

**FORMULACIÓN, EVALUACIÓN Y APLICACIÓN DE
COPOLÍMEROS MAGNÉTICOS DE ABS Y SAN.**

**ALVARO LOZADA RINCÓN
ANDREA CAROLINA SANABRIA ROJAS**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO - QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2005

**FORMULACIÓN, EVALUACIÓN Y APLICACIÓN DE
COPOLÍMEROS MAGNÉTICOS DE ABS Y SAN.**

**ALVARO LOZADA RINCÓN
ANDREA CAROLINA SANABRIA ROJAS**

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Químico

Director

RAMIRO SALAZAR LARROTA

Ph.D Ingeniero Químico

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO - QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2005

DEDICATORIA:

Primero que todo a Dios por darnos la vida.

*A mis Padres por darnos la oportunidad de estudiar por
su amor y apoyo incondicional durante toda la carrera.*

*A los miembros de mi familia por contar siempre con ellos
en todo momento.*

*A mis compañeros y amigos por el tiempo compartido y las
experiencias vividas.*

Carolina y Alvaro

AGRADECIMIENTOS

Queremos extender nuestros agradecimientos a las siguientes personas:

Al ingeniero Jorge Castellanos, jefe de planta de EXTRUCOL S.A. quien nos permitió la utilización del laboratorio para la elaboración de las probetas. A los laboratoristas Nelson y Edgar del laboratorio de control de calidad de EXTRUCOL S.A. por la inducción en el manejo de los equipos y por su gran paciencia.

A los auxiliares de laboratorio: Gildardo Santollo del laboratorio de fluidos magnéticos del ICP, Eduardo y Wilson del laboratorio de operaciones unitarias de ingeniería química de la UIS, quienes fueron de gran ayuda para la realización de este proyecto.

Al Dr. Ramiro Salazar, director del proyecto, quien desde el primer momento nos brindó su ayuda y siempre estuvo presente para darnos la orientación necesaria en forma precisa y oportuna.

A todos los que de una u otra manera nos aportaron o fueron guía para culminar con éxito este trabajo de grado.

RESUMEN

TÍTULO: FORMULACIÓN, EVALUACIÓN Y APLICACIÓN DE COPOLÍMEROS MAGNÉTICOS DE ABS Y SAN¹

AUTORES: ALVARO LOZADA RINCÓN; ANDREA CAROLINA SANABRIA ROJAS²

PALABRAS CLAVES: ABS, SAN, polímero, magnético, termoplásticos.

DESCRIPCIÓN: La introducción de propiedades magnéticas a materiales que no las poseen, los cuales abarcan un campo muy extenso, así como poco desarrollado es el objetivo de este trabajo de grado junto con las aplicaciones que pueden darse a estos materiales. Un termoplástico requiere calor para darle forma y después de enfriado puede ser recalentado y transformado en otras nuevas formas sin cambios significativos de sus propiedades, estos materiales son los que se trabajaron. El ABS (Acrilonitrilo-Butadieno-Estireno), es una resina plástica con buenas propiedades térmicas, químicas, mecánicas, y con una excelente presentación en piezas acabadas. Esta resina esta ampliamente considerada como material de ingeniería y ofrece excepcionales características de fluidez, tenacidad, estabilidad dimensional y resistencia a altas temperaturas. El SAN (Acrilonitrilo-Estireno) es un copolímero formado mediante el método de polimerización, participa en la síntesis compleja de la resina ABS.

El conocimiento científico de la unión entre materiales magnéticos y polímeros está limitado a pocas investigaciones, las cuales han logrado desarrollar un material para ser utilizado en autopartes, componentes de electrodomésticos, la industria de juguetería y bisutería. Por estas razones el siguiente trabajo está encaminado a la formulacion de la mezcla de polímeros (ABS, SAN), y material magnético para lograr una mezcla óptima; esto se logró mediante un tratamiento adecuado para las materias primas y su posterior tratamiento para el compactamiento e integración de los mismos.

Finalmente se estudió la viabilidad del establecimiento de una planta de producción de copolímero ABS y SAN magnético en Colombia, a través de un análisis de aspectos de mercado, técnicos y financieros. La investigación de mercado del producto, se enmarca dentro de un estudio exploratorio.

¹Proyecto de Grado

²Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Ingeniería Química.

ABSTRACT

TITLE: FORMULATION, EVALUATION AND APPLICATION OF COPOLYMERS MAGNETICS OF ABS AND SAN ¹

AUTHORES: ALVARO LOZADA RINCÓN; ANDREA CAROLINA SANABRIA ROJAS²

KEY WORDS: ABS, SAN, polymer, magnetic, thermoplastic.

DESCRIPTION: The introduction of magnetic properties to materials that don't have it, is a wide and not very developed field. It is the objective of this thesis together with the applications that can be given to these materials. A thermoplastic requires heat to form it and cooled can be reheated and transformed in new forms without significant changes of its properties. The ABS (Acrylonitrile-Butadieno-Estireno), it is a plastic resin with good thermal, chemical and mechanical properties, with an excellent presentation in finished pieces. This resin is largely considered as engineering material and it offers exceptional characteristics of fluency, tenacity, dimensional stability and resistance to high temperatures. The SAN (Acrylonitrile-Estireno) it is a copolymer formed by the polymerization method, it participates in the complex synthesis of the resin ABS.

The scientific knowledge of the union between magnetic materials and polymers is limited to few investigations, which have been able to develop a material used in autopartes, components of appliances, the toy industry and imitation jewelry. For these reasons the following work is guided to the formulation of the mixture of polymers (ABS, SAN), and magnetic material to obtain a optimum mixture; this was achieved with an appropriate treatment for the raw materials and later treatment for compact and integrate it.

Finally the viability of a plant of copolymer production ABS and SAN magnetic in Colombia was studied, with an analysis technical, marketing and financial aspects. The marketing investigation of the product, is framed inside an exploratory study.

¹Degree Project

²School of Quimical Engineering.

