

**REUTILIZACIÓN DE ACRILONITRILO BUTIL ESTIRENO (ABS) POST-
CONSUMO**

JOHANSSON OWEN STRAUSS



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE QUIMICA
BUCARAMANGA
2010**

**REUTILIZACIÓN DE ACRILONITRILO BUTIL ESTIRENO (ABS) POST-
CONSUMO**

JOHANSSON OWEN STRAUSS

Tesis de grado para optar al título de Químico

DIRECTOR

JOSÉ CARLOS GUTIÉRREZ GALLEGO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE QUÍMICA

BUCARAMANGA

2010

DEDICATORIA

El conocimiento es poder. La fuente primaria del universo, por que de él fueron creadas todas las cosas que hoy tratamos de estudiar y comprender. Es una herramienta que acompañada de la sabiduría, permite imaginar y crear lo que no era posible ser creado. Sin embargo dicen que existe el azar y que muchas cosas salieron de él, pero lo único cierto es que el azar solo favorece las mentes privilegiadas.

Johansson Owen Strauss

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primeramente a Dios y al Espíritu Santo la culminación de este proyecto, pese a la burla que esto pueda causar en el futuro a la persona que pueda estar leyendo esta tesis, sin embargo fueron ellos quien me han apoyado a lo largo de mi vida y creo que si no hubiera sido su voluntad que naciera, hoy no hubiera podido estar culminando este proyecto y mucho menos haberme formado como un profesional en compañía de familiares y amigos.

Al profesor José Carlos Gutiérrez gallego, que no solo fue mi director de proyecto, sino también mi amigo, consejero y mentor a lo largo de este proyecto en cuanto a la parte académica como personal. Agradezco en el mismo lugar a mi madre Rosalba Duarte quien gracias a su esfuerzo y dedicación pese a todas las dificultades, supo orientarme de la mejor manera posible desde sus limitaciones humanas.

De manera muy especial agradezco de igual forma a la juez del juzgado segundo de familia de la ciudad de Bucaramanga, Victoria Bolívar como también al doctor Rafael Velásquez, por su carisma y sentido de justicia como juez y abogado respectivamente.

Bien agradezco muy sinceramente a todos mis amigos del colegio, Ricardo, Luís, Miguel, Sergio, Hernán y Edwin por recorrer junto a mí, el camino de la adolescencia y ahora el de la madurez de la edad adulta.

A mis queridos amigos Saidy, Hernán guayaba, Juan pablo, Javier Golber, Lisbi, Sandra ortega, Genny Martínez, Carolina palacios, Carolina Eraso, July, Natalia, Loraine y Omar. Por sus acertados consejos y amistad incondicional durante

todos estos años en la universidad, como también a Manuel Roa quien me instruyo básicamente en lo relacionado con polímeros y haber compartido conmigo parte de su proyecto de grado.

También a mis compañeras laboratorio claudia Lizcano, Dianita, Astrid y Jenny, Saida, Julany. Quienes me acompañaron permanentemente en el laboratorio de química industrial durante el desarrollo de la parte experimental de este proyecto que hoy culmina.

Agradezco especialmente al señor Rafael, quien trabaja en el área de División de mantenimiento de la universidad industrial de Santander por haberme prestado la prensa hidráulica. Luego a la escuela de Geología por permitir el uso del estereoscopio.

TABLA DE CONTENIDO

| | Pág. |
|---|-------------|
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| | |
| 1. MARCO TEÓRICO | 4 |
| 1.1 ¿QUE SON LOS POLÍMEROS? | 4 |
| 1.2 DEFINICIONES RESPECTO A LOS POLÍMEROS | 4 |
| 1.2.1 CED | 4 |
| 1.2.2 Copolímero | 4 |
| 1.2.3 Granza | 5 |
| 1.2.4 Grupos Flexibilizantes | 5 |
| 1.2.5 Grupos Ridigizantes | 5 |
| 1.2.6 Homopolímero | 5 |
| 1.2.7 Longitud Crítica De Cadena (Z) | 5 |
| 1.2.8 Monómero | 6 |
| 1.2.9 Terpolímero | 6 |
| 1.2.10 Termofluidez | 6 |
| 1.3 ADITIVOS PARA POLÍMEROS | 6 |
| 1.3.1 Cargas Inertes: | 6 |
| 1.3.2 Estabilizantes | 7 |
| 1.3.3 Plastificantes | 7 |
| 1.3.4 Retardantes De Llama | 7 |
| 1.3.4.1 HBCD: | 8 |
| 13.4.2 DBPO: | 8 |
| 1.3.4.3 Trióxido De Antimonio: | 8 |
| 1.3.4.4 Fosfatos Orgánicos: | 8 |
| 1.3.4.5 Parafinas Cloradas: | 8 |
| 1.3.4.6 Octabromodifenil Éter | 8 |

| | |
|--|----|
| 1.3.4.7 Tetrabromobifenol A (TBBA): | 8 |
| 1.4 CLASIFICACIÓN DE POLÍMEROS SEGÚN SUS PROPIEDADES FÍSICAS | 9 |
| 1.4.1 Polímero Termoestable: | 9 |
| 1.4.2 Polímero Termoplástico | 9 |
| 1.4.3 Polímero Elastómero: | 9 |
| 1.4.4 Resina De Termofraguado | 9 |
| 1.4.5 Polímero Cristalino: | 10 |
| 1.4.6 Polímero Amorfo | 10 |
| 1.4.7 Polímeros Isómeros | 10 |
| 1.5 CLASIFICACIÓN DE POLÍMEROS SEGÚN SU ORDENAMIENTO ESPACIAL | 10 |
| 1.5.1 Táticos | 10 |
| 1.5.2 Sindiotático | 11 |
| 1.5.3 Atáticos | 11 |
| 1.6 CLASIFICACIÓN DE LOS POLIMEROS SEGÚN SU TIPO DE REACCIÓN DE POLIMERIZACIÓN | 11 |
| 1.6.1 Polimerización Por Adición. | 11 |
| 1.6.2 Polimerización Por Condensación. | 12 |
| 1.6.3 Polimerización En Suspensión, Emulsión Y Masa. | 13 |
| 1.7 MÉTODOS ALTERNATIVOS DE RECICLAJE PARA POLÍMEROS | 13 |
| 1.7.1 Reciclaje Primario: | 13 |
| 1.7.2 Reciclaje Secundario | 14 |
| 1.7.3 Reciclaje Terciario | 14 |
| 1.7.4 RECICLADO MECÁNICO | 14 |
| 1.7.4.1 Extrusión: | 15 |
| 1.7.4.2 Inyección: | 15 |
| 1.7.4.3 Soplado En Molde | 16 |
| 1.7.4.4 Soplado De Film: | 16 |
| 1.7.5 Reciclado Químico | 16 |
| 1.7.5.1 Tratamiento Con Disolventes: | 17 |

| | |
|---|----|
| 1.7.5.2 Hidrogenación: | 17 |
| 1.7.5.3 Gasificación: | 17 |
| 1.7.5.4 Pirolisis | 17 |
| 1.8 ESTRUCTURAS DE LOS MONÓMEROS QUE CONFORMAN EL ABS | 18 |
| 1.8.1 Propiedades Aportadas Por Cada Monómero Que Constituye El Abs. | 18 |
| 1.8.1.1 Acrilonitrilo: | 18 |
| 1.8.1.2 Butadieno | 18 |
| 1.8.1.3 Estireno: | 18 |
| 1.9 REACCIÓN GENERAL DEL PROCESO DE POLIMERIZACIÓN DE UNA RESINA POLIÉSTER | 19 |
| 1.10 ESTRUCTURA QUÍMICA DE LA RESINA POLIÉSTER | 19 |
| 1.11 SISTEMA INTERNACIONAL DE CLASIFICACIÓN DE MATERIALES POLIMÉRICOS COMERCIALES | 20 |
| 1.12 EMISIÓN A LA ATMÓSFERA DE AGENTES CONTAMINANTES EN LA FABRICACIÓN DE PLÁSTICOS | 21 |
| 1.13 DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS MATERIALES | 21 |
| 1.13.1 Ensayo De Compresión Y Deformación | 21 |
| 1.13.1.1 Deformación Elástica: | 22 |
| 1.13.1.2 Deformación Plástica | 22 |
| 1.13.1.3 Esfuerzo: | 22 |
| 1.13.1.4 Modulo De Young [E]: | 22 |
| 1.13.2 Ensayo De Impacto | 23 |
| 1.13.3 Ensayo De Flexión | 23 |
| 1.14 CANTIDAD DE SÍLICE DE LOS CEREALES | 24 |
| | |
| 2. DISEÑO EXPERIMENTAL | 25 |
| 2.1 CARACTERIZACIÓN DEL ABS POST-CONSUMO | 26 |
| 2.1.1 Determinación De Solubilidad | 26 |
| 2.1.2 Análisis De Infrarrojo | 27 |

| | |
|--|----|
| 2.1.3 Test De Llama | 28 |
| 2.1.4 Test De Pirolisis | 29 |
| 2.1.5 Comportamiento Térmico | 29 |
| 2.1.6 Determinación De La Densidad Del Abs Post-Consumo | 30 |
| 2.2 RECICLAJE O REUTILIZACIÓN DEL ABS POST-CONSUMO | 31 |
| 2.2.1 diseño experimental del proceso de reciclaje del abs | 31 |
| 2.2.2 Determinación Del Limite De Dispersión Del Abs Post Consumo En Estireno | 33 |
| 2.2.3 Preparación De La Resina Poliéster Preacelerada | 34 |
| 2.2.4 Ensayo De Homogenización Entre La Resina Poliéster Y La Dispersión De Abs En Estireno | 34 |
| 2.2.5 Preparación De Aglomerados Con Cascarilla De Arroz | 35 |
| 2.3. CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL POLIMÉRICO Y AGLOMERADO FABRICADOS LUEGO DEL PROCESO DE RECICLAJE. | 37 |
| 2.3.1. Espectro Infrarrojo | 37 |
| 2.3.2. Test Llama | 37 |
| 2.3.3. Determinación De Propiedades Físicas | 38 |
| 2.3.4 Comportamiento Térmico | 38 |
| 2.3.5 Determinaciones De Propiedades Mecánicas | 39 |
| 2.3.5.1 Ensayo De Compresión | 39 |
| 2.3.5.2 ensayo de impacto. | 40 |
| 2.3.5.3 Ensayo De Flexión | 41 |
| 2.3.6 Prueba De Permeabilidad | 41 |
| 2.3.7 Densidad | 42 |
| 2.3.8 Ensayo De Conductividad Térmica | 42 |
| 2.3.9 Resistencia Química Ante La Presencia De Sustancias Acidas Y Básicas | 43 |
| 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS | 44 |
| 3.1 CARACTERIZACIÓN DEL ABS POST CONSUMO | 44 |
| 3.1.1 Determinación De La Dispersión Del Abs En Varios Solventes | 44 |

| | |
|---|----|
| 3.1.2 Infrarrojo Del ABS Disperso En Estireno | 46 |
| 3.1.3 Test De Llama Del Abs Post-Consumo | 48 |
| 3.1.4 Test De Pirolisis Del ABS Post-Consumo | 49 |
| 3.1.5 Comportamiento Térmico Manual Del ABS | 49 |
| 3.1.6 Determinación De La Densidad Del ABS Solidó | 51 |
| 3.2 RECICLAJE O REUTILIZACIÓN DEL ABS POST-CONSUMO | 51 |
| 3.2.1 Determinación Del Límite De Dispersión Del ABS Post-Consumo En Estireno | 51 |
| 3.2.2 Ensayos De Compatibilidad Entre La Resina Poliéster Y La Dispersión De ABS En Estireno | 52 |
| 3.2.3 Fabricación De Aglomerados Con Cascarilla De Arroz | 55 |
| 3.2.3.1 Aglomerados Fabricados Con Mezcla De (60% Abs + 40% Resina) | 55 |
| 3.2.3.2 Aglomerados Fabricados Con Dispersión De Abs | 56 |
| 3.3 CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL POLIMÉRICO Y DEL AGLOMERADO | 57 |
| 3.3.1. Espectro Infrarrojo | 57 |
| 3.3.1.1 Espectro Ir De La Mezcla (60% ABS +40% Resina) | 57 |
| 3.3.1.2 Análisis Del Ir De La Mezcla (ABS+Resina) | 57 |
| 3.3.1.3 Espectro Ir De La Resina Poliéster | 58 |
| 3.3.1.4 Análisis Del Ir De La Resina Poliéster | 59 |
| 3.3.1.5 Espectro Ir De La Cascarilla De Arroz | 60 |
| 3.3.1.6 Análisis Del Ir De La Cascarilla De Arroz | 61 |
| 3.3.2. Determinación Cualitativa De Las Propiedades Físicas | 61 |
| 3.3.2.1 Observación De La Estructura De Los Diferentes Aglomerados Mediante Uso De Un Estereoscopio Nikon Smz, Aumento 50x Y Fuente De Luz Polarizada | 61 |
| 3.3.3 Comportamiento Térmico | 64 |
| 3.3.3.1 Comportamiento Térmico De La Resina Poliéster | 64 |
| 3.3.3.2 Comportamiento Térmico De La Mezcla (Abs +Resina) | 64 |
| 3.3.4 Determinación De Propiedades Mecánicas. | 66 |

| | |
|--|----|
| 3.3.4.1 Ensayos De Compresión | 66 |
| 3.3.4.2 ENSAYO DE FLEXIÓN | 68 |
| 3.3.5 Pruebas De Permeabilidad | 69 |
| 3.3.6 Determinación De Densidad Para Los Aglomerados Y Una Muestra Solidada De La Mezcla (ABS+Resina). | 70 |
| 3.3.7 Ensayo De Conductividad Térmica | 71 |
| 3.3.8. Resistencia Química Ante La Presencia De Sustancias Acidas Y Básicas | 73 |
| 3.3.8.1 Resistencia Química De Los Aglomerados | 73 |
| 3.3.8.2 RESISTENCIA QUÍMICA DE LAS MUESTRAS SÓLIDAS | 73 |
| | |
| 4. CONCLUSIONES | 75 |
| | |
| 5. RECOMENDACIONES | 77 |
| | |
| BIBLIOGRAFÍA | 78 |
| | |
| ANEXOS | 82 |

LISTA DE FIGURAS

| | Pág. |
|--|-------------|
| Figura 1: Proceso de extrusión | 15 |
| Figura 2: Proceso de inyección | 15 |
| Figura 3: Proceso de soplado en molde | 16 |
| Figura 4: Monómeros constituyentes del ABS | 18 |
| Figura 5: Reacción general del proceso de polimerización de una resina poliéster | 19 |
| Figura 6: Estructura química de la resina poliéster ortoftálica | 19 |
| Figura 7. Diseño experimental | 25 |
| Figura 8: Fosforeras post-consumo | 26 |
| Figura 9: Equipo 27-IR | 28 |
| Figura 10: Equipo IR acoplado al computador | 28 |
| Figura 11: Trozos de ABS antes de pirolizar | 28 |
| figura 12: Combustión de los cristales de ABS | 28 |
| Figura 13: Montaje de pirolisis | 29 |
| Figura 14: Determinación de densidad método Arquímedes | 30 |
| Figura 15: Izquierda solución (ABS + Resina), derecha solución resina preacelerada | 34 |
| Figura 16: Molino de cuchillas | 35 |
| Figura 17: Cascarilla de arroz molida | 35 |
| Figura 18: Prensa hidráulica | 36 |
| figura19: Moldes circular y rectangular | 36 |
| Figura 20: Probetas de (ABS+ Resina) y resina | 37 |
| figura 21: Productos fabricados luego de reciclar | 37 |
| Figura 22: Observación en el estereoscopio | 38 |
| Figura 23: Análisis de muestra | 38 |

| | |
|---|----|
| Figura 24: Equipo de ensayos | 39 |
| figura 25: Compresión de aglomerado | 39 |
| Figura 26: Equipo para ensayos de impacto | 40 |
| Figuras 27: Ensayo de flexión | 41 |
| figura 28: Ensayo de flexión finalizado | 41 |
| Figura 29: Montaje para determinar la conductividad térmica | 43 |
| Figura 30: Espectro infrarrojo del ABS disperso en estireno | 46 |
| Figura 31: Llama del ABS | 49 |
| figura 32: Llama del PVC | 49 |
| Figura 33: Espectro IR de la mezcla (ABS+RESINA) | 57 |
| Figura 34: Espectro IR de la resina poliéster | 58 |
| Figura 35: Espectro IR de la cascarilla de arroz | 60 |
| Figura 36: Aglomerado con solo ABS | 61 |
| figura 37: Aglomerado con solo ABS | 61 |
| Figura 38: Aglomerado con solo ABS | 62 |
| Figura 39: Aglomerado con solo ABS | 62 |
| Figura 40: Aglomerado con (ABS + Resina) | 62 |
| Figura 41: Aglomerado con (ABS + Resina | 62 |
| Figura 42: Aglomerado con (ABS + Resina | 62 |
| Figura 43: Aglomerado con (ABS + Resina) | 62 |
| Figura 44: Aglomerado con solo Resina | 63 |
| Figura 45: Aglomerado con solo Resina | 63 |
| Figura 46: Diagrama del comportamiento térmico para aglomerados | 71 |

LISTA DE TABLAS

| | Pág. |
|--|------|
| Tabla 1: Códigos para el reciclaje de polímeros | 20 |
| Tabla 2: Emisión de agentes contaminantes en la fabricación de plásticos ⁽¹⁹⁾ | 21 |
| Tabla 3: Cantidad de sílice en los cereales en peso ⁽¹⁹⁾ | 24 |
| Tabla 4: Pruebas de dispersión del ABS en diferentes solventes. Basado en observación ocular | 44 |
| Tabla 5: Análisis IR del ABS disperso en estireno | 47 |
| Tabla 6: Resultados del test de llama del ABS | 48 |
| Tabla 7: Comportamiento térmico manual del ABS | 49 |
| Tabla 8: Determinación de la densidad del ABS solidó | 51 |
| Tabla 9: Extracción del exceso de estireno en la dispersión | 52 |
| Tabla 10: Resultados del límite de dispersión del ABS post-consumo | 52 |
| Tabla 11: Compatibilidad de mezclado entre el ABS y la resina poliéster. (Mirar anexo D) | 52 |
| Tabla 12: Resultados de la preparación de aglomerados con mezcla de (60% ABS+ 40% RESINA) | 55 |
| Tabla 13: Resultados de la fabricación de aglomerados con la dispersión de ABS | 56 |
| Tabla 14: Análisis del IR de la mezcla ABS + Resina | 57 |
| Tabla 15: Análisis del IR de la resina poliéster | 59 |
| Tabla 16: Análisis del IR de la cascarilla de arroz | 61 |
| Tabla 17: Comportamiento térmico de la resina poliéster polimerizada | 64 |
| Tabla 18: Comportamiento térmico de la mezcla (ABS + Resina) | 64 |
| Tabla 19: Resultados del ensayo de compresión para los aglomerados con cascarilla de arroz | 66 |
| Tabla 20: Resultados del ensayo de compresión para las muestras sólidas | 67 |

| | |
|--|----|
| Tabla 21: Resultados del ensayo de flexión para los aglomerados de cascarilla de arroz | 68 |
| Tabla 22: Resultados del ensayo de impacto para los aglomerados de cascarilla de arroz | 68 |
| Tabla 23: Resultados de la permeabilidad de los aglomerados | 69 |
| Tabla 24: Densidad del aglomerado (ABS + Resina) | 70 |
| Tabla 25: Densidad del aglomerado de solo ABS | 70 |
| Tabla 26: Densidad del cristal (ABS + Resina) | 70 |
| Tabla 27: Resultados de conductividad térmica | 71 |
| Tabla 28: Resultados de conductividad térmica | 71 |
| Tabla 29: Resistencia química de aglomerados | 73 |
| Tabla 30: Resistencia química de cristales | 73 |

LISTA DE ANEXOS

| | Pág. |
|---------|------|
| ANEXO A | 82 |
| ANEXO B | 87 |
| ANEXO C | 90 |
| ANEXO D | 91 |
| ANEXO E | 96 |

LISTA DE ABREVIATURAS

ABS: Acrilonitrilo Butil Estireno

CED: Densidad de energía cohesiva

HDPE: Polietileno de alta densidad

h_i : Altura inicial

h_f : Altura final

IR: Espectro infrarrojo

PP: Polipropileno

PET: Poli teraftalato de etilen

PVC: Poli cloruro de vinilo

SLN: Solución

STO: Solute

STE: Solvente

T_g : Temperatura de transición vítrea

RESUMEN

TITULO: REUTILIZACIÓN DE ACRILONITRILO BUTIL ESTIRENO (ABS) POST-CONSUMO*

AUTOR: JOHANSSON OWEN STRAUSS**

Palabras Claves: Polímeros, Dispersión, Aglomerado, Reciclaje, Resina Poliéster y Pirolisis.

El Acrilonitrilo Butil Estireno (ABS), es un polímero que se utiliza en la industria en la fabricación de carcasas de electrodomésticos y fosforeras. Este uso masivo del ABS, ha generado un negativo impacto ambiental al igual que los otros plásticos fabricados en la actualidad. Después que estos cumplen su ciclo de vida útil en el mercado, son desechados y destinados en su mayoría a botaderos municipales sin la mas mínima posibilidad de ser reciclados.

Para mitigar este impacto ambiental, se diseño un método de reciclaje físico-Químico del ABS post-consumo, mediante la dispersión del polímero en estireno y posterior incorporación de este a resinas tipo poliéster, hasta en un 60% en peso de la mezcla total. De esta forma se logra la fabricación de materiales sólidos y aglomerados con cascarilla de arroz, con el fin de buscar una aplicación practica de este tipo de materiales con buenas propiedades aislantes, alta resistencia a la tensión e impermeabilización de superficies lo que permite reincorporar este polímero a la vida útil como también la generación de fuentes de empleo en la recolección y procesado del mismo en la industria

El ABS post-consumo y material fabricado luego del reciclaje, se caracterizo por técnicas espectroscópicas (IR), comportamiento térmico, test llama para polímeros, test de pirolisis, determinación de densidad, propiedades mecánicas, pruebas de aislamiento térmico y pruebas de resistencia química ante sustancias acido y base.

* Trabajo De Grado

** Facultad De Ciencias, Escuela De Química, Gutiérrez José Carlos

ABSTRACT

TITLE: REUSE OF BUTYL ACRYLONITRILE STYRENE POST-CONSUMER*

AUTHOR: JOHANSON OWEN STRAUSS**

KEY WORDS: Polymers, Dispersion, Agglomerate, Recycling, Polyester Resin, Pyrolysis.

The butyl Acrylonitrile styrene (ABS) is a polymer which is industrially used in the manufacture of electrical appliance casing and lighters. This massive use of ABS has generated a negative environmental impact as well as plastics that are being manufactured nowadays. After they fulfill their lifecycle in the market, most of them are discarded and destined to the municipal dumps without the slightest possibility of being recycled.

In order to mitigate this environmental impact, a physicochemical recycling method of the ABS postconsumer was designed by the dispersion of polymer in styrene and subsequently its incorporation to a type polyester resin, reaching up to 60% Wt (mass percentage) of the total mixture, achieving the manufacture of solid materials and agglomerates made from rice husk, in order to find a practical application of these materials with good insulating properties and waterproofing of surfaces. Fact that besides allowing the reincorporation of this polymer to the useful life generates employment opportunities by its collection and processing in the industry.

