el producto obtenido con uno comercial, se encuentra que el producto obtenido tiene menor tiempo de secado, una adhesión

similar, posee mayor poder de cobertura y una viscosidad más alta, además de ser una pintura no toxica y amigable con el ambiente.

PALABRAS CLAVE: POLIESTIRENO EXPANDIDO, ICOPOR, LIMONENO, PINTURA, CARACTERIZACION, DISEÑO DE EXPERIMENTOS.

INTRODUCCION

En la actualidad existe una alta preocupación por el deterioro del medio ambiente, debido a que el consumismo y la fuerte actividad industrial suponen graves impactos para el planeta como son el cambio climático, la destrucción de la capa de ozono, la pérdida de biodiversidad o la contaminación del suelo y el agua. En relación a esto es necesaria la correcta gestión de los desechos, mediante la reducción, la reutilización y el reciclaje de los residuos sólidos urbanos que ayudarán a disminuir los efectos negativos de estos en su interacción con el medio ambiente.

Entre los residuos sólidos que generan gran interés debido a su volumen y a su corta vida útil se encuentra el poliestireno expandido (EPS), mejor conocido como Icopor, producido para diferentes sectores de la industria y de gran consumo a nivel mundial, motivo por el cual deben disponerse en rellenos sanitarios donde ocupan un espacio considerable y duran miles de años en degradarse. Además se añade el factor asociado a la contaminación de afluentes y mares afectando la biodiversidad acuática.

Este proyecto pretende evaluar si los desechos de poliestireno expandido pueden ser utilizados como resina en la elaboración de pintura, estudio que ayudaría a encontrar una disposición adecuada para a los desechos de EPS. Además, pretende estudiar la posibilidad de utilizar un solvente amigable con el ambiente y que no resulte tóxico para los seres humanos. Todo esto generaría un valor agregado y ecológico al residuo al incorporarse en nuevos procesos productivos.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El calentamiento global es un fenómeno que afecta a la humanidad actualmente y es causado por el efecto invernadero (*Gutmanel, 2009*).

El efecto invernadero es producido por gases emitidos a la atmósfera, estos gases son procedentes del uso desmesurado de combustibles fósiles en actividades industriales, transporte y el mal manejo de residuos sólidos (*Gutmanel, 2009*).

Acorde con el informe "What a Waste" del *Banco Mundial (2012)* se estimó que la generación de residuos sólidos mundial fue de 1300 millones de toneladas por año en el 2012. De las cuales casi 10 millones de toneladas son generadas en Colombia cada año (*IDEAM, 2013*).

Del total generado, más de 3 millones de toneladas corresponden al poliestireno expandido, calculándose un aumento en dicha generación del 6% al año (*Sekharan, et al. 2012*).

El poliestireno expandido es usado mundialmente para empaque de alimentos y embalaje de productos por sus excelentes propiedades, entre ellas su baja densidad (Estos valores varían entre los 10 y 25 kg/m³) (*Samper, 2008*). Es de resaltar que este material es derivado de una fuente no renovable, altamente contaminante y de un gran valor comercial como lo es el petróleo. Por lo tanto, con el continuo incremento del precio del petróleo también lo hace el precio del poliestireno expandido, pero eso no causa ninguna disminución en su uso o interés en su recuperación (*Ortiz, 2013*).

La problemática del poliestireno expandido realmente radica en el mal manejo que se le dan a los desechos de este material luego de que cumple su vida útil, esos 3 millones de toneladas que se acumulan cada año en los rellenos sanitarios

(Sekharan, et al. 2012). Este material es un gran contaminante, pues según la Universidad Nacional, tarda más de 1000 años en biodegradarse, esto sin contar con el alto volumen que ocupa en los rellenos sanitarios en relación con el peso (Tellez, 2012). German Segura, director de Verdenatura -Una de las empresas Colombianas que se dedica al reciclaje de poliestireno expandido- comenta que una tonelada de Poliestireno Expandido equivale a cien toneladas en volumen de otros materiales, ocupando un espacio mayor en el relleno sanitario, espacio que podría ser usado por otro tipo de residuos que tardan menos tiempo en biodegradarse (Junca, 2014).

Los problemas que plantean los residuos sólidos, traen consigo la necesidad de buscar soluciones que favorezcan un mejor manejo y aprovechamiento de éstos. Mediante su reducción, reutilización o reciclaje se ayuda a mitigar los efectos adversos que se generan por su mal manejo, además de la destrucción del ambiente, debido a que se acumulan rápidamente en los lugares utilizados para su recolección (Arandes, et al. 2004). Con el fin de aprovechar los residuos de poliestireno expandido, se plantea éste proyecto con el objetivo de reutilizar estos residuos, empleando solventes amigables con el ambiente y reincorporarlo en un proceso productivo generando valor agregado.

1.1. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

- ¿Cuáles son las propiedades físico-químicas y reológicas del poliestireno expandido post-consumo y cómo varían estas después del reciclaje mecánico?

- ¿Es posible determinar los efectos que tienen la temperatura y la relación de poliestireno expandido con el solvente en las propiedades finales de la pintura durante el proceso de mezclado?
- ¿Son similares las propiedades físico-químicas y reológicas del producto obtenido comparado con el producto comercial?

1.2. HIPOTESIS

A partir de los residuos de poliestireno expandido generados en la industria, es posible elaborar pintura utilizando un solvente orgánico amigable con el ambiente.

2. JUSTIFICACIÓN

Uno de los inconvenientes que genera el poliestireno expandido alrededor del mundo es el alto volumen que ocupa debido a la baja densidad del material. Por ejemplo, un camión de residuos que puede transportar 4 toneladas de cartón solo puede transportar 120 Kilogramos de poliestireno expandido (*Junca, 2014*). Adicionalmente, este residuo se acumula año tras año en los rellenos sanitarios debido a su corta vida útil, la cual es de minutos para los envases desechables (*The way to go, 2008*); sin desaparecer del medio ambiente debido también a su baja biodegradabilidad, pues tarda más de 1000 años en biodegradarse (*Alonso et al, 2002*).

El desarrollo de este proyecto busca contribuir a la solución de estos problemas reincorporando los residuos de poliestireno expandido al proceso productivo dándole un valor agregado, y permite impactar las áreas que se describen a continuación:

2.1. IMPACTO AMBIENTAL

La gestión de residuos sólidos se está convirtiendo en un problema para las principales ciudades del mundo. Esto ocurre especialmente en los países en desarrollo debido al rápido aumento de la generación de éstos, crecimiento rápido de la población, la urbanización, la industrialización y desarrollo económico (*Poletto,2011*).

Una de las problemáticas de los residuos sólidos se encuentra principalmente en los rellenos sanitarios, ya que se acorta la vida útil de estos, por la gran cantidad de volumen de desechos. El poliestireno expandido (EPS) constituye una parte considerable de los residuos termoplásticos en el medio ambiente en términos de volumen (*Sekharan, 2012*), que van directamente a afectar estos rellenos sanitarios. Por ende, cualquier reducción en la cantidad de residuos de EPS tendrá un importante impacto en el medio ambiente en términos de reducción en el volumen de residuos (*Sekharan, 2012*).

Entre otras preocupaciones ambientales se encuentra el mal manejo de los residuos sólidos como la emisión de CO₂ a la atmósfera por la incineración del EPS, o su vertimiento en ríos y quebradas (*Fernández et al, 2007*).

Al aprovechar este residuo y reincorporarlo a un proceso productivo se busca disminuir significativamente este impacto; disminuyendo la velocidad a la que se llenan los rellenos sanitarios, evitando la contaminación que genera el poliestireno expandido como residuo poco biodegradable y alargando su vida útil al reutilizar el desecho.

2.2. IMPACTO ECONÓMICO

El ingreso de un material post-consumo a una cadena productiva permite, la reducción y la minimización del impacto ambiental; generando nuevas oportunidades económicas y creando materiales con buenas propiedades físicas y químicas, con comportamientos similares al material obtenido por primera vez. Ofreciendo adicionalmente alternativas a pequeños empresarios en la creación de nuevas industrias (*Cortés, 2011*).

La realización de este proyecto de investigación se presta para que en un futuro se genere una idea de negocio, en la que se elabore pintura utilizando el desecho de poliestireno expandido y empleando un solvente amigable con el ambiente.

2.3. IMPACTO SOCIAL

La constitución de nuevas compañías se manifiesta como un mecanismo esencial que suele impactar positivamente en el dinamismo de un país, genera empleo, mejora la calidad de vida de las personas e impulsa desarrollos tecnológicos. Un estado sin emprendedores se estanca, señala Ariel Soto, director de Medios en Jimeno Acevedo Asociados y magíster en Relaciones Económicas Internacionales de la Universidad de Buenos Aires (*Ceballos, 2013*).

La idea de negocio que se puede generar con la realización de este proyecto a su vez puede ser una buena fuente de empleo que impulsará el desarrollo y dinamismo de la región donde se implemente.

2.4. IMPACTO ACADÉMICO

A lo largo de nuestra carrera como ingenieros de procesos adquirimos una cantidad de conocimientos que este proyecto de investigación nos permite poner en práctica, y al mismo tiempo nos da la posibilidad de adquirir conocimientos nuevos, como por ejemplo el proceso de fabricación de un recubrimiento, las pruebas de calidad que se le realizan a los mismos para medir sus propiedades,

los solventes orgánicos empleados así como, algunas propiedades del limoneno como disolvente amigable con el ambiente.

Además, con la realización de este proyecto se puede contribuir con los estudios que actualmente se están llevando a cabo sobre el aprovechamiento del residuo de poliestireno expandido y crear el interés a la sociedad académica para que se siga investigando.

3. MARCO REFERENCIAL

3.1. PINTURAS

Las pinturas y barnices son composiciones líquidas que se convierten en una película sólida después de su aplicación en capas finas superficiales. La diferencia básica entre una pintura y un barniz reside en el hecho de que este último es transparente e incoloro, mientras que las pinturas son opacas y tienen color propio (*Giudice et al, 2009*).

Adicionalmente, las pinturas son fluidos que aplicados en una capa delgada sobre una superficie secan formando una película adaptada sobre esta última, compacta y bien adherida, que oculta un aspecto primitivo, dándole color y apariencia distintos y protegiéndola frente al ataque de agentes externos. Estos recubrimientos tienen las siguientes propiedades en grados variables, dependiendo de la composición del recubrimiento: (*Ayala et al, 2010*).

Tabla 1. Propiedades de una pintura de interiores y las características brindadas por las mismas.

PROPIEDAD	PINTURA	CARACTERISTICA
Tipo de fluido	No Newtoniano- Pseudoplástico	La viscosidad disminuye con el aumento de la agitación.
Viscosidad a 25°C	320-500 centiStokes	Es una medida de la oposición de un líquido al movimiento, cuando se aplica una fuerza.
Tiempo de secado al	10 minutos	El tiempo en que la pintura

tacto		no mancha al tocarse.
Tiempo de secado al manejo	1 hora	El tiempo en que la pintura debe secar antes de aplicar una segunda capa.
Porcentaje de sólidos en volumen	38%-48%	Es la cantidad de sólidos que permanecen en la película cuando el solvente se evapora. Determina el espesor de aplicación, el rendimiento y el costo de la pintura.
Poder cubriente	Mínimo 93%	También conocida como opacidad es la capacidad de una pintura de ocultar las diferencias de color de un fondo.

Fuente: (INVESA, 2011)

Las pinturas tienen dos componentes básicos: vehículo y pigmento. El vehículo, o emulsionador, se disuelve en un medio para formar la parte líquida de la pintura (que se polimeriza) para proporcionar la homogeneidad y la película protectora. Además, controla las propiedades deslizantes del revestimiento y ayuda a mejorar su dureza y resistencia (Ayala et al, 2010). Por otra parte, El pigmento es un compuesto orgánico o inorgánico cuya misión es proporcionar a la pintura color y poder de cubrición (Calvo, 2009).

3.1.1. Tipos de pintura

Las pinturas se pueden clasificar de diversas formas en función del tipo de resina, de la aplicación a la que van destinadas, etc. Las que serán explicadas a continuación se harán según su composición (Calvo, 2009):

- **Según la base**

La base, también conocida como el disolvente es la parte líquida de la pintura. Puede ser agua o un solvente orgánico. Según la base empleada varían las composiciones y los usos de la pintura como se ilustra en las siguientes tablas (Ayala, 2010):

Tabla 2. Tipos de pintura base agua.

TIPO DE PINTURA	VEHÍCULO SÓLIDO	DISOLVENTE	TIPOS DE PIGMENTO	USOS
Plásticas	Acetato de polivinilo	Agua	Óxido de cromo Azul ultramar	Interiores y exteriores
Acrílicas	Acrilatos	Agua	Óxido de cromo Azul ultramar	Decoración, madera, metal, interiores y exteriores

Fuente: (Ayala et al, 2010)

Tabla 3.Tipos de pintura base solvente.

TIPOS DE PINTURA	VEHICULO SOLIDO	DISOLVENTE	TIPO DE PIGMENTOS	USOS
Alquídicas de secado al aire	Resina gliceroftalica con aceites de secado	Trementina	Amarillo cromo, Rojo Molibdeno, Amarillo zinc	Decorativa, anticorrosivas
Alquídicas de secado al horno	R. oleo-gliceroftalica + melamino-formol	Tolueno- xileno Butanol	Amarillo cromo, Rojo molibdeno	Automotriz, Electrodomésticos
Vinílicas	Polivinil- burital	Tolueno	Amarillo zinc	Anticorrosivos
Celulósicas (lacas)	Nitrocelulosa modificada con resinas y plastificante	Acetato de etilo, Ciclohexanona, Etiletilcetona	Amarillo cromo, Rojo molibdeno, Amarillo zinc	Decoración de muebles, automotriz
Cloro-caucho	Caucho clorado	Xileno, Tolueno	Amarillo zinc	Pinturas anti fugas, Rev. Antiácidos, anti derrumbe
Poliuretano	Poliéster y Poliisocianato	Cetonas, Acetato de etilenglicol, Acetato de butilo	Amarillo cromo, Rojo molibdeno, Amarillo zinc	Pinturas marinas y para hormigón, protectoras de hierro y aluminio
Epóxicas	Poliamida o Poliaminas con resina	Esteres, cetonas, alcoholes y glicoles		Pinturas marinas, revestimiento y estanques

Fuente: (Ayala et al, 2010)

- **Según la proporción de pigmento blanco**

La cantidad de dióxido de titanio en una pintura le brinda a ésta diferentes características. Esta se divide en 3 tipos siendo la primera la de mayor concentración de pigmento blanco y la última la de menor.

La pintura tipo I se caracteriza por tener las mejores propiedades fisicoquímicas en cuanto a la durabilidad y rendimiento; además ofrece un acabado mate, lavable, de rápido secado, resistencia a la intemperie y adherencia. La Tipo II es usada en interiores de residencias y oficinas, debido a que ofrece buenos acabados pero no es tan durable como la anterior. Por último, la pintura Tipo III es la más económica y es usada únicamente en interiores de residencia, en edificaciones provisionales y en lugares de poco tráfico (*Ayala et al, 2010*).

3.1.2. Composición química de la pintura

- **Pigmentos**

Es la parte sólida de la pintura, formada por pequeñas partículas sólidas que se mantienen insolubles y dispersas en la parte líquida de la pintura en estado de suspensión, especialmente preparadas para conferir a la pintura opacidad y coloración (*Giudice et al, 2009*). Generalmente son de origen mineral y tiene como principal misión cubrir la superficie con un aspecto deseado y en ocasiones, reforzar la acción del aglutinante (*Rando et al, 2005*).

Algunas de las características que le dan los pigmentos a la pintura son facilidad de humectación, estabilidad, poder cubriente y colorante (*Rando et al, 2005*).

- **Aditivos**

Abarcan un numeroso grupo de productos que normalmente se añaden a las pinturas con fines específicos. Son productos que se adicionan en cantidades mínimas para provocar o conseguir determinados efectos, que no se lograrían sólo con el vehículo, los pigmentos y los disolventes (*Zuluaga. L, 2002*).

Entre estos aditivos tenemos: anti floculantes de pigmentos, modificadores de la velocidad, niveladores, aceleradores del curado, conservantes, mateantes, dispersantes y humectantes, etc. (*Zuluaga. L, 2002*).

- **Vehículos**

Normalmente es un polímero o conjunto de polímeros, producto de síntesis o naturales, que pueden ser utilizados puros, en solución o dispersos (*Cedeño et al, 2012*).

El vehículo es el encargado de formar la película protectora durante los procesos de aplicación y curado. Al mismo tiempo, es el soporte del pigmento y de las cargas, así como de los aditivos que se mantienen inmersos en él, mientras la pintura se encuentra en estado líquido (*Giudice et al, 2009*).

El vehículo es el que nos da, en película seca, las propiedades de resistencia, elasticidad, dureza e impermeabilidad; mientras que en la pintura en estado líquido nos dará características como viscosidad, concentración, tixotropía y fluidez (*Kastillo, 2014*).

La compatibilidad del vehículo con los otros componentes de la formulación es lo más importante, ya que son líquidos no secantes o sólidos blandos de bajo punto de fusión (*Rando et al, 2005*).

Es necesario poder incorporar la suficiente cantidad de a la composición del recubrimiento, para proporcionar las propiedades deseadas, sin que por ello ocasione una película no homogénea (*Rando et al, 2005*).

- **Disolventes**

El agua es sin duda, el primer disolvente utilizado, y la tendencia es fabricar cada día más pinturas con este medio, entre otras razones por su menor toxicidad y menor contaminación.

El solvente es el líquido en la pintura que suspende el pigmento y resinas y los transporta desde el cepillo de la pintura a la pared (*Bernal, 2010*). El disolvente se evapora y deja atrás la película de pintura por lo que la rapidez o lentitud en el secado de las pinturas aplicadas depende, en buena medida, de los disolventes, en relación directa a su velocidad de evaporación (*Ulloa, 2010*).

Algunos de los disolventes más utilizados son los alcoholes (propanol, butanol), cetonas (acetona, metiletilcetona, metilisobutilcetona, ciclohexanona, etc.), esterres (acetato de metilo, acetato de etilo, acetato de butilo e isómeros), glicoéteres (etilenglicol monometiléter) e hidrocarburos (naftas alifáticas, naftas aromáticas, tolueno, xileno, etc.) (*Masschelein- Kleiner, 2004*).

- **Cargas**

Las cargas son productos generalmente inorgánicos que, se utilizan para aportar materia sólida a la pintura. También es preciso indicar que en función de la carga utilizada variará de forma ostensible la viscosidad, la reología, el brillo entre otras (*Calvo, 2009*).

Las cargas naturales son las materias primas más abundantes dentro de la formulación de pinturas y recubrimientos plásticos. Dentro de la gran diversidad de

cargas predominan en primer lugar la calcita en el segundo lugar el talco y el cuarzo (Schweigger, 2005).

Tabla 4. Cargas naturales más usadas en pinturas plásticas.

CARGAS	COMPOSICION QUIMICA	FORMULA QUIMICA	MORFOLOGIA	PESO ESPECIFICO (gr/cm³)	DUREZA MOHS
Creta	Carbonato de Calcio	CaCO ₃	Amorfa	2,7	1,5-2,5
Calcita	Carbonato de Calcio	CaCO ₃	Nodular	2,7	3
Dolomita	Carbonato de Calcio y Magnesio	CaMg(CO ₃)	Nodular	2,7	3,5-4
Cuarzo	Sílice o Bióxido de Silicio	SiO ₂	Nodular	2,65	7
Talco	Silicato de Magnesio	2MgO.4SiO ₂ (MgOH ₂)	Laminar	2,75	1-1,5
Caolín	Silicato de Aluminio	(Al ₂ O ₃). (SiO ₂) ¹⁻²	Laminar	2,6	2-2,5
Mica	Silicato de Aluminio, Potasio y Magnesio	Bastante Compleja	Muy Laminar	2,85	2-2,5
Barita	Sulfato de Bario	BaSO ₄	Nodular	4,25	2,5-3,5

Fuente: (Schweigger, 2005).

3.1.3. Fabricación de la pintura

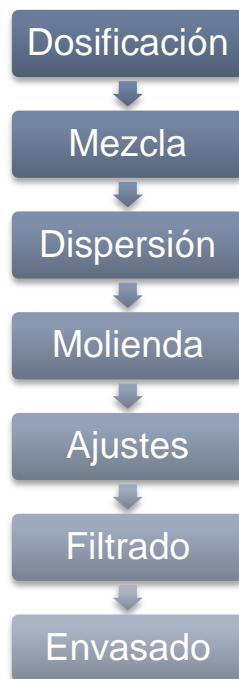
En un principio, la pintura se preparaba con sencillas herramientas. Más tarde, se mecanizaron estos procedimientos sencillos manuales con amasadoras,

mezcladoras, molinos de muelas, etc. Después, aparecieron los molinos de cilindros contruidos de diversos materiales, como granito y, posteriormente, acero (Huamán et al, 2012).

La aparición de los agitadores de alta velocidad marca el punto a partir del cual se empiezan a conseguir las capacidades de producción que existen en la actualidad (Huamán et al, 2012).

El proceso de fabricación de una pintura se puede dividir en las siguientes fases:

Ilustración 1. Diagrama de bloques del proceso de elaboración de pintura.



Fuente: (Zuluaga. L, 2002)

- **Mezcla**

Consiste en poner en contacto los elementos de la pintura, vehículo, pigmentos y cargas, consiguiendo un buen humectado o mojado de todos ellos. Debido a los modernos agitadores, el proceso de mezcla y dispersión se consigue en poco tiempo (*Zuluaga. L, 2002*).

- **Dispersión**

Una vez conseguida una mezcla homogénea de los componentes de la pintura, se procede a una fuerte agitación para poder separar los aglomerados de los pigmentos y cargas, consiguiéndose una pasta llamada pasta de molienda (*Zuluaga. L, 2002*).