Índice general

1. Introducción	1
2. Fundamento teórico	3
2.1. Plásticos	3
2.1.1. Definición	3
2.1.2. Origen	4
2.2. Termoplásticos	5
2.2.1. Copolímeros Termoplásticos y Terpolímeros.	5
2.3. Materiales magnéticos	11
2.3.1. Aspectos históricos sobre magnetismo	11
2.3.2. Tipos de magnetismo.	12
2.3.3. Propiedades de las ferritas de bario y estroncio	14
2.4. Propiedades Físico Mecánicas de los plásticos.	16
2.4.1. Dureza.	17
2.4.2. Tensión y deformación.	17
2.4.3. Resiliencia.	18
2.4.4. Resistencia al impacto.	19
2.4.5. Análisis térmico.	21
3. Desarrollo Experimental	25
3.1. Elaboración de Probetas	25
3.1.1. Preparación de la ferrita de estroncio y bario	25
3.1.2. Preparación de las mezclas de polímero y ferrita	26

3.1.3. Mezclado	26
3.1.4. Moldeado	28
3.2. Pruebas Realizadas	29
3.2.1. Inducción Remanente	29
3.2.2. Adhesividad	31
3.2.3. Resistencia a la Tensión - Deformación	31
3.2.4. Ensayo de Resistencia al Impacto IZOD	33
3.2.5. Ensayo de Dureza y Resiliencia	34
3.2.6. Estudio Del Comportamiento Térmico	35
3.2.7. Estudio del Ensayo de Envejecimiento	36
4. Resultados y Discusiones	38
4.1. Tensión-Deformación	38
4.1.1. Modulo de elasticidad	38
4.1.2. Resistencia máxima o Esfuerzo de Cadencia.	40
4.1.3. Resistencia de ruptura	42
4.1.4. Elongación	43
4.2. Resistencia al Impacto Izod	45
4.3. Dureza	47
4.4. Resiliencia o Rebote	48
4.5. Análisis Térmico	48
4.5.1. TGA	48
4.5.2. DSC	49
4.6. Adhesividad Magnética	50
4.7. Inducción Remanente	51
4.8. Diseño preliminar y estudio de viabilidad de una planta para la producción de polímeros magnéticos ABS y SAN.	52
4.9. Aplicaciones	53
5. Conclusiones	54
6. Recomendaciones	56

Bibliografía	57
A. Tablas	60
A.1. Tablas Esfuerzo-Deformación para el ABS	60
A.2. Tablas Esfuerzo-Deformación para el SAN	62
A.3. Tablas Esfuerzo-Deformación para el ABS Envejecido	64
A.4. Tablas de Esfuerzo-deformación para el SAN Envejecido.	65
A.5. Tablas Resistencia al Impacto Izod	66
A.6. Tablas de Resiliencia o rebote	67
A.7. Tablas de Dureza	67
A.8. Tablas de Adhesividad Magnética	68
A.9. Tablas de Inducción Remanente	68
A.10. Gráficas Esfuerzo - Deformación	70
A.11. Gráficas de Análisis Térmico	71
B. Análisis de Mercado	76
C. Resultados de la encuesta	79
D. Encuesta a consumidores industriales	83
E. Diseño y viabilidad preliminar de una planta para la producción de polímeros magnéticos de ABS y SAN.	85
E.1. Diseño conceptual de la planta	85
E.2. Localización de la planta	85
E.3. Descripción del proceso	86
E.4. Diagrama del proceso	88
E.5. Especificaciones de los equipos	89
E.6. Distribución de personal para la planta	91
E.7. Distribución de la planta	93
E.8. Análisis económico	94
E.9. Evaluación financiera	95

Lista de tablas

2.1. Propiedades del LUSTRAN SAN 31	7
2.2. Propiedades de ABS Lustran 248	10
2.3. Propiedades de las ferritas de bario y estroncio.	15
3.1. Perfil de Temperatura del miniextrusor para el SAN	27
3.2. Perfil de Temperatura del miniextrusor para el ABS	27
A.1. Esfuerzo tensión-deformación ABS 0 %	60
A.2. Esfuerzo tensión-deformación ABS 13 %	60
A.3. Esfuerzo tensión-deformación ABS 20 %	61
A.4. Esfuerzo tensión-deformación ABS 27 %	61
A.5. Esfuerzo tensión-deformación ABS 34 %	61
A.6. Esfuerzo tensión-deformación ABS	62
A.7. Esfuerzo tensión-deformación SAN 0 %	62
A.8. Esfuerzo tensión-deformación SAN 9 %	62
A.9. Esfuerzo tensión-deformación SAN 17 %	63
A.10.Esfuerzo tensión-deformación SAN 26 %	63
A.11.Esfuerzo tensión-deformación SAN 34 %	63
A.12.Esfuerzo tensión-deformación SAN	64
A.13.Esfuerzo (N) para el ABS envejecido a diferentes porcentajes en peso de ferrita	64
A.14.Extensión (mm) para el ABS envejecido a diferentes porcentajes en peso de ferrita	64

A.15.Esfuerzo de cadencia (MPa) para el ABS envejecido a diferentes porcentajes en peso de ferrita	65
A.16.Modulo de elasticidad (MPa) para el ABS envejecido a diferentes porcentajes en peso de ferrita	65
A.17.Esfuerzo (N) para el SAN envejecido a diferentes porcentajes en peso de ferrita	65
A.18.Extensión (mm) para el SAN envejecido a diferentes porcentajes en peso de ferrita	66
A.19.Esfuerzo de cadencia (MPa) para el SAN envejecido a diferentes porcentajes en peso de ferrita	66
A.20.Modulo de elasticidad (MPa) para el SAN envejecido a diferentes porcentajes en peso de ferrita	66
A.21.Resistencia al impacto Izod para el ABS	66
A.22.Resistencia al impacto Izod para SAN	67
A.23.Resistencia al impacto Izod para el ABS envejecido	67
A.24.Evaluación de la resiliencia para cada porcentaje en peso de ABS	67
A.25.Evaluación de la resiliencia para cada porcentaje en peso de SAN	67
A.26.Variación de la dureza para cada porcentaje en peso para el ABS	67
A.27.Variación de la dureza para cada porcentaje en peso para el SAN	68
A.28.Evaluación de la adhesividad para cada porcentaje en peso para el ABS	68
A.29.Evaluación de la adhesividad para cada porcentaje en peso para el SAN	68
A.30.Datos sin Polarización para el ABS	68
A.31.Datos Polarizados para el ABS	69
A.32.Datos sin Polarización para el SAN	69
A.33.Datos Polarizados para el SAN	69
B.1. Estratos de Consumo Industrial de polímeros ABS y SAN	77
B.2. Selección de la muestra	78
C.1. Procedencia del polímero consumido en Colombia	79
C.2. Volumen de consumo anual de polímero en Colombia	80
C.3. Nivel de calidad del polímero consumido industrialmente en Colombia	81