After the recycling process, the ABS postconsumer and manufactured material was characterized by spectroscopic techniques (IR), thermal behavior, polymer flame test, pyrolysis test, density determination, mechanical properties, thermal insulation test and chemical resistance test with acid and base substances.

* Work of Degree

** Faculty Of Sciences, School Of Chemistry, Director Gutiérrez Jose Carlos

INTRODUCCIÓN

Los polímeros han existido desde el mismo inicio del hombre, solo que actualmente se relaciona el termino polímero con materiales de origen sintético como los plásticos; sin embargo la celulosa, el almidón, las gomas, las ceras, la seda y el caucho son ejemplos de polímeros de origen natural. Ya que su macro estructura se fundamenta en la repetición tridimensional de una estructura básica llamada monómero. La configuración y desplazamiento espacial del monómero es lo que le permite a el polímero adquirir complejidad estructural y mejorar sus propiedades físicas y químicas; tales como tenacidad, rigidez, elasticidad y la resistencia a los ataques de algunos factores ambientales o de solventes orgánicos e inorgánicos.

Todos estos materiales fueron descubiertos poco a poco por el hombre, lo que estimuló la creatividad humana para encontrarles uso en la vida diaria; prueba de ello fue el desarrollo naval en las antiguas civilizaciones, donde no solo se requería de cierto grado de destreza e ingenio para construir una embarcación de madera, sino que también de encontrar una manera de impermeabilizarla; para este fin utilizaban ceras vegetales, que igualmente son polímeros como la celulosa de la cual fabricaban los navíos.

Todo este descubrimiento de nuevos materiales y de sus aplicaciones, impulsaron al hombre moderno a estudiarlos concienzudamente, logrando comprender a un mas su funcionalidad y así lograr el mejoramiento de los mismos; tanto así que en la actualidad se continua con la búsqueda de nuevos materiales que ofrezcan alta durabilidad, rápida masificación del proceso, fácil moldeo y sobre todo que sean biodegradables. Esta ultima prioridad no se tenia en cuenta en la época de 1860, donde por primera vez se logro sintetizar el primer plástico semisintético llamado

parkesina, por Alexander Parkes (1813-1890); Este plástico se denomina semisintético por que su fabricación partía de fibras naturales como el algodón, el cual era disuelto en ácido nítrico y luego se le incorporaba alcanfor como plastificante.

Todo este conocimiento naciente en cuanto a los polímeros, permite que por primera vez en la historia humana el hombre comience a apropiarse de su futuro y desarrollo tecnológico, pues poco a poco satisface sus necesidades modernas creando sus propios productos, sin la preocupación de limitarse tan solo por lo que la naturaleza pudiera ofrecerle. Luego de la *parkesina* se sintetizó la *ivorita*, una clase de marfil semisintético que se moldeaba en caliente, luego apareció el celuloide y de allí el nitrato de celulosa, siendo el punto crucial para el desarrollo de la fotografía y posteriormente la cinematografía en 1887. No obstante en esta época se sintetizó la *bakelita*, un polímero totalmente sintético que logra tener éxito comercial a nivel mundial en 1907, gracias a sus propiedades de resistencia química, térmica y característica aislante; lo que lo convierte rápidamente en materia prima imprescindible, en la fabricación de enseres domésticos tales como enchufes, carcasas para radios y relojes.

Este rápido cambio de la sociedad humana en cuanto al desarrollo de productos sintéticos, tuvo un gran impacto en los años de 1950; la cual se le denominó como la década del nacimiento del plástico, pues para esta época, se alcanzó un gran desarrollo a nivel industrial en la fabricación de varias clases de plásticos enfocados hacia la línea doméstica, sobretodo en artículos de cocina. El PVC (policloruro de vinilo) se utilizaba ya en ese entonces para recubrir suelos, pero pese a las bondades que ofrecía sus propiedades, no se había utilizado desde su descubrimiento en 1870; otro polímero de gran acogida comercial en esta época fue la *melamina de formaldehído* (formica), que ofrecía resistencia a los detergentes, calor y al agua haciéndolo un material idóneo para las diversas aplicaciones en el hogar.

Pero sin lugar a dudas, el polímero del que se tuvo mayor conocimiento fue el producido por primera vez en las instalaciones de la compañía DU PONT en la década de 1930; se trataba de el nylon-66, sintetizado por Wallace H. Carothers (1826-1937), partiendo del ácido adípico disuelto en hexano y hexametildiamina en agua. Logrado desarrollar un material más fuerte que el hilo de acero y además un nuevo accesorio en la moda femenina. Las medias de nylon-66 que tuvieron su máxima popularidad en 1940.

1. MARCO TEÓRICO

1.1 ¿QUE SON LOS POLÍMEROS?

Los polímeros son macroestructuras, formadas por la repetición de una estructura básica llama monómeros que al unirse unas con otras forman larga cadenas. Los monómeros son los encargados de crear la complejidad estructural del polímero, pues si el monómero no es una unidad químicamente voluminosa puede unirse mas fácilmente con otros del mismo tipo, otorgando así propiedades físicas y químicas excelentes al polímero.

La palabra polímero deriva de la unión de dos palabras griegas, “polys” que significa muchas y “meros” partes, entonces su nombre nos indica claramente que un polímero es la unión de muchas partes.

1.2 DEFINICIONES RESPECTO A LOS POLÍMEROS

1.2.1 CED

Densidad de energía cohesiva

1.2.2 Copolímero

Es el polímero cuya estructura se basa en la unión y repetición tridimensional de dos tipos de monómeros diferentes

1.2.3 Granza

Material plástico en forma de granos o cilindros perforados, que se utilizan para fabricar objetos reciclados.

1.2.4 Grupos Flexibilizantes

Son grupos que se encuentran en la estructura del polímero y que su presencia incrementa el movimiento segmental del mismo como: hidrógenos y grupos metilo.

1.2.5 Grupos Ridigizantes

Son grupos que se encuentra en la estructura del polímero y que su presencia disminuye significativamente el movimiento segmental del mismo. Generalmente estos grupos guardan una estrecha relación con la voluminosidad y la electronegatividad de grupos funcionales como fenilos, amidas, carbonilo y sulfonilo.

1.2.6 Homopolímero

Es un polímero cuya estructura se basa en la repetición tridimensional de un único tipo de monómero.

1.2.7 Longitud Crítica De Cadena (Z)

Es la longitud de cadena mínima necesaria para que se produzca enmarañamiento entre las cadenas de un polímero.

1.2.8 Monómero

Es la unidad estructural mínima que posee un polímero, que al unirse y desplazarse en forma tridimensional, conforma redes que luego a su vez forman estructuras más grandes denominadas polímeros.

1.2.9 Terpolímero

Es el polímero que en su estructura tridimensional posee tres clases distintas de monómeros.

1.2.10 Termofluidez

Se refiere a la deformación y cambio de viscosidad que sufre un polímero a causa del calentamiento.

1.3 ADITIVOS PARA POLÍMEROS

1.3.1 Cargas Inertes:

Son materiales que se le incorporan a los polímeros para darles color u opacidad según se requiera. Sin embargo dicha carga no interviene en la reacción de polimerización. La característica de este tipo de carga, es que se incluye en la matriz polimérica, pero no actúa como un material que potencie o disminuya las propiedades estructurales (físico-mecánicas) o químicas del polímero.

Ejemplos: caolín, mica, vidrio y asbesto.

1.3.2 Estabilizantes

Evitan o retrasan la degradación producida por el calor, la luz ultravioleta, el agua o el tiempo. Ejemplo sales de plomo que se usan en el PVC.

1.3.3 Plastificantes:

Son pequeñas moléculas orgánicas que actúan a manera de lubricantes entre las cadenas que conforman el polímero, mejorando el procesamiento de los mismos e influyendo en las características finales de este.

Consecuencias de adicionar plastificante a los polímeros

- Reducen la fricción entre las partículas del material, minimizando el calentamiento friccional y retrasando la fusión hasta el punto óptimo.
- Reducen la viscosidad del fundido promoviendo el buen flujo del material.
- Evitan que el polímero caliente se pegue a las superficies del equipo de procesamiento

1.3.4 Retardantes De Llama

Evitan la combustión inmediata del polímero cuando es expuesto al fuego directo, también funcionan como agentes de auto extinción, queriendo decir con esto que un polímero que hace combustión por contacto al fuego, al ser retirado de este la llama se extinguirá y detendrá su combustión debido a que no facilita la formación de brasas en el polímero.

Un ejemplo del uso de estos son las sales, es el caso particular del benceno al cual se le aplica una sal clorada que evidencia su existencia al quemar PVC. Pues muestra una llama de color verde brillante.

Algunos retardantes de llama son:

1.3.4.1 HBCD: Hexabromociclododecano, se usa principalmente en las espumas de poliestireno. Es toxico presuntamente cancerigeno

13.4.2 DBPO: Óxido de decabromodifenilo, se utiliza en el EPS (poliestireno expandido ó Icopor)

1.3.4.3 Trióxido De Antimonio: Se usan principalmente en revestimientos de paredes, pinturas y textiles (tapicerías)

1.3.4.4 Fosfatos Orgánicos: Son retardantes de llama predominantes, demostrada su neurotoxicidad y son cancerigenos, entre ellos se encuentran el tris-mono y di cloro propil fosfato (textiles y látex).

1.3.4.5 Parafinas Cloradas: Carcinógenos demostrados, se usan para revestimientos polivalentes de paredes, piscinas, revestimientos aislantes etc.

1.3.4.6 Octabromodifenil Éter: Se utiliza en productos electrónicos fabricados de ABS

1.3.4.7 Tetrabromobifenol A (TBBA): Se utiliza en placas de circuito y productos fabricados de ABS

1.4 CLASIFICACIÓN DE POLÍMEROS SEGÚN SUS PROPIEDADES FÍSICAS

1.4.1 Polímero Termoestable:

Esta clase de polímeros también son denominados termofijos, pues al ser sometidos a calentamiento, sufren alteraciones tanto químicas como estructurales por efecto del rompimiento de enlaces; siendo un hecho irreversible que no permite volvernos a moldear puesto que se descomponen inmediatamente.

1.4.2 Polímero Termoplástico

Estos polímeros poseen una temperatura de ablandamiento, siendo duros a temperatura ambiente, pero al calentarlos se hacen blandos y viscosos debido a que ocurre ruptura de las fuerzas de atracción entre las cadenas poliméricas que lo conforman. Estos polímeros tienen la particularidad de ser casi solubles y sensibles al ataque de agentes ambientales.

1.4.3 Polímero Elastómero:

Poseen gran flexibilidad o un alto grado de estiramiento debido a su estado poco amorfo. Estos polímeros tienen valores bajos de temperatura para su transición vítrea (T_g), debido a que son poco entrecruzados con cadenas de formas irregulares que mantienen levemente su característica amorfa. Ejemplo el hule natural.

1.4.4 Resina De Termofraguado

Se trata de polímeros que al ser expuestos a temperatura de mediano orden se convierten en una masa sólida, dura e insoluble debido a la existencia de enlaces entrecruzados. Un ejemplo de ellos es la Bakelita

1.4.5 Polímero Cristalino:

Es un polímero con una estructura espacial ordenada que carece de prolongaciones de cadenas secundarias unidas a la cadena principal.

1.4.6 Polímero Amorfo

Es un polímero con estructura espacial irregular o sin orden y que permite fácilmente el paso de la luz a través de la estructura

1.4.7 Polímeros Isómeros

Son polímeros que tienen esencialmente la misma composición de porcentaje, pero que difieren en la colocación de los átomos o grupos de átomos en las moléculas

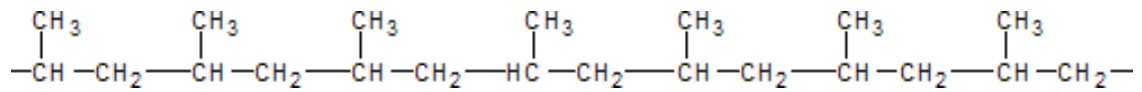
Cabeza a cola: $\text{—CH}_2\text{—CHX—CH}_2\text{—CHX—CH}_2\text{—CHX—CH}_2\text{—CHX—}$

Cabeza a cabeza y cola a cola: $\text{—CH}_2\text{—CH}_2\text{—CHX—CHX—CH}_2\text{—CH}_2\text{—CHX—}$

1.5 CLASIFICACIÓN DE POLÍMEROS SEGÚN SU ORDENAMIENTO ESPACIAL

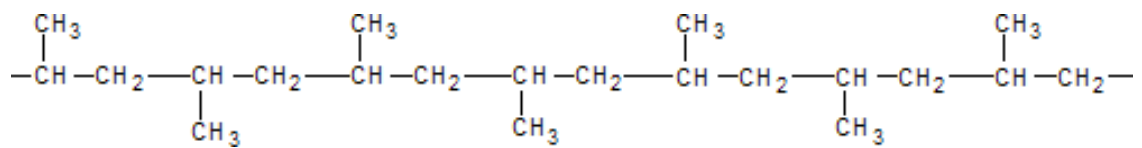
1.5.1 Tácticos

Son aquellos polímeros que poseen una regularidad espacial en cuanto a la orientación de sus grupos funcionales de sus monómeros constituyentes en una misma dirección



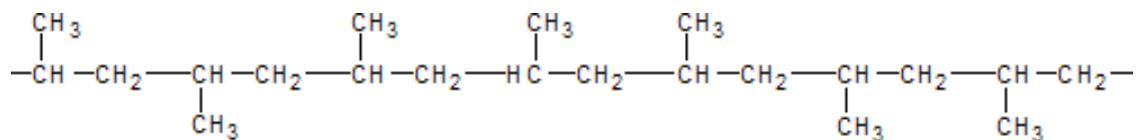
1.5.2 Sindiotático

Son aquellos polímeros que poseen una regularidad alternada arriba y abajo en cuanto a la ubicación de los grupos funcionales de sus monómeros constituyentes.



1.5.3 Atácticos

Son polímeros que no presentan una regularidad espacial, en cuanto a la ubicación de los grupos funcionales de cada monómero constituyente.



1.6 CLASIFICACIÓN DE LOS POLÍMEROS SEGÚN SU TIPO DE REACCIÓN DE POLIMERIZACIÓN

1.6.1 Polimerización Por Adición.

- Adición de moléculas pequeñas de un mismo tipo, unas a otras por apertura del doble enlace, sin eliminación de ninguna parte de la molécula (polimerización de tipo vinilo.).

- Adición de pequeñas moléculas de un mismo tipo, unas a otras por apertura de un anillo, sin eliminación de ninguna parte de la molécula (polimerización tipo epóxido.).
- Adición de pequeñas moléculas de un mismo tipo, unas a otras por apertura de un doble enlace con eliminación de una parte de la molécula (polimerización alifática del tipo diazo).
- Adición de pequeñas moléculas, unas a otras por ruptura del anillo con eliminación de una parte de la molécula (polimerización del tipo α -aminocarboxianhidro.).
- Adición de birradicales formados por deshidrogenación (polimerización tipo *p*-xileno.).

1.6.2 Polimerización Por Condensación.

- Formación de poliésteres, poliamidas, poliéteres, polianhidridos, etc., por eliminación de agua o alcoholes, con moléculas bifuncionales, como ácidos o glicoles, diaminas, diésteres entre otros (polimerización del tipo poliésteres y poliamidas.).
- Formación de polihidrocarburos, por eliminación de halógenos o haluros de hidrógeno, con ayuda de catalizadores metálicos o de haluros metálicos (policondensación del tipo de Friedel-Crafft y Ullmann.).
- Formación de polisulfuros o poli-polisulfuros, por eliminación de cloruro de sodio, con haluros bifuncionales de alquilo o arilo y sulfuros alcalinos o

polisulfuros alcalinos o por oxidación de dimercaptanos (policondensación del tipo Thiokol.).

1.6.3 Polimerización En Suspensión, Emulsión Y Masa.

Polimerización en suspensión. En este caso el peróxido es soluble en el monómero. La polimerización se realiza en agua, y como el monómero y polímero que se obtiene de él son insolubles en agua, se obtiene una suspensión. Para evitar que el polímero se aglomere en el reactor, se disuelve en el agua una pequeña cantidad de alcohol polivinílico, el cual cubre la superficie de las gotitas del polímero y evita que se peguen.

Polimerización en emulsión. La reacción se realiza también en agua, con peróxidos solubles en agua pero en lugar de agregarle un agente de suspensión como el alcohol polivinílico, se añade un emulsificante, que puede ser un detergente o un jabón.

1.7 MÉTODOS ALTERNATIVOS DE RECICLAJE PARA POLÍMEROS

Las diferentes vías de reciclaje para polímeros que existen en la actualidad, son alternativas condicionadas según el material de residuo que se desea reciclar. Como los residuos sucios, materiales mezclados o de composición demasiado específica (aditivos y cargas). Por ello el reciclaje a maneara global se puede clasificar así:

1.7.1 Reciclaje Primario:

Trata de la reincorporación de los residuos de producción al mismo proceso, como las rebabas y piezas defectuosas.

1.7.2 Reciclaje Secundario

Trata de la introducción de la granza reciclada para la elaboración de nuevos productos, que por lo general poseen menores exigencias de calidad o bien incorporándola en una pequeña porción

1.7.3 Reciclaje Terciario

Trata de la descomposición de los residuos plásticos en productos químicos sencillos para la síntesis de nuevas sustancias o la obtención de energía mediante pirolisis controlada. Principalmente esta etapa de reciclaje se enfoca al reciclaje químico, obteniéndose monómeros de los plásticos originales o gas de síntesis.

1.7.4 RECICLADO MECÁNICO

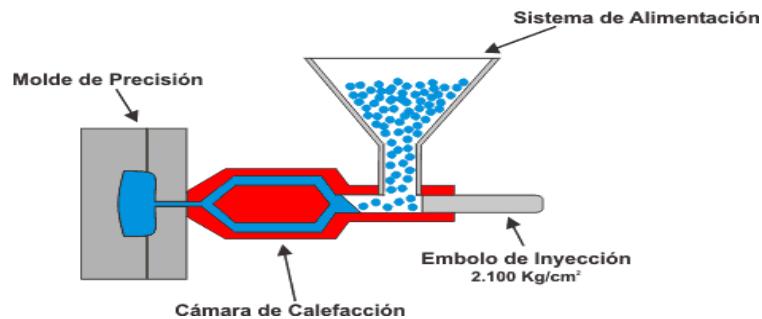
Esta clase de reciclaje se enfoca a la recuperación de polímeros mediante tratamientos de moldeo por extrusión y calandrado, los cuales se fundamenta en el aprovechamiento de las propiedades físicas de los plásticos, en cuanto a sus propiedades termoplásticas que se relaciona directamente a sus respectivos puntos de fusión y temperatura de transición vítrea.

Una de las ventajas del reciclado mecánico, es que su materia prima mantiene una mayor estabilidad de precios que los vírgenes que están sujetos al valor internacional del barril de petróleo. Sin embargo una de las dificultades de este proceso es que el número de ciclos de reciclaje para los plásticos es limitado, debido a que en cada ciclo aplicado, el material pierde parte de sus propiedades mecánicas por oxidación y envejecimiento del mismo y por acción de la temperatura que se aplica durante el proceso. Además otro factor que dificulta este proceso es que la mayoría de los productos post-consumo, son fabricados

con mezclas complejas de plásticos que no se pueden separar o que poseen una gran parte de cargas, aditivos y pigmentos.

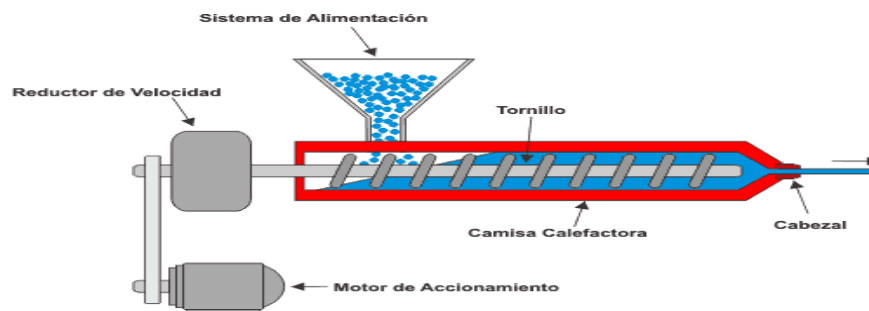
1.7.4.1 Extrusión: Es un proceso mecánico que se utiliza para homogeneizar el tamaño de partícula de los residuos plásticos recolectados mediante triturado, obteniendo la granza. La extrusión implica someter el material a calor y presión para que funda perdiendo el mínimo de las características posibles.

Figura 1: Proceso de extrusión

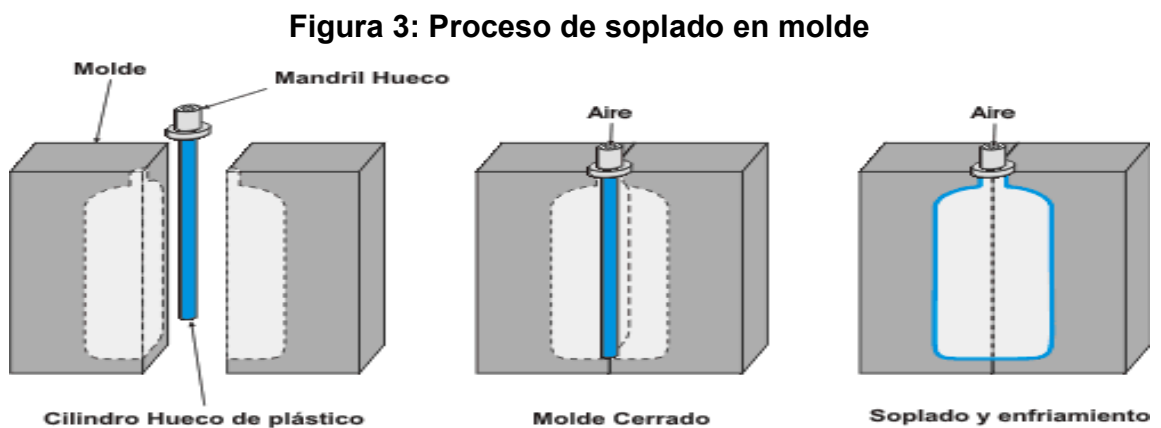


1.7.4.2 Inyección: Es la segunda etapa luego de la extrusión, el material fundido se inyecta en un molde para dar forma del producto deseado, con o sin material virgen añadido

Figura 2: Proceso de inyección



1.7.4.3 Soplado En Molde: Esta técnica se utiliza principalmente en la fabricación de botellas y similares. Consiste en inyectar la masa de material en un molde y presionarla contra las paredes del mismo mediante el soplado de aire comprimido, siendo la parte de sujeción de la pieza la que está en contacto con la extrusora y no es soplada (la boca de la botella)



1.7.4.4 Soplado De Film: Esta técnica se utiliza frecuentemente en la fabricación de bolsas y laminas de plástico. Se sopla aire comprimido en el interior de un fino tubo a través del material fundido para expandirlo, hasta el extremo de convertirlo en una fina película cilíndrica y sin fin. Posteriormente se corta o se sella para producir las bolsas o laminas

1.7.5 Reciclado Químico

Esta forma de reciclado se focaliza en fraccionar en un polímero específico en monómeros y obtener otros productos químicos de alto valor añadido para utilizarlos en la elaboración de plásticos vírgenes, o bien incorporarlos a la matriz polimérica de otros productos.