- **Molienda**

En este proceso se consigue una mayor finura de la pasta de molienda por medio de los llamados molinos de bolas o tricilíndricos. Actualmente, dado su rendimiento, este proceso se suele hacer con los molinos de micro elementos en continuo, recipientes cerrados a presión conteniendo una gran cantidad de micro esferas de cerámica o vidrio y agitados a gran velocidad. Estos modernos molinos permiten controlar tanto la finura, como la temperatura de la pasta de molienda (*Zuluaga. L, 2002*).

- **Ajustes**

Se completa en esta fase tanto el resto de vehículo como el ajuste de viscosidad y colorido, agregando los disolventes, concentrado de colorantes y restos de aditivos, que van a darle a la pintura las características finales deseadas (*Zuluaga. L, 2002*).

- **Filtrado y envasado**

Estas dos últimas operaciones se suelen hacer en continuo, resultando el filtrado más o menos intenso según el tipo de pintura que se trate. El envasado tiene una gran importancia, ya que un buen envase, un buen cierre y una perfecta identificación, dan el resultado de una pintura en correctas condiciones (*Zuluaga. L, 2002*).

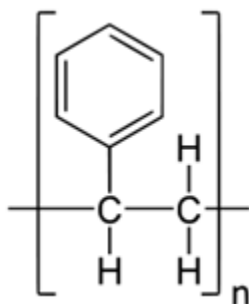
3.2. POLIESTIRENO EXPANDIDO

El poliestireno como la gran mayoría de los polímeros termoplásticos, es un derivado de los hidrocarburos (petróleo o gas natural). La gran variedad de tipos que existen, lo convierten en un material muy versátil, apropiado para un amplio número de aplicaciones (*Arriola et al, 2013*).

El Poliestireno Expandido (EPS) se define técnicamente como: "Material plástico celular y rígido fabricado a partir del moldeo de perlas pre-expandidas de Poliestireno expandible o uno de sus co-polímeros como se muestra en la ilustración 2, que presenta una estructura celular cerrada y rellena de aire" (*Javna et al, 2009*).

La abreviatura EPS deriva del inglés Expanded PolyStyrene. Este material es conocido también como Icopor.

Ilustración 2. Estructura molecular del poliestireno expandido.



Fuente: (Arriola et al. 2013).

El EPS es altamente ligero (debido a su densidad que es de aproximadamente 10 kg/m³) y puede soportar hasta 1000 veces su propio peso, el calor no atraviesa el EPS con facilidad lo que lo convierte en un buen aislante y es por eso que se utiliza para bandejas de comida, tazas de café, entre otras. Ligereza y gran capacidad de adaptación son las dos características de los envases de EPS que han supuesto un reto en la gestión de sus residuos (Arriola et al, 2013).

A escala industrial, el poliestireno se prepara calentando el etilbenceno en presencia de un catalizador para dar lugar al estireno. La polimerización del estireno requiere la presencia de una pequeña cantidad de un iniciador, entre los que se encuentran los peróxidos, que opera rompiéndose para generar un radical libre. Este se une a una molécula de monómero, formando así otro radical libre más grande, que a su vez se une a otra molécula de monómero y así sucesivamente. Este proceso en cadena finalizará por combinación de dos radicales, sean ambos radicales polímeros o bien radical polímero y otro radical del iniciador, o por atracción de un átomo de hidrógeno de otra molécula (Arriola et al, 2013).

Para obtener el poliestireno expandido se someten los granos de poliestireno a una atmósfera muy disolvente y a una cierta temperatura, con lo que los granos, al

absorber el disolvente, aumentan de volumen convirtiéndose en bolitas blandas llamadas "perlas". Si se introducen estas bolitas en un molde y se someten a un rápido calentamiento, la acción conjunta del gas disolvente y el calor provoca la hinchazón de las perlas y la compresión de las mismas dentro del molde hasta adquirir formas poliédricas. Al enfriarse, el poliestireno se ha convertido en un material de constitución globular, elástico y ligero (*Arriola et al, 2013*).

3.2.1. Aplicaciones del poliestireno expandido

El poliestireno expandido tiene diversos usos según su funcionalidad. Para poder clasificar todas sus aplicaciones dividiremos este apartado en tres grupos de aplicaciones:

- **Aplicaciones en la obra civil**

Debido a sus propiedades como el aislamiento térmico y acústico, facilidad de conformado, ligereza, versatilidad en sus diseños y posibilidades de fabricación, este material presenta un campo de aplicación muy amplio (*Utilbox, 2015*).

El Poliestireno Expandido (EPS) se utiliza principalmente como elemento termoaislante en el sector de la construcción, aunque también ofrecen soluciones económicas en la fabricación de módulos y piezas acabadas, como material ligero para cimientos y obras de plataforma, como aislamiento acústico al ruido producido por golpes o pasos, o como aditivo ligero para la fabricación de enlucidos protectores, argamasas y hormigón (*Quiñonez. 2014*).

- **Aplicaciones en la industria**

El poliestireno expandido es un material que se utiliza ampliamente en el campo del envasado y embalado debido principalmente a su capacidad de protección

contra impactos y sus propiedades de aislamiento térmico, así como por su ligereza y facilidad de conformado que le permiten adaptarse a las necesidades de cada producto a proteger (*Samper, 2008*).

Una de las mayores aplicaciones se encuentra en la industria alimenticia. Las garantías de higiene y el mantenimiento de los niveles de protección térmica son, junto con la posibilidad de apilamiento sin riesgos para la mercancía, las ventajas que los envases y embalajes de poliestireno expandido ofrecen a los alimentos frescos como el pescado (*Martínez. 2012*).

- **Aplicaciones diversas**

El poliestireno expandido extiende su potencial de utilización a muchos sectores de la actividad humana (*Utilbox, 2015*).

Desde los cascos protectores para ciclistas y motoristas hasta flotadores, salvavidas y planchas de surf. Las características del poliestireno expandido como material permiten fabricar productos ligeros de alta protección que, en un momento determinado, pueden salvar vidas, como son las neveras en que se transportan los órganos humanos destinados a trasplante o elementos de seguridad vial (*Utilbox, 2015*).

3.2.2. Procesos de Transformación del poliestireno expandido

Según el método utilizado para la obtención de poliestireno expandido así serán las diferentes aplicaciones que pueden darse al mismo. El poliestireno puede transformarse mediante los siguientes procesos:

Tabla 5. Métodos de transformación del poliestireno expandido y sus aplicaciones.

METODO DE FABRICACION	USOS
Moldeo por inyección	Juguetes carcasas de radio y televisión partes de automóvil instrumental médico menaje doméstico tapones de botellas contenedores
Moldeo por soplado	Botellas Contenedores partes de automóvil
Extrusión	Películas protectoras perfiles en general reflectores de luz cubiertas de construcción
Extrusión y termo conformado	Interiores de frigoríficos Equipajes embalajes alimentarios servicios desechables grandes estructuras del automóvil

Fuente: (Tecnología de los plásticos, 2011)

3.3. PROBLEMÁTICA AMBIENTAL DEL PLÁSTICO Y EL EPS

En la actualidad debido a la tecnología y la gran variedad de materiales plásticos existentes se puede desarrollar productos con gran variedad de propiedades y características para toda aplicación requerida, ya que se pueden trabajar solo los polímeros o con mezcla de otros polímeros, junto con aditivos o ayudas de proceso las cuales pueden modificar el comportamiento de estos materiales en el

momento de su manufactura y así poder llegar a satisfacer todas las necesidades del factor humano en la búsqueda de mejorar su calidad de vida (Cáceres, et al., 2009).

Los plásticos son un material derivado del petróleo por lo que son residuos de alto valor ya que se estima que entre un 5% y un 7% de la producción mundial de este recurso, es destinado a la producción de este material. Para producir un kilo de plástico se requieren dos kilos de petróleo (ACRR et al, 2004). Debido al aumento dado en los últimos años del sector plástico por su versatilidad en y por el desarrollo tecnológico que se estima crece un 4% anualmente, utilizados en los envases, en la automoción, vivienda, vestido y todo tipo de bienes de consumo (Arandes, et al., 2004). En el 2011, la producción mundial del plástico aumento en 10 millones de toneladas hasta alcanzar casi 280 millones de toneladas (PlasticsEurope, 2012).

Los residuos plásticos tienen implicaciones ambientales significativas, y hacen parte de una problemática de gran impacto y escala. La preocupación ambiental por los residuos plásticos es creciente y gira en torno a cuatro elementos fundamentales: la degradación lenta de los plásticos; la producción de diferentes productos plásticos es creciente, al igual que la generación de residuos; su principal materia prima es no renovable, el petróleo; y algunos de los químicos utilizados para producir los plásticos son tóxicos (Telléz, 2012).

El consumo del poliestireno expandido en los últimos años se ha aumentado desde los 10 millones de toneladas en 1978 hasta los 90 millones de toneladas en el año 2010 correspondientes al 7% del total de residuos sólidos generados actualmente a nivel mundial y estimándose un crecimiento anual del 4% (FMI, 2015). Para disminuir la contaminación causada por este material poco degradable, que tarda más de 1000 años en desaparecer del medio ambiente y evitar su acumulación existen varias formas de reciclarlo (Sierra, 2010).

3.4. RECICLAJE DEL POLIESTIRENO EXPANDIDO

Para reducir el volumen de residuos plásticos se han desarrollado diferentes tratamientos cuyo objetivo final -además del de resolver el problema de su acumulación- es el de recuperar el valor económico y energético que llevan asociados como consecuencia del alto valor añadido que presentan frente a la materia prima de la que proceden: el petróleo. La solución a tomar para hacer disminuir los residuos plásticos debe plantearse de manera particular para cada tipo de residuo, en función de su procedencia, de su estado, de la localización de la planta transformadora y del uso posterior (*Gomez et al, 1997*).

Reciclar es dar una segunda o tercera oportunidad de utilización a un material antes de ser considerada como acabada su vida (*Gomez et al, 1997*). En Colombia se están utilizando los siguientes métodos para el reciclado del Poliestireno Expandido: (*Samper, 2008*).

3.4.1. Reciclaje directo

Implica la recuperación de los residuos generados por la propia industria o en otras empresas transformadoras y se trata de un reciclado de residuos limpios, no contaminados, y de fácil identificación. En la práctica casi el 100% de estos residuos se recuperan y la calidad de los artículos producidos con esta materia, tiene las mismas propiedades que los fabricados con resinas vírgenes (*Domingo, 2011*).

3.4.2. Reciclaje químico

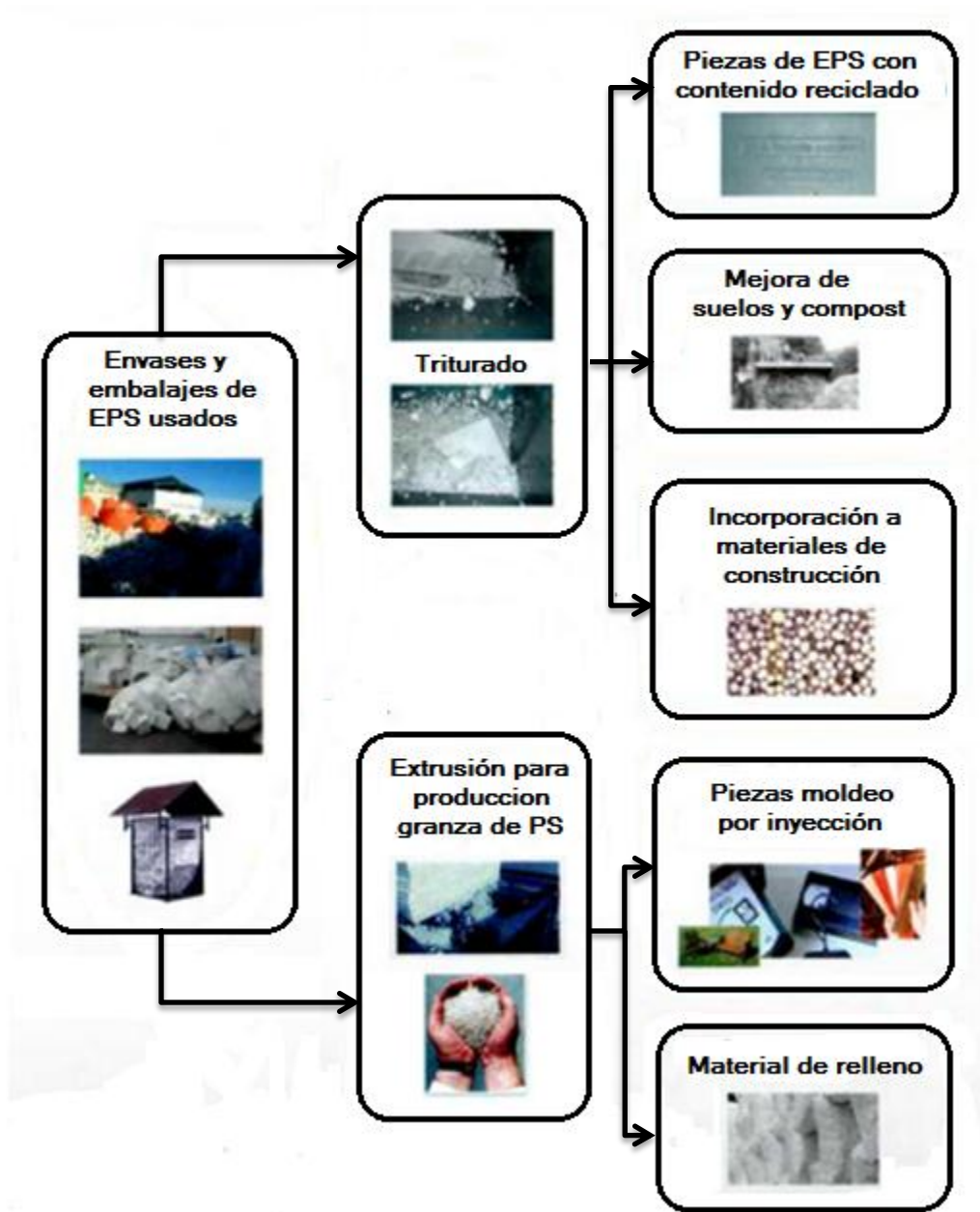
El reciclaje químico se basa en la solubilidad del material en diferentes solventes de acuerdo a su característica de polaridad usando un solvente con la misma característica, según *García (2009)*, el poliestireno es un compuesto no polar, con lo cual se debe usar un solvente no polar para llegar a formar soluciones, dando buenas características y llegando a soluciones saturadas, para garantizar la solubilidad total del material (*García, 2009*).

3.4.3. Reciclaje mecánico

En la gestión y tratamiento de residuos urbanos se tiene el reciclado mecánico que según *Gaiker* nos informa sobre base de la operación es la reducción de tamaño mediante la aplicación de una serie de fuerzas (*Gaiker, 2007*).

El poliestireno expandido puede reciclarse mecánicamente a través de diferentes formas y para diversas aplicaciones como se ilustra detalladamente a continuación: (*Martínez et al, 2012*)

Ilustración 3. Reciclaje mecánico del poliestireno expandido y sus aplicaciones.



Fuente: (ANAPE, 2004).

- **Fabricación de nuevas piezas de poliestireno expandido**

Los envases y embalajes post-consumo pueden triturarse y destinarse a la fabricación de nuevas piezas en Poliestireno Expandido. De esta forma se fabrican nuevos embalajes con contenido reciclado o planchas para la construcción (Martínez et al, 2012).

- **Mejora de suelos**

Los residuos de EPS una vez triturados y molidos se emplean para ser mezclados con la tierra y de esta forma mejorar su drenaje y aireación. También pueden destinarse a la aireación de los residuos orgánicos constituyendo una valiosa ayuda para la elaboración del compost (tipo de abono) (Martínez et al, 2012).

- **Incorporación a otros materiales de construcción**

Los residuos de EPS tras su molido a diferentes granulometrías, se mezclan con otros materiales de construcción para fabricar ladrillos ligeros y porosos, morteros y enlucidos aislantes, hormigones ligeros, etc. (Martínez et al, 2012).

3.5. SOLUBILIDAD DEL POLIESTIRENO EXPANDIDO

El poliestireno expandido es un polímero no polar, por lo cual será atacado por solventes que muestres esta misma característica (ANAPE, 2003).

El poliestireno expandido sufre de forma muy notoria el ataque de disolventes orgánicos tradicionales como la acetona. Sin embargo el poliestireno expandido muestra una notoria resistencia a ser atacado por cualquier medio acuoso básico o ácido (ANAPE, 2003).

Tabla 6. Propiedades químicas del poliestireno expandido.

SUSTANCIA ACTIVA	ESTABILIDAD
Solución Salina	Estable: el EPS no se destruye con una acción prolongada
Jabones y soluciones de tensoactivos	Estable: el EPS no se destruye con una acción prolongada
Lejías	Estable: el EPS no se destruye con una acción prolongada
Ácidos diluidos	Estable: el EPS no se destruye con una acción prolongada
Ácido clorhídrico (al 35%), ácido nítrico (al 50%)	Estable: el EPS no se destruye con una acción prolongada
Ácidos concentrados (sin agua) al 100%	No estable: el EPS se contrae o se disuelve
Soluciones alcalinas	Estable: el EPS no se destruye con una acción prolongada
Disolventes orgánicos (acetona, esterres, etc.)	No estable: el EPS se contrae o se disuelve
Hidrocarburos alifáticos saturados	No estable: el EPS se contrae o se disuelve
Aceites de parafina, vaselina	Relativamente estable: en una acción prolongada, el EPS puede contraerse o ser atacada su superficie
Aceite de diésel	No estable: el EPS se contrae o se disuelve
Carburantes	No estable: el EPS se contrae o se disuelve
Alcoholes (metanol, etanol, etc.)	Estable: el EPS no se destruye con una acción prolongada
Aceites de silicona	Relativamente estable: en una acción prolongada, el EPS puede contraerse o ser atacada su superficie

Fuente: (ANAPE, 2003)

3.6. DISOLVENTES

Los disolventes son sustancias que se utilizan para disolver, diluir y extraer otras sustancias, por lo que tienen varias aplicaciones en la industria. Existen alrededor de un millar de disolventes, pertenecientes a diferentes familias (Gadea et al, 2007), los disolventes más comunes y utilizados actualmente son los disolventes orgánicos, que son compuestos orgánicos volátiles que se utilizan solos o en combinación con otros agentes, en su mayoría son líquidos aunque también pueden ser gases o fluidos supercríticos (Blount, 2008).

3.6.1. Clasificación de los disolventes

Los disolventes se clasifican en familias según el grupo químico al que pertenecen. En ocasiones se utilizan sustancias puras, pero lo más habitual en la industria es el uso de productos que son o contienen mezclas de disolventes.

Tabla 7. Clasificación de las sustancias solventes.

	FAMILIA	EJEMPLOS
ORGÁNICAS	Hidrocarburos aromáticos	Benceno, tolueno, xilenos, cumeno,
	Hidrocarburos alifáticos	Pentano, hexano, heptano
	Hidrocarburos alicíclicos	Ciclohexano, metilciclohexano, terpenos (trementina), pinenos
	Hidrocarburos halogenados	Tricloroetileno, percloroetileno,
	Alcoholes	Metanol, etanol, isopropanol
	Glicoles	Etilenglicol, propilenglicol, dietilenglicol
	Cetonas	Acetona, metiletilcetona
	Ésteres	Acetato de etilo, acetato de metilo,
	Ésteres de ácidos grasos	Ésteres de aceite de coco, Ésteres de aceite de colza

	Éteres	Éter etílico, THF, isopropil éter, dioxano
	Éteres de glicol	Éter monoetílico de etilenglicol, éter monometílico de etilenglicol
	Terpenos	a-pineno, d-limoneno
	Ácidos orgánicos	Ácido acético, ácido oxálico
	Otros	Disulfuro de carbono, óxido de estireno
	Mezclas complejas de composición variable	Disolvente Stoddard, gasolina, White spirit, naftas
INORGÁNICAS	Álcalis	Hidróxido sódico, carbonato sódico, fosfato sódico, amoníaco
	Ácidos minerales	Ácido clorhídrico, ácido sulfúrico, ácido fosfórico, ácido nítrico

Fuente: (Gadea et al, 2007)

3.6.2. Usos y aplicaciones

Debido a sus propiedades químicas como su bajo peso molecular, volatilidad, son escasamente miscibles con agua y bajo punto de ebullición (Blount, 2008), existe una gran variedad de usos de los disolventes, abarcando buena parte de los sectores industriales. El 46% de los disolventes son usados en pinturas y recubrimientos (Gadea et al, 2007).

- Pinturas, lacas y barnices (46%)
- Productos farmacéuticos (9%)
- Colas y pegamentos (6%)
- Tintas de impresión (6%)
- Productos cosméticos (6%)
- Desengrasantes (4%)
- Plaguicidas (2%)
- Productos de limpieza en seco (1%)

Debido a la variedad de usos de los disolventes, se pueden encontrar casi en la totalidad de los procesos industriales, como por ejemplo: (los disolventes orgánicos) (Gadea et al, 2007).

- Refinerías de petróleo
- Industria de los plásticos
- Industria textil
- Industria química y farmacéutica
- Imprentas
- Tintorerías
- Industria de la madera
- Industria del caucho
- Industria del calzado
- Formulación de pinturas, lacas y barnices.

3.6.3. Efectos para la salud y riesgos para el medio ambiente

La mayoría de los disolventes son peligrosos; sin embargo, algunas familias de disolventes orgánicos tienen una serie de características que las hacen muy peligrosas para la salud y el medio ambiente (Gadea et al, 2007).