C.4. Destino de los productos fabricados en Colombia con estos polímeros	81
C.5. Producción de polímeros en USA (2002)	82
E.1. Silos	89
E.2. Molino de Bolas y de Cuchillas	89
E.3. Bandas Transportadoras	90
E.4. Mezclador de partículas solidas, Tamiz y Trituradora	90
E.5. Extrusora, Piscina de agua, Bomba	91
E.6. Organización del personal de planta	93

Lista de figuras

2.1. Polímero SAN	5
2.2. Polímero ABS	7
2.3. Reacción del SAN	9
2.4. Reacción del ABS	9
2.5. Material magnético	11
2.6. Dominios magnéticos en un material antiferromagnético.	13
2.7. Dominios magnéticos en un material ferrimagnético	14
2.8. Probeta para el ensayo de tensión-deformación	17
2.9. Probeta para ensayos de resiliencia e inducción remanente	18
2.10. Probeta para el ensayo de resistencia al impacto izod	19
3.1. Tipos de probetas elaboradas	25
3.2. Miniextrusor	26
3.3. Molino de cuchillas	28
3.4. Molde para la prueba de tensión-deformación	29
3.5. Inyectora	29
3.6. Gaussímetro	30
3.7. Máquina Universal de Esfuerzos	32
3.8. Probeta para Impacto	33
3.9. Péndulo para Impacto	33
3.10. Durómetro	34
3.11. Resiliómetro	34
3.12. DSC	35

3.13. TGA	36
3.14. Cámara de Envejecimiento	37
4.1. Modulo de Elasticidad Vs porcentaje en peso de ferrita para el ABS y el SAN	39
4.2. Modulo de Elasticidad Vs Horas Envejecidas para diferentes porcentajes en peso en la mezcla de ferrita/ABS	39
4.3. Modulo de Elasticidad Vs Horas Envejecidas para diferentes porcentajes en peso en la mezcla de ferrita/SAN	40
4.4. Esfuerzo de Cadencia Vs porcentaje en peso de ferrita en la mezcla para el ABS y SAN.	41
4.5. Esfuerzo de Cadencia VS Horas de Envejecimiento para el ABS mezclado con diferentes composiciones de ferrita	41
4.6. Esfuerzo de Cadencia VS Horas de Envejecimiento para el SAN mezclado con diferentes composiciones de ferrita	42
4.7. Elongación Vs porcentaje en peso de ferrita	43
4.8. Elongación Vs Horas Envejecidas para diferentes porcentajes en peso de ferrita en el ABS	43
4.9. Elongación Vs Horas Envejecidas para diferentes porcentajes en peso de ferrita en el SAN	44
4.10. Resistencia al Impacto Izod Vs porcentaje en peso de ferrita para el ABS y SAN	45
4.11. Resistencia al Impacto Izod Vs Horas Envejecidas a diferentes porcentajes en peso de ferrita en el ABS	46
4.12. Resistencia al Impacto Izod Vs Horas Envejecidas a diferentes porcentajes en peso de ferrita en el SAN	46
4.13. Dureza Shore (tipo D) Vs porcentaje en peso de ferrita	47
4.14. Porcentaje de Resiliencia Vs porcentaje en peso de ferrita para el ABS y SAN	48
4.15. Adhesividad Magnética Vs porcentaje en peso para el ABS y SAN	50
4.16. Inducción Remanente Vs porcentaje en peso de ferrita para el ABS polarizado	51

4.17. Inducción Remanente Vs porcentaje en peso de ferrita para el SAN polarizado	52
A.1. Esfuerzo Vs Deformación para el ABS	70
A.2. Esfuerzo Vs Deformación para el SAN	70
A.3. Análisis térmico para el ABS puro por la técnica del TGA	71
A.4. Análisis térmico para la mezcla ABS/ferrita al 34 % por la técnica del TGA	71
A.5. Análisis térmico para el SAN puro por la técnica del TGA	72
A.6. Análisis térmico para la mezcla SAN/ferrita al 34 % por la técnica del TGA	72
A.7. Análisis térmico para la ferrita pura por la técnica del TGA	73
A.8. Análisis térmico para la mezcla ABS/ferrita al 9 % por la técnica del DSC	73
A.9. Análisis térmico para la mezcla ABS/ferrita al 34 % por la técnica del DSC	74
A.10. Análisis térmico para la mezcla SAN/ferrita al 10 % por la técnica del DSC	74
A.11. Análisis térmico para la mezcla SAN/ferrita al 34 % por la técnica del DSC	75
C.1. Procedencia del polímero consumido en Colombia	79
C.2. Volumen de consumo anual de resina en Colombia	80
C.3. Nivel de calidad de la resina de poliéster consumida industrialmente en Colombia	81
C.4. Producción de productos poliméricos en el año 2002	82
E.1. Diagrama de Bloques	86
E.2. Diagrama del proceso	88
E.3. Diagrama de Bloques para la distribución de personal.	91

Capítulo 1

Introducción

La investigación dirigida a la adición de nuevas propiedades a materiales (ya existentes), se viene desarrollando desde hace años, produciendo un atractivo industrial a nuevas aplicaciones. Es entonces cuando surge la introducción de propiedades magnéticas a otros materiales que no las poseen, los cuales abarcan un campo muy extenso, así como poco desarrollado. Debido a la inquietud de los investigadores y a la exigencia del diseño ingenieril se dio la posibilidad de reunir dos o tres polímeros con propiedades relativamente diferentes y obtener un copolímero con propiedades notablemente mejoradas. Un termoplástico requiere calor para darle forma y después de enfriado puede ser recalentado y transformado en otras nuevas formas cuantas veces quiera sin cambios significativos de sus propiedades.