Estos son algunos tratamientos para el reciclado químico que en la mayoría no se han desarrollado comercialmente.

1.7.5.1 Tratamiento Con Disolventes: Se basa en la aplicación de disolventes para producir la glicólisis, hidrólisis o alcoholólisis del polímero a los monómeros que lo constituyen. Este proceso como tal tiene la desventaja de ser específico para cada tipo de polímero en función de sus características, por lo que la mezcla de diferentes materiales en los residuos dificulta su implementación

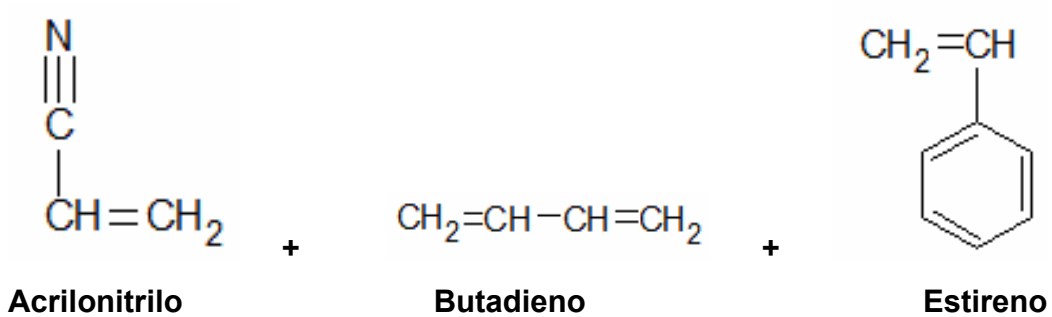
1.7.5.2 Hidrogenación: En la aplicación de este proceso se utiliza la adición de una corriente de hidrógeno a alta temperatura en un reactor en ausencia de oxígeno para reducir el tamaño de las cadenas poliméricas. En ocasiones se usa la incorporación de catalizadores selectivos para optimizar la eficiencia del proceso.

1.7.5.3 Gasificación: Este proceso se basa en la descomposición a alta temperatura de los polímeros en presencia de oxígeno en cantidades inferiores a la estequiométrica, lo que produce una oxidación incompleta, para obtener un gas de síntesis con bajo poder calorífico compuesto principalmente por CO, H₂ e hidrocarburos.

1.7.5.4 Pírolisis: Es la degradación de las moléculas de gran tamaño a otras de menor peso molecular por la adición de calor en ausencia de oxígeno.

1.8 ESTRUCTURAS DE LOS MONÓMEROS QUE CONFORMAN EL ABS

Figura 4: Monómeros constituyentes del ABS



1.8.1 Propiedades Aportadas Por Cada Monómero Que Constituye El Abs.

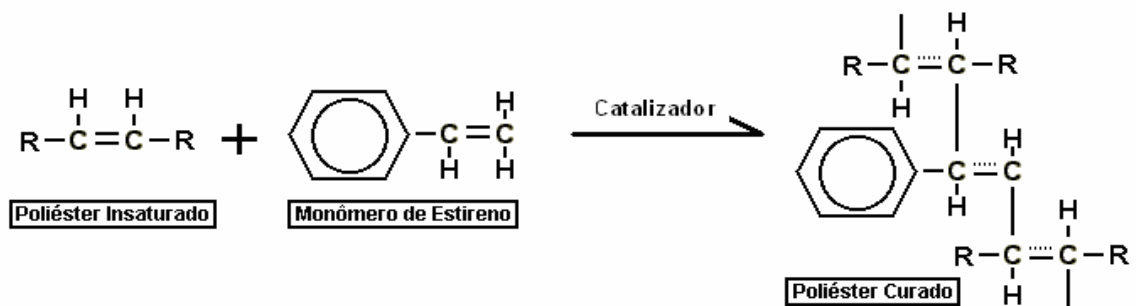
1.8.1.1 Acrilonitrilo: Proporciona resistencia térmica, Resistencia química, Resistencia a la fatiga como Dureza y rigidez.

1.8.1.2 Butadieno: Proporciona ductilidad a baja temperatura, Resistencia al impacto y Resistencia a la fusión.

1.8.1.3 Estireno: Proporciona Facilidad de procesado (fluidez), Brillo como también Dureza y rigidez.

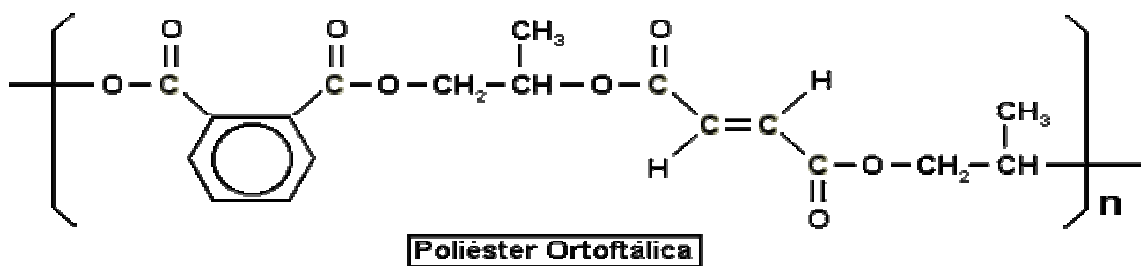
1.9 REACCIÓN GENERAL DEL PROCESO DE POLIMERIZACIÓN DE UNA RESINA POLIÉSTER

Figura 5: Reacción general del proceso de polimerización de una resina poliéster









1.10 ESTRUCTURA QUÍMICA DE LA RESINA POLIÉSTER

Figura 6: Estructura química de la resina poliéster ortoftálica



1.11 SISTEMA INTERNACIONAL DE CLASIFICACIÓN DE MATERIALES POLIMÉRICOS COMERCIALES

Tabla 1: Códigos para el reciclaje de polímeros

| CÓDIGO DE RECICLADO | PLÁSTICO | APLICACIONES PARA EL RECICLADO |
|---|-----------------------------------|--|
|  | PET Polietilén Tereftalato | Fibras textiles, cintas de audio, video, fibras para almohadas y acolchados |
|  | HDPE polietileno de alta densidad | Botellas de detergentes, materas, baldes, suelas e inmobiliario como reemplazo de madera |
|  | PVC poli(cloruro de vinilo) | Alfombrillas, tuberías, pavimentos, elementos varios |
|  | LDPE polietileno de baja densidad | Sustituto de madera, envoltorios para transporte, baldes y materas |
|  | PP polipropileno | Carcasas de baterías de vehículos, luces de señalización, fibras de escoba y cepillos, rejillas y bandejas |
|  | PS poliestireno | Interruptores eléctricos, aislante térmico, material de oficina rígido, expandido se usa como aislante de construcción. |
|  | ABS y OTROS | Aplicaciones en los que no se requiera pureza del material reciclado, como sustitutos de madera. Los materiales reforzados con fibras no se reciclan |

1.12 EMISIÓN A LA ATMÓSFERA DE AGENTES CONTAMINANTES EN LA FABRICACIÓN DE PLÁSTICOS

Tabla 2: Emisión de agentes contaminantes en la fabricación de plásticos ⁽¹⁹⁾

| EMISIÓN | HDPE 1 Kg de tubo | PP 1 Kg de granza | PVC 1 Kg en masa | PET 1 Kg de botellas |
|-----------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|----------------------------|
| Partículas | 7.100 | 1.500 | 1.700 | 5000 |
| CO | 1.500 | 720 | 660 | 6000 |
| CO ₂ | 3 MILLONES | 1.9 MILLONES | 1.2 MILLONES | 3.1 MILLONES |
| SO _x | 24.000 | 13.000 | 5.700 | 23.000 |
| NO _x | 15.000 | 9.600 | 6.400 | 16.000 |
| Hidrocarburos | 6.200 | 2.300 | 1.400 | 12.000 |
| Metano | 8.300 | 6.100 | 4.300 | 10.000 |
| Hidrogeno | 100 | 77 | 410 | 460 |
| HCL | 230 | 33 | 70 | ----- |
| Órganoclorados | ---- | ---- | 10 | ----- |

1.13 DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS MATERIALES

1.13.1 Ensayo De Compresión Y Deformación

Esta prueba se realizó sometiendo una probeta a la acción de una fuerza de carga axial o perpendicular, con el fin de determinar su grado de deformación elástica y plástica bajo la acción de dicha fuerza.

La probeta es cualquier muestra sólida de un material, con volumen de un sólido regular que por lo general es un cilindro circular. Ya que permite calcular fácilmente su altura y área superficial.

1.13.1.1 Deformación Elástica: Se refiere a deformación reversible que sufre momentáneamente un cuerpo por alargamiento, cuando es sometido a una fuerza de carga capaz de estirar parcialmente los enlaces entre los átomos que estructuran dicho material.

1.13.1.2 Deformación Plástica: Es la deformación permanente e irreversible que sufre un cuerpo cuando es sometido a una fuerza que supera su punto máximo de esfuerzo.

1.13.1.3 Esfuerzo: Es una unidad de medida que ayuda a determinar la cantidad de fuerza que puede resistir un material antes de su fractura, cuando se le comprime. El esfuerzo se mide en [psi]

$$\sigma = \frac{\text{Fuerza [psi * m}^2\text{]}}{\text{Área [m}^2\text{]}}$$

1.13.1.4 Modulo De Young [E]: Es una unidad de medida que describe que tan rígido es un material con respecto a otro y se mide en [psi]

$$E = \frac{\text{Fuerza [N]}}{\text{Deformación [m/m]}}$$

1.13.2 Ensayo De Impacto

Mide el nivel de resistencia de un material ante un choque o golpe intenso y repentino. El ensayo de impacto se realiza utilizando un péndulo pesado que parte de una altura h_o , gira describiendo un arco, golpea y rompe la probeta, alcanzando una elevación menor al final h_f .

Para calcular la energía de impacto del material, se determina la diferencia de elevación inicial y final del péndulo utilizado antes y después de golpear la probeta. Con esta diferencia de alturas del péndulo, se determina la diferencia de energías potenciales que es directamente proporcional a la energía de impacto absorbida por la probeta durante la ruptura. La capacidad de un material para resistir el impacto se denomina tenacidad.

1.13.3 Ensayo De Flexión

Para realizar este ensayo, se toma una muestra de un material compactado en forma de un tablón y se le coloca una barra de hierro en la mitad del mismo, con el fin de garantizar que la fuerza de carga aplicada, se concentre únicamente en ese punto y no sobre toda la superficie del material.

Esta prueba determina que tan flexible es un material con respecto a otro, la fuerza que se le aplica a dicho material lo deforma continuamente hasta su punto de fractura.

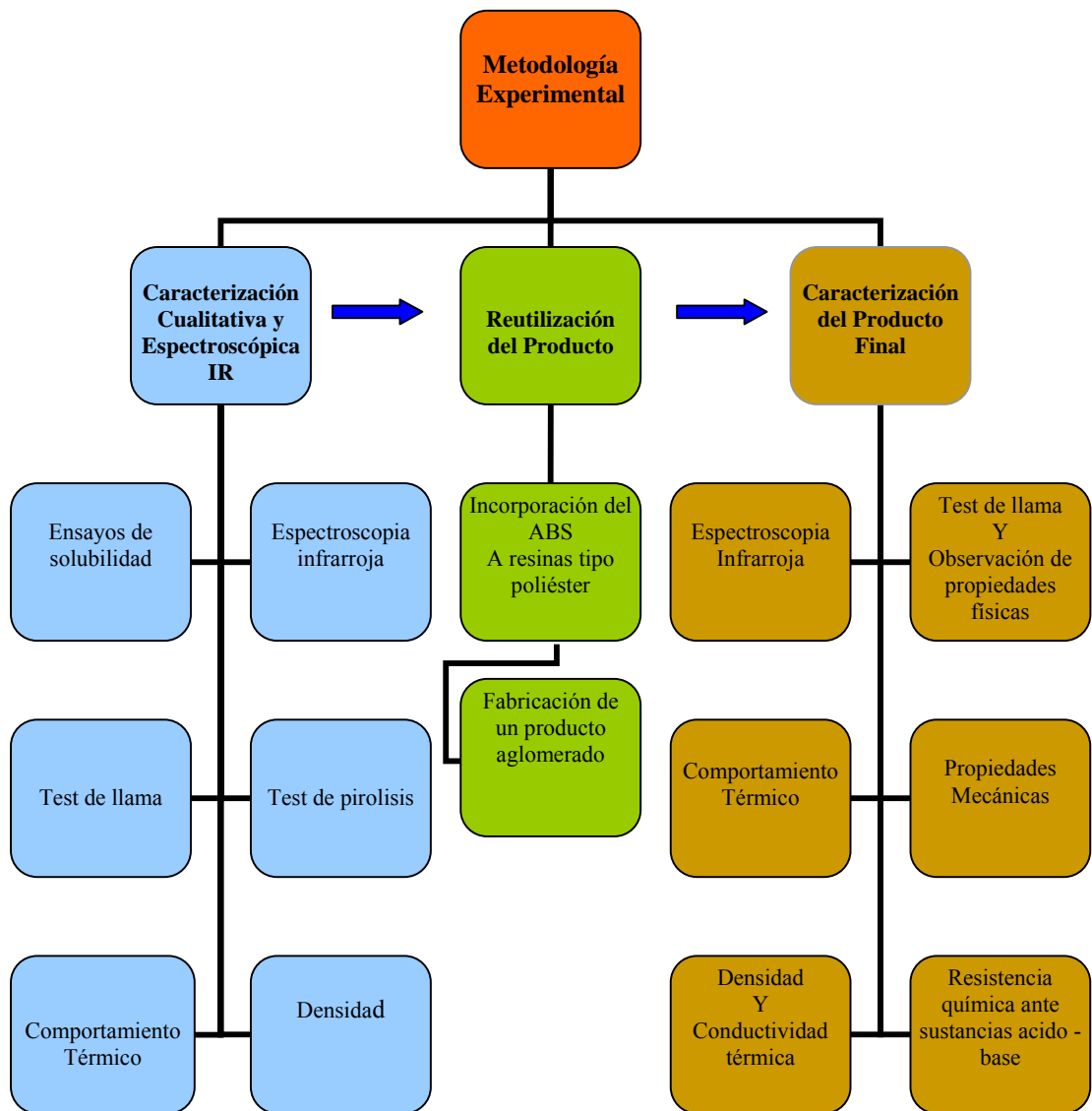
1.14 CANTIDAD DE SÍLICE DE LOS CEREALES

Tabla 3: Cantidad de sílice en los cereales en peso ⁽¹⁹⁾

| PLANTA | PARTE DE LA PLANTA | % CENIZAS [PESO] | % SIO ₂ [PESO] |
|--------|---------------------|------------------|---------------------------|
| SORGO | Cubierta de la hoja | 12,5 | 88,7 |
| TRIGO | “ “ | 10,5 | 90,7 |
| MAÍZ | “ “ | 12 | 64,3 |
| ARROZ | Paja | 22 | 93 |

2. DISEÑO EXPERIMENTAL

Figura 7. Diseño experimental



2.1 CARACTERIZACIÓN DEL ABS POST-CONSUMO

En esta etapa se sometió el material plástico recolectado (presunto ABS), a pruebas de carácter cualitativo como: test llama, ensayo de solubilidad, test de pirolisis, espectroscopia infrarroja, densidad y comportamiento térmico llevado a cabo mediante el uso de un fusiómetro. Estas pruebas se realizaron con el fin de obtener resultados que permitieran compararlos con los reportados en la literatura lo cual contribuyó a confirmar que el material plástico recolectado es ABS.

Figura 8: Fosforeras post-consumo



2.1.1 Determinación De Solubilidad

Para realizar esta prueba, se utilizaron diferentes solventes de tipo comercial, con el fin de determinar en cual de ellos el ABS proveniente de las fosforeras se dispersa en forma total. La idea de utilizar solvente comercial, siempre estuvo presente para permitir la implementación del proceso en forma industrial.

Se utilizaron 0.3 gr. de ABS molido para realizar cada una de las pruebas de dispersión a una temperatura ambiente de 26°C en reposo durante 3 días, allí se

observó el comportamiento del ABS frente al solvente. Ya que el ABS no dispersa de forma inmediata en algunos solventes, sino que por el contrario presenta una etapa de hinchamiento y posterior dispersión según la afinidad química del solvente; este proceso puede tardar alrededor de uno a dos días

Solventes utilizados

- Acetona
- Cloroformo
- Xileno
- Tinner
- NaOH
- Metanol
- Estireno
- Gasolina
- Varsol
- Tolueno

2.1.2 Análisis De Infrarrojo

Para realizar este análisis, se tomaron 3 muestras de ABS post-consumo de diferentes colores y se lijo cada una mecánicamente hasta obtener una lamina tan delgada que permitiera obtener un espectro definido. Con esto se garantizó que el análisis espectral correspondiera a una muestra en su estado más puro. Para el análisis se utilizo un equipo **Bruker modelo tensor 27 FT-IR**.

Figura 9: Equipo 27-IR



Figura 10: Equipo IR acoplado al computador

2.1.3 Test De Llama

Se tomó aproximadamente 0.2 gramos de ABS post-consumo y se colocó sobre una espiral de alambre de cobre (mirar figura). Esta muestra se acercó lentamente a la llama del mechero, donde se observó el color de la llama, velocidad de combustión y auto extinción, desprendimiento de olores característicos y por ultimo la presencia de hollín (18).

Figura 11: Trozos de ABS antes de pirolizar



figura 12: Combustión de los cristales de ABS

2.1.4 Test De Pirolisis

Esta prueba se realizo tomando un tubo de ensayo pyrex, el cual consta de una salida lateral (mirar figura). Seguido se introdujo en este una pequeña muestra del ABS post-consumo y se sello completamente la parte superior del tubo, luego se adapto un pequeño frasco de vidrio en la salida lateral del tubo de ensayo, donde se encontraba un trozo de papel pH humedecido en agua destilada.

Una vez construido el montaje, se procedió a pirolizar la muestra mediante el uso de un mechero. Al punto en que la muestra presento signos claros de descomposición y emanación de vapores. Estos vapores viajaron por el interior del tubo hasta hacer contacto con el trozo de papel pH humedecido que se encontraba dentro del frasco de vidrio acoplado a la salida lateral del mismo. Esto permitió obtener un valor aproximado del pH de los vapores emanados, por cambio de coloración del papel pH, facilitando la identificación del polímero mediante el uso de tablas registradas en la literatura ⁽¹⁸⁾.

Figura 13: Montaje de pirolisis



2.1.5 Comportamiento Térmico

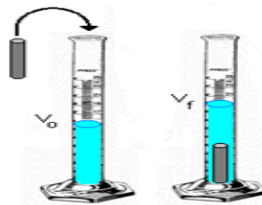
Este análisis se realizó de manera manual mediante la ayuda de un fusiómetro marca **FISHER SCIENTIFIC**, modelo: **09488**. Se tomaron 3 fragmentos de ABS

post-consumo de colores diferentes cada uno se sometieron a un barrido de temperatura de 25°C a 300°C y a una velocidad (1°C/min). Se registró periódicamente el cambio de sus propiedades físicas como color y temperatura de ablandamiento o temperatura de transición (T_g).

2.1.6 Determinación De La Densidad Del Abs Post-Consumo

Para hallar la densidad aparente del ABS, fue necesario recurrir al principio básico de Arquímedes; el cual permite encontrar una relación entre la masa y el volumen de un objeto, mediante la observación de la cantidad de volumen desplazado cuando se sumerge un cuerpo en un líquido.

Figura 14: Determinación de densidad método Arquímedes



Vale la pena mencionar que este método fue necesario implementarlo, ya que muchos materiales poliméricos a nivel estructural contienen huecos espaciados a manera de poros o imperfecciones. De manera tal, que estas circunstancias evitan obtener un valor real o casi cercano a la verdadera densidad del material. Según norma **ASTM D792**.

Para este caso, se granuló el ABS post-consumo mediante molienda mecánica. Luego se procedió a pesar en varias oportunidades diferentes cantidades de este polímero granulado, para sumergirlos en unos volúmenes de agua previamente medidos en una probeta. Posteriormente se calculó su densidad mediante la relación masa volumen.

$$\text{DENSIDAD} = \frac{\text{Masa de la muestra}}{\text{Volumen desplazado}}$$

2.2 RECICLAJE O REUTILIZACIÓN DEL ABS POST-CONSUMO

2.2.1 diseño experimental del proceso de reciclaje del abs

Para llevar acabo este diseño experimental de reciclaje del ABS post-consumo, se tomaron como punto de partida los resultados y observaciones registradas en las pruebas de solubilidad realizadas inicialmente; allí el polímero ante la presencia de los diferentes solventes podía permanecer inalterado, tener un hinchamiento parcial, un hinchamiento total con apariencia de gel granulado o la total homogenización por dispersión en el solvente.

De estas observaciones, se eligieron los solventes que mostraron una buena dispersión del ABS, siendo estos la acetona, el cloroformo y el estireno; sin embargo allí se analizó la viabilidad económica del proceso en cuanto al valor de los solventes y su disponibilidad en el mercado, apelando a las restricciones que el país tiene para algunos de ellos como resultado del estatuto de estupefacientes. Basados en esta premisa se encontró que el cloroformo y la acetona son solventes restringidos en su venta por la legislación colombiana y muy costosos, razón por la cual se decidió emplear el estireno comercial por su mayor disponibilidad en el mercado, por su similitud química al ABS, y por ser un solvente activo en los procesos de polimerización vinílica.

La pregunta ahora es ¿Para que sirve una dispersión de ABS en estireno? Pues allí no se logra dar una solución clara al objetivo de reciclar de este polímero. Sin embargo en la literatura se encontró estudios referentes a la comercialización de productos relacionados con polímeros, donde se menciona el uso actual y extendido de resinas poliéster (27). Siendo estas la materia prima principal en la fabricación de innumerables productos para la industria automotriz y línea domestica. Ejemplo de esto es la fabricación de mesones, defensas para autos y tinas de baño.

Lo que cautivo de este producto es que su preparación se hace en forma líquida a temperatura ambiente y que su solidificación se basa en una reacción de polimerización, mediante la adición de un catalizador. Esta forma de preparación de la resina poliéster ofreció la posibilidad de mezclarla con la dispersión de ABS conseguida con el estireno.

Una investigación mas afondo sobre las propiedades mecánicas de la resina y su preparación, se encontró que para preparar dicha resina se utiliza una mezcla peso a peso de 70% de resina poliéster, 5% Naftenato de Cobalto (Agente controlador de la velocidad de polimerización), y 30% de estireno, junto con unas gotas de catalizador. Este penúltimo ingrediente dio vía libre a los ensayos de mezclado entre la dispersión de ABS post-consumo con la resina poliéster.