- **Volatilidad:** Se evaporan a temperatura ambiente y se desplazan largas distancias a través del aire y el agua.
- **Liposolubles:** Se disuelven en las grasas.
- **Tóxicos:** Son muy dañinos para los seres vivos.
- **Inflamables:** Prenden fuego fácilmente.
- **Explosivos:** Pueden explotar bajo ciertas condiciones ambientales o al entrar en contacto con otras sustancias.

- **Bio-acumulativos:** Los disolventes organoclorados se acumulan en tejidos de los seres vivos; además, muchos son persistentes: permanecen durante décadas en el agua, aire, suelo y seres vivos. El hexaclorobenceno, por ejemplo, persiste durante más de 100 años en el agua.
- **Venenosos:** Algunos disolventes se descomponen en gases venenosos, por lo general a altas temperaturas o en contacto con el fuego (*Gadea et al, 2007*).

3.7. SOLVENTES AMIGABLES CON EL AMBIENTE

Con el fin de reducir los efectos nocivos para el medio ambiente que generan los compuestos orgánicos volátiles (COV) emitidos por los disolventes empleados en la industria, se firma en el año 1989 en el Protocolo de Montreal que busca recuperar el daño generado a la capa de ozono para el año 2050. En este protocolo 191 países se comprometieron a sustituir los disolventes orgánicos derivados principalmente del petróleo por disolventes orgánicos derivados de fuentes renovables, como la biomasa (*Blount, 2008*). Consecuentemente a la creación de este protocolo la atención se centró en el desarrollo de solventes amigables con el ambiente (*MarketsandMarkets, 2013*).

Estos también llamados “bio-disolventes” o “solventes verdes” ofrecen diferentes características requeridas por la industria y cumplen los requisitos para aplicaciones en los productos finales. Estos materiales tienen una gran demanda a nivel global y la fabricación está dominada principalmente por América del Norte, especialmente los EE.UU. Las principales industrias de disolventes verdes son limpiadores, pinturas y recubrimientos, tintas de impresión, farmacéutica. Las empresas de fabricación de disolventes bio e instituciones de investigación están haciendo una alta inversión para los futuros avances y la tecnología de estos

disolventes verdes. Estas inversiones son para crear bio-disolventes con un rendimiento similar a los disolventes convencionales y amigables con el medio ambiente (*MarketsandMarkets, 2013*).

3.7.1. El D-Limoneno

Esta molécula mono-terpénica es el componente principal de los aceites esenciales extraídos a partir de cáscaras de cítricos, que por muchos años ha desempeñado un papel importante en el campo del sabor y fragancias gracias a sus propiedades fisicoquímicas (*Virost et al, 2008*).

En la búsqueda actual por obtener solventes más amigables con el ambiente se ha encontrado que el limoneno está entre los disolventes que se pueden utilizar para sustituir hexano y los hidrocarburos halogenados, ya que ha sido sugerido como una alternativa verde muy valiosa (*Golmakani et al, 2014*) por ser un compuesto biodegradable, además que se considera un agente de transferencia de calor limpio y ambientalmente inocuo (*Cerón, 2009*).

El Limoneno posee una constante dieléctrica muy cercana a la de hexano y se ha empleado para la extracción de aceite de salvado de arroz, aceite de orujo de oliva, carotenoides de tomates o algas y recientemente, para la extracción de lípidos de algas a partir de biomasa húmeda (*Golmakani et al, 2014*).

Se desarrolló una técnica para reciclado que utiliza un solvente natural, d limoneno, para reducir el tamaño de poliestireno expandido (EPS). Este se encontró como un buen disolvente de poliestireno expandido. Limoneno tiene casi la misma solubilidad del tolueno a temperatura ambiente. Esta técnica reduce el volumen del poliestireno expandido a aproximadamente 1 / 20 de la original. El poliestireno expandido es reciclable casi sin degradación del peso molecular porque el d-limoneno actúa como un antioxidante del poliestireno durante el proceso de calentamiento (*Noguchi et al, 1998*).

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la producción de pintura para interiores con base en un solvente amigable con el ambiente, incorporando residuos de poliestireno expandido.

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar los residuos post industriales del poliestireno expandido utilizando los diferentes métodos de análisis tales como: Índice de fluidez (MFI), Análisis termo gravimétrico (TGA), Calorimetría diferencial de barrido (DSC) y Espectrometría infrarroja (FTIR).
- Determinar el efecto de la temperatura de mezclado y la relación poliestireno expandido-solvente en la elaboración de pintura y el impacto que tiene en las propiedades finales del producto.
- Evaluar las propiedades físicas, químicas y reológicas del producto obtenido y compararlo con productos comerciales.

5. METODOLOGÍA

5.1. CARACTERIZACIÓN DEL RESIDUO

Como primera etapa de la investigación es necesario conocer las condiciones en las que se encuentra el Poliestireno expandido (EPS) que se obtiene de residuos post industriales de la empresa ECOPLEX S.A.S.

Para iniciar la caracterización del residuo es necesario determinar algunas propiedades fisicoquímicas y reológicas descritas a continuación:

5.1.1. Espectrometría infrarroja por transformada de Fourier (FTIR)

Esta técnica es utilizada para identificar un compuesto o investigar la composición de una muestra mediante la espectrometría de absorción que utiliza la región infrarroja del espectro electromagnético. Es común en la industria como en la investigación científica, útil por ser una técnica rápida y confiable para las medidas, control de calidad y análisis dinámicos (*Pérez, 2015*).

Este análisis fue realizado por la técnica de transmisión en el Instituto de Capacitación e Investigación del Plástico y del Caucho (ICIPC).

Ilustración 4.Espectrofotómetro Infrarrojo, Nicolet 6700 Thermo Scientific.



Fuente: (ICIPC, 2014).

En la siguiente tabla se presentan las condiciones experimentales para el análisis de las muestras:

Tabla 8. Condiciones de operación para la prueba de espectrometría infrarroja (FTIR) elaborada en el ICIPC.

Condiciones del ensayo	
Fuente	Infrarrojo
Frecuencia del laser	15798.2 cm ⁻¹
Detecto	DTGS KBr
Resolución	4 cm ⁻¹
Ganancia de fondo	Autogancia
Número de puntos para la transformada de Fourier	8192
Rango de numero de onda	400 cm ⁻¹ – 4000 cm ⁻¹
Forma final de la ordenada	Observación
Numero de barridos	32
Accesorios usados	Transmisión

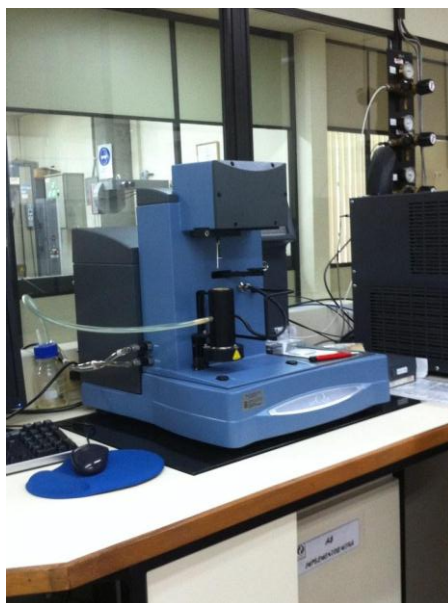
Fuente: (ICIPC, 2014).

5.1.2. Análisis termo gravimétrico (TGA):

Técnica instrumental generalmente empleada para hallar la temperatura a la cual se descomponen ciertos materiales; en este método de análisis se detecta la variación del peso molecular de la muestra a analizar, dependiente del tiempo y temperatura a la que son sometidas las muestras. Como por ejemplo: sublimaciones, reducciones, absorción, etc.

La representación de la masa o del porcentaje de masa en función del tiempo se denomina termograma o curva de descomposición térmica (*Skoog et al, 2001*). Este ensayo se realizó en el Instituto de Capacitación e Investigación del Plástico y el Caucho (ICIPC) siguiendo la metodología propuesta por la ASTM (*American Society for Testing and Materials*) en su norma E1131- 2008.

Ilustración 5. Analizador termo gravimétrico, TGA Q500, TA Instruments.



Fuente: (ICIPC, 2014)

Las condiciones experimentales empleadas durante el análisis de las muestras se describen a continuación:

Tabla 9. Condiciones de operación para la prueba de análisis termogravimétrico (TGA) elaborada en el ICIPC.

Condiciones del ensayo	
Temperatura inicial (°C)	25
Velocidad de calentamiento y enfriamiento (°C/min)	10
Temperatura final (°C)	900
Atmosfera utilizada de 30°C a 600°C	Nitrógeno
Caudal total de nitrógeno (ml/min)	100
Atmosfera utilizada de 600°C a 900°C	Oxígeno
Caudal total de oxígeno (ml/min)	100

Fuente: (ICIPC, 2014).

5.1.3. Índice de fluidez

En la industria del plástico esta prueba reológica es comúnmente utilizada para conocer la fluidez de los polímeros, generalmente para estudios de materias primas o también para pruebas de calidad. Este ensayo fue realizado en el Instituto de Capacitación e Investigación del Plástico y del Caucho (ICIPC) siguiendo la metodología de la norma propuesta por la ISO (*International Organization for Standardization*) en su norma 1133-1997.

Ilustración 6. Equipo de medición del índice de fluidez marca Göttfert, modelo MP – E.



Fuente: (ICIPC, 2014)

Las condiciones de operación a las que se realizaron las pruebas se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 10. Condiciones de operación para la prueba de índice de fluidez (MFI) elaborada por el ICIPC.

Condiciones del ensayo	
Temperatura del ensayo (°C)	200
Carga Aplicada (Kg)	2,16
	3,8
	5
Tiempo de fundido (min)	2
Forma física del material	Molido
Longitud de medida (mm)	25,4
Procedimiento utilizado	A
Tiempo de intervalo de corte (s)	20
	5
	5

Fuente: (ICIPC, 2014)

5.1.4. Calorimetría diferencial de barrido (DSC)

Es una técnica térmica en la que se miden las diferencias en la cantidad de calor aportado a una sustancia y a una muestra referencia en función de la temperatura de la muestra, cuando las dos están sometidas a un programa de temperatura controlado (Skoog *et al*, 2001). En este método de análisis se detectan las transiciones de primer y segundo orden en los materiales, como son la fusión, cristalización, transiciones vítreas, ensayos de estabilidad a la oxidación, entre otros (Álvarez *et al*, 2013). Este ensayo se realizó en el Instituto de Capacitación e Investigación del Plástico y del Caucho (ICIPC) siguiendo la metodología propuesta por ASTM (*American Society for Testing and Materials*) en la norma D3418-2003.

Ilustración 7. Calorímetro diferencial de barrido con calentamiento modulado MDSC Q200, TA Instruments.



Fuente: (ICIPC, 2014)

5.2. DISEÑO DE EXPERIMENTOS

5.2.1. Ensayos Preliminares

Se desarrollaron algunos ensayos preliminares con el fin de obtener los conocimientos necesarios y corroborar los obtenidos a través de la literatura a nivel de laboratorio, antes de plantear el diseño de experimentos a realizar.

A continuación se muestran los ensayos realizados y las conclusiones de los resultados obtenidos.

- **Ensayo de solubilidad: Comparativo de solventes**

Si se escoge el disolvente adecuado se producirá una reducción significativa del EPS y el polímero no sufre degradación adicional. Sin embargo, la mayoría de solventes son tóxicos y conllevan problemas ambientales (*Noguchi, 1998*).

Se encontró una técnica donde se emplea un solvente orgánico, no tóxico y amigable con el ambiente llamado D-limoneno para reducir el tamaño del poliestireno expandido (EPS). Esta técnica reduce el volumen de EPS a aproximadamente 1/20 de la Original (*Noguchi et al, 1998*).

Debido a lo anterior se decidió comparar la solubilidad del EPS en d-limoneno y en algunos de los solventes usados comúnmente en la industria para fabricar pintura:

Se agregó poliestireno expandido (EPS) previamente triturado en los diferentes recipientes con los solventes hasta evidenciar que éste dejaba de disolverse y formaba grumos, los ensayos fueron realizados a temperatura ambiente con agitación constante en el laboratorio. Con esto se logró evidenciar que los

solventes empleados (Tabla 11) tienen un porcentaje de solubilidad del poliestireno expandido similar. Igualmente se logró comprobar lo mencionado por *Noguchi (1998)* en su artículo cuando afirma que el d-limoneno tiene una solubilidad del poliestireno expandido similar al del tolueno, solvente comúnmente empleado para la fabricación de pinturas.

Tabla 11. Ensayos preliminares de solubilidad del poliestireno expandido en solventes comúnmente empleados para la fabricación de pintura.

Solvente	Solubilidad (g/ml)
Tolueno	0.413
Acetato de Etilo	0.352
Acetato de Butilo	0.094
Cloroformo	0.203
MEK (Metil-etil-cetona)	0.022
D-Limoneno	0,382

Fuente: (Miranda et al, 2015).

- **Ensayo de extracción de D-limoneno de la cáscara de naranja**

Luego de encontrar y comprobar que el d-limoneno cumple con las características buscadas para la realización de este proyecto, se buscó realizar la extracción de este solvente empleando cascaras de naranja como una opción más viable ambientalmente y económicamente.

Se realizó un arrastre de vapor con un aparato tipo Clevenger para extraer el d-limoneno, presente en los aceites esenciales de la cascara de naranja, pero se encontró que el montaje utilizado y que se encontraba al alcance del proyecto no eran lo suficientemente eficientes, pues requiere de cantidades muy grandes de material y tiempo. Consecuentemente se toma la decisión de adquirir el d-

limoneno para las pruebas posteriores en un distribuidor nacional de compuestos químicos.

Ilustración 8. A) Montaje de arrastre a vapor tipo Clevenger para extracción de D-Limoneno con cascaras de naranja en el laboratorio. **B)** Aceite extraído durante el arrastre de vapor.



Fuente: (Miranda et al, 2015)

5.2.2. Diseño Factorial (2 Factores-3 Niveles)

Se plantea un diseño factorial para la mezcla base de poliestireno expandido y d-limoneno, en el cual se variará la concentración del poliestireno en la mezcla y la temperatura de la misma, estas dos en tres niveles diferentes (alto, medio y bajo).

Dejando fijas variables como la velocidad de agitación, porcentaje de pigmentos, cargas, aditivos y el volumen de D- limoneno que cumple la función de solvente.

El diseño factorial es un diseño 3^2 , con lo cual se tienen 9 ensayos, con 2 réplicas para un total de 27 tratamientos. En la tabla 12 se muestra la matriz aleatorizada con los tratamientos obtenidos por medio del software Statgraphics Centurion

XVII, el objetivo de aleatorizar el diseño de experimentos es reducir los errores experimentales.

Tabla 12. Matriz aleatorizada del diseño factorial 3².

BLOQUE	MUESTRA	CONCENTRACION	TEMPERATURA (°C)
1	1	0,20	50
1	2	0,50	50
1	3	0,20	75
1	4	0,20	25
1	5	0,35	75
1	6	0,50	75
1	7	0,35	25
1	8	0,50	25
1	9	0,35	50
2	1	0,20	50
2	2	0,35	75
2	3	0,20	75
2	4	0,35	50
2	5	0,35	25
2	6	0,50	25
2	7	0,20	25
2	8	0,50	50
2	9	0,50	75
3	1	0,50	75
3	2	0,35	25
3	3	0,35	75
3	4	0,20	25
3	5	0,50	25
3	6	0,20	75
3	7	0,20	50
3	8	0,50	50
3	9	0,35	50

Fuente: (Miranda et al, 2015).

- **Procedimiento**

Ilustración 9. Diagrama de bloques del procedimiento a seguir en la fabricación de la pintura a base de poliestireno expandido y limoneno.



Fuente: (Miranda et al, 2015)

El proceso inicia con la recolección del material. Se empleará un polvillo de poliestireno expandido que resulta de la limpieza de bloques de este mismo material usados para el reciclaje en la empresa ECOPLEX S.A.S.

Luego se prepara la primera mezcla que se compone de cargas, acelerantes de secado, pigmentos y solvente (limoneno) que en este caso irán incluidos en un volumen fijo en la preparación de la pintura, éstas debidamente mezcladas.

Por separado se comienza la preparación de las mezclas del resto de solvente y poliestireno expandido, que se realiza según las proporciones planteadas en el diseño de experimentos; estas mezclas se harán a escala de laboratorio en beakers a una agitación constante, hasta que se encuentren homogéneas. Debido a que el polvillo de poliestireno expandido contiene impurezas, se realiza un proceso de filtrado empleando una tela filtrante con el fin de remover dichas impurezas.

El siguiente paso en la preparación es unir las dos mezclas y se realiza una agitación hasta que se encuentre homogénea.

Las muestras obtenidas serán empleadas para realizar los respectivos análisis que se describen a continuación.

- **Formulación**

Para llevar a cabo el procedimiento es necesario formular previamente de qué manera se van a elaborar las muestras de pintura. A continuación se tabulan las cantidades en gramos empleadas de todos los componentes durante los experimentos para las tres composiciones evaluadas en este proyecto:

Tabla 13. Formulación para la elaboración de las pinturas en el diseño de experimentos.

Componentes \ Concentración EPS		0,2	0,35	0,5
Resina	Poliestireno Expandido (gr)	34,5	60,4	86,3
Solvente	D-Limoneno (gr)	172,6	172,6	172,6
Pigmentos	Pigmento amarillo (gr)	14,4	14,4	14,4
	Dióxido de titanio (gr)	8,6	8,6	8,6
Aditivo	Octoato de calcio (gr)	2,9	2,9	2,9
Cargas	Talco (gr)	1,5	1,5	1,5
	Carbonato de calcio (gr)	1,5	1,5	1,5

Fuente: (Miranda et al; 2015)

5.2.3. Determinación de las variables de respuesta

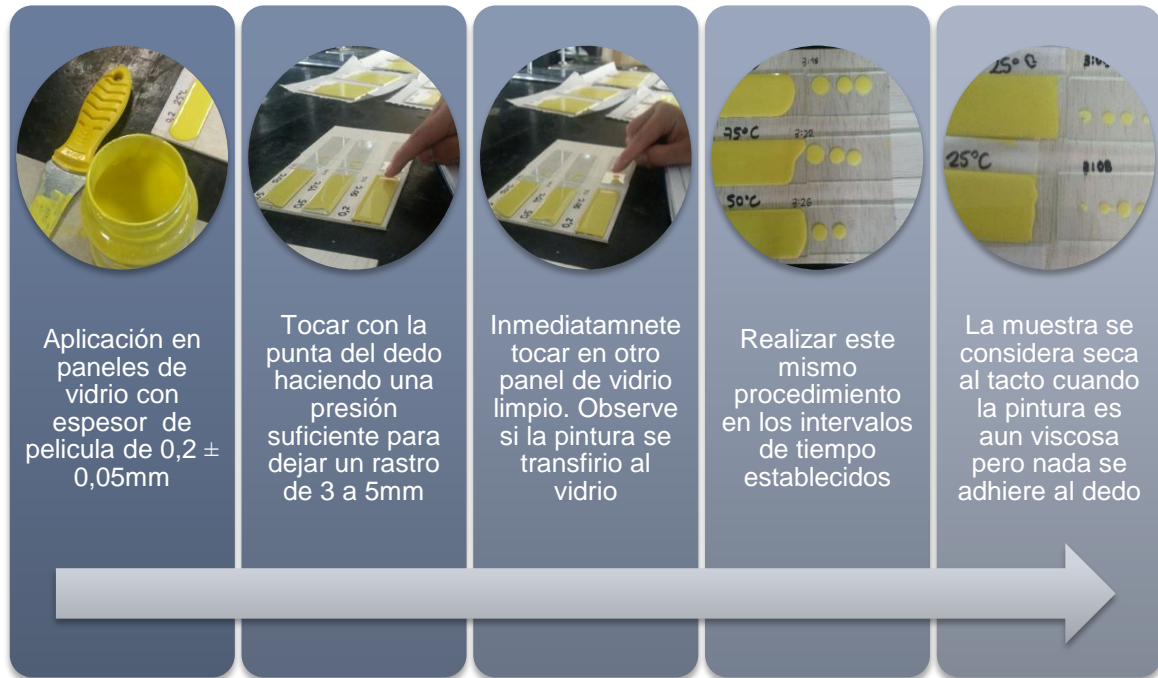
Las variables de respuesta evaluadas en este diseño factorial fueron; tiempo de secado, adhesión, consistencia y poder cubriente; la información que brindan estas pruebas y el procedimiento necesario para llevarlas a cabo se explica a continuación:

- **Tiempo de secado**

Este método se usa para determinar las diferentes etapas y las velocidades de secado, curado y formación de película de los recubrimientos orgánicos, con el fin de comparar los diferentes tipos de recubrimientos, el cambio de ingredientes o ambos. Según la norma ASTM D1640 se realizarán los ensayos de secado en un cuarto bien ventilado, libre de polvo, bajo una luz difusa, a una temperatura

ambiente de 23°C +/- 2°C y a 50% +/- 5% de humedad relativa con los paneles recubiertos en posición horizontal mientras se secan (ASTM, 2014).

Ilustración 10. Procedimiento para la prueba de tiempo de secado.



Fuente: (Miranda et al, 2015)

El tiempo de secado se establece en el momento del procedimiento en el que se toca la muestra con el dedo, y se siente viscosa la pintura pero nada de ella se adhiere al dedo. Este tiempo es tomado en minutos.

- **Adhesión**

Para que un recubrimiento cumpla con su función de cubrir o proteger un sustrato, debe adherirse a este durante todo su periodo de vida útil. Debido a que el sustrato y la preparación de la superficie (o falta de esta), tienen un efecto drástico sobre la adhesión del recubrimiento se emplea el método de la cinta

descrito en la norma ASTM D3359 para evaluar el grado de adhesión de la pintura a una superficie (ASTM, 2014).

Ilustración 11. Procedimiento para la prueba de adhesión por el método de la cinta.