En 1960 aparecieron en el mercado de materiales plásticos los ABS (Acrilonitrilo-Butadieno-Estireno), resina plástica con muy buenas propiedades térmicas, químicas, mecánicas, y con una excelente presentación en piezas acabadas. Esta resina esta ampliamente considerada como material de ingeniería y ofrece excepcionales características de fluidez, tenacidad, estabilidad dimensional y resistencia a altas temperaturas. El SAN es un copolímero formado mediante el método de polimerización por adición entre dos monómeros (Styrene Acrylo-Nitrile); participa en la síntesis compleja de la resina ABS, el SAN contiene generalmente un 24% de acrilonitrilo.

Las propiedades magnéticas son características de los materiales denominados ferromagnéticos, lo que los hace factibles para ser utilizados como imanes permanentes, a la ferrita de Bario y Estroncio se le puede aumentar sus propiedades magnéticas con unas operaciones de prensado del material en polvo, acompañadas de una sinterización. La ferrita sinterizada y compactada tiene una coloración que va desde el gris hasta el café oscuro, sin embargo al ser triturada y pulverizada toma una coloración rojiza

muy típica de los óxidos férricos, otra característica importante que presenta la ferrita pulverizada es el comportamiento de cada una de las partículas que la conforman convirtiéndose cada una en diminutos imanes, reduciendo de esta manera la potencia de campo magnético que tendría en estado de compactamiento y sinterización.

El conocimiento científico de la unión entre materiales magnéticos y polímeros está limitado a unas pocas investigaciones, las cuales han logrado desarrollar un material para ser utilizado en autopartes, en componentes de electrodomésticos, en la industria de juguetería y bisutería. Por estas razones el siguiente trabajo está encaminado a la obtención de la mezcla de polímeros (ABS, SAN), y material magnético para lograr una mezcla óptima.

Este trabajo tuvo como objetivo principal agregarle la propiedad magnéticas a los copolímeros ABS y SAN, realizar su formulación y determinar los posible campos de acción en la industria; esto se logró mediante un tratamiento adecuado para las materias primas y su posterior tratamiento para el compactamiento e integración de los mismos.

Para este trabajo se llevó a cabo una metodología bastante secuencial con respecto al tratamiento de los sólidos particulados, el proceso se inició con la trituración y molienda de los imanes de ferrita de Bario y Estroncio, seguido de la clasificación del tamaño de sólido mediante un tamiz, se continuó con un mezclado en el miniextrusor seguido de la disminución de tamaño del material, con una segunda pasada por el miniextrusor para una mejor mezcla, posteriormente se sometió a un proceso de inyección y elaboración de probetas, para terminar con las pruebas de resistencia mecánica y las de campo magnético.

Finalmente se estudió la viabilidad del establecimiento de una planta de producción de copolímero ABS y SAN magnético en Colombia, a través de un análisis de aspectos de mercado, técnicos y financieros. La investigación de mercado del producto, se enmarca dentro de un estudio exploratorio. Su impacto es prospectivo, porque busca la identificación de un futuro probable y deseable, que depende únicamente del conocimiento que se tiene sobre los usos y aplicaciones del producto en la industria, además identifica las alternativas (escenarios futuros) que posibilitarán el análisis y toma de decisiones sobre proyectos, estrategias y nuevos productos o productos de próxima generación.

Capítulo 2

Fundamento teórico

2.1. Plásticos

2.1.1. Definición

El término Plástico, en su significación mas general, se aplica a las sustancias de distintas estructuras y naturalezas que carecen de un punto fijo de ebullición y poseen durante un intervalo de temperaturas propiedades de elasticidad y flexibilidad que permiten moldearlas y adaptarlas a diferentes formas y aplicaciones. Sin embargo, en sentido restringido, denota ciertos tipos de materiales sintéticos obtenidos mediante fenómenos de polimerización o multiplicación artificial de los átomos de carbono en las largas cadenas moleculares de compuestos orgánicos derivados del petróleo y otras sustancias naturales.

Los plásticos se refiere a materiales poliméricos orgánicos (compuestos por moléculas orgánicas gigantes) que poseen propiedades viscoelásticas, es decir, que pueden deformarse hasta conseguir una forma deseada por medio de extrusión, moldeo o hilado. Las moléculas pueden ser de origen natural, por ejemplo la celulosa, la cera y el caucho (hule) natural, o sintéticas, como el polietileno y el nylon. Los materiales empleados en su fabricación son resinas en forma de bolitas o polvo o en disolución. Con estos materiales se fabrican los plásticos terminados. El vocablo plástico deriva del griego plastikos, que se traduce como moldeable. [16, 8]

2.1.2. Origen

El primer plástico se origina como resultado de un concurso realizado en 1860, cuando el fabricante estadounidense de bolas de billar Phelan and Collander ofreció una recompensa de 10.000 dólares a quien consiguiera un sustituto aceptable del marfil natural, destinado a la fabricación de bolas de billar. Una de las personas que compitieron fue el inventor norteamericano Wesley Hyatt, quien desarrolló un método de procesamiento a presión de la piroxilina, un nitrato de celulosa de baja nitración tratado previamente con alcanfor y una cantidad mínima de disolvente de alcohol.