Ahora las preguntas son ¿Cuál es la compatibilidad entre la mezcla de la resina poliéster y la dispersión del ABS en estireno? ¿Que porcentaje máximo en peso de ABS disperso en estireno se puede incorporar a dicha resina?

A partir de los anteriores hallazgos, se realizó las siguientes pruebas para obtener la proporción ideal en la cual se pudiera incorporar la máxima cantidad en peso de ABS disperso con resina poliéster, sin que la mezcla final presentara fallas estructurales luego de polimerizar completamente.

2.2.2 Determinación Del Limite De Dispersión Del Abs Post Consumo En Estireno

Para realizar este ensayo, se aplicó de manera inversa a la forma tradicional mediante la cual se halla el límite de dispersión para las sustancias sólidas en un determinado solvente; pues las técnicas tradicionales apuntan a medir un volumen inicial de solvente y luego incorporar poco a poco el soluto previamente pesado en el mismo. Observando cuidadosamente en que punto el solvente se hace insuficiente para seguir dispersando mas soluto.

Para hallar el limite de dispersión del ABS post-consumo, se midió una cantidad inicial de solvente (250 ml de estireno) y se añadió 30 gr. de ABS molido. Luego se esperó que el ABS se hinchara a causa del solvente, posteriormente se agitó manualmente por espacio de 10 minutos hasta lograr una dispersión homogénea que no presentaba material granulado, correspondiente a partículas de ABS molido aun no disperso.

Terminada esta etapa, se observó que la solución exudaba un sobrenadante de estireno; este estireno en exceso fue retirado poco a poco de la dispersión hasta que la misma no presentó más exudación del solvente. El solvente recolectado se almacenó y posteriormente se midió su volumen para luego restarlo al volumen inicial. De esta manera se logró calcular la cantidad de solvente que aun permanecía en la dispersión solvatando permanente el ABS.

Este procedimiento se realizó de la forma descrita, debido a que el ABS en presencia de estireno no se dispersa de manera inmediata, sino por el contrario sufre una proceso de hinchamiento continuo hasta lograr dispersarse, lo que no permite obviamente utilizar el método tradicional para hallar el limite de dispersión

2.2.3 Preparación De La Resina Poliéster Preacelerada

Esta formulación se realizo peso a peso para 800 gramos de resina poliéster

Se toman 520 gr. de resina poliéster, luego se le adicionan 240 gr. de estireno y por ultimo 40 gr. de Naftenato de Cobalto. Todo esto se agita lentamente evitando la incorporación de aire, hasta obtener una mezcla completamente homogénea.

Figura 15: Izquierda solución (ABS + Resina), derecha solución resina preacelerada



2.2.4 Ensayo De Homogenización Entre La Resina Poliéster Y La Dispersión De Abs En Estireno

Este ensayo de mezclado se realizó mediante la utilización de diversas formulaciones peso a peso entre la dispersión (ABS/ estireno) y la de resina poliéster preacelerada. Luego de solidificadas las mezclas preparadas, se procedió a analizarlas en forma ocular para buscar imperfecciones o fallas estructurales, causadas por una deficiente homogenización entre la dispersión del ABS y la resina. (Mirar anexo E)

Esta observación de las muestras sólidas obtenidas, se complementó al realizar un corte transversal al material ya polimerizado, seguido de una mejora en su

superficie mediante una pulida manual en húmedo con lija numero 1500 que permitía hacer una observación mas precisa del interior del bloque de polímero.

2.2.5 Preparación De Aglomerados Con Cascarilla De Arroz

En la fabricación de los materiales aglomerados se empleó la dispersión de ABS post-consumo como también la mezcla de esta con resina poliéster en una proporción de (60% ABS + 40% resina poliéster). Luego estas fueron mezcladas nuevamente de manera individual con cascarilla de arroz; la cual fue finamente molida en un molino de cuchillas marca **WILEY MILL** y seleccionada en un tamiz de 1mm o menor (**REF 42756**) (mirar figura), hasta que se logro determinar la cantidad de cascarilla molida necesaria para formar un material aglomerado tanto con dispersión de ABS como con la mezcla (60% ABS +Resina).

Figura 16: Molino de cuchillas



Figura 17: Cascarilla de arroz molida

El criterio que se tuvo en cuenta para la fabricación de estos aglomerados fue crear una mezcla homogénea, que no resultara ni muy blanda como tampoco muy dura, dependiendo del grado de humectación que tenia la cascarilla por parte de

cada una de las diferentes dispersiones poliméricas mencionadas (los valores se muestran en la tabla 12, Pág. 39).

Lograda la formulación correcta entre la proporción de la harina de cascarilla de arroz con cada una de las mezclas poliméricas. Se procedió a depositar esta mezcla en moldes de acero y a prensar con una prensa hidráulica **MARCA CARVER**, se hicieron probetas de aglomerados de forma cilíndrica y tabloncillos rectangulares, aplicando un rango de presiones que variaron entre 0 y 1 tonelada, con temperatura de curado 26°C. Observando si había o no exudación de fluido luego de aplicar una presión de 1 tonelada.

Figura 18: Prensa hidráulica



figura19: Moldes circular y rectangular

2.3. CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL POLIMÉRICO Y AGLOMERADO FABRICADOS LUEGO DEL PROCESO DE RECICLAJE.

Figura 20: Probetas de (ABS+ Resina) y resina



figura 21: Productos fabricados luego de reciclar

2.3.1. Espectro Infrarrojo

Para realizar este ensayo fue necesario aplicar en forma similar el procedimiento descrito en el numeral (3.1.2); sin embargo la parte adicional que se realizó a éste fue tomar un espectro infrarrojo a la harina de la cascarilla de arroz junto a una muestra sólida de resina poliéster preparada y polimerizada, al igual que a una muestra sólida de la mezcla resultante entre la mezcla de resina poliéster y ABS post-consumo.

2.3.2. Test Llama

Este ensayo se realizó de la misma forma en que se describió en el numeral (3.1.3).

2.3.3. Determinación De Propiedades Físicas

En este análisis se detalló minuciosamente los productos sólidos y aglomerados, fabricados con la mezcla (60% ABS + 40% Resina) y con la dispersión de ABS-post consumo. Se observó y registró datos cualitativos como color, textura y olor, por último se realizó una detallada observación de la estructura interna de cada uno de estos materiales con ayuda de un estereoscopio marca **NIKON SMZ**. Utilizando un aumento de 50X y una fuente de luz polarizada

Figura 22: Observación en el estereoscopio



Figura 23: Análisis de muestra

2.3.4 Comportamiento Térmico

Este análisis se realizó de manera manual con un fusiómetro marca **FISHER SCIENTIFIC**, modelo: **09488**. Se toman 3 fragmentos correspondientes a las muestras sólidas de la mezcla (ABS post-consumo + resina), solo resina poliéster y ABS post-consumo. Seguidamente fueron sometidas a un barrido de temperatura de 25°C a 300°C; donde se registró periódicamente el cambio de sus

propiedades físicas como color, temperatura de ablandamiento y resistencia de los mismos ante los cambios de temperatura.

Esta prueba se hizo a las tres muestras descritas anteriormente en forma simultánea, para observar de manera paralela los efectos del incremento de la temperatura y así realizar un análisis mas objetivo.

2.3.5 Determinaciones De Propiedades Mecánicas

2.3.5.1 Ensayo De Compresión

Figura 24: Equipo de ensayos



figura 25: Compresión de aglomerado

Para esta prueba se utilizo una máquina de ensayo de impacto marca **MTS 810 Material Test System, modelo 318.10b-01**, la cual mediante la aplicación de una fuerza de carga por unidad de área, somete a prueba de compresión a 5 cinco probetas de forma cilíndrica, con le fin de determinar cual es la fuerza máxima que estas pueden soportar antes de su punto de fractura.

Probetas utilizadas para el ensayo de compresión:

Probeta 1: Cascarilla de arroz + solo resina poliéster

Probeta 2: Cascarilla de arroz + (mezcla de resina poliéster (50%) +ABS (50%))

Probeta 2: Cascarilla de arroz + (mezcla de resina poliéster (40%) +ABS (60%))

Probeta 3: Cascarilla de arroz + solo ABS post-consumo

Probeta 4: Muestra sólida de solo resina

Probeta 5: Muestra sólida de mezcla de resina poliéster (40%) +ABS (60%)

*La temperatura de trabajo para este ensayo fue de 25°C

2.3.5.2 ensayo de impacto. Para este ensayo se fabricaron probetas de material aglomerado con forma de caja cúbica rectangular, y se sometieron la absorción de energía mecánica, mediante una maquina de ensayo de impacto marca **TREBEL-WERK DUSSELDORF**, tipo **PSW 30** para medir su tenacidad.

Material aglomerado utilizado:

Probeta 1: cascarilla de arroz + solo resina poliéster

Probeta 2: cascarilla de arroz + (mezcla de resina poliéster y ABS post-consumo)

Probeta 3: cascarilla de arroz + solo ABS post-consumo

Figura 26: Equipo para ensayos de impacto



2.3.5.3 Ensayo De Flexión

Figuras 27: Ensayo de flexión



figura 28: Ensayo de flexión finalizado

Para este ensayo se tomo material aglomerado y se fabricaron probetas de forma de caja rectangular y se sometieron a una fuerza de carga ,mediante una máquina de ensayo de referencia **MTS 810 Material Test System, modelo 318.10b-01**, para medir su flexibilidad, siguiendo la norma **ASTM –D790**.

Material aglomerado utilizado

Probeta 1: Cascarilla de arroz + solo resina poliéster

Probeta 2: Cascarilla de arroz + (mezcla de resina poliéster y ABS post-consumo)

Probeta 3: Cascarilla de arroz + solo ABS post-consumo

2.3.6 Prueba De Permeabilidad

Este ensayo se realizó con el fin de determinar cual es la capacidad de absorción de agua en los materiales aglomerados y sólidos fabricados, cuando estos se encuentran inmersos en agua durante cierto tiempo. Para llevar acabo esta prueba, se peso previamente las muestras a estudiar y se colocaron en contacto

con agua, Cada 24 horas durante tres días se registraba continuamente su nuevo peso luego de escurrirlas hasta que este se mantuviera constante.

2.3.7 Densidad

Para este ensayo se utilizaron dos formas de medir la densidad, una como la descrita en el numeral 3.1.6 (determinación de la densidad del ABS post consumo) y la forma tradicional de calcular matemáticamente el volumen de un sólido regular previamente pesado, para luego calcular su respectiva densidad mediante la relación matemática masa/ volumen. Esta última forma fue necesaria de aplicar debido que los materiales aglomerados por el hecho de tener poros absorbían agua y obviamente el método de Arquímedes no era adecuado.

Para esto se tomo como punto de partida las probetas fabricadas de forma cilíndrica y mediante la aplicación de formulas geométricas se calculó su volumen luego se registró su peso para calcular su densidad.

Volumen de un cilindro circular

$$V = \pi \times r^2 \times h$$

R= radio y h: altura

2.3.8 Ensayo De Conductividad Térmica

Para este ensayo, se utilizó una muestra de material aglomerado (ABS + Cascarilla de arroz) y otra que contenía una mezcla de (60% ABS-40% Resina + Cascarilla de arroz); estas muestras tenían un grosor de un centímetro y un área superficial de 7.068cm^2 o 0.7068 m^2 en cada cara.

Estas muestras se colocaron en contacto directo, sobre una placa de calentamiento a una temperatura constante de 50°C. En la parte superior de cada muestra se colocó un termómetro para registrar el aumento de temperatura del mismo y con un cronómetro se registró cuánto tiempo tardaba el flujo de calor en emerger de entre el material, para alcanzar un equilibrio térmico con respecto a los 50°C que se le proporcionaban de forma directa en su cara inferior.

Figura 29: Montaje para determinar la conductividad térmica



2.3.9 Resistencia Química Ante La Presencia De Sustancias Ácidas Y Básicas

Con este ensayo se pretendió estudiar cual era la resistencia química que ofrecía los materiales aglomerados y sólidos fabricados a partir de las mezclas de (60% ABS + 40% resina), en presencia de diferentes agentes químicos de carácter básico y ácido. Para ello se tomaron soluciones al 10% en peso de NaOH, H₂SO₄, HCOOH, H₂O y HNO₃ a una temperatura de trabajo de 25°C

Los materiales fabricados se almacenaron de manera independientemente en cada una de estas soluciones y posteriormente se registró la evolución del ataque químico generado por cada uno de ellas en un tiempo total de 12 días.

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1 CARACTERIZACIÓN DEL ABS POST CONSUMO

3.1.1 Determinación De La Dispersión Del Abs En Varios Solventes

Tabla 4: Pruebas de dispersión del ABS en diferentes solventes. Basado en observación ocular

| SOLVENTE | DÍA 1 | DIA 2 | RESULTADO |
|-------------------|---|---|-----------|
| ACETONA | Hinchamiento, solubilidad luego de 5 minutos | Se mantiene soluble, una sola fase estable | Dispersa |
| XILENO | Leve hinchamiento del material granulado | Hinchamiento considerable, agrupación de partículas de ABS molido, pero no es soluble | Insoluble |
| TINNER | Leve hinchamiento del material granulado | Partículas hinchadas, pero dispersas en el solvente, se aprecia definitivamente el material granulado | Insoluble |
| CLOROFORMO | Hinchamiento, se convierte en sln lechosa, es soluble | Se mantiene soluble, sln se torna blanca | Dispersa |
| NaOH | No presenta signos de ataque | Ataque leve, se encuentra material | Insoluble |

| SOLVENTE | DÍA 1 | DIA 2 | RESULTADO |
|-----------------|---|--|------------|
| | | particulado mínimo disperso en la solución y nada mas | |
| METANOL | Inalterado | Inalterado | Insoluble |
| ESTIRENO | Presenta hinchamiento leve, aglomeración del material granulado, presunto ablandamiento | Hinchamiento severo, luego con agitación leve dispersó rápidamente. | Dispersión |
| GASOLINA | Hinchamiento del ABS | Mantiene hinchado y nada más | Insoluble |
| VARVOL | Hinchamiento, material disperso en el solvente | Se mantiene hinchado y nada más | Insoluble |
| TOLUENO | Presenta hinchamiento, presunto ablandamiento | Aglomeración de los gránulos del ABS, pero no es soluble inclusive con agitación | Insoluble |

Análisis:

El ABS en muchos solventes solo presentó un hinchamiento o simplemente no le afecta; esto se debe a que estos solventes carecen de grupos funcionales capaces de superar las fuerzas intermoleculares que existen internamente entre las moléculas del polímero.

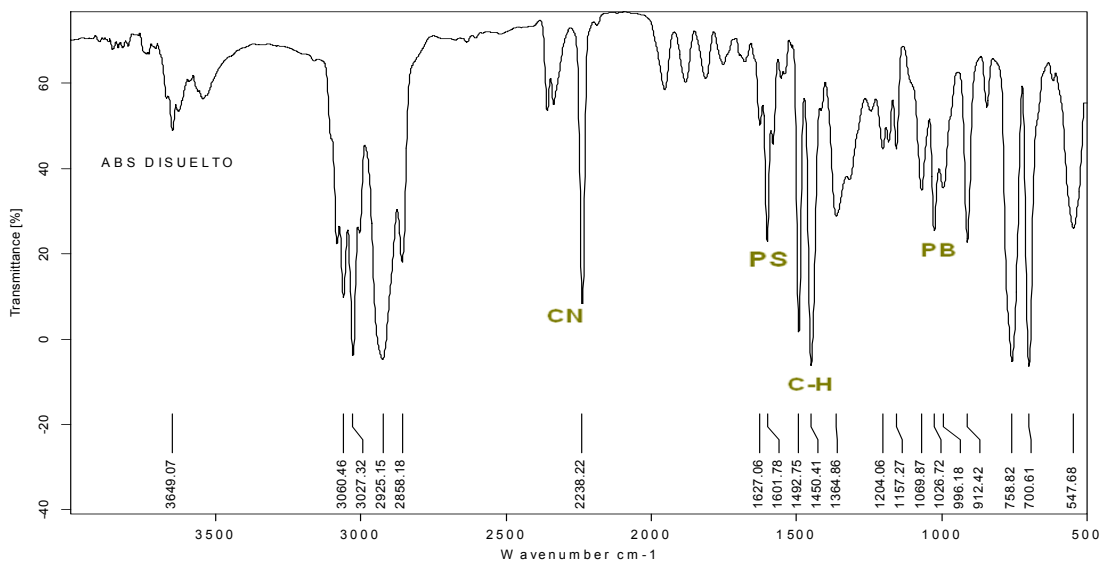
Sin embargo el hinchamiento que presentó el ABS es el resultado de su primera etapa de solubilidad, llamada solvatación en donde el tamaño de la molécula del

polímero se multiplica por un factor δ que depende el CED. (Energía de vaporización molar por unidad de volumen, el cual esta ligado directamente con la afinidad química del solvente.

Para el caso particular. El ABS presenta primeramente un hinchamiento debido a que la estructura del mismo es ligeramente ramificada por la presencia del grupo fenil que pertenece al monómero del poliestireno, como también a la presencia del grupo ciano perteneciente al monómero del Acrilonitrilo. Se puede concluir que el resultado obtenido en la mezcla de ABS y estireno, es un dispersión debido a que la mezcla presenta un carácter viscoso similar al de un fluido plástico, sin embargo otras observaciones que confirman que verdaderamente se trata de una dispersión es que dicha mezcla presenta una apariencia opaca debida a la dispersión de la luz.

3.1.2 Infrarrojo Del ABS Disperso En Estireno

Figura 30: Espectro infrarrojo del ABS disperso en estireno



3.1.2.1 Análisis Del Ir Para El Abs Disperso En Estireno

Tabla 5: Análisis IR del ABS disperso en estireno

| Numero de onda Cm^{-1} | ANALISIS DEL I.R DEL ABS DISPERSO |
|---------------------------------|--|
| 3060.97 | Vibración del anillo aromático del estireno |
| 3024.97 | Tensión del C-H del carbono alifático (butadieno) |
| 2914.35 | Presencia del CH_2 corresponde vibración asimétrica del H |
| 2858.45 | Presencia de CH_2 corresponde a la vibración simétrica del H |
| 2238.26 | Vibración de tensión del CN, perteneciente al Acrilonitrilo |
| 1700-2000 * | Corresponde a bandas combinadas del armónico del benceno monosustituido, perteneciente a la cadena de poliestireno (PS). |
| 1627.6 | Tensión C=C no conjugado del butadieno |
| 1602.12 * | tensión C=C del esqueleto del anillo aromático perteneciente a la cadena poliestireno (PS) |
| 1492.89 * | Vibración C=C del esqueleto del anillo aromático perteneciente a la cadena del poliestireno (PS) |
| 1453.43 | Flexión del C-H |
| 1364.07 | Torsión del C-H |
| 1070.36 | Balanceo intenso del C-H |
| 912.47-995.5 | Deformación del C-H fuera del plano debido a la presencia de la cadena del butadieno (PB) |
| 766.34 * | Flexión C-H fuera del plano para el benceno monosustituido perteneciente a la cadena del poliestireno (PS). |
| 705.55 | Huella digital de la torsión del C-H |

Análisis

Observado el espectro infrarrojo del ABS disperso en estireno, se concluye que el estireno es un solvente que permite la dispersión de dicho polímero, sin modificación química del mismo. Ya que este espectro coincide perfectamente con los IR del ABS tomados a muestras puras de este polímero (5); el estireno usado para dispersar el ABS, posee la misma estructura química del monómero estireno que contiene dicho polímero y se evidencia al igual que el monómero en mención en las bandas de absorción señaladas con (*).

3.1.3 Test De Llama Del Abs Post-Consumo

Realizada la prueba de combustión del ABS, este mostró una llama luminosa de gran tamaño en relación a la cantidad que se uso para quemar, no evidencia presencia de halógenos; ya que se utilizo como patrón de referencia el color verde de la llama del PVC, indicando la presencia de cloro cuando este hace combustión. Pues durante la combustión reacciona con el cobre para formar haluros volátiles que dan color a la llama (18).

Esto confirma que este polímero se trata del ABS según tablas de literatura (18)

Tabla 6: Resultados del test de llama del ABS

| | |
|-------------------------------|---|
| Color de llama | Es una llama brillante de gran tamaño |
| Olor del humo | Emanó olores ligeros a caucho quemado, simulando la combustión de una banda elástica (liga de oficina) |
| Brillo de llama | Es una llama brillante de gran tamaño |
| Presencia de halógenos | No evidenció presencia de halógenos. Pues durante la combustión la llama no arroja coloración verdosa. |
| Comportamiento | Su combustión fue buena en contacto directo con la llama; sin embargo al retirarla de la misma se extingue casi de inmediato. |

Figura 31: Llama del ABS



figura 32: Llama del PVC

3.1.4 Test De Pirolisis Del ABS Post-Consumo

Luego de realizar la pirolisis del ABS, mediante el ensayo descrito en el numeral (3.1.4), el vapor producido en la descomposición de dicho polímero al entrar en contacto con la cinta de papel pH, arrojó un valor de 8. Resultado que ratifica que el polímero del cual están fabricadas las fosforeras es ABS ⁽¹⁸⁾.

3.1.5 Comportamiento Térmico Manual Del ABS

Tabla 7: Comportamiento térmico manual del ABS

| T °C | COMPORTAMIENTO TÉRMICO OBSERVADO (ABS) |
|---------------|---|
| 25- 80 | No presentó cambio alguno en su estructura, según criterio ocular |
| 80-100 | Presentó un ablandamiento de su superficie |
| 130 | Presentó una consistencia blanda sin deformar su volumen |
| 190 | Su superficie se mostró más lustrosa, casi como si estuviera fundiendo su superficie, inicia deformación leve de su volumen |
| 215 | Aumenta su estado de ablandamiento |
| 220 | Perdió apariencia lustrosa, apariencia de resequedad |
| 225 | Se reblandece a un mas, posee consistencia de gel |
| 230 | Los tres cristales de ABS se unen entre si, deformación del volumen. |
| 235 | Presentó una transición de su estado de gel |
| 240 | Apariencia líquida de coloración mas oscura, pero no mostró signos de ebullición y si la emisión de hilos de humo |

| T °C | COMPORTAMIENTO TÉRMICO OBSERVADO (ABS) |
|---------|--|
| 250-290 | Apariencia sigue siendo líquida no mostró más cambios, sin embargo cuando es retirado de forma brusca de la plataforma del fusiómetro, el ABS volvió a solidificar de manera inmediata |

Análisis:

Al estudiar el comportamiento del ABS con el aumento de temperatura, se puede confirmar que su temperatura de transición vítrea (T_g) se encuentra entre 80°C y 100°C (20), ya que en este rango el polímero experimenta un ablandamiento como consecuencia del movimiento coordinado de sus moléculas, por acción de la energía cinética que adquieren por absorción de energía térmica.

En 220°C se volatiliza o sufre una pirolisis el plastificante que contiene el ABS, pues en esta temperatura el polímero pierde su brillo y se muestra opaco como si estuviera reseco. También se determinó que aproximadamente entre 230°C y 2353°C se encuentra la temperatura de descomposición del ABS, por que en este rango el polímero presenta un cambio significativo de fase, evidenciando por el cambio de volumen de los fragmentos cuando estos se desparraman suavemente hasta unir sus estructuras entre sí, como también la observación de un cambio de coloración, seguido de emisión de gases en ausencia de una ebullición previa.