Fuente: (Miranda et al, 2015).

Luego de realizar el anterior procedimiento a todas las muestras de pintura, se clasifica cada prueba con la tabla de resultados que veremos a continuación, la cual muestra los resultados en una escala de 0 a 5, siendo 5 el mejor resultado esperado y 0 el peor.

Ilustración 12. Clasificación de los Resultados de la Prueba de Adhesión, Tomada de la norma ASTM3359.

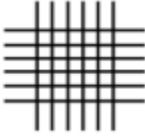
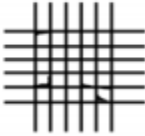



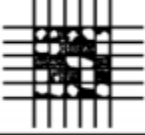
CLASSIFICATION OF ADHESION TEST RESULTS		
CLASSIFICATION	PERCENT AREA REMOVED	SURFACE OF CROSS-CUT AREA FROM WHICH FLAKING HAS OCCURRED FOR SIX PARALLEL CUTS AND ADHESION RANGE BY PERCENT
5B	0% None	
4B	Less than 5%	
3B	5 - 15%	
2B	15 - 35%	
1B	35 - 65%	
0B	Greater than 65%	

FIG. 1 Classification of Adhesion Test Results

Fuente: (ASTM, 2014)

- **Viscosidad**

El método de la copa Ford es útil para la determinación de la viscosidad de las pinturas y otros recubrimientos. La copa de viscosidad Ford se llena a nivel completo con el líquido bajo prueba a temperatura ambiente, y se mide el tiempo para que el material fluya a través de uno de los orificios estándar como lo

especifica la norma ASTM D1200. Esta presenta valores útiles para especificar y controlar la consistencia de pinturas que se aplican generalmente con brocha o rodillo (ASTM, 2014). La prueba debe realizarse en un cuarto libre de corrientes de aire y de cambios bruscos de temperatura, La temperatura ambiente debe estar entre 25°C y 28°C.

Ilustración 13. Procedimiento para la prueba de viscosidad empleando la copa Ford.



Fuente: (Miranda et al, 2015)

Al finalizar esta prueba se obtuvo un dato en tiempo (segundos), que se utiliza en el cálculo de viscosidad cinemática en unidades de centiStokes, utilizando las siguientes fórmulas dadas por la norma ASTM D1200. según el número de boquilla empleada.

$$V_1 = 0.49 (t - 35.0)$$

$$V_2 = 1.44 (t - 18.0)$$

$$V_3 = 2.31 (t - 6.58)$$

$$V_4 = 3.85 (t - 4.49)$$

$$V_5 = 12.1 (t - 2.00)$$

Donde V_1 , V_2 , V_3 , V_4 , y V_5 = viscosidad cinemática, usando orificio No. 1, 2, 3, 4, y 5, respectivamente.

- **Fabricación de copa Ford**

Para la realización de la prueba de viscosidad, el proyecto no contaba con el equipo exigido por la norma, que en este caso es la copa Ford. Debido a esto y teniendo los planos de fabricación obtenidos de la norma ASTM D1200 se dispuso a la elaboración de la copa en acero inoxidable con la colaboración de los talleres de metalmecánica de la Universidad EAFIT.

Ilustración 14. Copa Ford en acero inoxidable fabricada en la universidad EAFIT.



Fuente: (Miranda et al, 2015)

- **Poder de cubrimiento**

El poder de cubrimiento es la habilidad de un material de ocultar un substrato para producir una opacidad específica. Se seguirá la norma NTC4974 que especifica un método para la determinación del poder cubriente de forma cualitativa empleando cartulinas de contraste, y se establece una escala de opacidad del color estándar para darle un valor cuantitativo a la misma y de esta manera incluirlo en el diseño experimental.

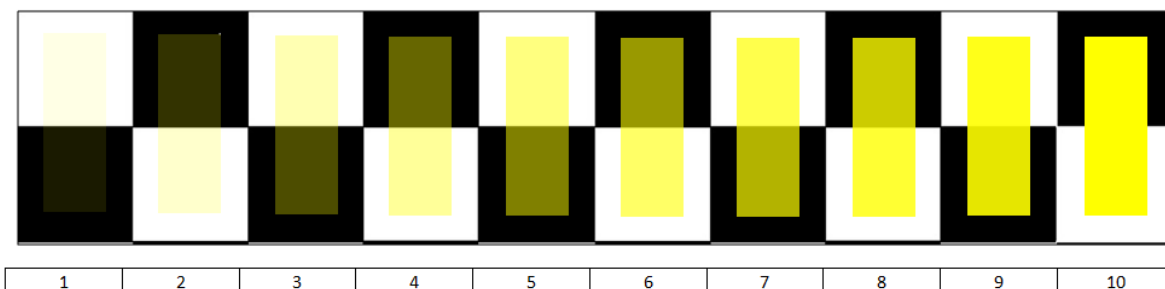
Ilustración 15. Procedimiento para la realización de la prueba de poder cubriente.



Fuente: (Miranda et al, 2015)

Como se describe en el procedimiento, las cartulinas de contraste se comparan con la siguiente imagen, que muestra la escala empleada para otorgarle un valor cuantitativo a la prueba de poder cubriente.

Ilustración 16. Escala de opacidad empleada en la prueba de poder cubriente.



Fuente: (Miranda et al; 2015)

5.3. COMPARACIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL PRODUCTO OBTENIDO CON UN PRODUCTO COMERCIAL

Luego de la determinación de la mejor mezcla por medio del diseño de experimentos se evalúan las mismas propiedades físicas, químicas y reológicas evaluadas anteriormente como variables de respuesta en una pintura comercial del mismo color. Esto con el fin de comparar la pintura obtenida con una pintura estándar y así determinar su posible uso a nivel comercial.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

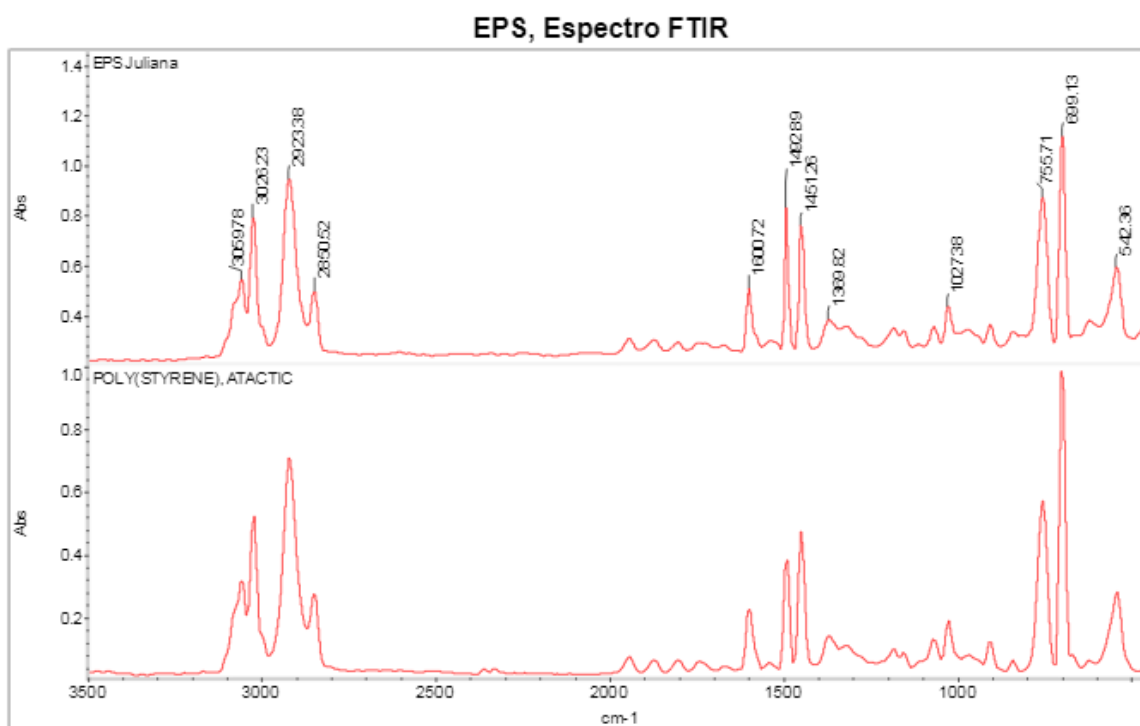
6.1. CARACTERIZACIÓN DEL RESIDUO

Se realizaron 4 pruebas con el objetivo de conocer las características fisicoquímicas del residuo, haciendo uso de los convenios de la universidad con el Instituto de Capacitación e Investigación del Plástico y del Caucho (ICIPC).

6.1.1. Espectrometría infrarroja por transformada de Fourier (FTIR)

Utilizando esta técnica se puede interpretar el espectro infrarrojo y compararlo con bases de datos especializadas para determinar la presencia de grupos funcionales definidos en la estructura molecular del polvillo de EPS reciclado, y de esta manera identificar si existen otros componentes diferentes al poliestireno expandido (EPS) en el residuo recolectado. El resultado se muestra a continuación en la imagen 17, donde se muestran las bandas de absorción características del material analizado.

Ilustración 17. Espectro infrarrojo para la muestra de polvillo de EPS recolectado elaborada en el ICIPC y la comparación del mismo con la biblioteca del Instituto.



Fuente: (ICIPC, 2014)

En el espectro infrarrojo FTIR de la muestra, se pueden observar la presencia de absorbancias, a números de onda, $3100 - 3000\text{cm}^{-1}$ correspondientes a las extensiones CH aromático, 2923cm^{-1} , 2851cm^{-1} , atribuidas a las extensiones asimétrica y simétrica de los grupos CH_2 , $1601 - 1451\text{cm}^{-1}$, 1027cm^{-1} , 755cm^{-1} , 699cm^{-1} y 589cm^{-1} pueden ser atribuidas a las extensiones del anillo aromático, 1370cm^{-1} corresponde a flexiones del grupo CH_2 , entre otras. De acuerdo a estas absorbancias y a la búsqueda en la biblioteca, se encuentra una correlación del 96% con el poliestireno.

6.1.2. Análisis termogravimétrico (TGA)

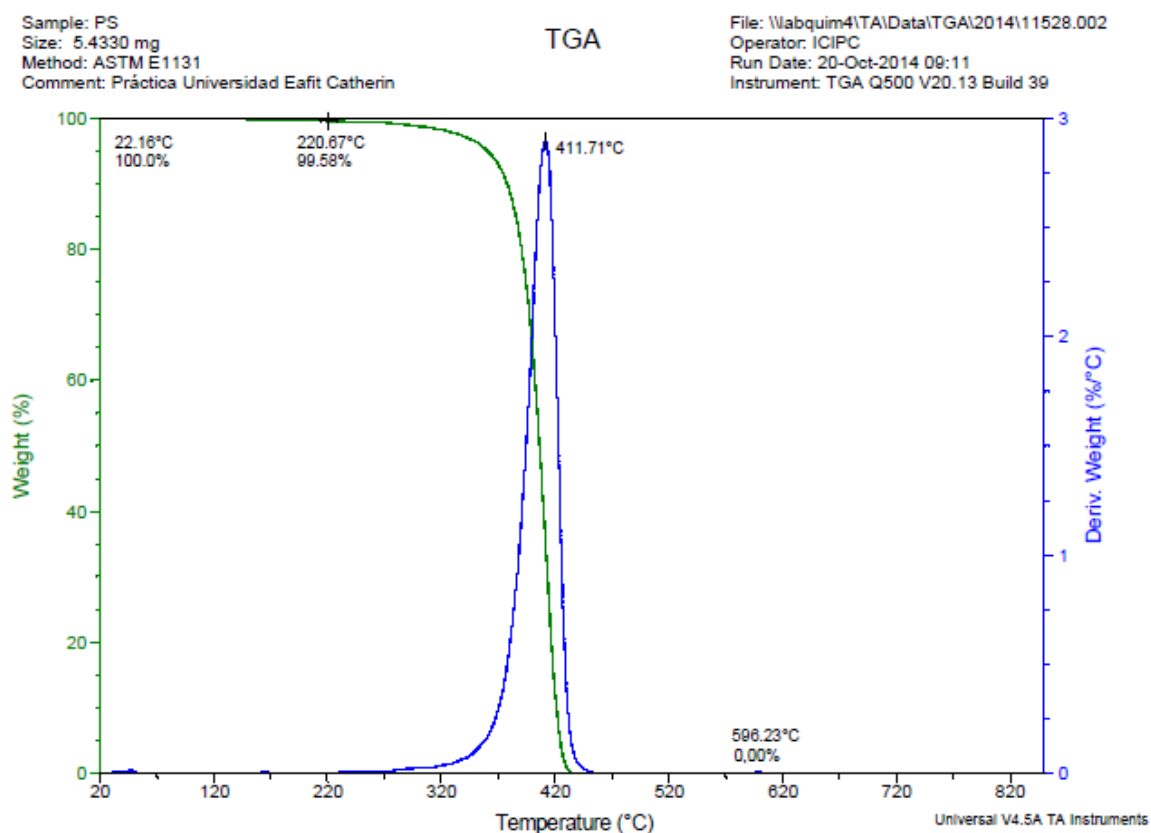
Tabla 14. Resultados del análisis termogravimétrico realizado al residuo en el ICIPC.

Transición	Rango de temperatura de descomposición 0C	Porcentaje en peso, %
Compuestos de bajo peso molecular	<220,67	0,42
Pérdida de peso 2	220,667-596,23	99,58
Total		100

Fuente: (ICIPC, 2014)

Ilustración 18. Termograma obtenido de la prueba de TGA, elaborado por ICIPC para la muestra de polvillo de poliestireno expandido.

EPS, Termograma TGA



Fuente: (ICIPC, 2014)

En la curva termogravimétrica obtenida se puede observar dos intervalos de pérdida de masa. La primera pérdida de masa tiene lugar en una temperatura de 220.67°C donde se aprecia un 0.42% de pérdida de masa de la muestra. La segunda pérdida significativa la encontramos en 411.71°C que se considera es la temperatura de degradación del material debido a que esta estaría producida por la desestabilización de la estructura de la muestra analizada.

Podemos comparar estos resultados de la curva termogravimétrica del EPS reciclado con los datos obtenidos de una curva de EPS sin reciclar en el artículo *“Recycling of expanded polystyrene from packaging” (Samper et al, 2010)*, donde se obtuvo una temperatura de degradación de 406.53°C, Lo que nos confirma que el EPS reciclado utilizado en este proyecto no muestra signo de desgaste, por lo que se podría validar que conserva sus propiedades.

6.1.3. Índice de fluidez (MFI)

La procesabilidad de un material juega un papel importante en la determinación de la viabilidad de su uso a nivel industrial. El índice de fluidez no es una propiedad intrínseca del polímero sino un parámetro empírico que depende de las propiedades físicas y de la estructura molecular del polímero. Por lo tanto, la prueba del índice de fluidez (MFI) se utiliza para determinar la mejor manera de procesar un polímero.

Los resultados de las pruebas para la muestra de polvillo de poliestireno expandido recolectado llevados a cabo en el ICIPC a 200°C y 3 diferentes cargas se presentan a continuación:

Ilustración 19. Resultados de la prueba de Índice de fluidez elaborada por ICIPC para la muestra de polvillo de poliestireno expandido.

Condición 1: 200/2,16kg-(20s)

Característica	MFR (g/10 min)	MVR (cm ³ /10 min)	Densidad (g/cm ³)
Medición	3,82	7,24	0,52

Condición 2: 200/3,8kg-(5s)

Característica	MFR (g/10 min)	MVR (cm ³ /10 min)	Densidad (g/cm ³)
Medición	21,10	21,10	1,00

Condición 3: 200/5,0kg-(5s)

Característica	MFR (g/10 min)	MVR (cm ³ /10 min)	Densidad (g/cm ³)
Medición	26,52	22,63	1,17

Fuente: (ICIPC, 2014)

La comparación del MFI del poliestireno recolectado con el MFI de los poliestirenos comerciales - que varía alrededor de 20 y 30 g/10min (*Shuler et al, 2011*)- indica que el polvillo de poliestireno obtenido conserva las propiedades del material virgen y por lo tanto puede ser reprocesado por inyección o extrusión para la elaboración de distintos productos como producción de EPS o poliestireno extruido, paneles aislantes y artículos desechables.

La medida del índice de fluidez es inversamente proporcional a la viscosidad del material en estado fundido por lo que de los resultados también se puede concluir que la viscosidad del EPS en estado fundido es baja.

Adicionalmente, el índice de fluidez es una medida cualitativa de la degradación termomecánica de un polímero. La degradación del polvillo de poliestireno expandido empleado para el ensayo se puede observar en la siguiente ilustración:

Ilustración 20. Aspecto físico del polvillo de EPS luego de la fundición.



Fuente: (Miranda et al, 2015)

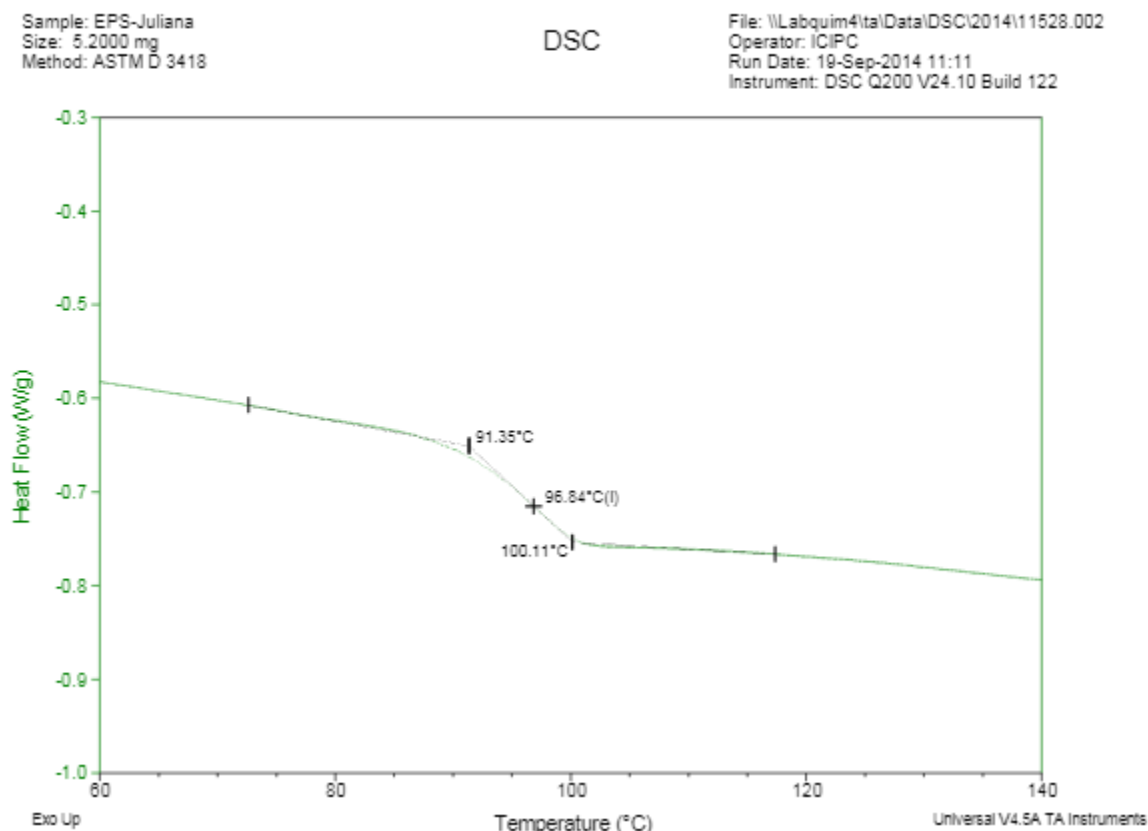
6.1.4. Calorimetría diferencial de barrido (DSC)

La respuesta de los materiales frente al calor depende de las características y propiedades intrínsecas de cada material. Las curvas obtenidas usando la calorimetría diferencial de barrido (DSC) ofrecen información sobre las transiciones que ocurren en el material debido a la acción de la temperatura. Las variaciones de estas transiciones desvelan los cambios de estructura ocurridos en el material.

En la ilustración 21. se representa el gráfico obtenido por DSC de una muestra de polvillo de poliestireno expandido recolectado como residuo de la industria, sometida a un ciclo calentamiento-enfriamiento-calentamiento en un intervalo de 60 a 140°C a una velocidad de 10°C/min en una atmósfera inerte de Nitrógeno.

Ilustración 21. Termograma obtenido durante la prueba de DSC elaborado por ICIPC para la muestra de polvillo de EPS.

EPS, Termograma DSC, segundo calentamiento



Fuente: (ICIPC, 2014)

El análisis DSC determinó que la temperatura de transición vítrea (T_g) del poliestireno expandido recolectado es de $96,84^{\circ}\text{C}$. Esta temperatura se le atribuye al poliestireno atáctico que varía alrededor de los 100°C . Otro fenómeno observado es que la temperatura de transición vítrea del PS cristal ($82,93^{\circ}\text{C}$) es menor que las del EPS recuperado ($96,84^{\circ}\text{C}$), lo que indica que las propiedades térmicas y mecánicas del material estudiado serán mejores que las del Poliestireno Cristal.

6.2. DISEÑO DE EXPERIMENTOS

Como se describió en la metodología, luego de la preparación de los tratamientos se realizaron las pruebas de tiempo de secado, adhesión, viscosidad y poder de cubrimiento, elegidas como las variables de respuesta para el diseño de experimentos a cada una de las muestras. Los resultados obtenidos en las pruebas se tabulan a continuación:

Tabla 15. Resultados obtenidos en el diseño de experimentos multifactorial.