Si bien Hyatt no ganó el premio, su producto, patentado con el nombre de celuloide, se utilizó para fabricar diferentes objetos detallados a continuación. El celuloide tuvo un notable éxito comercial a pesar de ser inflamable y de su deterioro al exponerlo a la luz. El celuloide se fabricaba disolviendo celulosa, un hidrato de carbono obtenido de las plantas, en una solución de alcanfor y etanol. Con él se empezaron a fabricar distintos objetos como mangos de cuchillo, armazones de lentes y película cinematográfica. En 1909 el químico norteamericano de origen belga Leo Hendrik Baekeland (1863-1944) sintetizó un polímero de interés comercial, a partir de moléculas de fenol y formaldehído. Este producto podía moldearse a medida que se formaba y resultaba duro al solidificar. No conducía la electricidad, era resistente al agua y los disolventes, pero fácilmente mecanizable. Se lo bautizó con el nombre de baquelita (bakelita), el primer plástico totalmente sintético de la historia. Baekeland nunca supo que, en realidad, lo que había sintetizado era lo que hoy conocemos con el nombre de copolímero.[28, 27]

A diferencia de los homopolímeros, que están formados por unidades monoméricas idénticas (por ejemplo, el polietileno), los copolímeros están constituidos, al menos, por dos monómeros diferentes. Otra cosa que Baekeland desconocía es que el alto grado de entrecruzamiento de la estructura molecular de la baquelita le confiere la propiedad de ser un plástico termoestable, es decir que puede moldearse apenas concluida su preparación.

En otras palabras, una vez que se enfría la baquelita no puede volver a ablandarse. Esto la diferencia de los polímeros termoplásticos, que pueden fundirse y moldearse varias veces, debido a que las cadenas pueden ser lineales o ramificadas pero no presentan entrecruzamiento. Entre los productos desarrollados durante este periodo están los polímeros naturales alterados, como el rayón, fabricado a partir de productos de celulosa. [8, 15]

2.2. Termoplásticos

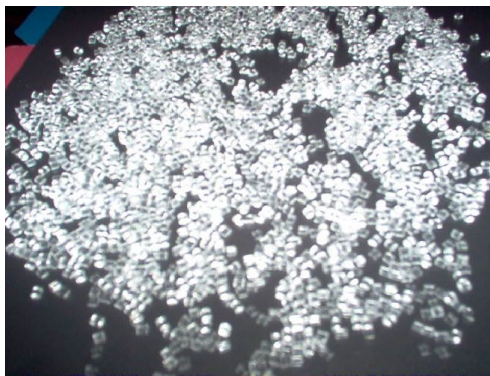
Son aquellos materiales poliméricos que al someterlos al calor adquieren propiedades viscoelásticas características de los plásticos.[28]

2.2.1. Copolímeros Termoplásticos y Terpolímeros.

A continuación se citarán algunos copolímeros y termoplásticos de mayor aplicación en la industria:

2.2.1.1. SAN

Figura 2.1: Polímero SAN



El copolímero SAN (estireno-acrilonitrilo) es un termopolímero en el que el contenido de estireno varía entre un 65 y 80 %, y un 24% de acrilonitrilo, es decir que por cada 5 unidades de estireno, aparecen 2 de acrilonitrilo en la cadena del polímero. Estos materiales tienen buena resistencia a los aceites lubricantes, a las grasas y a las gasolinas. Esta composición se prefiere pues la mezcla de ambos monómeros es azeotrópica.

Características generales:

1. Mayor rigidez y dureza
2. Mejor resistencia a cambios de temperatura
3. Mayor tenacidad

4. Resistencia a las raspaduras y al desgaste de las superficies
5. Muy estable al duma, intemperie y envejecimiento
6. Fisiológicamente inocuo
7. Resistente a temperaturas moderadas alrededor de 185°F (85°C)
8. Mejor resistencia química contra aceites, grasas y aromáticos
9. Mayor resistencia al agrietamiento por tensiones
10. Menores propiedades eléctricas como aislante
11. Mayor absorción de agua
12. Su color es ligeramente amarillo (traslúcido). Por ello se suministra en tonalidades transparentes ligeramente azules para mejorar su apariencia.
13. El SAN presenta una mayor polaridad que el PS debido a la presencia del grupo -CN en su molécula.
14. Es un termoplástico

2.2.1.1.1. Tipos y presentación comercial. El aumento en el contenido de SAN (acrilonitrilo) conduce a tipos recomendados para aplicaciones técnicas (45 % en peso de SAN). Para envases y empaques 15 % de SAN. Contenidos de 20 % aparecen en los tipos recomendados para artículos de consumo en general. Se consigue como granulado transparente, ligeramente azulado-coloreado y opaco.

También reforzado con fibra de vidrio y para aplicaciones de inyección básicamente. Asimismo, tiene mejores propiedades de impacto, tensión y flexión, que los homopolímeros del estireno. Los copolímeros son transparentes pero con un ligero color amarillo que se vuelve más oscuro a medida que aumenta el contenido en acrilonitrilo. Al mismo tiempo mejora la resistencia química, la resistencia al agrietamiento ambiental y la resistencia térmica al aumentar el porcentaje en acrilonitrilo.

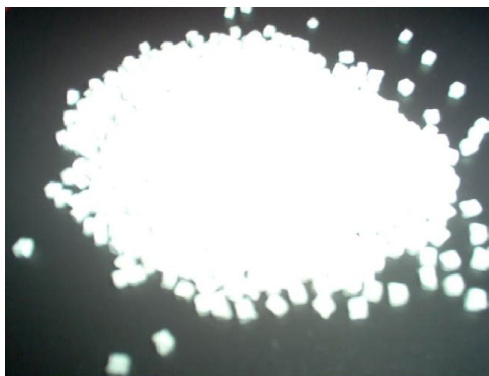
El SAN se usa cuando se requieren partes rígidas, con buena estabilidad dimensional y buena resistencia térmica, por ejemplo, en partes de las máquinas lavaplatos y en piezas para radios o televisores. Se lo emplea en grandes cantidades en la industria alimenticia. Los copolímeros con 30 % estireno y 70 % acrilonitrilo, son excelentes barreras contra el

oxígeno, el CO₂ y la humedad. En la tabla 2.1 se muestran algunas propiedades de un SAN comercial llamado lustran SAN 31 enunciadas por la BAYER CORPORATION-POLIMER DIVISION.[26, 29, 7]