Se confirma que el ABS es un polímero termoplástico, pues luego de ser sometido a un calentamiento superior a la temperatura de transición vítrea, vuelve a solidificar a temperatura ambiente.

3.1.6 Determinación De La Densidad Del ABS Solidó

Tabla 8: Determinación de la densidad del ABS solidó

| Muestra | peso [g] | volumen desplazado[ml] | Densidad [g/ml] |
|---------|----------|------------------------|---------------------------|
| 1 | 0.50 | 0.5 | 1 |
| 2 | 1.0 | 0.9 | 1.111 |
| 3 | 1.5 | 1.5 | 1 |
| | | | ρ (PROMEDIO 1.037 |

Análisis:

El valor obtenido en cada una de las repeticiones realizadas para este ensayo, coinciden con lo ocurrido en la practica. Ya que al sumergir el ABS molido en el volumen de agua calculado, se observó que aproximadamente el 98% de la muestra añadida se iba al fondo de la probeta y el restante presentaba una leve flotación intermedia, entre la parte superior de la muestra sumergida y la superficie del volumen de agua.

Sabiendo con antelación que la densidad del agua a temperatura ambiente es de [1g/ml] y teniendo en cuenta que la muestra de ABS añadida se sumergida con alguna dificultad, es obvio pensar que el ABS tiene una densidad ligeramente mayor que 1.

3.2 RECICLAJE O REUTILIZACIÓN DEL ABS POST-CONSUMO

3.2.1 Determinación Del Límite De Dispersión Del ABS Post-Consumo En Estireno

* Para facilitar el estudio de las siguientes tablas, recuerde el procedimiento descrito en el numeral (3.2.2)

Tabla 9: Extracción del exceso de estireno en la dispersión

| TIEMPO EN DÍAS | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|-------------------|--------|-------|-------|---------|-------|--------|--------|
| SOLVENTE EXTRAIDO | 100 ml | 41 ml | 10 ml | 12.5 ml | 5.5ml | 1.5 ml | 2.5 ml |

Tabla 10: Resultados del límite de dispersión del ABS post-consumo

| Soluto [g] | Solvente | Volumen Inicial | Volumen Extraído | Volumen en Dispersión |
|------------|----------|-----------------|------------------|-----------------------|
| 30 g | Estireno | 250 ml | 173 ml | 77 ml |

ANALISIS: Según estos resultados se determino que el limite de dispersión del ABS en estireno es 0.3896 g/ml

3.2.2 Ensayos De Compatibilidad Entre La Resina Poliéster Y La Dispersión De ABS En Estireno

**Tabla 11: Compatibilidad de mezclado entre el ABS y la resina poliéster.
(Mirar anexo D)**

| N° | ABS (gr) | Resina (gr) | ABS %peso | Resina (%peso) | Total prepara (gr) | Observaciones Luego de Polimerizar (Según criterio ocular) |
|----|----------|-------------|-----------|-----------------|---------------------|---|
| 1 | 0 | 5 | 0 | 100 | 5 | Una sola fase estructura sólida homogénea, color rojo |
| 2 | 0,5 | 4,5 | 10 | 90 | 5 | Una sola fase, color café, |
| 3 | 1 | 4 | 20 | 80 | 5 | Una sola fase, color café, |
| 4 | 1,5 | 3,5 | 30 | 70 | 5 | Presenta dos fases, una clara y otra opaca. |
| 5 | 2 | 3 | 40 | 60 | 5 | Presenta una fase totalmente turbia u opaca, |

| N° | AB S (gr) | Resina (gr) | ABS %peso | Resina (%peso) | Total prepara (gr) | Observaciones Luego de Polimerizar (Según criterio ocular) |
|-----------|------------------|--------------------|------------------|------------------------|----------------------------|---|
| | | | | | | pero fallas estructurales significativas, burbujas internas |
| 6 | 2,5 | 2,5 | 50 | 50 | 5 | Presenta una sola fase, con ligera opacidad, sin fallas estructurales |
| 7 | 3 | 2 | 60 | 40 | 5 | Presenta una sola fase, opacidad uniforme, sin falla estructural |
| 8 | 3,5 | 1,5 | 70 | 30 | 5 | Color verdoso claro, presenta fallas estructurales focalizadas |
| 9 | 4 | 1 | 80 | 20 | 5 | Color verdoso mas claro, presenta falla estructural, homogéneo en forma de burbujas huecas en todo su interior |
| 10 | 4,5 | 0,5 | 90 | 10 | 5 | De buena apariencia, consistencia de gel blando, demora dos días en polimerizar. Color verde oliva |
| 11 | 5 | 0 | 100 | 0 | 5 | Dos fases, una liquida en menor proporción y una sólida (ABS), consistencia viscosa, al retirar el sobre nadante se evaporó más solvente y solidifica |
| 12 | 5 | 0 | 100 | 0 | 5 | Una fase, al dejar al ambiente se evapora solvente y vuelve a solidificar, permite hacer películas cristalinas ideales para IR |

Análisis:

Tomando en cuenta todas las observaciones anteriores, se determinó que las mejores proporciones de mezcla en peso entre el ABS post-consumo, son las de (ABS 50% + Resina 50%) y (ABS 60% + Resina 40%). Ya que en estas proporciones de mezcla no se observó fallas estructurales a nivel interno ni externo, a causa de la oclusión de cúmulos de aire que se evidencia por la aparición de burbujas. Sin embargo las muestras número 2 y 3 presentan buenos resultados, pero debido a la poca incorporación de ABS en su mezclado no se utilizaron debido a que no aportaba significativamente al objetivo de reciclar eficientemente el polímero en mención.

Otra muestra que presenta buenos resultados es la número 10, ya que pese que tarda dos días en polimerizar no presentó fallas estructurales. Siendo una proporción prometedora a nivel industrial, en cuanto a la fabricación de piezas de gran tamaño y de dispendioso diseño que se deban elaborar por etapas; pues la polimerización lenta la mezcla facilita la manipulación, sin el riesgo de una solidificación prematura.

En cuanto al resultado obtenido en las muestras 4 y 5, la aparición de dos fases se debe a que al cambiar la composición de la mezcla, esta se hace inestable y se separa en dos capas, cada una de las cuales se vuelve a estabilizar al lograr una composición definida, la evidencia experimental muestra que solo en determinadas proporciones de estireno, resina y ABS se obtiene una sola fase, la cual se mantiene estable en un rango determinado fuera del cual produce sistemas bifásicos.

3.2.3 Fabricación De Aglomerados Con Cascarilla De Arroz

3.2.3.1 Aglomerados Fabricados Con Mezcla De (60% Abs + 40% Resina)

Tabla 12: Resultados de la preparación de aglomerados con mezcla de (60% ABS+ 40% RESINA)

| % peso mezcla | % peso cascarilla | Presión [ton] | T [°C] | tiempo minutos | Observación |
|---------------|-------------------|---------------|--------|----------------|--|
| 40% | 60% | 1 | 25 | 20 | La mezcla queda muy seca, al comprimir no exudó resina |
| 50% | 50% | 1 | 25 | 20 | Mezcla compacta, al comprimir no exudó resina |
| 55% | 45% | 1 | 25 | 20 | Mezcla homogénea, humectada, al comprimir exudó un poco de resina |
| 60% | 40% | 1 | 25 | 20 | Mezcla demasiado humectada, de consistencia blanda, exudó demasiada resina |

Análisis:

El aglomerado que presento la mejor proporción de la mezcla (60% ABS + 40% RESINA), fue la formulación de 55% de mezcla mas 45% de cascarilla de arroz, pues al preparar una mezcla con mayor proporción de cascarilla de arroz se obtuvo una mezcla muy seca y poco humectada, Por otra parte al preparar una mezcla con exceso de polímero (ABS + RESINA) se obtiene una mezcla muy húmeda casi fluida, creando problemas para verterla en el molde y que al prensar libera un exceso notable de polímero; lo que se traduce en un desperdicio innecesario de materia prima.

3.2.3.2 Aglomerados Fabricados Con Dispersión De Abs

Tabla 13: Resultados de la fabricación de aglomerados con la dispersión de ABS

| % Peso Dispersión ABS | % Peso Cascarilla | Presión [ton] | T [°C] | tiempo [minutos] | Observación |
|------------------------------|--------------------------|----------------------|---------------|-------------------------|--|
| 40% | 60% | 1 | 25 | 20 | La mezcla queda muy seca, al comprimir no exudó resina |
| 50% | 50% | 1 | 25 | 20 | Mezcla poco humectada, al comprimir no exudó resina |
| 55% | 45% | 1 | 25 | 20 | Mezcla al imite de humectación, al comprimir exudó un poco de resina |
| 60% | 40% | 1 | 25 | 20 | Mezcla homogénea, consistencia blanda, exudó un poco de resina |

Análisis:

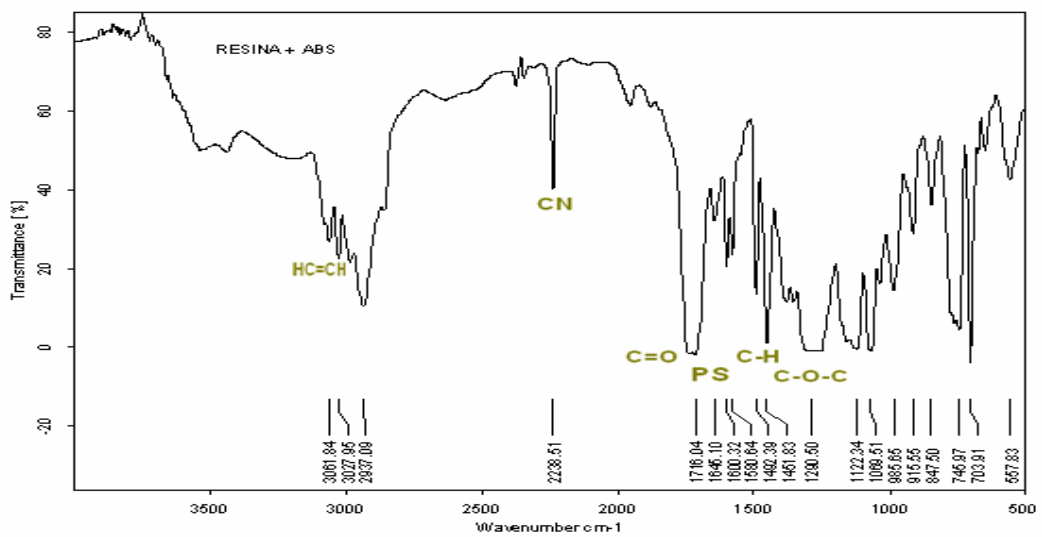
El aglomerado que presento la mejor proporción fue el que contuvo 60% de dispersión de estireno y 40% de cascarilla, pues en esta formulación la mezcla final una consistencia adecuada en donde no hubo desperdicio de de la dispersión de ABS como tampoco una carencia de la misma para lograr un buen humectado de la cascarilla de arroz

3.3 CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL POLIMÉRICO Y DEL AGLOMERADO

3.3.1. Espectro Infrarrojo

3.3.1.1 Espectro Ir De La Mezcla (60% ABS +40% Resina)

Figura 33: Espectro IR de la mezcla (ABS+RESINA)



3.3.1.2 Análisis Del Ir De La Mezcla (ABS+Resina)

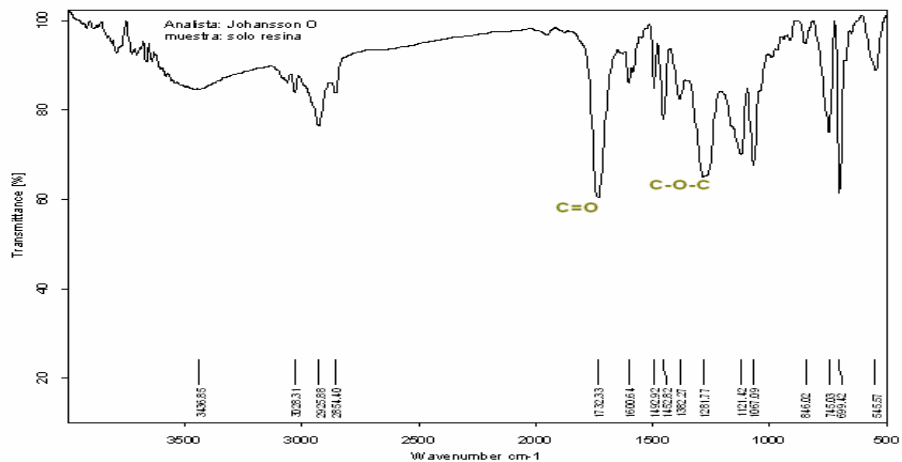
Tabla 14: Análisis del IR de la mezcla ABS + Resina

| Numero de onda Cm^{-1} | ANALISIS IR MEZCLA (60% ABS +40% RESINA) |
|---------------------------------|---|
| 3061.84 | Vibración =C-H del anillo aromático (del estireno) |
| 3027.95 | Tensión C-H del enlace H-C=C-H del (butadieno) PP |
| 2937.09 | Presencia del CH_2 corresponde vibración asimétrica del H |
| 2238.51 | vibración de tensión del CN, perteneciente al Acrlonitrilo |
| 1716.04 | Presencia del grupo C=O, del carbonilo perteneciente a la función éster |

| Numero de onda Cm^{-1} | ANALISIS IR MEZCLA (60% ABS +40% RESINA) |
|---------------------------------|---|
| | Tensión C=C no conjugado del butadieno |
| 1600.32 | Tensión C=C del esqueleto del anillo aromático perteneciente a la cadena poliestireno (PS) y de la estructura de la resina |
| 1580.64 | Vibración C=C del esqueleto del anillo aromático perteneciente a la cadena del poliestireno (PS) y de estructura de la resina |
| 1492 | Flexión del C-H |
| 1451.83 | Tensión del C-H de los anillos aromáticos |
| 1122.34-1290.50 | Vibración C-O-C perteneciente al grupo éster que esta unido al anillo aromática, perteneciente a la estructura de la resina |
| 915.55-985.65 | Deformación del H-C=C-H fuera del plano debido a la presencia de la cadena del butadieno (PB) |
| 745.97 | Flexión C-H fuera del plano del anillo aromático ortosustituido, perteneciente a la estructura de la resina |
| 703.91 | Flexión C-H fuera del plano para el benceno monosustituido perteneciente a la cadena del poliestireno (PS). |

3.3.1.3 Espectro Ir De La Resina Poliéster

Figura 34: Espectro IR de la resina poliéster



3.3.1.4 Análisis Del Ir De La Resina Poliéster

Tabla 15: Análisis del IR de la resina poliéster

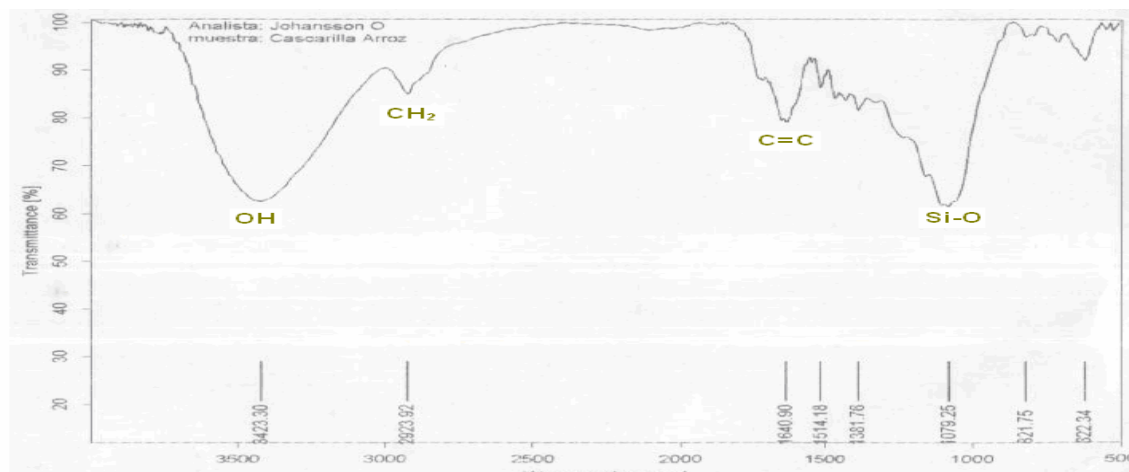
| Numero de onda Cm^{-1} | ANALISIS IR DE LA RESINA POLIÉSTER |
|---------------------------------|--|
| 3436.85 | Corresponde a la vibración de un pseudos grupo OH, formado por la interacción intermolecular entre los grupos diferentes grupos funcionales que se encuentran cercanos que poseen átomos de oxígeno e hidrogeno debido a que interaccionan sus densidades electrónicas |
| 3028 | Tensión C-H del carbono que se encuentra al final de cada monómero de la estructura de la resina. |
| 2925.88 | presencia del CH_2 corresponde vibración asimétrica del H |
| 2854.40 | presencia del CH_2 corresponde vibración simétrica del H |
| 1732.33 | Presencia del grupo C=O, del carbonilo perteneciente a la función éster |
| 1600.64 | Tensión C=C del esqueleto del anillo aromático de que posee la resina |
| 1492.92 | flexión del C-H |
| 1452.82 | Tensión del C-H de los anillos aromáticos |
| 1281.77 | Vibración C-O-C perteneciente al grupo éster que esta unido al anillo aromática, perteneciente a la estructura de la resina |
| 745.97 | Flexión C-H fuera del plano del anillo aromático ortosustituido, perteneciente a la estructura de la resina |
| 703.91 | Flexión C-H fuera del plano para el benceno monosustituido perteneciente a la cadena del poliestireno (PS). |

Análisis:

Observando en los espectros infrarrojos de la resina sola y de la mezcla (ABS más RESINA), se mostró que aparentemente el enlace doble que posee el monómero butadieno del ABS cuando se mezcla con la resina poliéster y el catalizador, este no se rompe para poder adherirse a la red que forma la resina poliéster junto con el estireno. Pues luego de incorporar el ABS a la resina y posterior polimerización, se observa en el IR de la mezcla este enlace doble sigue existiendo, indicando que no fue alterado y que por lo tanto no hay reacción química entre el estireno y el ABS los cuales solo forman una mezcla mas o menos uniforme dependiendo del proceso de mezclado y de la compatibilidad entre las fases que se dispersan.

3.3.1.5 Espectro Ir De La Cascarilla De Arroz

Figura 35: Espectro IR de la cascarilla de arroz



3.3.1.6 Análisis Del Ir De La Cascarilla De Arroz

Tabla 16: Análisis del IR de la cascarilla de arroz

| Numero de Onda Cm^{-1} | ANALISIS IR DE LA CASCARILLA DE ARROZ |
|---------------------------------|--|
| 3423.30 | Vibración tensión del OH, perteneciente al grupo SiOH , no de H_2O |
| 2923.92 | Tención del CH_2 |
| 1640.90 | Tenciones C=C |
| 1079.25 | Estiramiento Si-O (banda ancha e intensa) |
| 821.75 | Flexión OH del grupo SiOH |

ANALISIS

Se concluye que la cascarilla de arroz posee un porcentaje de sílice en su estructura y se evidencia por las bandas de vibración del grupo SiOH y estiramiento Si-O

3.3.2. Determinación Cualitativa De Las Propiedades Físicas

3.3.2.1 Observación De La Estructura De Los Diferentes Aglomerados Mediante Uso De Un Estereoscopio Nikon Smz, Aumento 50x Y Fuente De Luz Polarizada

Figura 36: Aglomerado con solo ABS



figura 37: Aglomerado con solo ABS

Figura 38: Aglomerado con solo ABS

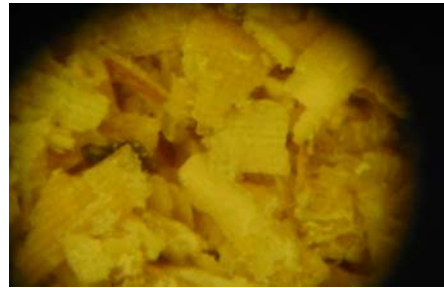
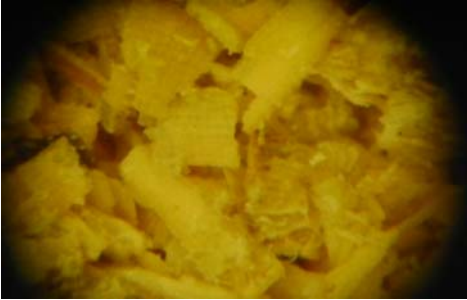


Figura 39: Aglomerado con solo ABS

Figura 40: Aglomerado con (ABS + Resina)

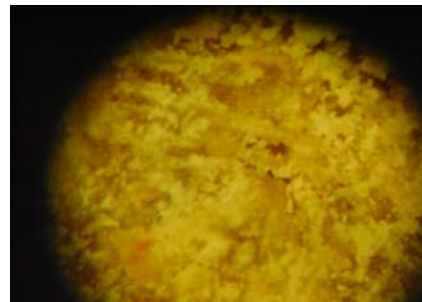


Figura 41: Aglomerado con (ABS + Resina)

Figura 42: Aglomerado con (ABS + Resina)

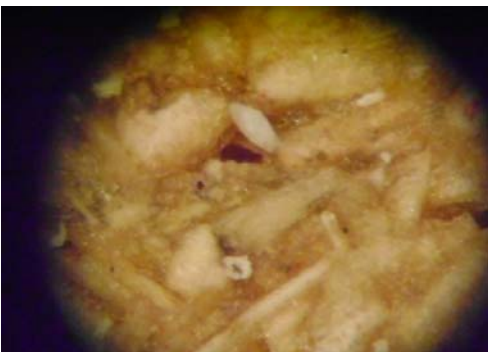


Figura 43: Aglomerado con (ABS + Resina)

Figura 44: Aglomerado con solo Resina

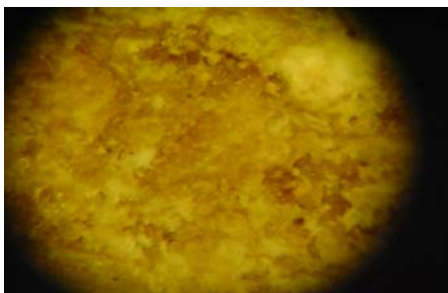


Figura 45: Aglomerado con solo Resina

Análisis

Estas fotografías presentadas fueron tomadas a los aglomerados por medio de un estereoscopio marca **NIKON SMZ**. Utilizando un aumento de 50X y una fuente de luz polarizada

Este grado de aumento utilizado, permite observar que el aglomerado fabricado con dispersión de ABS pose una alta porosidad por unidad cuadrada con respecto a los demás. Esto se debe a que la longitud de cadena del polímero y la presencia de grupos funcionales voluminosos como el fenilo que posee el ABS en su monómero de estireno, dificultan que el ABS al estar en forma dispersa forme una matriz polimérica lo suficientemente ordenada y poco espaciada, para albergar la mayor cantidad de partículas de cascarilla de arroz.