Bloque	Muestra	Concentración (p/p)	Temperatura (°C)	Viscosidad (cst)	Tiempo de secado (min)	Adhesión	Poder de cubrimiento
1	1	0,20	25	224,3395	270	4	4,0
1	2	0,20	50	215,0995	300	3	3,0
1	3	0,20	75	201,2395	315	4	4,0
1	4	0,35	25	3486,01	165	5	6,5
1	5	0,35	50	3497,384	210	4	7,0
1	6	0,35	75	3527,997	225	5	8,0
1	7	0,50	25	15464,042	135	5	8,0
1	8	0,50	50	16654,077	180	5	7,5
1	9	0,50	75	17916,47	195	5	8,0
2	1	0,20	25	219,527	285	4	3,5
2	2	0,20	50	208,0925	300	4	4,0
2	3	0,20	75	193,501	345	4	3,0
2	4	0,35	25	2085,391	150	5	7,0
2	5	0,35	50	2168,243	195	5	7,5
2	6	0,35	75	2263,6075	225	5	7,0
2	7	0,50	25	15369,904	120	4	7,0
2	8	0,50	50	16913,501	180	5	7,5
2	9	0,50	75	18532,481	195	5	8,0
3	1	0,20	25	218,372	285	3	4,5
3	2	0,20	50	208,516	315	3	3,0

Bloque	Muestra	Concentración (p/p)	Temperatura (°C)	Viscosidad (cst)	Tiempo de secado	Adhesión	Poder de cubrimiento
3	3	0,20	75	192,5	330	4	4,0
3	4	0,35	25	3187,624	165	5	7,5
3	5	0,35	50	3265,669	210	5	7,5
3	6	0,35	75	3313,222	225	4	8,0
3	7	0,50	25	15695,515	135	4	7,5
3	8	0,50	50	16547,476	180	5	7,5
3	9	0,50	75	18267,612	210	5	8,0

Fuente: (Miranda et al, 2015)

Estos resultados se ingresaron al programa Statgraphics Centurion XVII para realizar un análisis estadístico de cada uno de ellos y de cómo se afectan cada una de las variables de respuesta por la concentración y la temperatura de la mezcla.

6.2.1. Tiempo de secado

Ilustración 22. Tabla ANOVA para la variable de respuesta Tiempo de secado.

ANÁLISIS DE VARIANZA PARA TIEMPO DE SECADO					
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Temperatura	17112,5	1	17112,5	32,42	0,0000
B:Concentración	82012,5	1	82012,5	155,36	0,0000
AB	300,0	1	300,0	0,5	0,4586
Error total	12141,7	23	527,899		
Total (corr.)	111567,0	26			

R-cuadrada=89,1171 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.)=87,6976 por ciento

Error estandar del est.=22,976

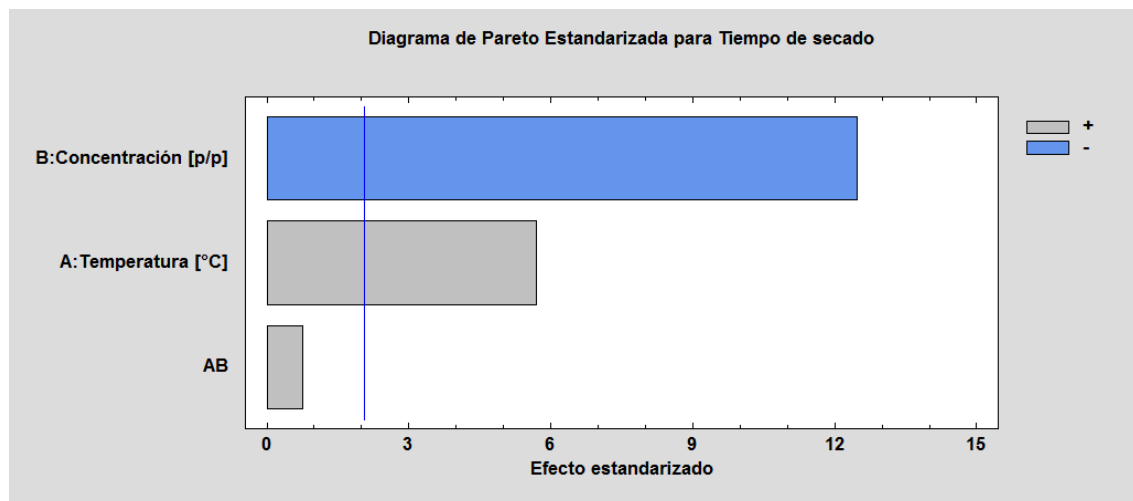
Fuente: (Statgraphics, 2016)

La tabla ANOVA descompone la variabilidad de las variables de respuesta en piezas separadas para cada uno de los efectos. Entonces prueba la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental.

En la ilustración 22, dos valores de P son menores a 0,05, estos factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre el tiempo de secado con un 95% de nivel de confianza. Adicionalmente, el estadístico R-cuadrada indica que el modelo, así ajustado, explica el 87,12% de la variabilidad del tiempo de secado.

El efecto de cada uno de los factores en el tiempo de secado se analiza en las siguientes gráficas:

Ilustración 23. Diagrama de Pareto para la variable de respuesta tiempo de secado.

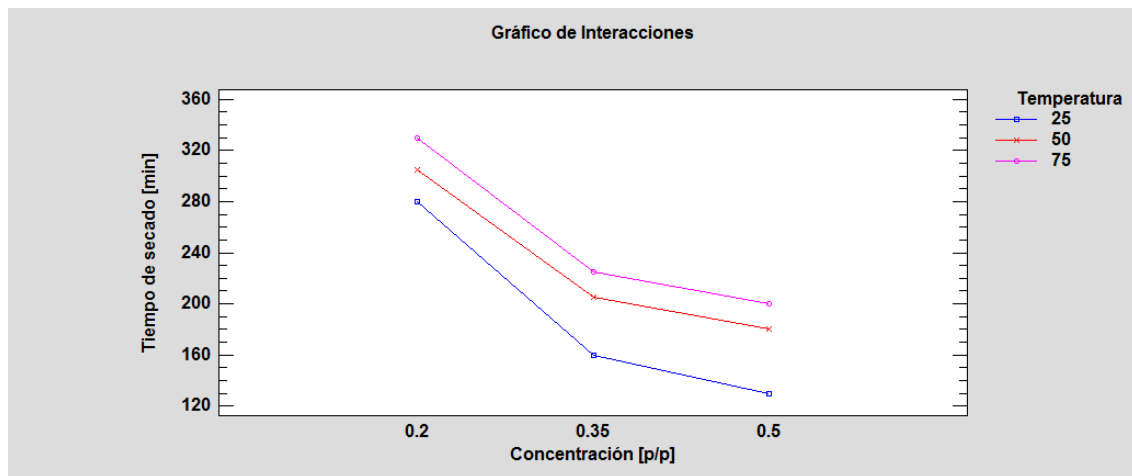


Fuente: (Statgraphics, 2016)

El diagrama de Pareto confirma si los factores afectan la variable de respuesta y de qué manera. Como se observa en la ilustración 23 según el análisis estadístico realizado para el tiempo de secado, tanto la concentración como la temperatura afectan el resultado, siendo más influyente el primer factor.

También se puede observar en el gráfico de interacciones, ilustrado a continuación, que ambos factores afectan de diferente manera, ya que a mayor concentración menor será el tiempo de secado mientras que por el contrario a mayor temperatura mayor será el tiempo de secado.

Ilustración 24. Gráfico de interacciones de los factores de concentración y temperatura en el tiempo de secado de la pintura.



Fuente: (Statgraphics, 2016)

6.2.2. Adhesión

Ilustración 25. Tabla ANOVA para la variable de respuesta de Adhesión.

ANALISIS DE VARIANZA PARA ADHESIÓN					
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Temperatura	0,22222	1	0,22222	0,77	0,3900
B:Concentración	5,55556	1	5,55556	19,19	0,0002
AB	0,08333	1	0,08333	0,29	0,5967
Error total	6,65741	23	0,289452		
Total (corr.)	12,5185	26			

R-cuadrada=46,8195 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l)=39,8829 por ciento

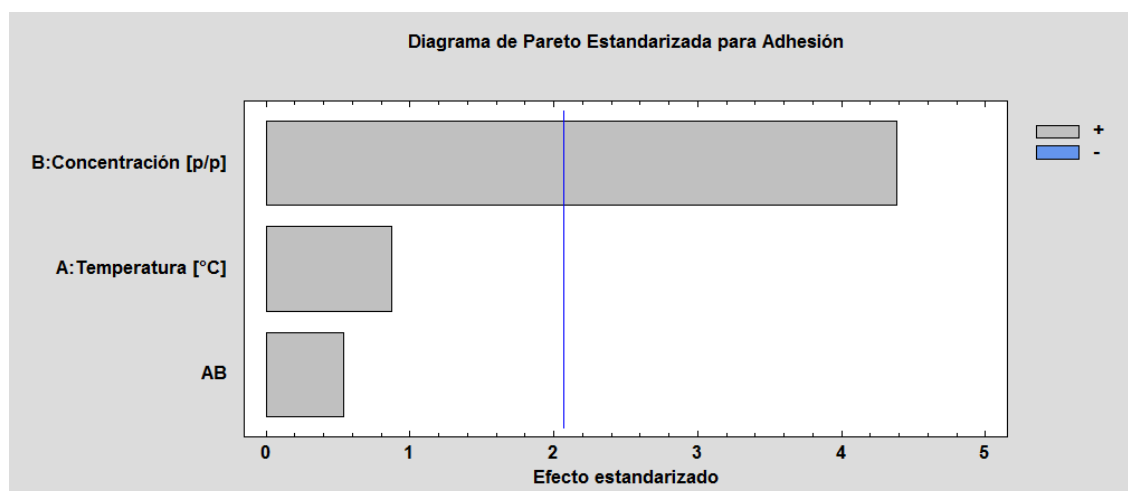
Error estandar del est.=0,538008

Fuente: (Statgraphics, 2016)

A diferencia de la variable de respuesta anterior, la tabla ANOVA para la adhesión muestra un solo valor P por debajo de 0.05, es decir que solo el factor de concentración es estadísticamente significativo. La R-cuadrada indica que el modelo explica el 46,82% de la variabilidad de la adhesión, este valor es bajo debido a que la escala presentada por la norma ASTM para clasificar el porcentaje de adhesión de la pintura solo posee valores enteros que disminuyen la precisión de la medida.

La información presentada anteriormente se confirma con el siguiente diagrama de Pareto, donde se ilustra la concentración como único factor significativo en la prueba de adhesión, esto no significa que la temperatura no afecte la variable de respuesta sino que en comparación con la concentración, es menos relevante:

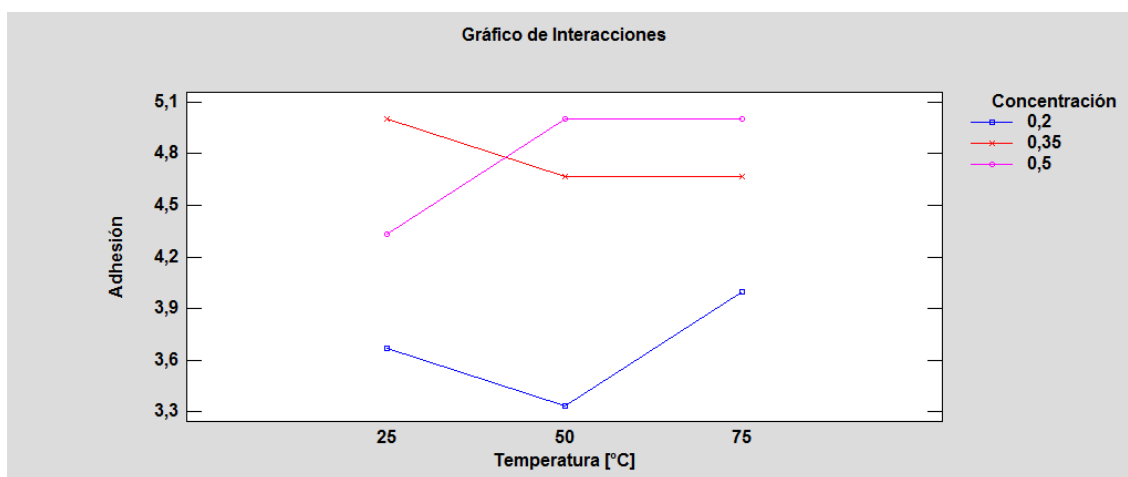
Ilustración 26. Diagrama de Pareto para la variable de respuesta Adhesión.



Fuente: (Statgraphics, 2016)

La manera como influye esta variable se puede observar en la gráfica de interacciones (Ilustración 27), donde a mayor concentración mayor es la adhesión de la pintura. Igualmente se puede observar que a mayor temperatura mayor es también la adhesión de la pintura pero como se explicó anteriormente esta variación es muy baja y no alcanza a ser significativa en el resultado.

Ilustración 27. Gráfico de interacciones de los factores de concentración y temperatura en la adhesión de la pintura.



Fuente: (Statgraphics, 2016)

6.2.3. Viscosidad

Ilustración 28. Tabla ANOVA para la variable de respuesta de Viscosidad.

ANÁLISIS DE VARIANZA PARA VISCOSIDAD					
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Temperatura	3,97423E+06	1	3,97423E+06	0,48	0,4935
B:Concentración	1,24135E+09	1	1,24135E+09	151,21	0,0000
AB	5,68852E+06	1	5,68852E+06	0,69	0,4137
Error total	1,88810E+08	23	8,20938E+06		
Total (corr.)	1,43983E+09	26			

R-cuadrada=86,8862 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l)=85,1757 por ciento

Error estandar del est.=2865,2

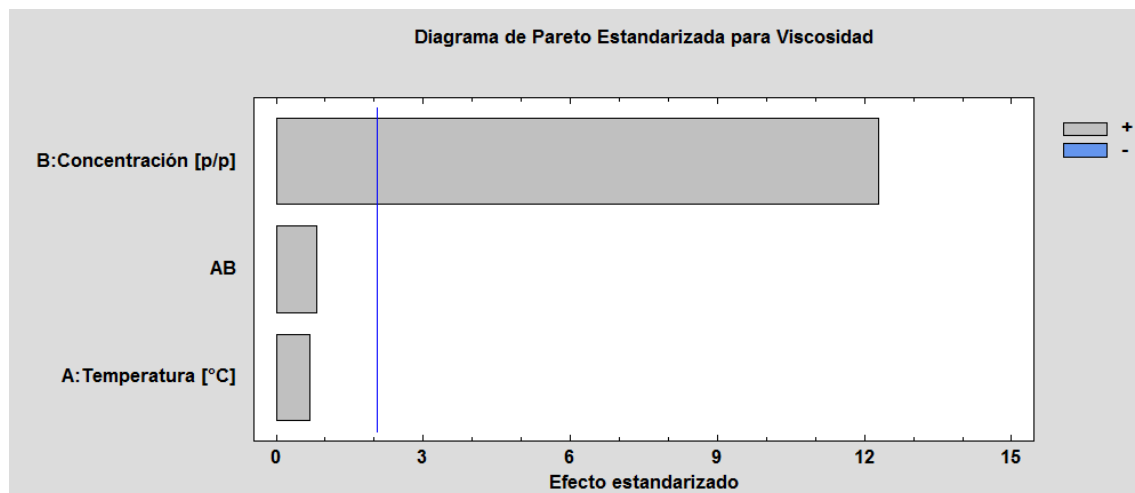
Fuente: (Statgraphics, 2016)

El análisis de varianza para la prueba de viscosidad nos expone la concentración como el único factor cuyo valor-P se encuentra por debajo de 0,05 siendo este el dato estadísticamente significativo en las pruebas.

Además, se observa el estadístico R-cuadrada indica que el modelo, así ajustado, explica el 86,88% de la variabilidad de la viscosidad.

En la siguiente ilustración se observa el diagrama de Pareto para la prueba de viscosidad, donde se evidencia que el factor influyente en la variable de respuesta es la concentración, que muestra que a mayor concentración mayor será la viscosidad obtenida

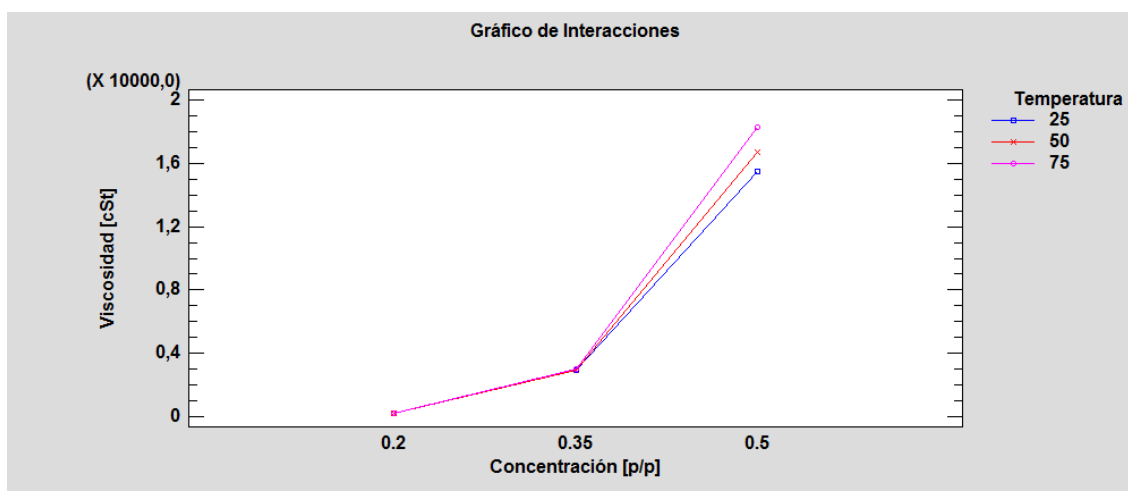
Ilustración 29. Diagrama de Pareto para la variable de respuesta Viscosidad.



Fuente: (Statgraphics, 2016)

En la ilustración 30 de interacción para la prueba de viscosidad se evidencia nuevamente la forma como influye la concentración en la variable de respuesta, también evidencia que al aumentar la temperatura, aumenta la viscosidad mostrando un cambio pero no tan significativo.

Ilustración 30. Gráfico de interacciones de los factores de concentración y temperatura en la viscosidad de la pintura.



Fuente: (Statgraphics, 2016)

6.2.4. Poder de cubrimiento

Ilustración 31. Tabla ANOVA para la variable de respuesta Poder de cubrimiento.

ANÁLISIS DE VARIANZA PARA PODER DE CUBRIMIENTO					
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Temperatura	0,347222	1	0,347222	0,37	0,5463
B:Concentración	72,0	1	72	77,75	0,0000
AB	0,52083	1	0,520833	0,56	0,4609
Error total	21,2986	23	0,926027		
Total (corr.)	94,1667	26			

R-cuadrada=77,382 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l)=74,4318 por ciento

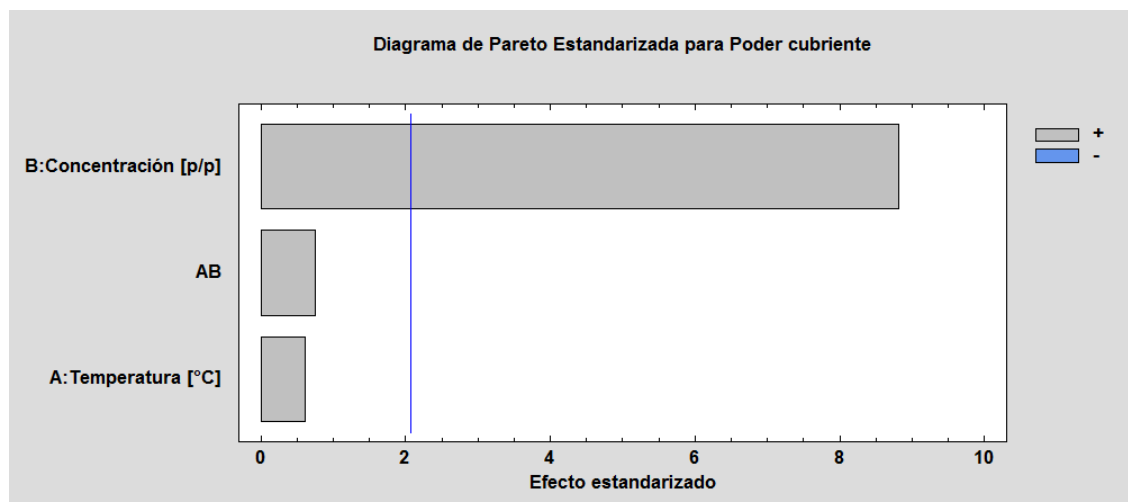
Error estandar del est.=0,962303

Fuente: (Statgraphics, 2016)

El análisis de la tabla ANOVA muestra que para el poder cubriente de la pintura, la concentración es el único factor significativo puesto que su valor P es el único por debajo de 0,05. El valor de la R-cuadrada correspondiente a este modelo es bajo (77,38%) en comparación con las dos variables anteriores, esto es debido a que para la cuantificación de esta variable se empleó una escala de opacidad que no permite una medida más precisa que disminuya el error.

El efecto que tiene cada uno de los factores y su interacción se muestra en la gráfica a continuación:

Ilustración 32. Diagrama de Pareto para la variable de respuesta Poder de cubrimiento.