Tabla 2.1: Propiedades del LUSTRAN SAN 31

Clase de Propiedad	Propiedad	Valor	Prueba ASTM
General	Gravedad Especifica	1.07	D792
	Densidad	0.039lb/in ²	D792
	Volumen Especifico	25.9in ³ /lb	D792
	Contracción al Moldeo	0.003	D955
	Velocidad de flujo de abland. a 230°C/3.8Kg de Carga	7.5g/10min	D1238
Óptica	Transmitancia a 0.100in de espesor	87-88 %	D1003
	Opacidad a 0.125 in de espesor	0.7 %	D1003
	Índice de Refracción	1.57	D542
Mecánica	Máximo Esfuerzo a la Tensión	10500lb/in ²	D638
	Modulo de Tensión	475 lb/in ² * 10 ³	D638
	Máximo Esfuerzo a la Tensión	16700 lb/in ²	D790
	Modulo de Flexión	500lb/in ² * 10 ³	D790
	Resistencia a la Tensión*1000psi	10-12	
	Resistencia al Impacto Izod, pie.lb/pulg	0.4-0.5	
	Rigidez Dieléctrica, V/ml	1775	
Térmica	Temperatura de Ebullición Max.	60-104°C	

Figura 2.2: Polímero ABS



2.2.1.2. ABS

El termopolímero acrilonitrilo-butadieno-estireno surge como consecuencia de la necesidad de disminuir la fragilidad del poliestireno, PS. Este plástico es menos transparente que el PS pero tenía mayor resistencia al impacto y mayor resistencia a hidrocarburos y aceites, además, el margen de temperatura de utilización también aumentaba. Son materiales heterogéneos formados por una fase homogénea rígida y una elastomérica.

Originalmente se mezclaban emulsiones de los dos polímeros de SAN y polibutadieno. La mezcla era coagulada para obtener ABS. Hoy en día se prefiere polimerizar estireno y acrilonitrilo en presencia de polibutadieno. De esa manera, una parte del estireno y del acrilonitrilo se copolimerizan formando SAN y otra porción se injerta sobre las moléculas de polibutadieno.

El ABS se originó por la necesidad de mejorar algunas propiedades del poliestireno de alto impacto. Este material tiene tres desventajas importantes:

1. Baja temperatura de ablandamiento.
2. Baja resistencia ambiental.
3. Baja resistencia a los agentes químicos.

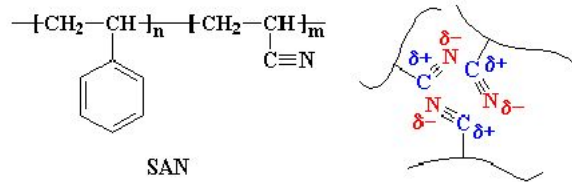
La incorporación del acrilonitrilo en la fase continua, imparte mayor temperatura de ablandamiento y mejora considerablemente la resistencia química. Sin embargo, la resistencia ambiental se vuelve todavía menor, pero este problema se resuelve empleando aditivos. [16]

Las propiedades del ABS son suficientemente buenas para varias aplicaciones:

- Artículos moldeados
- Artículos extruidos, etc.

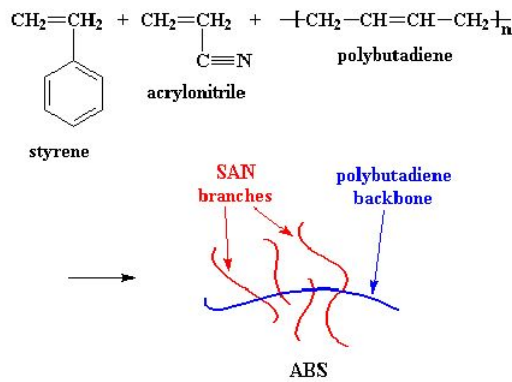
Pero la gran cantidad de copolímeros de acrilonitrilo no termina aquí. El poli(estireno-co-acrilonitrilo) (SAN) y el poli(acrilonitrilo-co-butadieno-co-estireno) (ABS), se utilizan como plásticos.

Figura 2.3: Reacción del SAN



El SAN es un simple copolímero al azar de estireno y acrilonitrilo. Pero el ABS es más complicado. Está hecho por medio de la polimerización de estireno y acrilonitrilo en presencia de polibutadieno. El polibutadieno tiene enlaces dobles carbono-carbono en su estructura, los que pueden también polimerizar. Así que terminamos con una cadena de polibutadieno, conteniendo cadenas de SAN injertados en él, como se muestra en la Figura 2.4

Figura 2.4: Reacción del ABS



El ABS es muy fuerte y liviano. Es lo suficientemente fuerte como para ser utilizado en la fabricación de piezas para automóviles. El empleo de plásticos como ABS hace más livianos a los autos, así que utilizan menos combustible y por lo tanto contaminan menos.

El ABS es un plástico más fuerte que el poliestireno dado a los grupos nitrilo en sus unidades de acrilonitrilo. Los grupos nitrilo son muy polares, así que se atraen mutuamente. Esto permite que las cargas opuestas de los grupos nitrilo puedan estabilizarse. Esta fuerte atracción sostiene firmemente las cadenas de ABS, haciendo el material

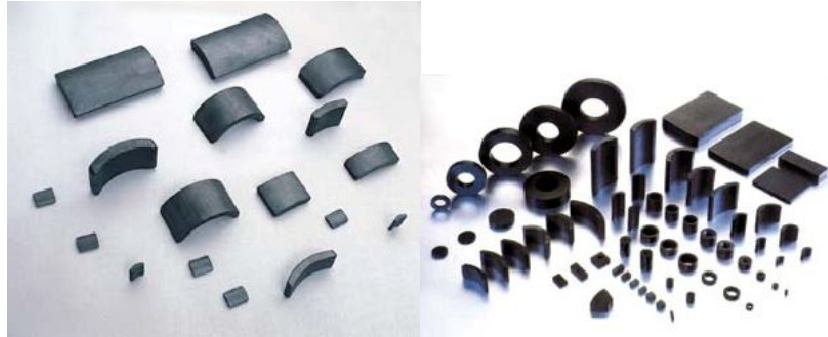
más fuerte. También el polibutadieno, con su apariencia de caucho, hace al ABS más resistente que el poliestireno.[14, 15, 7, 24]