Para el caso de los aglomerados fabricados con la mezcla de (ABS+Resina), se observa que son menos porosos que los fabricados con la dispersión de ABS. Esto se debe a que la incorporación de la resina a la dispersión del ABS, contribuyo a formar una matriz polimérica “de mayor tramado”. Queriendo decir con esto que la estructura química de la resina junto con la del ABS construyen una red polimérica poco espaciada, capaz de albergar más eficientemente las partículas de cascarilla de arroz y por lo tanto se obtiene un aglomerado más

compacto. Sin embargo los aglomerados fabricados con solo resina presentan una compactación superior debido a que la estructura de la resina poliéster posee una estructura química mas uniforme.

3.3.3 Comportamiento Térmico

3.3.3.1 Comportamiento Térmico De La Resina Poliéster

Tabla 17: Comportamiento térmico de la resina poliéster polimerizada

| T °C | COMPORTAMIENTO TÉRMICO OBSERVADO (RESINA) |
|--------|---|
| 25- 80 | No presentó cambio alguno en su estructura, según criterio ocular |
| 165 | Presentó un ablandamiento leve de su superficie |
| 170 | Cuando se le aplica una leve fuerza para comprobar su nivel de ablandamiento, esta se parte inmediatamente pese que aun se encuentra en un estado solidó bastante rígido, pues solo su superficie es la que se encuentra un poco blanda |
| 190 | Un nivel mas blando , sin embargo no permitió su compresión , solo se quiebra y posee relativa maleabilidad |
| 200 | La resina sigue quebradiza |
| 240 | La resina pierde su color y se torna oscura |

3.3.3.2 Comportamiento Térmico De La Mezcla (Abs +Resina)

Tabla 18: Comportamiento térmico de la mezcla (ABS + Resina)

| T °C | COMPORTAMIENTO TÉRMICO OBSERVADO (ABS+RESINA) |
|--------|---|
| 25- 80 | No presentó cambio alguno en su estructura, según criterio ocular |
| 160 | Presentó un ablandamiento leve de su superficie |
| 170 | Presenta una consistencia gomosa debido al aumento del ablandamiento pero no se deja penetrar |
| 180 | Aumentó el nivel de ablandamiento, se dejó penetrar parcialmente |
| 185 | Su elevado nivel de ablandamiento permito comprimirlo completamente |
| 200 | Pierde apariencia lustrosa, apariencia de resequedad |
| 245 | Permaneció blando, mostrándose bastante maleable como si fuera un chicle |
| 255 | Sigue presentando su apariencia de chicle |
| | Nota: luego de retirar abruptamente de esta temperatura para dejarla al contacto del aire, este en forma inmediata se solidifica como ocurrió con el ABS |

Análisis:

Obtenidos los comportamientos térmicos registrados en las tablas 7,17 y 7,18, en cuanto al ABS, RESINA Y mezcla de estos dos respectivamente. Se observó claramente que la mezcla (ABS +RESINA) mostró un evidente comportamiento térmico intermedio entre el que presenta la resina y el ABS en forma individual.

Un ejemplo concreto de lo expuesto en el párrafo anterior es que la mezcla solo comienza a ablandarse en una temperatura de 160° similar a la que presenta la resina en forma individual, al contrario de lo que muestra el ABS que lo hace en un rango de 80-100 °C. Una cosa más que demuestra su comportamiento intermedio es que la mezcla al ser retirada abruptamente de un ambiente de 255°C y llevada a la temperatura ambiente se solidificó, comportándose como un termoplástico tal y como lo hizo el ABS

Si bien el ABS y la resina tienen comportamientos térmicos diferentes debido a su estructura química, es de notar que con la mezcla de estas dos, se crea un compuesto de propiedades térmicas intermedias.

3.3.4 Determinación De Propiedades Mecánicas.

3.3.4.1 Ensayos De Compresión

A) Ensayo De Compresión Para Materiales Aglomerados

Tabla 19: Resultados del ensayo de compresión para los aglomerados con cascarilla de arroz

| ENSAYO DE COMPRESIÓN EN AGLOMERADOS CON CASCARILLA DE ARROZ | | | | |
|---|------------|----------------|-------------------|----------------------------------|
| Muestra | Fuerza [N] | Esfuerzo [Psi] | Deformación [mm] | Módulo Young [N/m ²] |
| Solo resina | 7500 | 1646.859 | 1.4 | 5357142.8 |
| 50% ABS 50% Resina | 7600 | 1668.817 | 25 | 304000 |
| 60% ABS 40% Resina | 3000 | 658.743 | 18 | 166666.66 |
| Solo ABS | 3500 | 768.53 | 7 | 500000 |

Análisis:

En la tabla se observa, que a medida que se incorpora más dispersión de ABS a un aglomerado, resiste menos la compresión y no tiene la capacidad para soportar elevadas fuerzas de carga, provocando su deformación. Esto se explica por que la dispersión de ABS no forma una matriz polimérica lo suficientemente uniforme para alojar de forma eficiente las partículas de cascarilla de arroz, ya que el ABS posee en su estructura grupos voluminosos que le impiden la formación de una fase polimérica más estable que la que tienen sus constituyentes individuales. Luego los espacios creados en la matriz polimérica del aglomerado son fallas estructurales que permiten al aglomerado alcanzar mas rápidamente su punto de fractura con la aplicación de una menor fuerza.

B) Ensayo De Compresión Para Muestras Sólidas

Tabla 20: Resultados del ensayo de compresión para las muestras sólidas

| ENSAYO DE COMPRESIÓN DE LAS MUESTRA SÓLIDAS | | | | |
|---|---------------|-------------------|----------------------|-------------------------------------|
| Muestra | Fuerza [N] | Esfuerzo [Psi] | Deformación [mm] | Módulo Young [N/m ²] |
| Solo resina | 24000 | ----- | 1.4 | ----- |
| 60% ABS 40% Resina | 24000 | ----- | 0.85 | ----- |

Nota: Para este ensayo no fue posible calcular el esfuerzo y el módulo de young de las respectivas muestras, ya que estas soportaron la máxima carga que podía aplicar la maquina de ensayos y no presentaron fractura. Por tanto no seria correcto calcular el esfuerzo como tampoco el modulo de young, pues estos se determinan conociendo la deformación y carga exacta a la cual se produce la factura del material.

Análisis:

Los ensayos de compresión para la mezcla (60% ABS + 40% RESINA), fueron satisfactorios, esta soporto una carga aproximada de 2.5 toneladas sin presentar fractura, además tiene una menor deformación con respecto a las probetas de resina.

La experiencia mostró que las probetas elaboradas solo con polímero (resina, ABS-Resina), son más resistentes a la compresión que aquellas en las que se incorpora la cascarilla, esto se explica por que con las mezclas poliméricas se logra un mejor empaquetamiento y una estructura mas uniforme que aquellas en las que se ha incluido el material particulado.

3.3.4.2 ENSAYO DE FLEXIÓN

Tabla 21: Resultados del ensayo de flexión para los aglomerados de cascarilla de arroz

| ENSAYO DE FELEXIÓN EN AGLOMERADOS CON CASCARILLA DE ARROZ | | |
|---|------------|-------------------|
| Muestra | Fuerza [N] | Deformación [mm] |
| Solo resina | 150 | 12 |
| 60% ABS 40% Resina | 100 | 2.4 |
| Solo ABS | 98 | 1.4 |

Análisis:

En la tabla se observa que los aglomerados de ABS son menos flexibles comparados con los de sola resina. Esto tiene su explicación en el menor o mayor grado de compactación que ofrezca la matriz polimérica en cada tipo de aglomerado. Pues para el caso particular de la resina, las partículas de cascarilla de arroz se encuentran mayormente compactadas en comparación a los aglomerados de ABS, razón por la cual sus enlaces ofrecen mayor oposición a ser deformados por una fuerza externa.

3.3.4.3 ENSAYO DE IMPACTO

Tabla 22: Resultados del ensayo de impacto para los aglomerados de cascarilla de arroz

| ENSAYO DE IMPACTO EN AGLOMERADOS CON CASCARILLA DE ARROZ | | | |
|--|----------------|--------|--------------------|
| Muestra | Energía [Kg*m] | Ángulo | Esfuerzo [kg/cm2] |
| Solo ABS | 0.5 | 3 | 0.5 |
| ABS + Resina 60% 40% | 0.5 | 3 | 0.5 |
| Solo Resina | 0.7 | 4 | 0.8 |

Análisis

Según los ensayos de impacto, los materiales aglomerados con cascarilla de arroz son menos tenaces que los fabricados con resina, debido a que no absorben eficientemente la energía cinética transmitida por el péndulo de ensayos. Esta deficiencia de tenacidad es justificada por una disminución entre las fuerzas polímero-refuerzo que existen entre la cascarilla y la matriz, la cual no se presenta en las probetas elaboradas únicamente de polímero.

3.3.5 Pruebas De Permeabilidad

Tabla 23: Resultados de la permeabilidad de los aglomerados

| MUESTRAS AGLOMERADAS | Peso inicial | Peso g (día 1) | Peso g (día 2) | Peso g (día 3) |
|---------------------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| SOLO RESINA | 5 g | 6 g | 6 g | 6 g |
| ABS + Resina 60% 40% | 5 g | 6 g | 7 g | 7 g |
| SOLO ABS | 4.5 g | 6 g | 7 g | 7 g |

Análisis:

Según este análisis se observó que el aglomerado que más absorbió agua por unidad de tiempo transcurrido, fue el que estaba fabricado a partir de (cascarilla + ABS) debido a que este material presenta una mayor porosidad con respecto a los demás aglomerados utilizados para esta prueba. El tamaño y cantidad de poro por unidad de área afecta el nivel de permeabilidad de un material, ya que es allí en las cavidades de estos poros donde se aloja la mayor cantidad de agua.

3.3.6 Determinación De Densidad Para Los Aglomerados Y Una Muestra Solidada De La Mezcla (ABS+Resina).

Tabla 24: Densidad del aglomerado (ABS + Resina)

| AGLOMERADO | PESO [g] | VOLUMEN [cm ³] | Densidad [g/cm ³] |
|----------------|-------------|-------------------------------|----------------------------------|
| (ABS + RESINA) | 25.68 | 27.09 | 0.94 |
| (ABS + RESINA) | 5.97 | 7.38 | 0.80 |
| (ABS + RESINA) | 8.06 | 8.92 | 0.90 |
| | | | ρ (PROMEDIO) 0.89 |

Tabla 25: Densidad del aglomerado de solo ABS

| AGLOMERADO | PESO [g] | VOLUMEN [cm ³] | Densidad [g/cm ³] |
|------------|-------------|-------------------------------|----------------------------------|
| SOLO ABS | 17.43 | 25.25 | 0.69 |
| SOLO ABS | 4.91 | 7.39 | 0.66 |
| SOLO ABS | 6.00 | 8.62 | 0.69 |
| | | | ρ (PROMEDIO) 0.68 |

Tabla 26: Densidad del cristal (ABS + Resina)

| Muestra sólida | PESO [g] | VOLUMEN [cm ³] | Densidad [g/cm ³] |
|----------------|-------------|-------------------------------|----------------------------------|
| (ABS + RESINA) | 9.04 | 8.17 | 1.17 |
| (ABS + RESINA) | 8.76 | 7.37 | 1.18 |
| (ABS + RESINA) | 0.89 | 0.88 | 1.01 |
| | | | ρ (PROMEDIO) 1.12 |

Análisis:

Para esta prueba se obtuvo como resultado que el aglomerado fabricado a partir de cascarilla de arroz y la dispersión de ABS en estireno, posee la menor densidad debiéndose a que dicho aglomerado posee una estructura altamente porosa en comparación a sus homólogos. Esta alta porosidad hace que el aglomerado en cuestión, ocupe el mismo volumen pero con un peso inferior con

respecto al aglomerado fabricado con la mezcla (ABS+RESINA). Lo que se ve reflejado en un menor valor de su densidad.

3.3.7 Ensayo De Conductividad Térmica

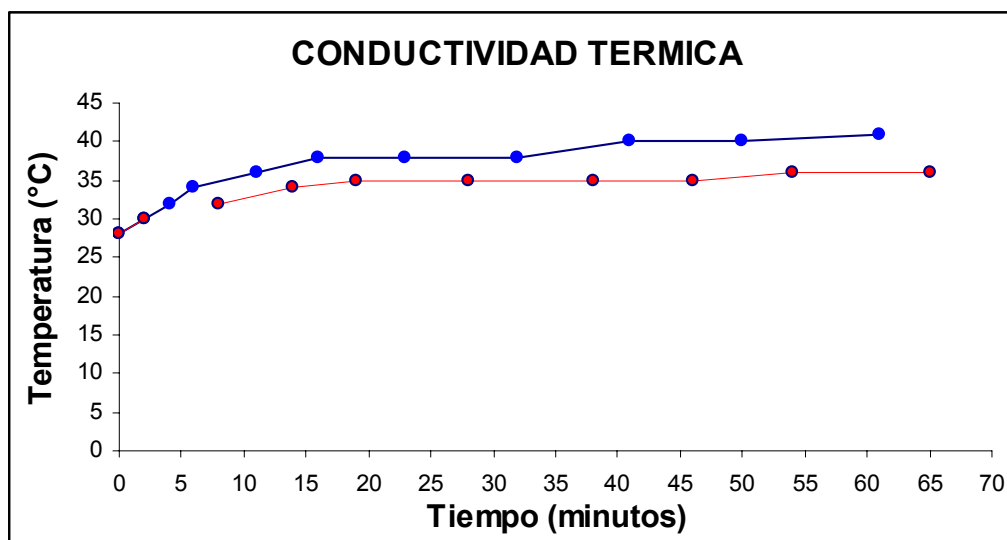
Tabla 27: Resultados de conductividad térmica

| AGLOMERADO SOLO ABS | | | |
|---------------------|----------------|--------------|----------------|
| Grosor (cm) | T plancha (°C) | T final (°C) | Tiempo Minutos |
| 1 | 50 | 28 | 0 |
| 1 | 50 | 30 | 2 |
| 1 | 50 | 32 | 4 |
| 1 | 50 | 32 | 8 |
| 1 | 50 | 34 | 14 |
| 1 | 50 | 35 | 19 |
| 1 | 50 | 35 | 28 |
| 1 | 50 | 35 | 38 |
| 1 | 50 | 35 | 46 |
| 1 | 50 | 36 | 54 |
| 1 | 50 | 36 | 65 |

| AGLOMERADO (ABS+RESINA) | | | |
|-------------------------|----------------|--------------|----------------|
| Grosor (cm) | T plancha (°C) | T final (°C) | Tiempo Minutos |
| 1 | 50 | 28 | 0 |
| 1 | 50 | 30 | 2 |
| 1 | 50 | 32 | 4 |
| 1 | 50 | 34 | 6 |
| 1 | 50 | 36 | 11 |
| 1 | 50 | 38 | 16 |
| 1 | 50 | 38 | 23 |
| 1 | 50 | 38 | 32 |
| 1 | 50 | 40 | 41 |
| 1 | 50 | 40 | 50 |
| 1 | 50 | 41 | 61 |

Tabla 28: Resultados de conductividad térmica

Figura 46: Diagrama del comportamiento térmico para aglomerados



Análisis:

De esta prueba se puede concluir que el aglomerado fabricado con cascarilla de arroz mas la solución dispersa de ABS/estireno (línea roja), posee mejores propiedades de aislante térmico con respecto al aglomerado fabricado con cascarilla de arroz y la mezcla (ABS 60% + Resina 40 %) (Línea azul). Ya que al ir suministrando la misma cantidad de energía térmica (50°C) a los dos aglomerados, el aglomerado fabricado con ABS obstaculiza mas eficientemente el paso de calor a la cara superior del mismo comparado con el aglomerado de la mezcla (60% ABS + resina). Esto se hace evidente en la diferencia de tiempo que cada uno tarda en elevar en un grado centígrado su temperatura.

Los aglomerados fabricados con la dispersión de ABS/ estireno, son buenos aislantes por tres razones básicas:

La primera de ellas es que el ABS del cual se fabricaron los aglomerados es un mal conductor, segundo la cascarilla de arroz que se uso como carga es también mala conductora y tercero es que el aglomerado de ABS, presenta gran cantidad de poros que favorecen un mayor aislamiento térmico, debido a que este posee en su estructura interna una mayor cantidad de poros por área cuadrada que sus homólogos. Favoreciendo el almacenamiento y oclusión de aire entre dichas cavidades, luego cuando la pared del poro se calienta también lo hace el gas ocluido y se genera una convección natural al interior del poro que transmite el calor al otro extremo de la pared del poro (19).

3.3.8. Resistencia Química Ante La Presencia De Sustancias Acidas Y Básicas

3.3.8.1 Resistencia Química De Los Aglomerados

Tabla 29: Resistencia química de aglomerados

| AGLOMERADOS | | | |
|--------------------------------|--|--|---|
| STE | SOLO RESINA | (ABS + RESINA) | SOLO ABS |
| NaOH | Mostró un continuo ataque, desintegración del 80% la forma aglomerada | La sln se torna amarilla, presenta un ligero ataque y flota parcialmente | la sln se tornó amarilla, flotó en la solución y no presentó ataque |
| H ₂ SO ₄ | Ligero ataque, solo desprendió unas partículas de cascarilla | Flota parcialmente, permanece inalterado | Flotó parcialmente inalterado |
| HCOOH | Inalterado | No se alteró | Se hinchó nada más, no presentó ataque |
| H ₂ O | Se tornó de color blanco Flotó parcialmente | Inalterado, flota parcialmente | Flotó, no se altero |
| HNO ₃ | Se hundió en la sln, la sln se tornó amarilla y no presentó desintegración | Flotó parcialmente, solución se tornó amarilla | Flotó, la sln se tornó amarilla |

3.3.8.2 RESISTENCIA QUÍMICA DE LAS MUESTRAS SÓLIDAS

Tabla 30: Resistencia química de cristales

| MUESTRAS SÓLIDAS | | | |
|--------------------------------|---------------|----------------|-------------|
| SOLVENTE | SOLO RESINA | (ABS + RESINA) | SOLO ABS |
| NaOH | Ataque severo | Ligero ataque | Inalterado |
| H ₂ SO ₄ | Inalterado | Inalterado | Ataque leve |
| HCOOH | Inalterado | Inalterado | Inalterado |
| H ₂ O | Inalterado | Inalterada | Inalterado |
| HNO ₃ | Inalterado | Inalterado | Inalterado |

Análisis:

Para este ensayo se utilizó la muestra de resina poliéster como un patrón de referencia, se estudio la mezcla (ABS +Resina) como también los diferentes aglomerados fabricados (ABS + Resina + Cascarilla), (ABS + Cascarilla) y (Resina + Cascarilla), con el fin de determinar su comportamiento frente a las soluciones de ácidos y bases de la tabla 28.

Los resultados muestran que los materiales compuestos obtenidos, tienen propiedades que dependen de la composición porcentual que tiene cada estructura, si esta está cerca de una composición rica en material hidrófilo como la cascarilla, son mas susceptibles del ataque por parte de las soluciones acuosas, ya que el proceso inicia con la hidratación, mientras que las mezclas con una composición marcadamente hidrófuga (ricas en polímero), son menos susceptibles al ataque por parte de soluciones acuosas, además de esto, el tipo de polímero de la matriz es importante ya que, al ABS no reacciona fácilmente con ácidos o bases pero el poliester si, por lo que las mezclas ricas en ABS son mas resistentes que aquellas formadas por el poliester que se hidroliza lentamente en medio acido o básico.

4. CONCLUSIONES

- De acuerdo con las pruebas cualitativas y análisis espectroscópicos como le IR se logró identificar plenamente que el material polimérico del cual están fabricas las fosforeras es ABS.
- El reciclaje del ABS post-consumo mediante la incorporación de este a resinas tipo poliéster, reduce significativamente a nivel industrial los costos de la fabricación de productos de resina poliéster. Pues se esta reduciendo entre un 50% y 60% de la cantidad de resina utilizada normalmente en la fabricación de estos productos tan solo con material de desecho; ofreciendo una alta resistencia a la compresibilidad y dureza.
- La aplicación de este proceso de reciclaje, permite reutilizar y reincorporar al ciclo de vida útil el ABS proveniente de cualquier fuente de desechos. Ya sea de fosforeras o de equipos electrónicos que cumplieron la función para la cual fueron fabricados.
- El reciclaje físico-químico aplicado al ABS post-consumo, es un proceso económico que se podría aplicar a nivel industrial, debido a que este se realiza a temperatura ambiente utilizando un solvente comercial. Evitando al máximo la continua degradación del polímero por oxidación y envejecimiento del mismo al someterle a un reblandecimiento térmico, cuando se recicla mecánicamente bien sea por moldeo de inyección o moldeo por extrusión. Ya que estos procesos contribuyen a la perdida de propiedades mecánicas del ABS debido a la formación de huecos en su estructura por la liberación de gases durante el reblandecimiento térmico.

- El ABS post-consumo y la cascarilla de arroz son productos a los cuales en Colombia no se les han dado amplios usos. Por tanto crear un material aglomerado de estos dos productos, con miras en la fabricación de paneles livianos y con características medianas de aislantes térmicos. Contribuye ecológicamente al ahorro de energía destinada en la calefacción y ventilación de países que sufren periodos de invierno y verano prolongado. Garantiza un producto económico y de fácil fabricación e instalación.

5. RECOMENDACIONES

- Se recomienda continuar el estudio referente a la estructura química que resulta de la mezcla entre el ABS y la resina poliéster, con el fin de establecer si el ABS actúa en esta composición como un potente aditivo o como una parte estructural de la red polimérica tridimensional que forma la resina poliéster por medio del posible rompimiento del doble enlace que posee el monómero butadieno perteneciente a el ABS.
- Se sugiere continuar aplicando esta forma de reciclado del ABS para determinar que tipo de carga es mas compatible que la cascarilla de arroz, para usarla a futuro en la creación de material inmobiliario que ofrezca buenas propiedades mecánicas, cumpliendo con requisitos mínimos que deben cumplir esta clase de artículos.

BIBLIOGRAFÍA

- 1) KENNEDY JAMES E 1, LYONS JOHN, G.2., GEEVER LUKE M.3, “Synthesis and characterization of styrene butadiene styrene-g-acrylic acid for potential use in biomedical applications”. En: El Sevier, Materials Science and Engineering. Vol Materials Science and Engineering C xxx (2009) xxx–xxx
- 2) YONGJIN LI *, HIROSHI SHIMIZU.” Improvement in toughness of poly(L-lactide) (PLLA) through reactive blending with Acrylonitrile–Butadiene–styrene copolymer (ABS): Morphology and properties”. En: El Sevier, European Polymer Journal. Vol 45 (2009) 738–746
- 3) ANTAL BOLDIZARA,* , KENNETH MOLLERB “Degradation of ABS during repeated processing and accelerated ageing”. En: El Sevier, Polymer Degradation and Stability. Vol, 81 (2003) 359–366
- 4) T. BORONAT*, V.J. SEGUI, M.A. PEYDRO, *M.J. REIG.*” Influence of temperature and shear rate on the rheology and processability of reprocessed ABS in injection molding process”. En: El Sevier, journal of materials processing technology. Vol. 209 (2009) 2735–2745
- 5) J.C. ARNOLD*, S. ALSTON, A. HOLDER.” Void formation due to gas evolution during the recycling of Acrylonitrile–Butadiene–Styrene copolymer (ABS) from waste electrical and electronic equipment (WEEE)” En: El Sevier, Polymer Degradation and Stability. Vol. 94 (2009) 693–700.