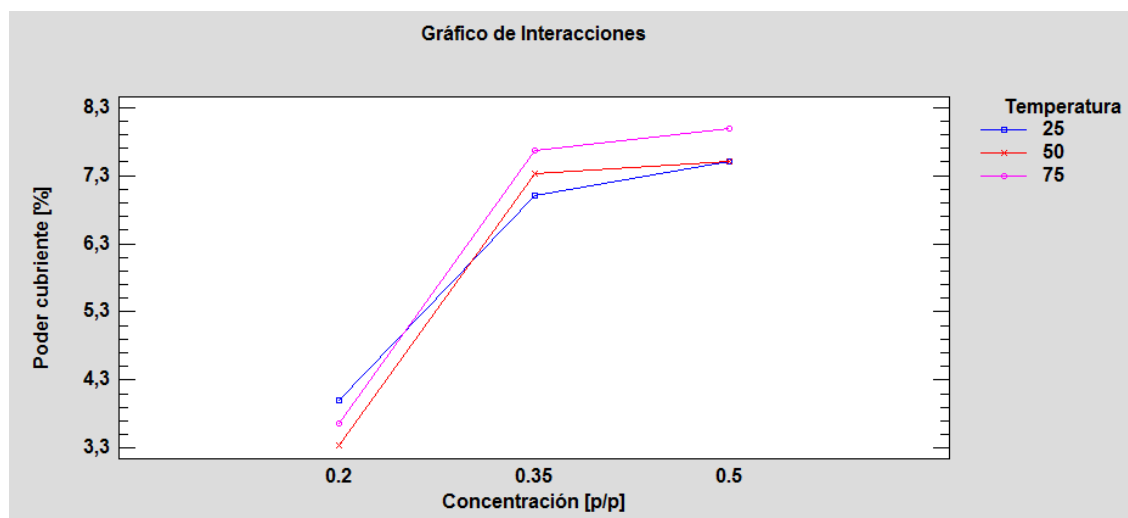


Fuente: (Statgraphics, 2016)

El diagrama de Pareto ilustra en orden de importancia los factores que afectan la variable de respuesta. Para el poder cubriente como ya se describió anteriormente en el análisis de varianza solo tiene un factor estadísticamente significativo, la concentración, seguido por la interacción entre ambos factores y la temperatura,

pero estos últimos se consideran poco relevantes para el poder cubriente de la pintura.

Ilustración 33. Gráfico de interacciones de los factores de concentración y temperatura en el poder cubriente de la pintura.



Fuente: (Statgraphics, 2016)

En el gráfico de interacciones se puede observar la forma como la concentración afecta la variable de respuesta, a mayor concentración de poliestireno expandido mayor será el poder cubriente de la pintura, así mismo se corrobora que la temperatura aumenta levemente el poder cubriente pero no es significativo.

6.2.5. Optimización del diseño de experimentos

Al finalizar el análisis independiente de cada una de las variables de respuesta del diseño de experimentos, se realiza una optimización de los mismos datos experimentales. Este procedimiento ayuda a determinar la combinación de los factores experimentales que simultáneamente optimiza varias respuestas con el objetivo de encontrar una mezcla que en su combinación de concentración y

temperatura de como resultado un mejor tiempo de secado, adhesión, viscosidad y poder de cubrimiento.

Los resultados de la optimización realizada y su interpretación se exponen a continuación:

Ilustración 34. Datos establecidos para la optimización del diseño factorial elaborado en Statgraphics.

OPTIMIZACIÓN DE MÚLTIPLES RESPUESTAS						
Respuesta	Deseabilidad	Deseabilidad	Meta	Pesos	Pesos	Impacto
	Baja	Alta		Primero	Segundo	
Tiempo de secado (Min)	120,0	345,0	Minimizar	1,0		3,0
Adhesión	3,0	5,0	Maximizar	1,0		3,0
Viscosidad (centiStokes)	192,5	18532,5	4000,0	1,0	1,0	3,0
Poder cubriente	3,0	8,0	Maximizar	1,0		3,0

Fuente: (Statgraphics, 2016)

En la ilustración anterior se tabulan las 4 variables de respuesta evaluadas en el diseño de experimentos con los valores mínimos y máximos obtenidos en las pruebas experimentales, adicionalmente se establece la meta o valor deseado para cada una de ellas. Para este diseño se establece como meta el menor tiempo de secado, con mayor adhesión y poder cubriente, y un valor aproximado de viscosidad cercano a los 4000 centiStokes; este último es un valor basado en diferentes fichas técnicas de pinturas alquídicas de la industria con características similares a la elaborada en este proyecto (Pintuco S.A. 2000).

Luego de establecer los valores deseados en las variables de respuesta el programa determina la mezcla de factores óptima que cumple con estas

condiciones, los resultados arrojados por el programa se describen en la siguiente ilustración:

Ilustración 35. Resultados de la optimización del diseño multifactorial elaborado para la pintura.

OPTIMIZAR DESEABILIDAD			
Valor óptimo = 0,744003			
Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Temperatura	25,0	75,0	25,0
Concentración	0,2	0,5	0,452439

Respuesta	Óptimo
Tiempo de secado	143,543
Adhesión	4,61879
Viscosidad	11399,3
Poder cubriente	7,30691

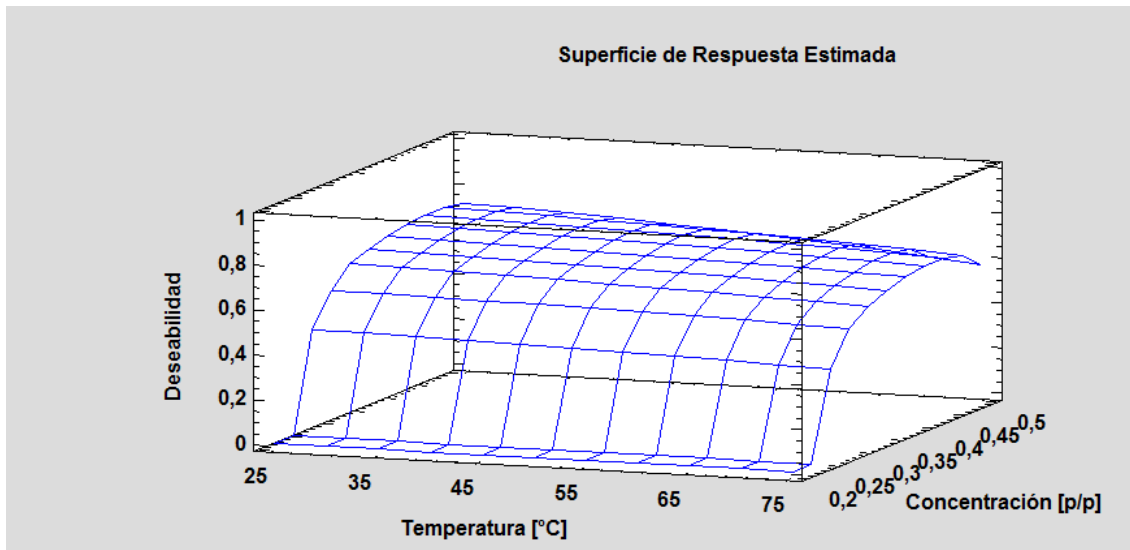
Fuente: (Statgraphics, 2016)

Según la optimización generada por el programa Statgraphics para el diseño multifactorial de la pintura realizada en este proyecto, la mezcla sugerida corresponde a la elaborada a temperatura ambiente (25°C) con una concentración de poliestireno expandido de 45,24%.

El resultado esperado para la mezcla sugerida es de un tiempo de secado 143,54 minutos (2 horas con 23 minutos aproximadamente), una adhesión de 4,6 que según la escala establecida por la norma ASTM D3359 corresponde a un desprendimiento menor al 5% de la pintura empleando el método de la cinta, una viscosidad de 11399,3 centiStokes que en comparación con las pinturas alquídicas similares es significativamente mayor, y un poder cubriente de 7,3 que según la escala de opacidad establecida para la realización de estas pruebas es uno de los valores más altos alcanzados.

Los resultados descritos en la tabla de optimización (Ilustración 35) se observan de una mejor manera en la siguiente gráfica, donde el valor óptimo es el punto donde la deseabilidad es más cercana a 1.

Ilustración 36. Grafica de superficie para la optimización del diseño multifactorial de la pintura.



Fuente: (Statgraphics, 2016)

6.3. COMPARACION DE LAS PROPIEDADES CON EL PRODUCTO COMERCIAL

Al finalizar el procedimiento anterior, se obtuvo la mejor combinación de pintura según el programa estadístico Statgraphics, pintura que con antelación se le realizó cuatro pruebas que miden las propiedades físicas, químicas y reológicas, las mismas usadas como variables de respuesta en el análisis de varianza. Estas mismas pruebas se realizaron en una pintura alquídica de color amarillo limón obtenida de Pinturas Uribe S.A., con el fin de mostrar una comparación entre la muestra óptima obtenida en este proyecto y una muestra comercial.

6.3.1. Tiempo de secado

Para la comparación de tiempo de secado se empleó el mismo procedimiento descrito anteriormente en la metodología (Ilustración 10) siguiendo la norma ASTM D1640. El tiempo de secado al tacto para la muestra de Pinturas Uribe fue de 240 minutos (4 horas) donde la muestra poseía un aspecto viscoso pero al contacto no se adhería al dedo.

Ilustración 37. Prueba de secado al tacto para la muestra de pintura comercial.



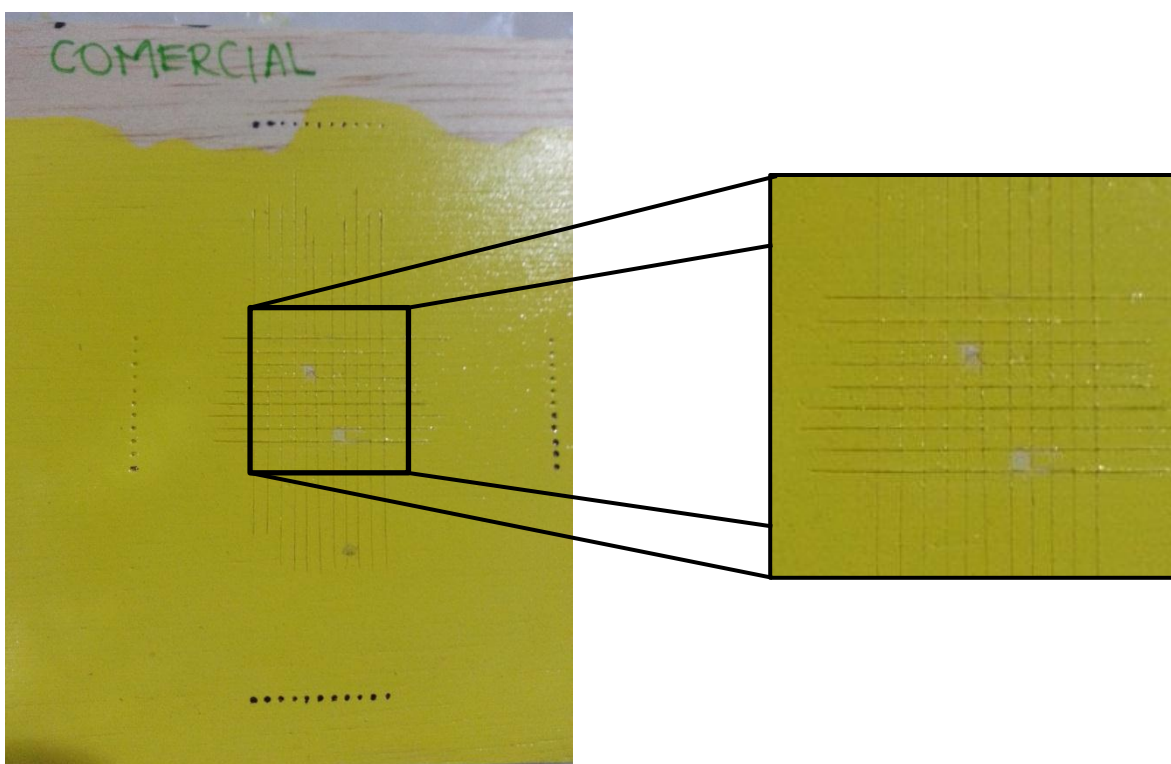
Fuente: (Miranda et al, 2015)

Según el diseño de experimentos el producto obtenido como sugerido tendría un tiempo de secado al tacto aproximado de 143,5 minutos (2 horas 23 minutos). Este producto posee un tiempo de secado menor al comercial lo cual es una propiedad deseable en una pintura pues disminuye el tiempo en el que el consumidor tiene que esperar para evitar mancharse o para aplicar una segunda capa de la misma.

6.3.2. Adhesión

Los resultados para la prueba de adhesión en la muestra comercial se muestran en la siguiente gráfica. Para la realización de esta se siguió igualmente el procedimiento descrito por la norma ASTM D3359 (Ilustración 11).

Ilustración 38. Resultado de la prueba de adhesión a la muestra comercial por el método de la cinta.



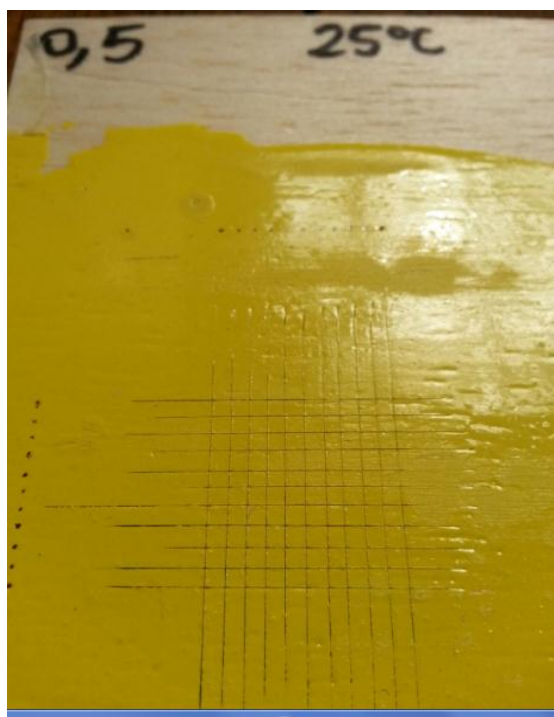
Fuente: (Miranda et al, 2015)

En esta gráfica anterior se puede observar que la muestra sufrió un desprendimiento de pintura del 2% luego de retirar la cinta sensible a la presión. Según el desprendimiento observado en la ilustración y comparándola con la

escala de clasificación propuesta en la norma técnica (Ilustración 12) esta muestra posee una adhesión de 4.5.

En comparación con la muestra obtenida como sugerida (Ilustración 39) en el que el valor de adhesión es de 4.6, es decir un porcentaje de desprendimiento menor al 5%, ambas pinturas poseen propiedades similares en el material evaluado.

Ilustración 39. Resultado de la prueba de adhesión para la muestra a 25°C con 50% de concentración.



Fuente: (Miranda et al, 2015)

6.3.3. Viscosidad

Para la muestra comercial se empleó la boquilla #5 de la copa Ford fabricada, donde se obtuvo un tiempo de 263,32 segundos que empleando la Ecuación 5 da como resultado una viscosidad cinemática de 3161,97 centiStokes. Si se compara

este valor con el obtenido en Statgraphics para la muestra óptima que corresponde a 11399,3 centiStokes, el valor de la muestra comercial (3161,9 cSt) es significativamente menor. Una viscosidad alta evita problemas de aplicación como el chorreado y salpicadura pero trae otros problemas como un alto espesor de capa y con ello un curado lento, además de restringir la forma de aplicación de la misma a brocha y rodillo solamente. La viscosidad es una propiedad que puede ser ajustada con aditivos reológicos si se desea aumentar o con diluyentes para el caso contrario, sin modificar las propiedades finales de la película seca (*Florio et al, 2004*).

Ilustración 40. Prueba de viscosidad empleando la copa Ford #5.

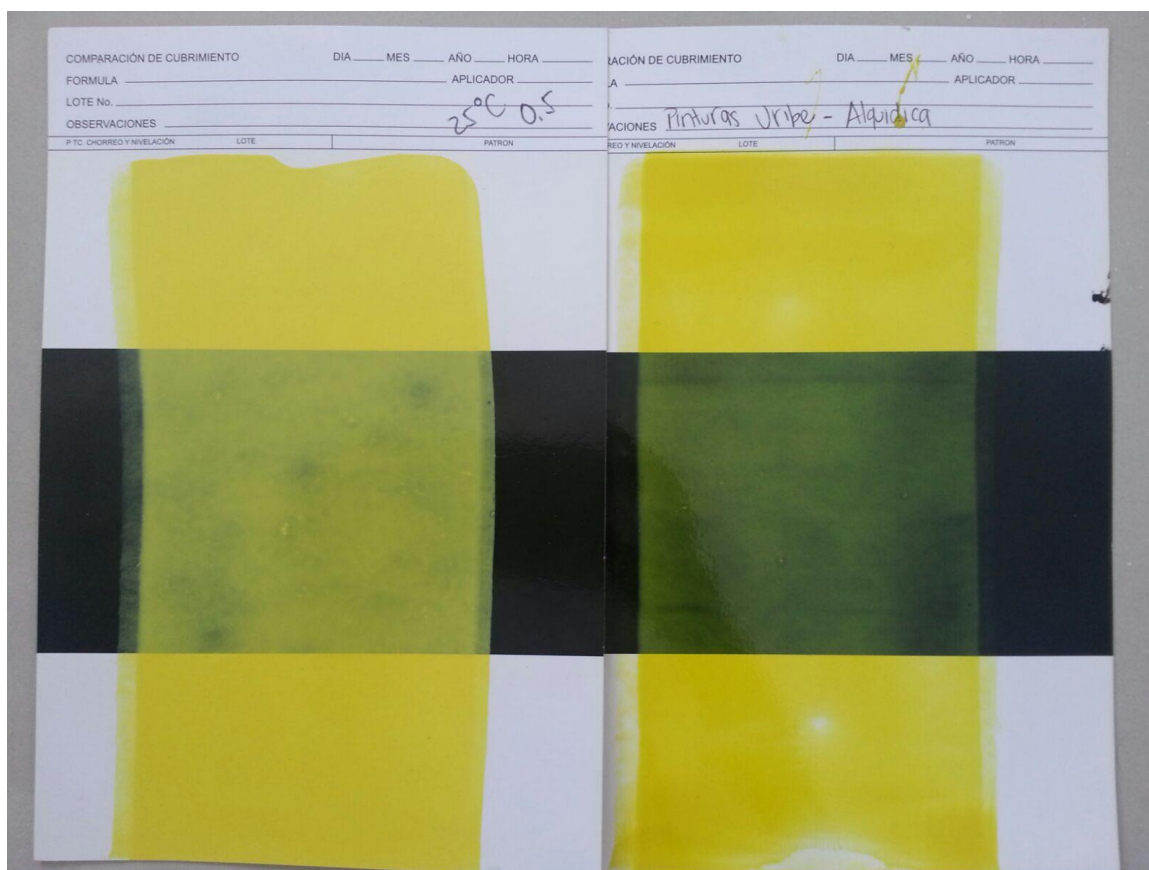


Fuente: (*Miranda et al, 2015*)

6.3.4. Poder de cubrimiento

La cartulina de contraste pintada con la muestra comercial acorde con el procedimiento descrito en la norma NTC4974 y posteriormente comparada con la escala de opacidad mostrada en la ilustración 16, determina que la muestra comercial tiene un poder cubriente de 4,5, valor considerablemente bajo en comparación con el producto obtenido que es de 7,3 en esta misma escala. La pintura obtenida como sugerida es visiblemente mejor que la pintura comercial como se puede comprobar en la ilustración 41. A mayor poder de cubrimiento menor cantidad de capas serán necesarias para revestir la superficie y por lo tanto tendrá un mejor rendimiento la pintura.

Ilustración 41. Comparación de muestras en la prueba de poder de cubrimiento.



Fuente: (Miranda et al, 2015)

6.3.5. Comparación

Tabla 16. Comparación de las propiedades fisicoquímicas y reológicas de la pintura sugerida y la comercial.

Propiedad	Pintura Sugerida	Pintura Comercial
Tiempo de Secado	143,5 min	240 min
Adhesión	4,5	4,6
Viscosidad	11399,3 centiStokes	3161,9 centiStokes
Poder de cubrimiento	7,3	4,6

Fuente: (Miranda et al, 2015)

Como se observa en la tabla anterior se ha logrado producir a nivel de laboratorio una pintura de buena calidad, que comparada con el producto comercial evaluado presenta un menor tiempo de secado, similar adhesión y mayor poder de cubrimiento. El valor de viscosidad es significativamente mayor al obtenido en la pintura comercial, ésta propiedad puede ser ajustada por medio de aditivos (diluyentes) para facilitar su manejo y su aplicación.

6.4. USOS INDUSTRIALES

A partir de los resultados obtenidos en la etapa anterior, se determinó que la mejor mezcla fue la producida a temperatura ambiente (25°C) y con una concentración de poliestireno expandido del 45%, esta pintura nos dio como resultado del tiempo de secado de 143,5 min, en la adhesión un valor de 4,6 equivalente a un del desprendimiento menor al 5%, una viscosidad 11399,3 centiStokes y un poder cubriente de 7,5 (En una escala de opacidad del 1 al 10). Dichas propiedades son determinantes para las exigencias de calidad en la elaboración y comercialización de pinturas.

Al analizar nuestros resultados y comparar las propiedades de la pintura obtenida con la norma NTC 1283 se observa que cumple con algunos de los parámetros especificados en esta, tales como el tiempo de secado y adhesión, pero que no cumple con el parámetro de viscosidad que dicta la norma ya que el valor obtenido

es mayor, . Debido a sus propiedades se encontró que el producto puede ser usado como pintura para decoración y protección tanto de interiores como de exteriores, este último en ambientes urbanos de agresividad baja; también en superficies metálicas o de madera tales como maquinarias, ventanas, tuberías, etc. Que se encuentren en ambientes de exposición moderados.

7. CONCLUSIONES

La caracterización del residuo proveniente de la empresa ECOPLEX S.A. en forma de polvillo constó de cuatro pruebas; la espectrofotometría infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) corroboró que el residuo correspondía al poliestireno, por una comparación con la biblioteca del ICIPC, donde se encontró una similitud con el espectro del poliestireno atáctico del 96%.