Tabla 2.2: Propiedades de ABS Lustran 248

Clase de Propiedad	Propiedad	Valor	Norma ASTM
General	Gravedad Especifica	1.06	D792
	Densidad	0.038lb/in ³	D792
	Volumen Especifico	26.1in ³ /lb	D792
	Contracción al moldeo	0.004-0.006in/in	D955
	Velocidad de Flujo de abland. a 230°C/3.8Kg de Carga	6g/10min	D1238
Óptica	Transmitancia a 0.100in de espesor	Opaca	D1003
	Opacidad a 0.100in de espesor	Opaca	D1003
Mecánica	Máximo Esfuerzo ala Tensión	6800lb/in ²	D638
	Modulo de Tensión	380lb/in ² * 10 ³	D638
	Máximo Esfuerzo a la Flexión	10700lb/in ²	D790
	Modulo de Flexión	390lb/in ² * 10 ³	D790
	Resistencia al impacto Izod: 0.125in de Espesor a 73°F	4.2ft.lb/in	D256
	Resistencia al Impacto Izod: 0.125in de Espesor a 40°F	0.9ft.lb/in	D256
	Dureza Rockwell	112 R Scale	D785
Térmica	Temperatura de deflexión a 264psi (Unannealed)	187°F	D648
	Temperatura de deflexión a 264psi (Annealed)	204°F	D648
	Coefficiente de Expansión Térmica lineal	4.5*10 ⁻⁵	D696
	Índice de Temperatura Relativa: Eléctrica a 0.062in de espesor	80°C	UL746B
	Índice de Temperatura Relativa: Mecánica a 0.062in de espesor	80°C	UL746B
	Temperatura de Reblandecimiento vicat	225°F	D1525
	Temperatura de Ablandamiento	215°F	D3418
	Temperatura de transición Vítreo	0.073BTU/lb°F	C177
	Conductividad Térmica	0.002BTU/lb°F	
	Capacidad Calorífica	0.5cal/g°.C	

2.3. Materiales magnéticos

Figura 2.5: Material magnético



Un imán es un material capaz de producir un campo magnético exterior y atraer el hierro (también puede atraer al cobalto y al níquel). Los imanes que manifiestan sus propiedades de forma permanente pueden ser naturales, como la ferrita (Fe_3O_4) o artificiales, obtenidos a partir de aleaciones de diferentes metales. En un imán la capacidad de atracción es mayor en sus extremos o polos. Estos polos se denominan norte y sur, debido a que tienden a orientarse según los polos geográficos de la Tierra, que es un gigantesco imán natural.[23]

En el interior de la materia existen pequeñas corrientes cerradas debidas al movimiento de los electrones que contienen los átomos, cada una de ellas origina un microscópico imán o dipolo. Cuando estos pequeños imanes están orientados en todas direcciones sus efectos se anulan mutuamente y el material no presenta propiedades magnéticas; en cambio si todos los imanes se alinean actúan como un único imán y en ese caso se dice que la sustancia se ha magnetizado. [17]

2.3.1. Aspectos históricos sobre magnetismo

Fueron probablemente los griegos quienes primero reflexionaron sobre las maravillosas propiedades de la ferrita, un mineral de hierro que incluso en estado natural posee una profunda atracción por el hierro. De hecho, Tales de Mileto alrededor del 600 a.c. habló del imán en forma detallada.

Diversas leyendas envuelven los orígenes del descubrimiento del magnetismo, de acuerdo con una de ellas, el pastor Magnes (de allí magnetismo) se quedó pegado a la tierra,

ya que los clavos de sus zapatos fueron atraídos por la ferrita. Según otra versión, el nombre magnetismo viene de Magnesia, región de Grecia donde abunda el mineral.

William Gilbert de Colchester (1544-1603), fue el verdadero fundador de la ciencia del magnetismo, su *Magnete Magnetisque Corporibus et de Magno Magnete Tellure Physiologia Nova*, usualmente conocido como *De Magnete*, fue publicado en 1600 y puede considerarse como uno de los trabajos claves de la revolución científica. La ruta de la moderna teoría del magnetismo está marcada por William Gilbert de Colchester, René Descartes, Charles Coulomb y James Clerk Maxwell.[23]

2.3.2. Tipos de magnetismo.

Los tipos de magnetismo incluyen diamagnetismo, paramagnetismo y ferromagnetismo, además, el antiferromagnetismo y el ferrimagnetismo se consideran subclases del ferromagnetismo. Todos los materiales exhiben al menos uno de estos tipos y el comportamiento depende de la respuesta del electrón y los dipolos magnéticos atómicos a la aplicación de un campo magnético aplicado externamente.

Los materiales que poseen un momento magnético permanente en ausencia de un campo externo y manifiestan magnetizaciones muy largas son denominados materiales ferromagnéticos, entre los que se cuentan el hierro, cobalto, níquel y algunos elementos de tierras raras tales como el gadolinio (Gd). En una muestra sólida de Hierro, Cobalto ó Níquel, a temperatura ambiente los espines de los electrones 3d de átomos adyacentes se alinean, en una dirección paralela por un fenómeno denominado imanación espontánea. Esta alineación paralela de dipolos magnéticos atómicos ocurre solo en regiones microscópicas llamadas Dominios Magnéticos. [17]

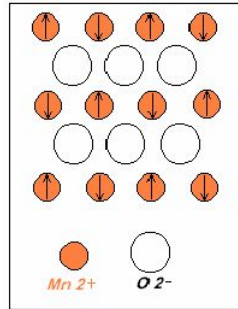
Si los dominios están aleatoriamente orientados entonces no se genera imanación neta en una muestra. En una muestra ferromagnética, los dominios adyacentes están separados por bordes de dominios a través de las cuales cambia gradualmente la dirección de la magnetización.

Dado que los dominios son microscópicos, en una muestra macroscópica habrá un gran número de dominios y puede haber diferentes orientaciones de magnetización. La magnitud del campo M para el sólido completo, es el vector suma de las magnetizaciones de todos los dominios, siendo la contribución de cada dominio de acuerdo a su fracción de volumen. Para las muestras no magnetizadas el vector suma ponderado de las magnetizaciones de todos los dominios es cero.