- 6)** SHAO-PENG WUA,* , LING PANG A, LIAN-TONG MOA,B, YONG-CHUN CHEN A, GUO-JUN ZHU” Influence of aging on the evolution of structure, morphology and rheology of base and SBS modified bitumen”. En: El Sevier, Construction and Building Materials.Vol. 23 (2009) 1005–1010
- 7)** ALI KHODAII, AMIR MEHRARA. “Evaluation of permanent deformation of unmodified and SBS modified asphalt mixtures using dynamic creep test”. En: El Sevier, Construction and Building Materials. Vol. 23 (2009) 2586–2592
- 8)** LI CHEN A, HENG-ZHEN HUANG A, YU-ZHONG WANG “ Transesterification-controlled compatibility and microfibrillation in PC–ABS composites reinforced by phosphorus-containing thermotropic liquid crystalline polyester”. ”. En: El Sevier; Polymer xxx (2009) 1–10.
- 9)** A. MARCILLA, A. GO´ MEZ-SIURANA, J.C. GARCÍA QUESADA, D. BERENGUER” Characterization of styrene–butadiene copolymers by catalytic pyrolysis over Al-MCM-41”. En: El Sevier; Journal of Analytical and Applied Pyrolysis Vol. 85 (2009) 327–333.
- 10)** EGUIAZABAL, J.I., NAZABAL, J., 1990. Reprocessing polycarbonate acrylonitrile–butadiene–styrene blends—influence on physical-properties. Polymer. Eng. Sci. 30, 527–531.
- 11)** GARCIA, D., BALART, R., SANCHEZ, L., LOPEZ, J., 2007. Compatibility of recycled PVC/ABS blends. Effect of previous degradation Polym. Eng. Sci. 47, 789–796.
- 12)** “An Introduction to The Mechanical Properties of Solid Polymers”, I.M. Ward, D.W. Hadley, John Wiley & Sons Ltda., 1993, England.

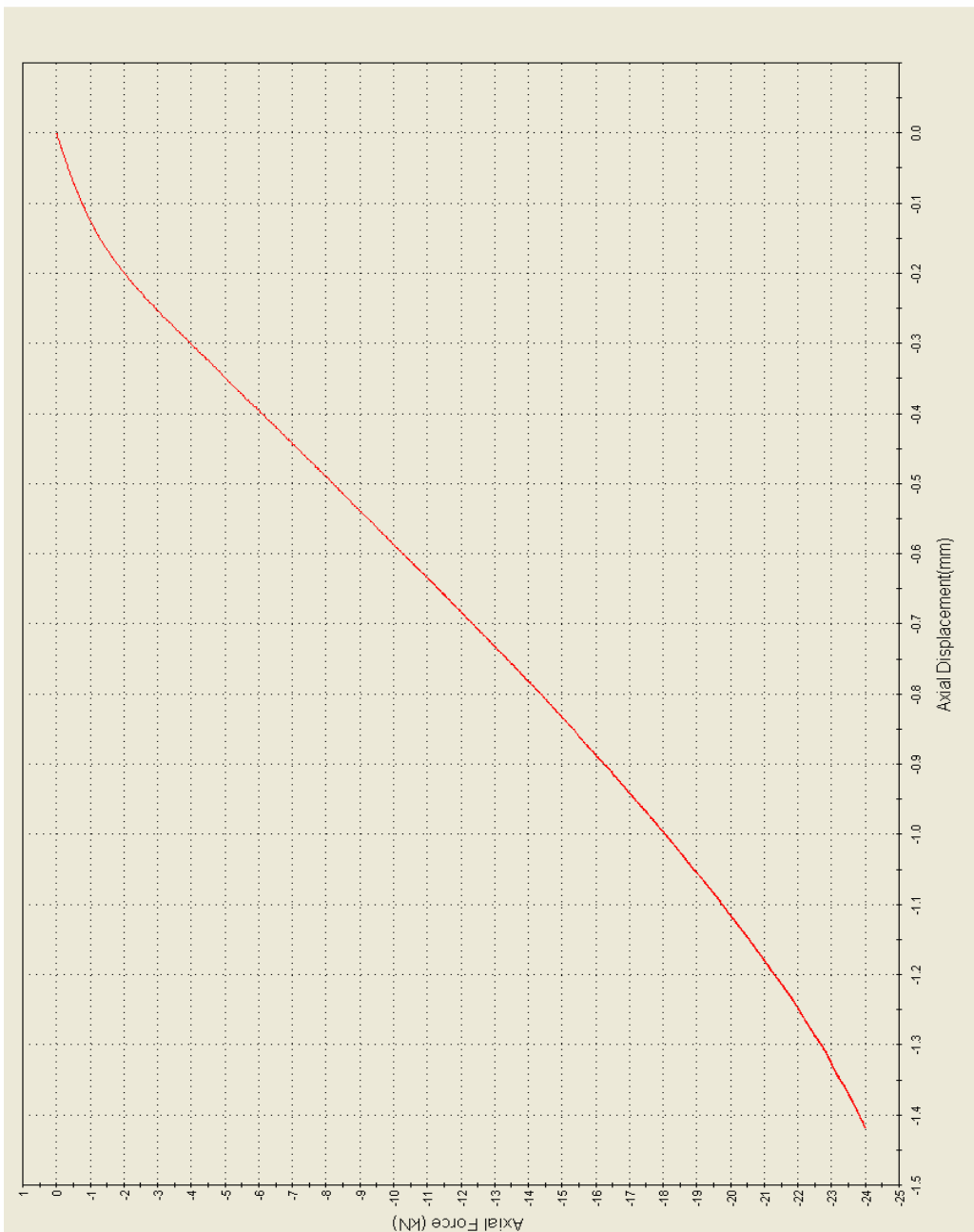
- 13)** “Materials Science and Technology: a comprehensive Treatment”, Edited by R.W. Cahn, P. Haasen, E.J. Kramer, Vol. 12: Structure and Properties of Polymers, volume Editor: Edwin Thomas. Weinhein, 1993, New York.
- 14)** R.B. Madhusudhan, R.P. Raghunath, Polymer & Plastic Technology Engineering 38 (1999) 967.
- 15)** N. Huang, D. Sundberg, Journal of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry. 33 (1995) 2533.
- 16)** Adams ME, Buckley DJ, Colborn RE, England WP, Schissel DN. Acrylonitrile–butadiene–styrene polymers. Rapra Review Reports 1993;6(10).
- 17)** “Mechanical Properties of Polymers and Composites”, L. Nielsen, R. Landel, Marcel Dekker Inc., 1994, New York.
- 18)** DIETRICH BRAUN, Simple Methods for identification of plastic, Macmillan Publishing co, new Cork 1982
- 19)** XAVIER ELIAS. RESICLAJE DE RESIDUOS INDUSTRIALES. Segunda edición. Editorial Diaz de Santos
- 20)** RAIMOND B. SEYMOUR. Introducción a la química de los polímeros. Segunda edición. Editorial reverté
- 21)** DONAL R. ASKELAND. La ciencia e ingeniería de los materiales. Primera Edición. Editorial Grupo Editorial Iberoamericana, S.A de C:V

- 21)** <http://www.eis.uva.es/~macromol/curso04-05/abs/archivos/abs.htm> (acceso abril 25 del 2009)
- 22)** <http://www.basel.int/meetings/cop/cop6/spanish/21s.pdf> (acceso mayo 2-2009)
- 23)** https://portal.uah.es/portal/page/portal/GP_EPD/Pg-MA-ASIG/Pg-ASIG-82008/TAB42351/praclabo_0.htm (miércoles 25 de marzo 2009)
- 24)** http://cabierta.uchile.cl/revista/29/mantenedor/sub/revisiones_4.pdf (acceso marzo 30-2009)
- 25)** <http://www.natureworkspla.com> (acceso abril 6-2009)
- 26)** www.dtpsistemas.es (manual técnico de ABS- año 2008, distribuidora de tuberías Erapipe) (acceso abril 23-2009)
- 27)** http://www.ticona.com/index/products/liquid_crystal.htm(acceso diciembre 3 - 2009)
- 28)** <http://www.basel.int/meetings/cop/cop6/spanish/21s.pdf> (acceso diciembre 20 de 2009)

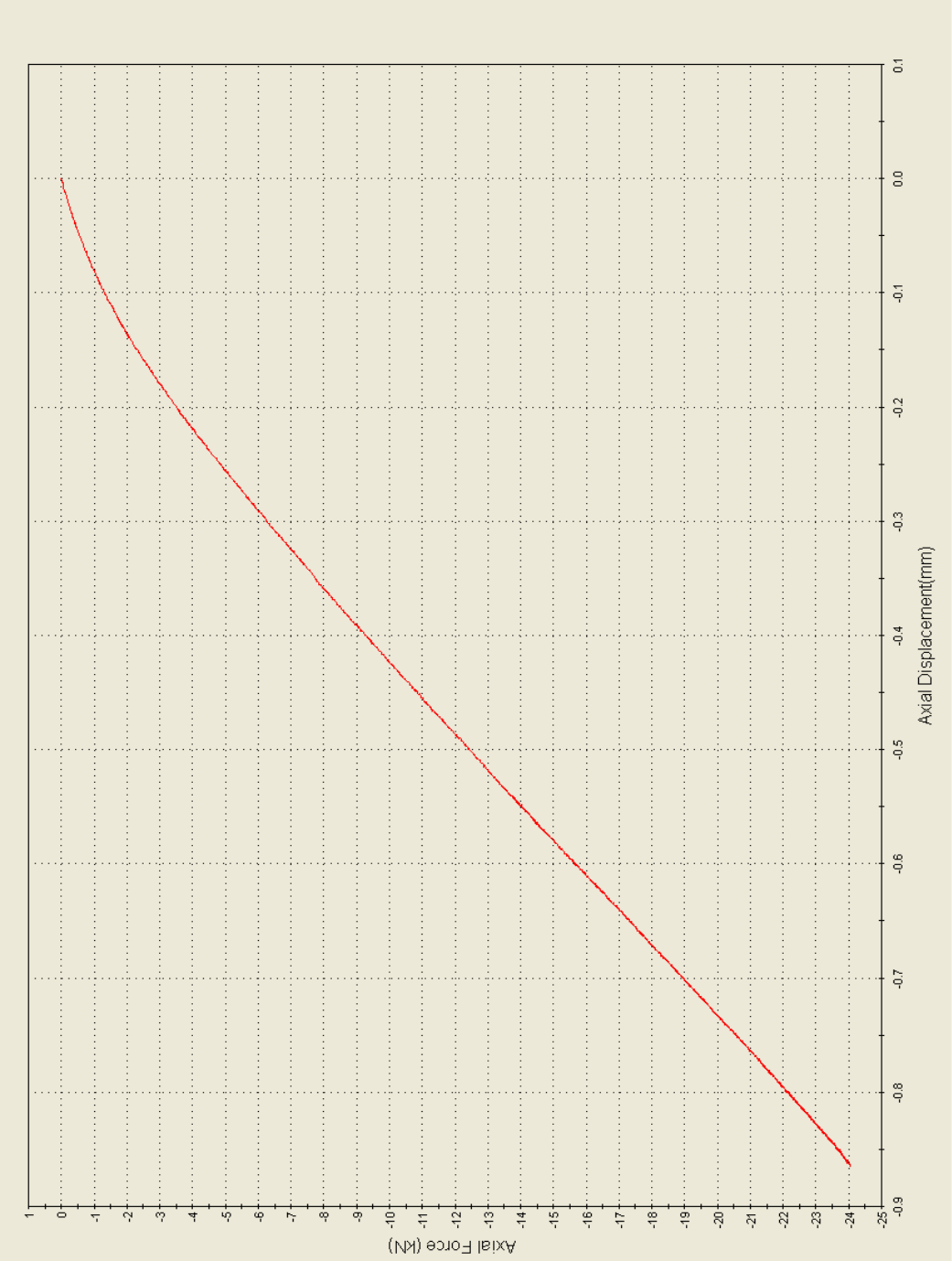
ANEXOS

ANEXO A

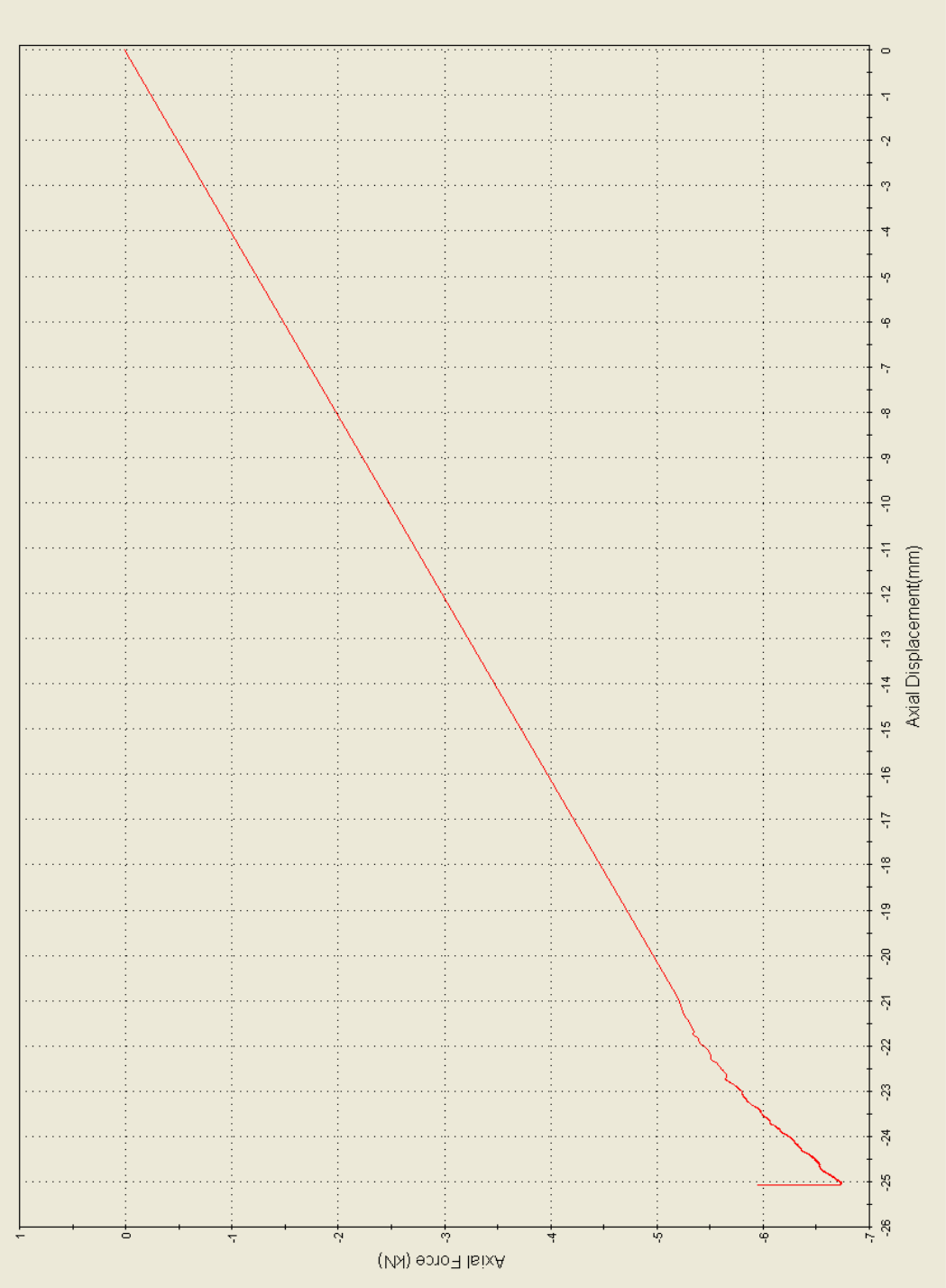
A1 Ensayo de compresión de una muestra solidad de resina poliéster



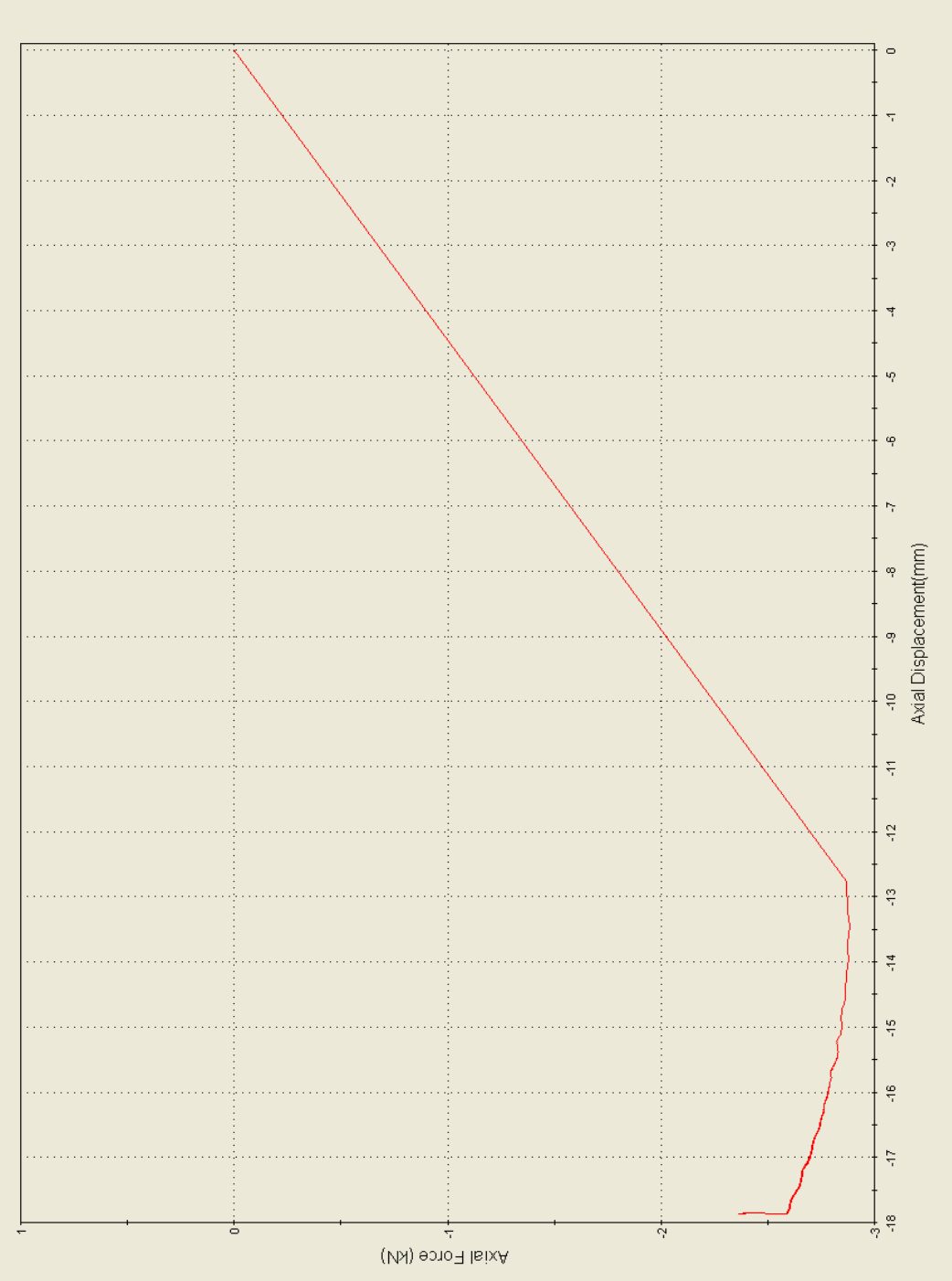
A2 Ensayo de compresión de la mezcla sólida (60% ABS + 40% RESINA)



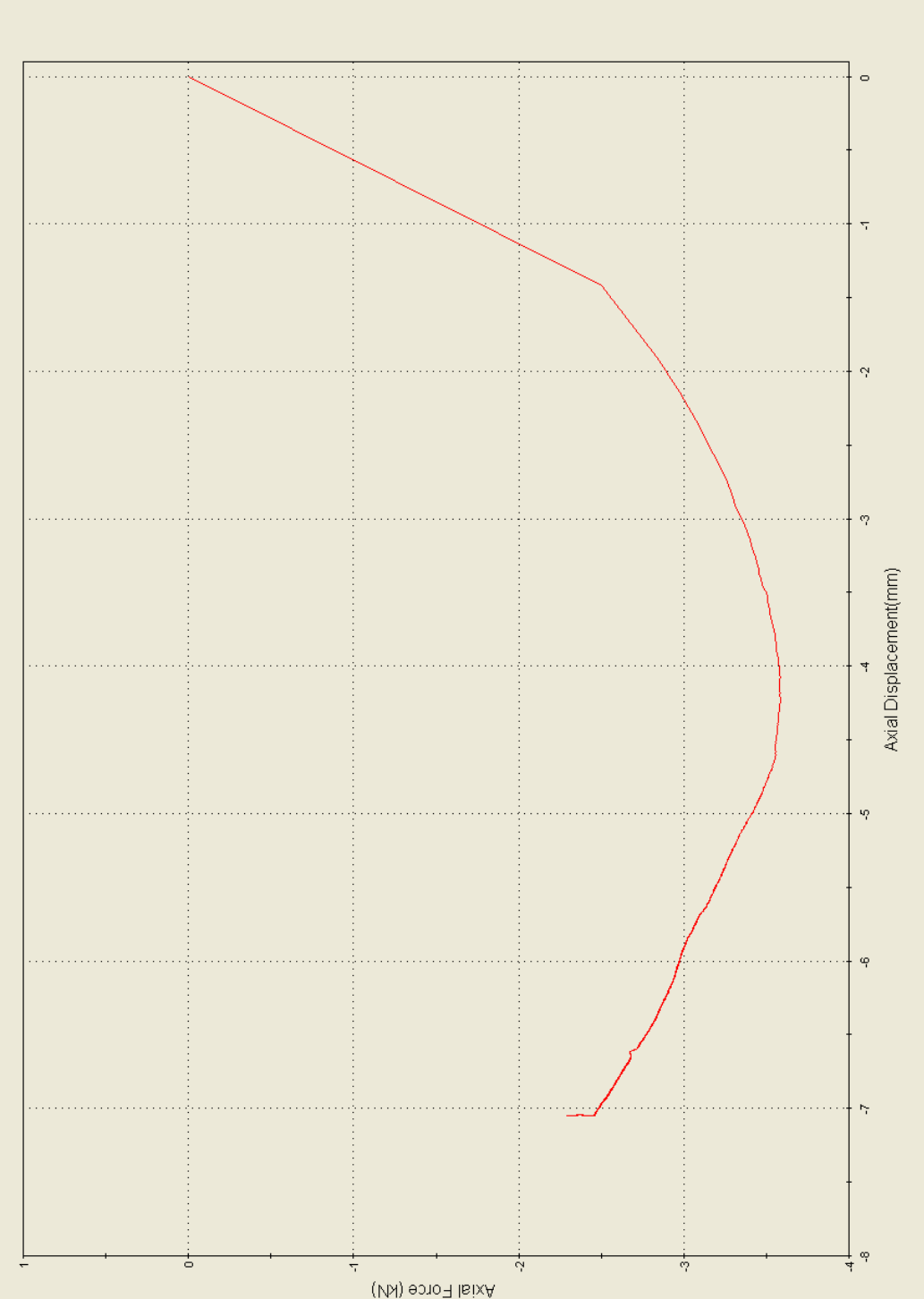
A3 Ensayo compresión de aglomerado (50% ABS +50% RESINA)