La curva termogravimétrica del residuo mostró una temperatura de degradación térmica de 411,71°C, que comparada con la temperatura del poliestireno virgen confirma que el residuo no ha sufrido un desgaste en sus propiedades.

El índice de fluidez obtenido fue de 26,52 gr/10min que en comparación con poliestirenos comerciales que varía entre 20 y 30 gr/10min, indica que el polvillo de poliestireno recuperado conserva las propiedades del material virgen y por lo tanto puede ser reprocesado por inyección o extrusión para la elaboración de distintos productos.

La calorimetría diferencial de barrido (DSC) determinó que la temperatura de transición vítrea (T_g) es de 96,84°C, temperatura que se le atribuye al poliestireno atáctico. Además se resalta que la temperatura de transición vítrea del poliestireno cristal (82,93°C) es menor que la del poliestireno expandido recuperado, lo que indica que las propiedades térmicas y mecánicas del material estudiado serán mejores que las del poliestireno cristal.

Según el análisis estadístico realizado al diseño factorial 3^2 con dos réplicas, se logró determinar que el factor con mayor influencia sobre el tiempo de secado, adhesión, viscosidad y poder de cubrimiento de la pintura, es la concentración de poliestireno expandido en la mezcla; y que la temperatura únicamente afecta el tiempo de secado pero de forma negativa.

El producto que presenta la mejor combinación de propiedades según la optimización del diseño evaluado es el elaborado a temperatura ambiente (25°C) con una concentración de 45,2% de poliestireno expandido, con un tiempo de secado de 143 minutos (2 horas 23 minutos), una adhesión mayor al 95%, una viscosidad de 11399 centiStokes y un poder cubriente de 7,3 en la escala de opacidad.

Con esta investigación se ha logrado producir a nivel de laboratorio una pintura de buena calidad, que comparada con el producto comercial evaluado presenta un menor tiempo de secado, similar adhesión y mayor poder de cubrimiento. El valor de viscosidad es significativamente mayor al obtenido en la pintura comercial, ésta propiedad puede ser ajustada por medio de aditivos para facilitar su manejo y su aplicación, ya sea con brocha, rodillo o pistola de aire.

Se logró identificar algunos posibles usos para el producto obtenido con base en los resultados obtenidos y en la información de la norma NTC1283, donde se determinó que la pintura posee propiedades aptas para la decoración y protección de interiores y exteriores en ambientes urbanos de agresividad baja, también es apta para recubrir superficies metálicas o de madera que se encuentren en ambientes de exposición moderados.

8. RECOMENDACIONES

A pesar de que se obtuvo un buen resultado en cuanto a poder de cubrimiento, se sugiere elaborar las pinturas con otros pigmentos, como blanco o negro, debido a que son colores que se caracterizan por poseer un mejor poder cubriente comparados con el amarillo empleado en este proyecto, que por el contrario se destaca como un color con bajo poder de cubrimiento.

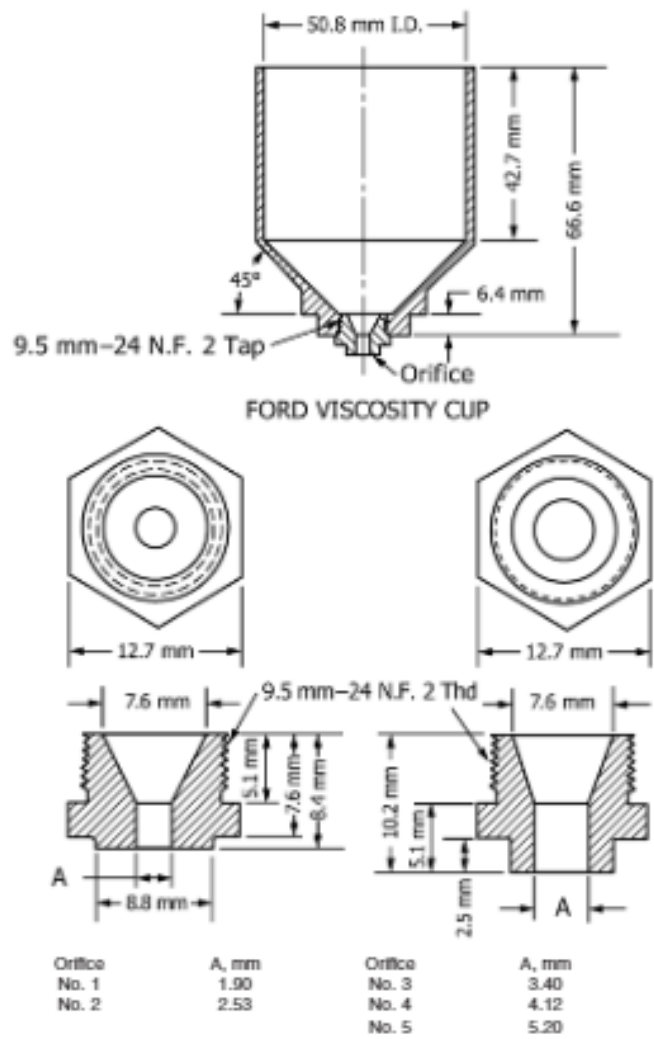
Es conveniente usar un molino de perlas o de rodillos en el proceso de fabricación, debido a que al realizar las pruebas de cubrimiento se observaron pequeños residuos sólidos en la película seca. Este procedimiento ayudaría a conseguir una mejor distribución de partícula y un desarrollo de color uniformes.

Se aconseja el uso de antidecantantes como aditivo en la pintura para evitar que las partes sólidas procedentes de pigmentos y cargas se precipiten luego de pasar varios días en reposo.

Se recomienda realizar diferentes pruebas a la película seca, para tener más claridad de sus propiedades como por ejemplo: durabilidad, resistencia química, resistencia a la abrasión, resistencia a la humedad, etc. Y así probar su utilidad en aplicaciones a pavimentos y pinturas tipo sanitaria.

ANEXO 1

PLANOS COPA FORD PARA MEDICION DE VISCOSIDAD



Fuente: ASTM D1200

ANEXO 2

Instituto de Capacitación e Investigación del Plástico y del Caucho

Informe de ensayo No. 11499-1-1

Página 1 de 5

ANÁLISIS INFRARROJO POR TRANSFORMADA DE FOURIER (FTIR)

1. Lugar de realización del ensayo:

Laboratorio del Instituto de Capacitación e Investigación del Plástico y del Caucho.
ICIPC.

2. Dirección del laboratorio:

Carrera 49 No. 5 Sur. 190. Medellín, Colombia.
www.icipc.org

3. Nombre del cliente:

Nombre empresa: UNIVERSIDAD EAFIT
Contacto: Sandra González Villa

4. Dirección del cliente:

Dirección: Carrera 49 No. 7 Sur - 50
Teléfono: 261 95 00
Ciudad: Medellín

5. Identificación del material de ensayo:

Muestras identificada como:

- Endlock
- EPS

Fecha de recepción de la muestra: Septiembre 9 de 2014

6. Descripción de los servicios ordenados por el cliente:

Identificación cualitativa por la técnica instrumental espectrofotometría infrarroja por transformada de Fourier (FTIR)

7. Método de ensayo:

Análisis infrarrojo por transformada de fourier (FTIR): Análisis por la técnica de transmisión

8. Condiciones de ensayo:

En la *Tabla N°1* se presentan las condiciones experimentales para el análisis de las muestras.

Tabla N°1. Especificaciones del análisis por FTIR

CONDICIONES DE OPERACIÓN	
Fuente	Infrarrojo
Frecuencia del Laser	15798.2 cm ⁻¹
Detecto	DTGS KBr
Resolución	4 cm ⁻¹
Ganancia de fondo	Autogancia
Número de puntos para la transformada de Fourier	8192
Rango de número de onda	400 cm ⁻¹ - 4000 cm ⁻¹
Forma final de la ordenada	Absorbancia
Número de barridos	32
Accesorios Usados	Transmisión

9. Equipos de ensayo:

Análisis por espectrofotometría infrarroja (FTIR)

Espectrofotómetro Infrarrojo, Nicolet 6700 Thermo Scientific. (Transmisión)

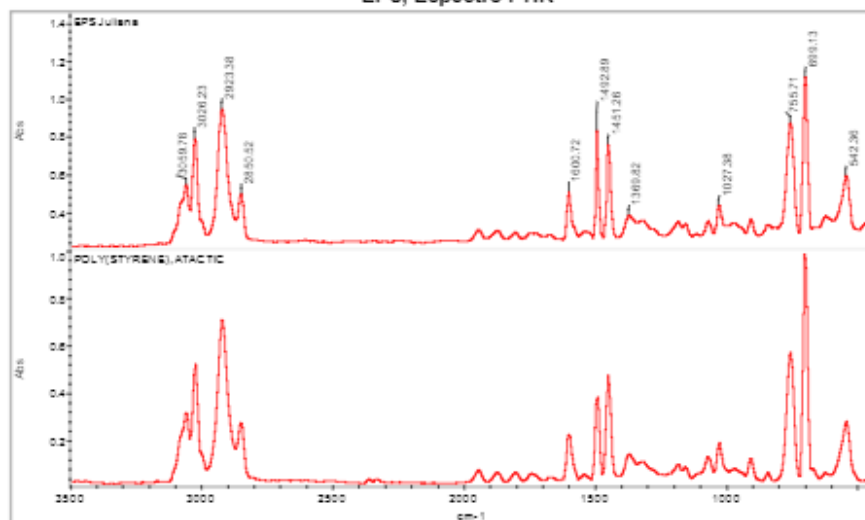
10. Resultados de los ensayos:

Análisis por FTIR. Muestra EPS

En el espectro infrarrojo FTIR de la muestra, Figura N°2, se pueden observar la presencia de absorbancias, a números de onda, $3100-3000\text{cm}^{-1}$ correspondientes a las extensiones CH aromático, 2923cm^{-1} , 2851cm^{-1} , atribuidas a las extensiones asimétrica y simétrica de los grupos CH_2 , $1601-1451\text{cm}^{-1}$, 1027cm^{-1} , 755cm^{-1} , 699cm^{-1} y 589cm^{-1} , pueden ser atribuidas a las extensiones del anillo aromático, 1370cm^{-1} corresponde a flexiones del grupo CH_2 , entre otras. De acuerdo a estas absorbancias y a la búsqueda en la biblioteca, se encuentra una buena correlación con la Poliestireno.

En la *Figura N°2* parte inferior se muestra la comparación de la muestra con el espectro de Poliestireno de la biblioteca de espectros del ICIPC.

Figura N°2
EPS, Espectro FTIR



11. Fecha de ejecución de los ensayos: Septiembre 9 y 11 de 2014

12. Fecha de expedición del informe: : Septiembre 22 de 2014

13. Ensayos realizados por:

- Original firmado-

Catalina María Álvarez R.
Laboratorista de Ensayos.

14. Responsable de aprobación:

- Original firmado-

Diego Alejandro Salazar H.
Jefe de Laboratorio

OBSERVACIONES:

1. Los resultados que aparecen en el presente informe se refieren únicamente a la muestra evaluada.
2. Este informe no debe reproducirse sin la aprobación escrita del Laboratorio del Instituto de Capacitación e Investigación del Plástico y del Caucho -ICIPC-.
3. Cualquier queja que se presente frente a los resultados de este informe podrá ser tramitada a través de nuestra línea telefónica [\(574\) 311 64 78](tel:5743116478) y el e-mail: vozdelcliente@icipc.org
4. Las muestras serán almacenadas en el ICIPC por el periodo acordado en la oferta.
5. Para la disposición final de las muestras, se seguirán los lineamientos acordados en la oferta.
6. Las inquietudes o dudas referentes a estos resultados se pueden hacer únicamente a través del responsable del presente informe (Jefe de Laboratorio).
7. El laboratorio del ICIPC no se hace responsable por el uso posterior, ni por las interpretaciones que se realicen del presente informe.

ANEXO 3

Instituto de Capacitación e Investigación del Plástico y del Caucho

Informe de ensayo No. 11540-1-1

Página 1 de 5

Análisis termogravimétrico (TGA)

1. Lugar de realización del ensayo:

Laboratorio del Instituto de Capacitación e Investigación del Plástico y del Caucho.
ICIPC.

2. Dirección del laboratorio:

Carrera 49 No. 5 Sur. 190. Medellín, Colombia.
www.icipc.org

3. Nombre del cliente:

Nombre empresa: UNIVERSIDAD EAFIT
Contacto: Sandra González Villa

4. Dirección del cliente:

Dirección: Carrera 49 No. 7 Sur - 50
Teléfono: 261 95 00
Ciudad: Medellín

5. Identificación del material de ensayo:

Muestras identificadas como:

- Endlock
- EPS

Fecha de recepción de las muestras: septiembre 22 de 2014

6. Descripción de los servicios ordenados por el cliente:

Cuantificación por la técnica de análisis termogravimetría (TGA)

7. Métodos de ensayo:

Método para el análisis de composición por termogravimetría basado en la norma estándar ASTM E 1131- 2003 (*).

(*) Ensayos acreditados por la Superintendencia de Industria y Comercio (SIC) de acuerdo con la resolución No. 35716 del 7 de Noviembre de 2002 bajo Resolución 5965 del 26 de marzo de 2004 – Resolución 5953 del 1 de febrero de 2010 conforme a los criterios establecidos en los documentos Decreto 2269 de 1993 y Resolución 8728 de 2001 (Norma NTC - ISO/IEC 17025:2005).

8. Condiciones de ensayo:

En las **Tabla N°1** se presentan las condiciones experimentales para el análisis de las muestras.

Tabla N° 1. Especificaciones del análisis por TGA

Condiciones de Operación	Ensayo
Temperatura inicial (°C)	25
Velocidad de calentamiento y enfriamiento (°C/min)	10
Temperatura final (°C)	900
Atmósfera utilizada de 30°C a 600°C	Nitrógeno
Caudal total de nitrógeno (ml/min):	100
Atmósfera utilizada de 600°C a 900°C	Oxígeno
Caudal total de Oxígeno (ml/min)	100

9. Equipos de ensayo:

Analizador Termogravimétrico, TGA Q500, TA Instruments.

10. Resultados de los ensayos:

Los resultados de los ensayos son presentados en las **tablas No.2 y 3, ver figuras No. 1 y 2.**

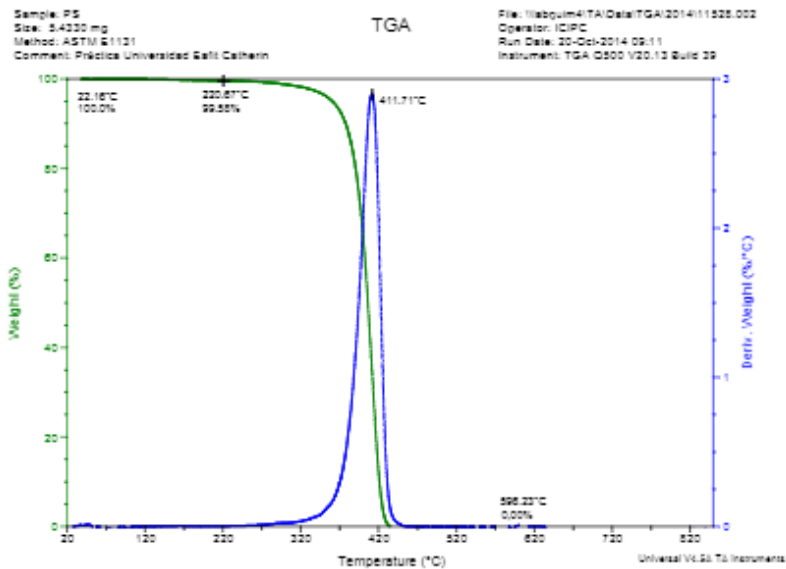
Tabla No.2 Composición de la muestra endlock

Transición	Rango de Temperatura de descomposición 0C	Porcentaje en peso, %
Compuestos de bajo peso molecular	< 220,56	2,11
Perdida en peso 2	220,56 – 584,50	94,67
Perdida en peso 3	584,50 – 786,32	2,31
Cenizas y material inorgánico	> 786,32	0,90
Total		99,99

Tabla No.3 Composición de la muestra EPS

Transición	Rango de Temperatura de descomposición 0C	Porcentaje en peso, %
Compuestos de bajo peso molecular	< 220,67	0,42
Perdida en peso 2	220,67– 596,23	99,58
Total		100

Figura N°2
EPS, Termograma TGA



11. Fecha de expedición del informe: Octubre 20 de 2014

12. Ensayos realizados por:

- Original firmado-

Silvio Alberto Ospina
Laboratorista de Ensayos.

13. Responsable de aprobación:

- Original firmado-

Diego Alejandro Salazar H.
Jefe de Laboratorio

OBSERVACIONES:

1. Los resultados que aparecen en el presente informe se refieren únicamente a la muestra evaluada.
2. Este informe no debe reproducirse sin la aprobación escrita del Laboratorio del Instituto de Capacitación e Investigación del Plástico y del Caucho -ICIPC-.
3. Cualquier queja que se presente frente a los resultados de este informe podrá ser tramitada a través de nuestra línea telefónica [\(574\) 311 64 78](tel:5743116478) y el e-mail: vozdelcliente@icipc.org
4. Las muestras serán almacenadas en el ICIPC por el periodo acordado en la oferta.
5. Para la disposición final de las muestras, se seguirán los lineamientos acordados en la oferta.
6. Las inquietudes o dudas referentes a estos resultados se pueden hacer únicamente a través del responsable del presente informe (Jefe de Laboratorio).
7. El laboratorio del ICIPC no se hace responsable por el uso posterior, ni por las interpretaciones que se realicen del presente informe.

ANEXO 4

Instituto de Capacitación e Investigación del Plástico y del Caucho

INFORME DE ENSAYO No 11462-1-1

Página 1 de 3

INFORME DE ENSAYO MEDICIÓN DEL ÍNDICE DE FLUIDEZ

1. Lugar de realización del ensayo:

Laboratorio del Instituto de Capacitación e Investigación del Plástico y del Caucho.
ICIPC.

2. Dirección del laboratorio:

Carrera 49 No. 5 Sur. 190. Medellín, Colombia.
www.icipc.org

3. Nombre del cliente:

Nombre empresa: UNIVERSIDAD EAFIT
Contacto: Sandra González Villa

4. Dirección del cliente:

Dirección: Carrera 49 No. 7 Sur - 50
Teléfono: 261 95 00
Ciudad: Medellín

5. Identificación del material de ensayo:

Muestra identificada como:

material poliestireno expandido EPS

Fecha de recepción de la muestra: 29 de agosto de 2014..

6. Descripción de los servicios ordenados por el cliente:

Determinar el Índice de Fluidéz.

7. Métodos de ensayo:

Método estándar para la determinación del índice de fluidéz, MFI, basado en
la norma ISO 1133 - 1997

8. Condiciones de ensayo:

Temperatura de ensayo (°C):	200
Carga aplicada (kg):	2,16
	3,8
	5,0
Tiempo de fundido (minutos):	2
Forma física del material:	Molido
Longitud de medida (mm)	25,4
Procedimiento utilizado:	A
Tiempo intervalo de corte(s)	20
	5
	5

9. Equipos de ensayo:

Equipo de medición del índice de fluidez marca Göttfert, modelo MP – E.
 Balanza de Densidades, Modelo AE 200 de la firma Mettler.
 Cronómetro digital electrónico de la firma Casio HS-10W.

10.RESULTADOS DE LOS ENSAYOS:

Condición 1: 200/2,16kg-(20s)

Característica	MFR (g/10 min)	MVR (cm ³ /10 min)	Densidad (g/cm ³)
Medición	3,82	7,24	0,52

Condición 2: 200/3,8kg-(5s)

Característica	MFR (g/10 min)	MVR (cm ³ /10 min)	Densidad (g/cm ³)
Medición	21,10	21,10	1,00

Condición 3: 200/5,0kg-(5s)

Característica	MFR (g/10 min)	MVR (cm ³ /10 min)	Densidad (g/cm ³)
Medición	26,52	22,63	1,17

Nota 1: La densidad reportada sólo es válida para la temperatura de ensayo, la cual se expresa en el numeral 8.

Nota 2: El valor de cada condición corresponde a un solo corrido de muestra.

10. Fecha de ejecución de los ensayos: 03 de septiembre de 2 014.

11. Fecha de expedición del informe: 16 de septiembre de 2 014.

12. Ensayos realizados por:

- Original firmado-

Jaime Humberto Olarte B.
Laboratorista de Ensayos.

13. Responsable de aprobación:

- Original firmado-

Ing. Diego Alejandro Salazar H.
Jefe de Laboratorio

OBSERVACIONES:

1. Los resultados que aparecen en el presente informe se refieren únicamente a la muestra evaluada.
2. Este informe no debe reproducirse sin la aprobación escrita del Laboratorio del Instituto de Capacitación e Investigación del Plástico y del Caucho -ICIPC-.
3. Cualquier queja que se presente frente a los resultados de este informe podrá ser tramitada a través de *nuestra línea telefónica (574) 311 64 78* y el e-mail: vozdelcliente@icipc.org
4. Las muestras serán almacenadas en el ICIPC por el periodo acordado en la oferta.
5. Para la disposición final de las muestras, se seguirán los lineamientos acordados en la oferta.
6. Las inquietudes o dudas referentes a estos resultados se pueden hacer únicamente a través del responsable del presente informe (Jefe de Laboratorio).

El laboratorio del ICIPC no se hace responsable por el uso posterior, ni por las interpretaciones que se realicen del presente informe.

ANEXO 5

Instituto de Capacitación e Investigación del Plástico y del Caucho

Informe de ensayo No. 11528-1-1

Página 1 de 6

ANÁLISIS POR CALORIMETRÍA DIFERENCIAL DE BARRIDO (DSC)

1. Lugar de realización del ensayo:

Laboratorio del Instituto de Capacitación e Investigación del Plástico y del Caucho.
ICIPC.