A4. Ensayo compresión aglomerado (60% ABS + 40% RESINA)

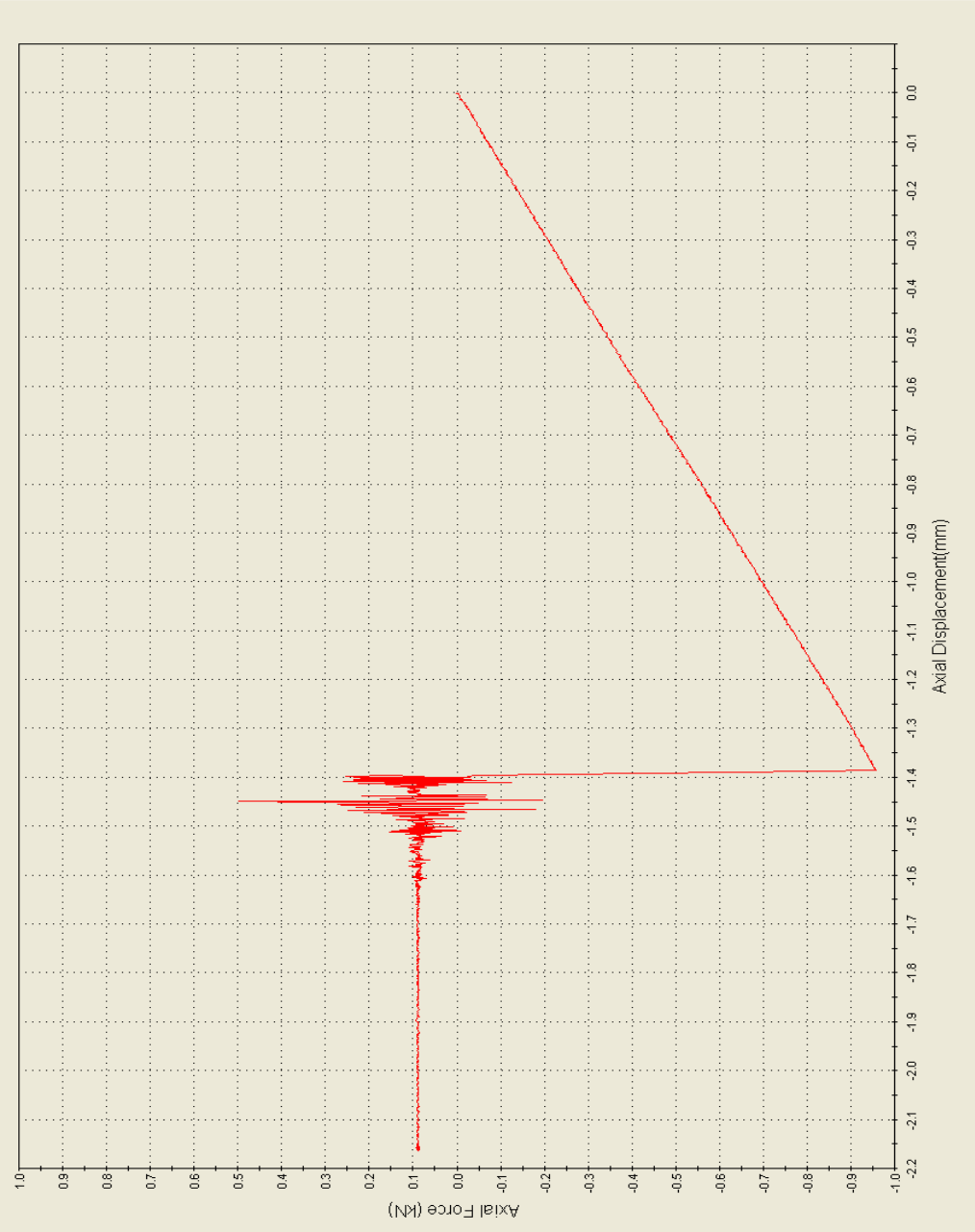


A5 Ensayo compresión aglomerado solo ABS

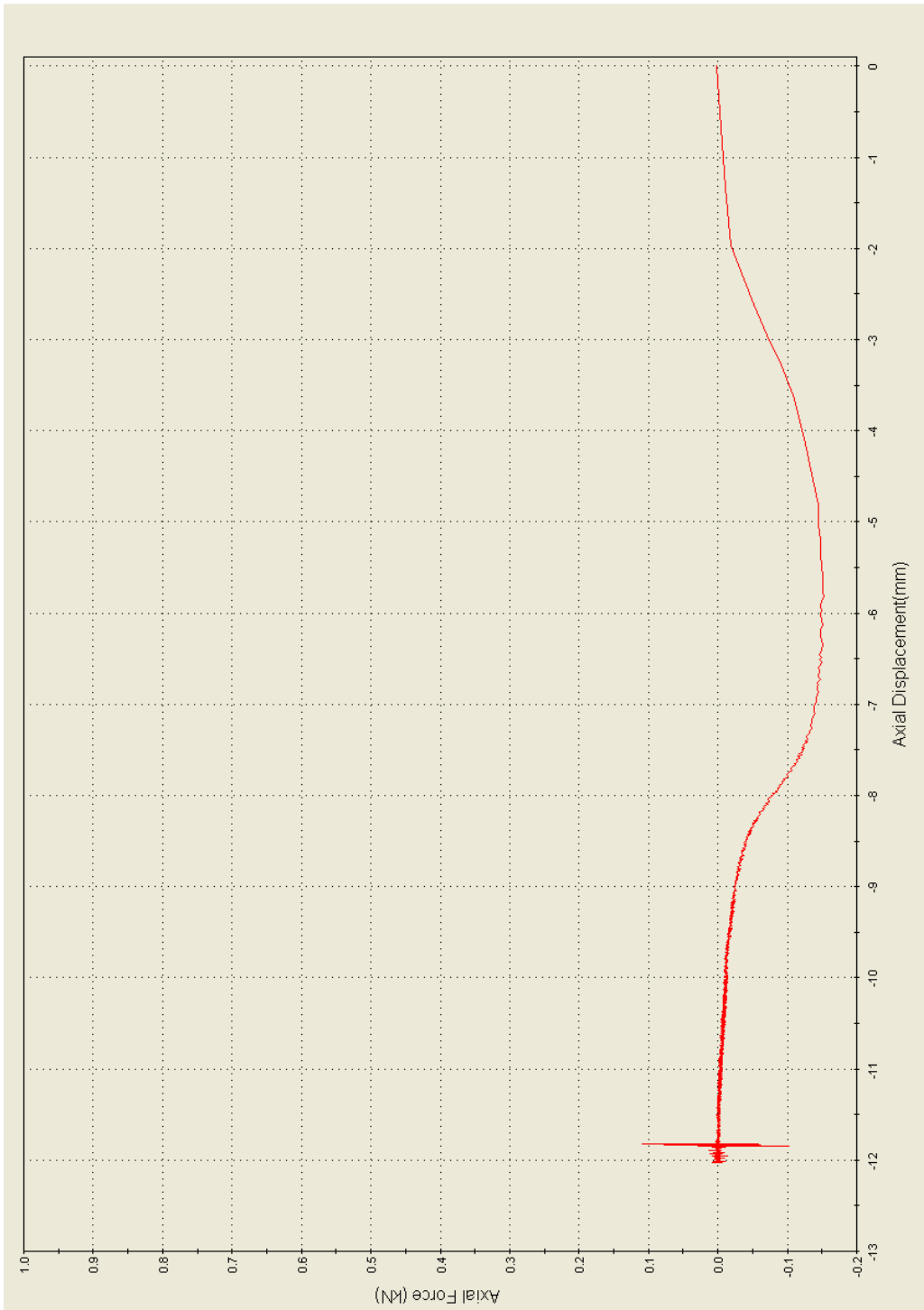


ANEXO B

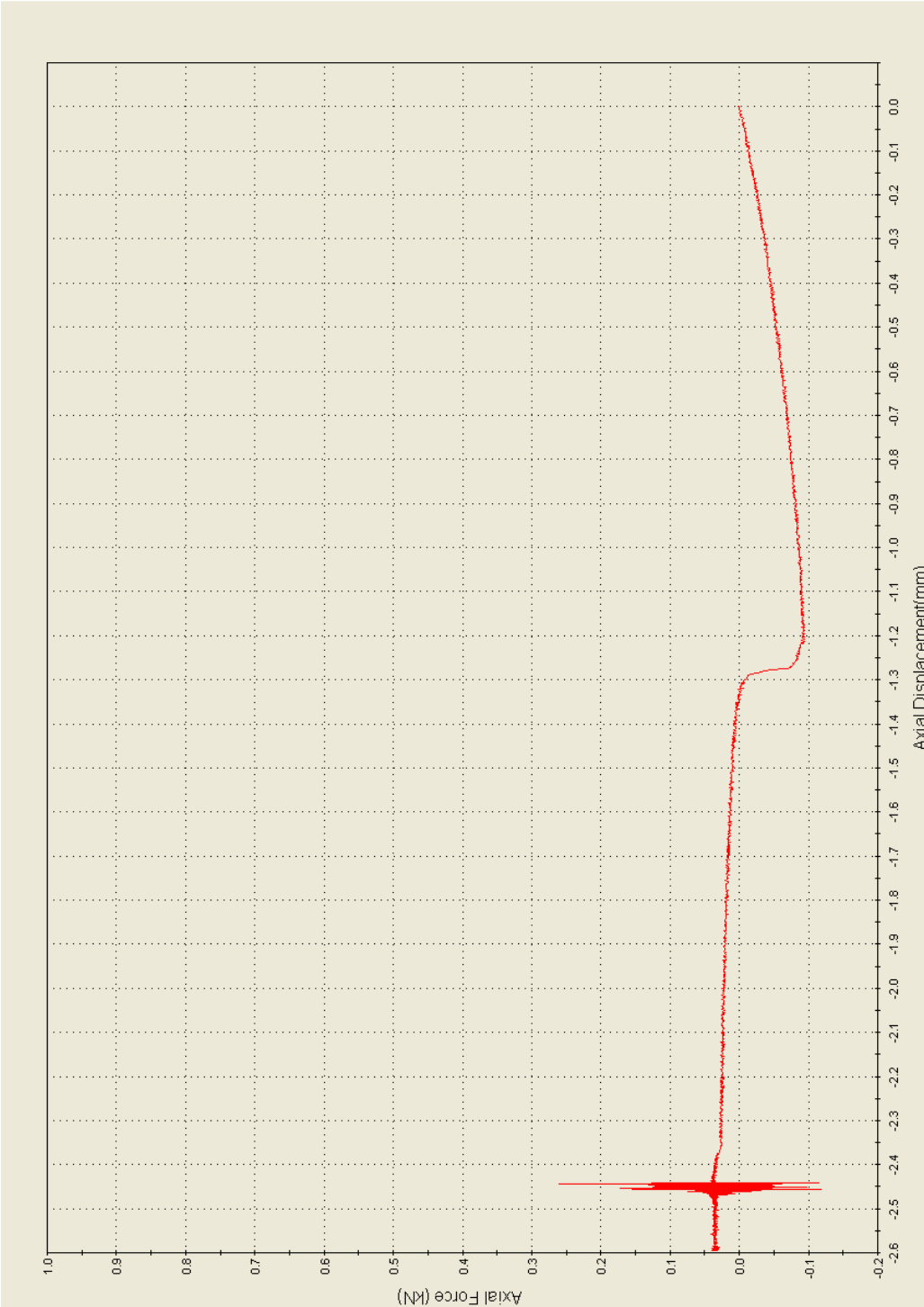
B1 Ensayo de flexión, aglomerado (solo resina)



B2 Ensayo de Flexión, aglomerado (60% ABS + 40% RESINA)



B3 Ensayo flexión, aglomerado (solo ABS)



ANEXO C

FICHA TÉCNICA DEL ABS (ACRILONITRILO BUTIL ESTIRENO)⁽²⁶⁾

| Característica | Temp. | S.I. Unit |
|--|--|--|
| Resistencia al Impacto | | Muy Alta |
| Resistencia UVI | | Muy Alta |
| Resistencia a la abrasión | | Muy Alta |
| Contenido en Halógenos | | Muy Bajo |
| No Tóxico | | |
| Máx. Resistencia a la tensión | 20° C | 30MPa |
| Alargamiento a la rotura | 20° C | 25% |
| Módulo de Young | 20° C | 2000MPa |
| Fuerza de Compresión | 20° C | 42MPa |
| Resistencia al Impacto | 23° C | 340 J/m |
| Gravedad específica | | 1.04 x 10 ³ Kg/m ³ |
| Temp. de ablandamiento - Vicat | | 104° C |
| Coefficiente de Expansión térmica lineal | | 10.1 x 10 ⁻⁵ m/m° C |
| Temperatura de trabajo | | -40° C a +70° C |
| Temperatura máx. | | 80° C |
| Viscosidad | | 0.35 |
| Conductividad Térmica | | 0.25W/m.K |
| Calor específico | | 1.47 Kj/Kg.K |
| Resistibilidad | | 3.5 x 10 ⁶ Ωcm |
| Constante Dieléctrica | | 3.2 a 60Hz 3.12 a 10 ³ Hz 2.9 a 10 ⁶ Hz |
| Resistencia Química | Ácidos débiles Ácidos fuertes Alcalinos débiles Alcalinos duros Suelos agresivos Sales metálicas Agua marina Hidrocarburos Disolventes orgánicos | Buena Limitada Buena Buena Excelente Buena Excelente Baja Baja |

ANEXO D

FICHA DE SEGURIDAD DEL ESTIRENO

PROPIEDADES FÍSICAS

- El estireno es un líquido aceitoso e incoloro de olor aromático con punto de ebullición de 145°C y densidad relativa de vapor igual a 3,6.
- Es insoluble en agua y soluble en alcohol, éter o acetona.
- El estireno es un líquido inflamable cuyos vapores pueden formar mezclas explosivas en el aire.
- Su punto de inflamabilidad es 31°C en copela cerrada y 34°C en copela abierta, su límite inferior de explosividad es de 1,1% en volumen a 29,3°C y el superior 6,1% a 65,2°C.

| | |
|--|---------------------|
| Punto de ebullición: 145 °C | 145 °C |
| Punto de fusión: -30.6 °C | -30.6 °C |
| Densidad relativa (agua = 1): 0.9 | 0.9 |
| Solubilidad en agua | 0.03 g/ml a 25°C |
| Presión de vapor (Pa) | |
| a 10°C: 312 | 312 |
| a 20°C: 600 | 600 |
| a 30°C: 1095 | 1095 |
| a 40°C: 1906 | 1906 |
| Densidad relativa de vapor (aire = 1) | 3.6 |
| Densidad relativa de la mezcla vapor/aire a 20°C (aire = 1) | 1.02 |

VÍAS DE PENETRACIÓN

Respiratoria:

La exposición humana a estireno se produce principalmente por inhalación.

Oral:

Por ingestión accidental de estireno líquido.

Cutánea:

A través del contacto con la piel cuando está en estado líquido.

DISTRIBUCIÓN Y ALMACENAMIENTO EN EL ORGANISMO

- Tras la exposición por inhalación, la cantidad de estireno absorbido corresponde a un 60 a 70% de la dosis inhalada. Varía en función de los individuos y de las características de la ventilación pulmonar durante la exposición.
- La velocidad de absorción cutánea es mayor que la del resto de los hidrocarburos aromáticos simples (12 mg/cm.) por 2/h.
- El estireno satura el organismo rápidamente (en 30-40 minutos). El 85% del estireno inhalado y retenido en el organismo, se metaboliza fundamentalmente en el hígado. En menor cantidad, en el tejido muscular y en el pulmón. Cierta cantidad de estireno se fija sin metabolizar en el tejido adiposo subcutáneo y es susceptible de ser movilizada.

EFFECTOS SOBRE LA SALUD

Intoxicación aguda

A) La ingestión accidental de estireno produce.

Alteraciones digestivas: fuerte irritación del tracto gastrointestinal, con dolores abdominales, náuseas, vómitos y diarreas. Estas alteraciones se deben poder irritante del estireno sobre las mucosas.

B) Por inhalación

La intoxicación aguda en la industria se debe, en la mayor parte de las ocasiones, a la inhalación de vapor de estireno. Los vapores de estireno pueden causar intoxicación aguda, con síntomas iniciales

Tales como:

- Irritación nasal, con sensación de picazón.
- Irritación de boca.
- Irritación de garganta.
- Irritación del tracto respiratorio.

OTROS EFECTOS DE TIPO AGUDO TIENEN LUGAR EN:

- La piel: El contacto de la piel con el estireno líquido da lugar a dermatosis de irritación (piel seca y escamosa), como consecuencia de su acción desengrasante y desecante. En animales de experimentación se ha visto que

la irritación cutánea puede ser lo suficientemente intensa como para causar ampollas y necrosis tisulares.

- Los ojos: Irritación de la conjuntiva ocular con enrojecimiento e hipersecreción lacrimal (conjuntivitis), que desaparece al cabo de dos o tres días sin dejar secuelas.

INTOXICACIÓN CRÓNICA

Por inhalación: La intoxicación crónica se produce por inhalación constante y diaria del vapor del estireno que se esparce en el ambiente de trabajo. Puede producir:

Irritación de vías respiratorias altas: por el efecto irritante del estireno sobre la mucosa del árbol respiratorio, produciéndose:

- Picazón de nariz a una concentración de 50 ppm. En las exposiciones crónicas, el organismo se va habituando y se reduce esta sensación.
- Tos.
- Alteraciones digestivas: Pérdida de apetito, náuseas y decaimiento. Estos síntomas se dan con más frecuencia en aquellos sujetos que padecen alteraciones digestivas, tales como, hernia de hígado y gastritis.

EFFECTOS NEURO TÓXICOS:

Como ya se ha indicado en el apartado de intoxicación aguda, el estireno ejerce una acción depresiva sobre el sistema nervioso central, apareciendo, en principio,

fatiga, cefalea (dolor de cabeza) y somnolencia. Estos efectos aparecen en concentraciones relativamente bajas (20 ppm.)

- Si las exposiciones varían entre 25 y 50 ppm. de estireno, aparecen leves alteraciones de la memoria.
- Cuando la concentración se aproxima a las 100 ppm., produce alteraciones del equilibrio con sensación de vértigo.

ANEXO E

FOTOGRAFÍAS DE LOS ENSAYOS DE HOMOGENIZACIÓN ENTRE LA RESINA POLIÉSTER Y LA DISPERSIÓN DEL ABS EN ESTIRENO.

*Estas fotografías fueron tomadas con ayuda de un estereoscopio marca **NIKON SMZ**, utilizando un aumento de 50X y una fuente de luz polarizada

Muestra 2: 10% ABS + 90% Resina

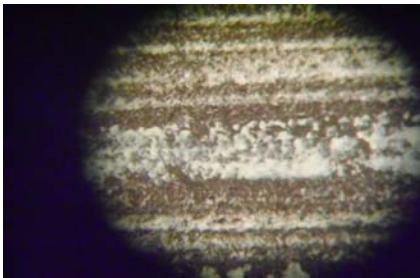


Figura E1: Superficie no pulida



figura E2: superficie pulida

Muestra 3: 20% ABS + 80% Resina

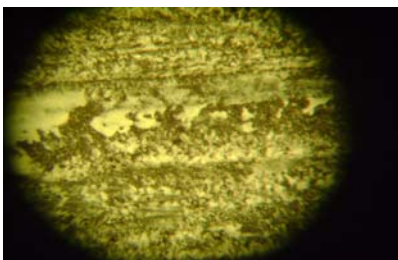


Figura E3: Superficie no pulida



figura E4: Superficie pulida

Muestra 4: 30% ABS + 70% RESINA

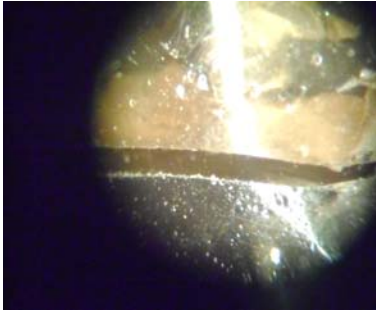


Figura E5: Superficie pulida

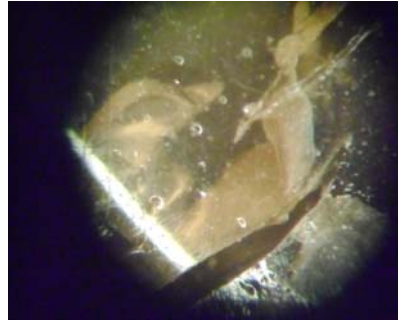


Figura E6: Superficie pulida

Muestra 5: 40% ABS + 60% Resina

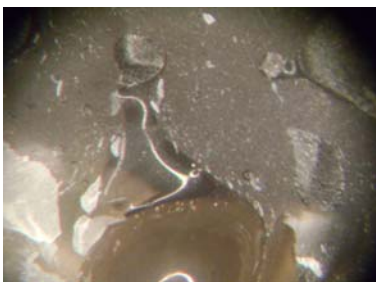


Figura E7: Superficie pulida



Figura E8: superficie pulida

Muestra 6: 50% ABS +50% Resina

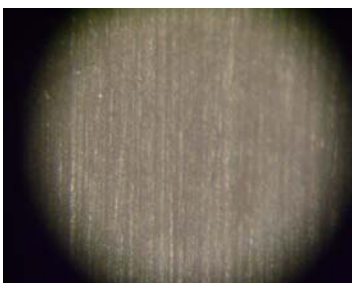


Figura E9: Superficie pulida

Muestra 7: 60% ABS +40% Resina



Figura E10: Superficie pulida

Muestra 8: 70% ABS + 30% Resina



Figura E11: Superficie pulida



Figura E12: superficie pulida

Muestra 9: 80% ABS + 20% Resina

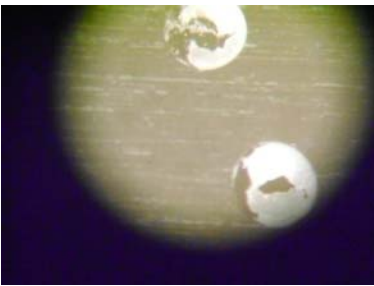


Figura E 13: Superficie pulida

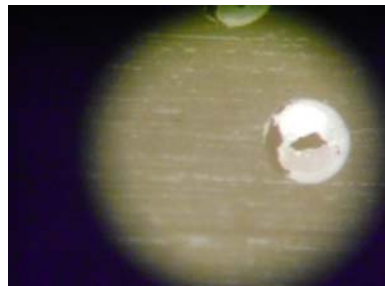


Figura E 14: Superficie pulida