2. Dirección del laboratorio:

Carrera 49 No. 5 Sur. 190. Medellín, Colombia.
www.icipc.org

3. Nombre del cliente:

Nombre empresa: UNIVERSIDAD EAFIT
Contacto: Ing. Sandra González Villa

4. Dirección del cliente:

Dirección: Carrera 49 No. 7 Sur - 50
Teléfono: 261 95 00
Ciudad: Medellín

5. Identificación del material de ensayo:

Muestras identificada como:

- Endlock
- EPS

Fecha de recepción de la muestra: Septiembre 9 de 2014

6. Descripción de los servicios ordenados por el cliente:

Identificación cualitativa por calorimetría diferencial de barrido (DSC).

www.icipc.org

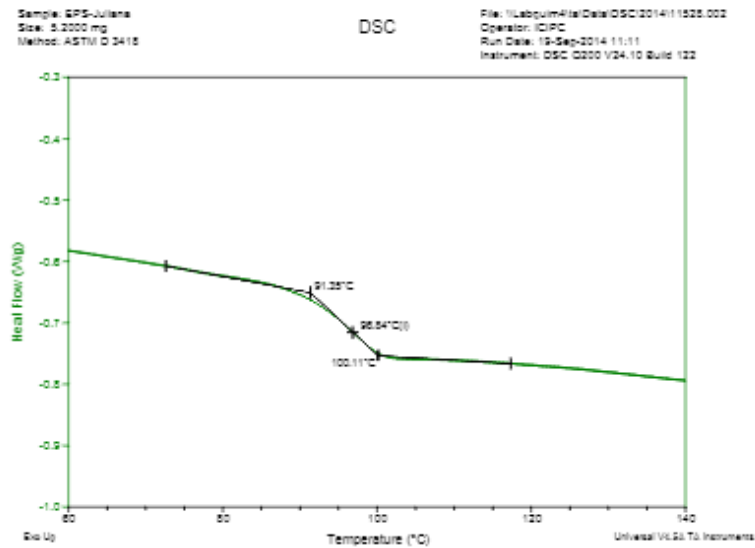
Cra 49 N° 5 sur 190. Bloque 37. Medellín - Colombia - Suramérica. Teléfono: + 57 4 311 64 78. Fax: + 57 4 311 63 81. icipc@icipc.org



Muestra: EPS

El termograma del segundo calentamiento de la muestra, *Figura N°4*, presenta una temperatura de transición vítrea (T_g) a 96,84°C. Esta transición se le atribuye al Poliestireno.

Figura N°4
EPS, Termograma DSC, segundo calentamiento



11. Fecha de ejecución de los ensayos: Septiembre 16 y 19 de 2014

12. Fecha de expedición del informe: Septiembre 23 de 2014

13. Ensayos realizados por:

- Original firmado-

Catalina María Álvarez R.
Laboratorista de Ensayos.

14. Responsable de aprobación:

- Original firmado-

Diego Alejandro Salazar H.
Jefe de Laboratorio

OBSERVACIONES:

1. Los resultados que aparecen en el presente informe se refieren únicamente a la muestra evaluada.
2. Este informe no debe reproducirse sin la aprobación escrita del Laboratorio del Instituto de Capacitación e Investigación del Plástico y del Caucho -ICIPC-.
3. Cualquier queja que se presente frente a los resultados de este informe podrá ser tramitada a través de nuestra línea telefónica [\(574\) 311 64 78](tel:5743116478) y el e-mail: vozdelcliente@icipc.org
4. Las muestras serán almacenadas en el ICIPC por el periodo acordado en la oferta.
5. Para la disposición final de las muestras, se seguirán los lineamientos acordados en la oferta.
6. Las inquietudes o dudas referentes a estos resultados se pueden hacer únicamente a través del responsable del presente informe (Jefe de Laboratorio).
7. El laboratorio del ICIPC no se hace responsable por el uso posterior, ni por las interpretaciones que se realicen del presente informe.

ANEXO 6

FICHA TECNICA PINTURA BASE SOLVENTE (D-LIMONENO)	Versión N°1
---	--------------------

1. DESCRIPCIÓN

Recubrimiento de alto brillo de secado al aire compuesto por resina de poliestireno expandido, solvente monoterpénico D- limoneno, pigmentos, cargas y aditivos. Utilizado para decoración, protección de interiores y exteriores en ambientes de baja agresividad.

2. PROPIEDADES

- ❖ Buena rapidez de secado
- ❖ Buen poder cubriente
- ❖ Excelente adhesión
- ❖ Excelente brillo
- ❖ Buena resistencia a la humedad
- ❖ Buena durabilidad

3. USOS

- ❖ Recubrimiento de decoración y protección tanto en interiores como en exteriores.
- ❖ Aplicación en superficies metálicas o de madera tales como maquinarias, ventanas, tuberías, etc.
- ❖ Emplear en ambientes de exposición moderados.

4. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Tiempo de secado al tacto (A 25°C)	2,39 horas
Poder cubriente	7,5 (En una escala de opacidad del 1 al 10)
Adhesión	Mayor al 95%
Viscosidad	11399,3 centiStokes

5. APLICACIÓN

- ❖ Asegurarse de que la superficie donde se aplicará el producto se encuentre limpia, seca, libre de residuos de otras pinturas.
- ❖ Agitar antes de aplicar y durante todo el tiempo de uso con una espátula limpia y seca, para homogenizar la mezcla.
- ❖ Se recomienda la aplicación de 2 o 3 capas con brocha o rodillo.
- ❖ Debido a su alta viscosidad no es recomendable para aplicación por aspersión.

6. SEGURIDAD

- ❖ El producto es un líquido combustible, manejar precauciones al respecto. No usar agua, combatir con Polvo químico seco.
- ❖ Resulta tóxico para organismos acuáticos, evitar derrames o contacto con alcantarillas o aguas naturales.
- ❖ Puede ocasionar irritación leve o moderada en las vías respiratorias si se tiene mucho contacto mientras el producto no está seco.
- ❖ Almacene en un lugar fresco y protegido de la luz solar.
- ❖ Usar solo en recipientes metálicos.

ANEXO 7

FICHA TECNICA D-LIMONENO

 **Louis Dreyfus**
Commodities

Product Specification

Official Status - Not Controlled Copy

Identification :	GQ-EPA-143-05
Title :	D`LIMONENE (93%) - TLA002
Approval Date :	06/09/2004

Body

1 PURPOSE : To define the finished product : D`Limonene (93%) - TLA002.

2 DESCRIPTION:

2.1 Physico- Chemical

- 2.1.1 Refractive Index (at 20°C): 1.469 to 1.475
- 2.1.2 Aldehyde as decanal (%w/w): Max. 1.0
- 2.1.3 Optical Rotation (at 25°C): 97 to 100
- 2.1.4 D`Limonene (GLC) (%): Min. 93

2.2 Sensorial

- 2.2.1 Smelling: The same or better than the standard

Official Status : GQ-EPA-143-05-E Not Controlled Copy

Page # : 1

ANEXO 8

FICHA TECNICA PINTURAS URIBE

	ESMALTE SINTETICO ALQUÍDICO	Código: BS200S – BS225E Pagina: 1/2 Ultima actualización
	ESMALTE PU	
	FICHA TÉCNICA	

1. NOMBRE

ESMALTE PU

2. DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

ESMALTE INTERIOR-EXTERIORES es un recubrimiento a base de resinas alquídicas para la protección de superficies metálicas en general, especialmente las ferrosas; también se aplica en madera y mampostería, exteriores e interiores. Proporciona excelente brillo, adherencia sobre superficies metálicas y protección contra la corrosión. Es de fácil aplicación y alta durabilidad. Disponible en varios colores.

3. PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS

Acabado	MATE-SEMI-BTE
Densidad	
Método de aplicación	Brocha o pistola
Disolvente recomendado	varsol
Tiempo de secado	4 a 6 horas para segundas manos 20 a 30 días para lavar con agua y jabón de tocador
rendimiento	25 a 30 m ² /por mano
Numero de manos recomendadas	2 a 3
Dilución máxima recomendada	4 partes de esmalte X 1 de varsol

4. PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE

- Asegúrese de que la superficie este seca, libre de grasa, aceite, polvo, suciedad y otros contaminantes. Las grietas o imperfecciones deben estar adecuadamente resanadas.
- En superficies metálicas ferrosas se recomienda aplicar previamente un anticorrosivo alquídico para lograr una mayor protección.
- En superficies metálicas no ferrosas, aplicar previamente un primer como promotor de adherencia.
- Las pinturas deterioradas deben ser completamente removidas con espátula o removedor de pinturas Pinturas Uribe.
- Si se va a pintar sobre una pintura antigua en buen estado, si ésta es brillante se lija suavemente con lija #220; si es semimate o mate simplemente se limpian.

5. APLICACIÓN

- Revolver con una espátula hasta obtener completa uniformidad del esmalte.
- Para aplicación con pistola, se diluye el esmalte con un 10% de varsol
- Para aplicación a brocha o rodillo se aplica el esmalte sin diluir.

	ESMALTE SINTETICO ALQUÍDICO	Código: BS200S – BS225E Pagina: 2/2 Ultima actualización
	ESMALTE PU	
	FICHA TECNICA	

- Se aplican dos o tres manos hasta obtener el espesor deseado. Dejando secar 6 horas aproximadamente entre manos.
- Los anolok pueden presentar leves rayas en el acabado con brocha lo cual no sucede con la aplicación con pistola.

6. OBSERVACIONES

- Para evitar la formación de natas en el almacenamiento de producto ya abierto, se agrega un poco de varsol y se tapa sin revolver.
- Los tiempos de secamiento varían de acuerdo con la temperatura ambiental y el espesor de película.

7. SEGURIDAD

Esmalte Interiores-Exteriores contiene materiales inflamables, por lo que debe almacenarse bajo techo y aplicar lejos de fuentes de calor. Se debe evitar la inhalación prolongada de los vapores. Para la limpieza de la piel y equipos usar varsol. Mantener fuera del alcance de los niños.

8. INFORMES Y ASESORIAS

Pinturas Uribe Envigado: Teléfonos: 270 24 37 – 270 07 53
 Dirección: calle 36 sur No. 37 – 50
 e-mail: pinturibe@une.net.co

Los datos contenidos en la presente FICHA TECNICA, referentes a nuestros productos, solo se suministran a título de indicación y sin compromiso. Recomendamos adaptarlos a las condiciones locales de trabajo.

9. BIBLIOGRAFÍA

Álvarez, P.C. Castrillón, G. *Evaluación de la producción de cuero reconstituido a partir de los residuos de cuerno tipo carnaza*. Universidad EAFIT. 2013.

Alonso, M.L. Lozano, A.R. Madregal, S.O. Vilte, E.D. Apaza, A.M. Saravia, J.I. *Degradación de poliestireno y polipropileno con microorganismos de Vermicompost*. Congreso Argentino de Saneamiento y Medio Ambiente. Buenos Aires. 2002

Arandes, J.M. Bilbao, J. López, D. *Reciclado de residuos plásticos*. Revista Iberoamericana de polímeros. 2004. 5(1): 28-45.

Arriola, E.A. Velásquez, F.E. *Evaluación técnica de alternativas de reciclaje de poliestireno expandido (EPS)*. Universidad de el Salvador. 2013.

Asociación de Ciudades y Regiones para el Reciclaje- ACRR. *Guía de Buenas Prácticas para el Reciclaje de los Residuos Plásticos*. Una guía por y para las autoridades locales y regionales. 2004.

Asociación Nacional de Poliestireno Expandido, ANAPE. *El Poliestireno Expandido y el Medio Ambiente*. ANAPE. 2004.

Ayala, S.C. Moreno, O.D. Preparación de una emulsión polimérica a partir de residuos sólidos urbanos de poliestireno (6) obtenido de vasos de yogurt con aplicación en pinturas. Universidad Industrial de Santander. 2010.

Bernal, E.L. *Optimización y estandarización del proceso de producción de pinturas*. Universidad Industrial de Santander. 2010.

Blázquez, M. *Empleo de polímeros conductores para mejorar la protección contra la corrosión en pinturas marinas*. Universitat politécnica de Catalunya. 2007.

Blount, E. *Disolventes*. Proyecto Fitema. Instituto Sindical de Trabajo Ambiente y Salud (ISTAS). 2008.

Cáceres, M.A. Sánchez, M. MasPOCH, M.L. Sánchez, M. Sánchez, A. *Desarrollo de un proceso de reciclaje para la fracción mixta de residuos de plástico, provenientes de plantas de separación selectiva*. Universitat Politècnica de Catalunya. 2009.

Calvo, J. *Pinturas y recubrimientos: Introducción a su tecnología*. Edición 1ra. Madrid. Díaz de Santos. 2009. ISBN: 978-84-7978-883-4.

Ceballos, V. *Creación de empresa, una tendencia que aumenta en Colombia*. El Empleo. 2013. En línea:
www.elempleo.com/colombia/consejos_profesionales/creacion-de-empresa-una-tendencia-que-aumenta-en-colombia-articulo-especial. (Octubre, 2015).

Cedeño, D. Espinoza, C.L. *Diseño y desarrollo de pintura autonivelante epóxica base solvente*. Universidad de Guayaquil. 2012.

CEMPRE. *Residuos Sólidos Urbanos: Manual de Gestión Integral*. Uruguay. 1998. En línea: www.cempre.org.uy/docs/manual_girsu/capitulo_1_y_capitulo_2.pdf. (Octubre, 2014).

Cerón, I. *Separación de metabolitos de los aceites esenciales de eucalipto y cidrón por destilación molecular*. Universidad Nacional de Colombia sede Manizales. 2009.

Cortés, L.E. “*Producción de emulsiones poliméricas a partir de poliestireno post-consumo, con posterior aplicación en la fabricación de aglomerados*”. Universidad Industrial de Santander. 2011.

IDEAM, IAvH, Invemar, SINCHI e IIAP. “Informe del Estado del Medio Ambiente y los Recursos Naturales Renovables 2011”. Bogotá, D. C. 2013. Pág. 33.

Domingo, R. *Estudio del mercado de productos plásticos reciclados*. 2011.

ECOPLAS. *Boletín técnico informático N°38. Poliestireno características y ventajas respecto al medio ambiente*. Centro de información técnica. 2011.

EPAM S.A. *Construcción de criterios técnicos para el aprovechamiento y valorización de residuos sólidos orgánicos con alta tasa de biodegradación, plásticos, vidrios, papel y cartón*. Manual 1: Generalidades. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo territorial. Viceministerio de Ambiente. Bogotá. 2008.

Fernández, A. Sánchez-Osuna, M. *Guía para la gestión integral de los residuos sólidos urbanos*. Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI). Secretaria Estatal para Asuntos Económicos (SECO). Laboratorio de Análisis de Residuos (LARE). 2007.

Florio, J.J. Miller, D.J. *Handbook of coatings additives*. Segunda Edición. Nueva York. 2004. ISBN: 0-8247-5626-6.

Future Markets Insight (FMI). *Expandable Polystyrene Market: Global Industry Analysis and Opportunity Assessment 2014 – 2020*. Chemicals and Materials. REP-GB-138. 2015

Gadea, R. Romano, D. Santos, T. *Sustitución de sustancias disolventes peligrosas: Guía para delegados y delegadas de prevención*. ISTAS. 2007.

GAIKER. *Reciclado de materiales: Perspectivas, tecnologías y oportunidades*. Bizkaiko Foru Aldundia Diputación Foral Bizkaia: Departamento de promoción e innovación tecnológica (BFA DFB). 2007.

Giudice, C.A. Pereyra, A.M. *Tecnología de pinturas y recubrimientos: componentes, formulación, manufactura y calidad*. Buenos Aires. Editorial Edutecne. 2009. ISBN 978-987-25360-2-2.

Golmakani, M.T. Mendiola, J.A. Rezaei, K. Ibáñez, I. *Pressurized limonene as an alternative bio-solvent for the extraction of lipids from marine microorganisms*. The Journal of Supercritical Fluids. 2014. 92: 1-7.

Gutmanel, K. *Calentamiento global de la tierra I*. Cambioclimatico.org. Publicado el 26 de Enero del 2009.

Hoorweg, D. Bhada-tata, P. *What a waste: A global review of solid waste management*. The World Bank. 2012. No 15.

Huamán, M. Mayo, N. *“Automatización del proceso de pintura”*. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú. 2012.

IDEAM, IAvH, Invemar, SINCHI e IIAP. *Informe del Estado del Medio Ambiente y los Recursos Naturales Renovables 2011*. Tomo 3: Contaminación del aire y agua en Colombia e impactos sobre la salud. Bogotá, D. C. 2013.

Javna, J. Javna. S. Javna, J. *50 cosas sencillas que puedes hacer para salvar la tierra*. The Earth Works Group. 2006. ISBN 978-84-8076-403-2.

Junca, I. *El icopor, una amenaza creciente para Bogotá*. El Espectador. Publicado el 1 de Febrero del 2014. En línea:<http://www.elespectador.com/noticias/bogota/el-icopor-una-amenaza-ambiental-creciente-bogota-articulo-472204>. (Octubre, 2015).

Kastillo, Y. *Comparación del contenido de Plomo en pintura de juguetes plásticos de color rojo de procedencia nacional contra los importados que cumplen con regulación internacional por la técnica de ICP-OES*. Universidad de San Carlos de Guatemala. 2014.

Markets and Markets. *Green Solvents & Bio Solvents Market By Types (Esters, Alcohols, Glycols & Other Diols, D - Limonene, Methyl Soyate) & By Applications (Industrial & Domestic Cleaners, Paints & Coatings, Printing Inks & Others) - Global Trends & Forecasts To 2018*. En línea: <http://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/green-bio-solvents-market-755.html> (Abril, 2015).

Martínez, N. *Construcción con paneles estructurales de poliestireno expandido*. Universidad Politécnica de Cartagena. 2012.

Masschelein-Kleiner, L. *Los solventes*. Publicaciones Centro Nacional de Conservación y Restauración DIBAM. Santiago de Chile. 2004

Miranda, J. Arcila, I. *Ensayos preliminares de solubilidad de poliestireno expandido*. Resultados no publicados. Laboratorios Universidad EAFIT. 2015.

Noguchi, T. Miyashita, M. Inagaki, Y. Watanabe, H. *A New Recycling System for Expanded Polystyrene using a Natural Solvent. Part 1: A New Recycling Technique*. Packaging, Technology and Science. 1998. 11:19-27.

Ortiz, M.L. *El impacto de los plásticos en el ambiente*. Centro de Investigación en Biotecnología de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM). 2013.

Pérez, G. *Espectrometría Infrarroja*. En línea: www.espectrometria.com/espectrometra_infrarroja (Julio, 2015).

Pintuco S.A. *Manual de productos: línea mantenimiento industrial*. Escuela de formación Pintuco. Medellín. 2000.

PlasticsEurope. *Plásticos- Situación en 2012: Análisis de la producción, la demanda y la recuperación de plásticos en Europa*. Asociación Europea de transformadores plásticos. 2011.

Poletto, M. Dettenborn, J. Zeni, M. Zattera, A.J. *Characterization of composites based on expanded polystyrene wastes and wood flour*. Waste Management Journal. 2011. 31: 779-784.

Quiñonez, J.E. *Uso de bloques de poliestireno expandido (EPS) para disminuir empujes sobre elementos de contención*. Universidad Central del Ecuador. 2014.

Ramos, M.A. María Ruiz, M.R. *Ingeniería de los materiales plásticos*. Madrid. Editorial Díaz de Santos. 1988. ISBN: 978-84-8625-185-7.

Rando, J.M. González, R.R. *Proceso de fabricación de una pintura. Tomo II: Componentes generales de las pinturas*. Universitat politècnica de Catalunya. 2005.

Samper, M.D. Rico, M.I. Ferrandiz, S. López, J. *Reducción y caracterización del residuo de poliestireno expandido*. REDISA. I Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos. 2008.

Sekharan, R.V. Abraham, B.T. Tachil, E.T. *Utilization of waste expanded polystyrene: Blends with silica-filled natural rubber*. Materials and Design. 2012. 40: 221-228.

Shuler, J. Tippet, J. Gaustad, J. Sosa, J. *Expandable Polystyrene and methods of forming the same*. United States Patent Application Publication. Patent Number US20110306689. 2011.

Sierra, D. “*Plan de negocio de una empresa de gestión de los residuos plásticos, en Sabaneta*”. Escuela de Ingeniería de Antioquia. 2010.

Skoog, D.A. Holler, F.J. Nieman, T.A. *Principios de análisis instrumental*. Quinta Edición. Madrid. Editorial Mc Graw Hill. 2001. ISBN: 84-481-2775-7.

Téllez, A. *La complejidad de la problemática ambiental de los residuos plásticos: una aproximación al análisis narrativo de política pública en Bogotá*. Universidad Nacional de Colombia. 2012

The Way To Go. *Environmental Impacts of Polystyrene*. Harvard University. 2008.

En línea:

sites.harvard.edu/fs/docs/icb.topic967858.files/PolystyreneFactSheets.pdf.

(Octubre, 2015)

Ulloa, C.A. *Metodología para la aplicación de pintura en edificaciones*. Universidad de Magallanes. 2010.

UTILBOX S.L. *Aplicaciones del EPS*. En línea:

www.utilbox.es/pages/eps_aplicaciones.html (Octubre, 2014).

Virost, M. Tomao, V. Ginies, C. Visinoni, F. Chemat, F. *Green procedure with a green solvent for fats and oils' determination Microwave-integrated Soxhlet using limonene followed by microwave Clevenger distillation*. Journal of Chromatography A. 2008. 1196-1197: 147-152.

Zuluaga, L.M. *Estudio de factibilidad técnica de la utilización de plástico reciclado en la elaboración de pinturas*. Universidad EAFIT. 2002.