El antiferromagnetismo ocurre cuando, en presencia de un campo magnético, los dipolos magnéticos de los átomos de los materiales se alinean por sí mismos en direcciones opuestas, ver figura 2.6.

ferrimagnetismo

Figura 2.6: Dominios magnéticos en un material antiferromagnético.

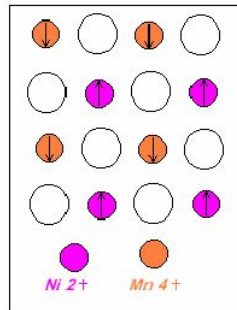


El ferrimagnetismo se presenta cuando iones diferentes poseen distinta magnitud para sus momentos magnéticos y estos se alinean en forma antiparalela, produciéndose un momento magnético neto en una dirección. Los materiales ferrimagnéticos son cerámicos y al ser sometidos a la acción de un campo magnético, lo intensifican. Los principales materiales de este tipo son las llamadas ferritas, minerales de hierro de fórmula general Fe_3O_4 , cuyo principal exponente es la ferrita, que se constituye en el más abundante magneto natural, del cual se presume que adquirió sus propiedades al enfriarse, a partir del estado fundido, en presencia del campo magnético de la tierra.[14]

Algunas ferritas comunes son la ferrita de Manganeso, Níquel, Zinc y las ferritas de Bario ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$) y de Estroncio ($\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$). Todas las ferritas presentan una estructura C-C-C para los aniones O = , mientras los cationes (Fe^{+++} , Fe^{++} , Ni^{++} , Zn^{++}) ocupan intersticios tetraédricos u octaédricos de tal manera que unos presentan sus momentos magnéticos paralelos al campo aplicado reforzándolo, mientras que los otros los alinean en forma antiparalela, oponiéndose a él.

Como resultado se tiene que aunque algunos de estos momentos se neutralizan, siempre resultan unos dipolos magnéticos que en presencia de un campo magnético, lo intensifican, Figura 2.7 [17].

Figura 2.7: Dominios magnéticos en un material ferrimagnético



2.3.3. Propiedades de las ferritas de bario y estroncio

La mayoría de imanes cerámicos están compuestos por óxido de hierro, bario y estroncio. Estos imanes poseen alta densidad de flujo magnético, alta fuerza coercitiva y alta resistencia a la desmagnetización y oxidación. Comparados con los denominados tierras raras, la mayor ventaja de estos imanes es su bajo costo, y son denominados ferritas por ser materiales ferromagnéticos. Las ferritas tienen fórmula general $MO^*(Fe_2O_3)_n$ donde M representa a un ión de un metal divalente.

La ferrita de Bario ($BaFe_{12}O_{19}$) y la ferrita de Estroncio ($SrFe_{12}O_{19}$), están compuestas de óxido de hierro y carbonato de bario y estroncio respectivamente. Los imanes de ferrita de Bario y Estroncio son componentes económicos y de alta calidad que se pueden encontrar en aplicaciones tan diversas como automatización, control y medición.[23]

Los imanes de ferrita pueden ser isótropos o anisótropos. Para calidades anisotrópicas se aplica, durante proceso de prensado, un campo magnético. Este proceso produce alineación de las partículas en una sola dirección, con lo que se obtienen mejores características magnéticas. [14]

A través de la sinterización (tratamiento térmico a altas temperaturas), se obtienen las piezas con su forma y solidez definitivas. En la Tabla 2.3 se exponen los valores magnéticos más importantes de las ferritas de bario HF 8/22 isótropo y estroncio HF 28/26 según la norma DIN 17410.

La inducción magnética (B), es la medida de concentración de flujo magnético; la intensidad de campo magnético (H) es la medida del efecto de la corriente eléctrica que pasa por un material. Cuando se quiere conocer el comportamiento magnético de un material, se debe someter a la evaluación de la inducción magnética y la intensidad de

Tabla 2.3: Propiedades de las ferritas de bario y estroncio.

Propiedad	Valor BaFe ₁₂ O ₁₉	SrFe ₁₂ O ₁₉
Energía Máx. de Atracción	8KJ/m ³	28KJ/m ³
Inducción Remanente	2150 Gauss	3850Gauss
Fuerza Coercitiva H_{CB} H_{CJ}	135KA/M 220KA/M	250KA/M 260KA/M
Permeabilidad	1.20Gauss/Oe	1.10Gauss/Oe
Densidad	4.8g/cm ³	4.8g/cm ³
Temperatura de Curie	450°C	450°C
Temp. Max. de Operación	250°C	250°C
Dureza	6-7Mohs	6-7Mohs
Modulo de Elasticidad	0.15N/mm ²	0.15N/mm ²
Resist. a la Compresión	700N/mm ²	700N/mm ²
Resistencia a la Tensión	50N/mm ²	50N/mm ²
Resistencia a la Flexión	55N/mm ²	55N/mm ²
Coefficiente de Dilatación	1*10 ⁻⁶ m/K	1*10 ⁻⁶ m/K
Resist. Eléctrica Especifica	> 10 ⁴ Ohmnios	>10 ⁴ Ohmnios

campo magnético haciendo uso de una curva de histéresis en la cual, mediante el paso de una corriente eléctrica por el material, se mide la variación de H vs. B.

La polarización es un proceso físico mediante el cual, con ayuda de un campo magnético externo muy fuerte se orientan en un solo sentido los spines de los electrones de valencia de los átomos del material involucrado, obteniéndose como resultado un material con mayor valor de fuerza coercitiva.[17]

- Energía máxima de atracción: La energía máxima de atracción de un material magnético es la mayor energía que el material puede suministrar cuando se encuentra en un determinado punto de trabajo; su unidad de medida es KJ/m³.
- Inducción remanente: La inducción remanente, es la fuerza de imantación que está presente (debido al momento magnético total) o que permanece en un material que ha sido imantado hasta la saturación en un circuito cerrado. Las unidades de medida de la remanencia son Tesla (T) o Gauss (G), los cuales se pueden determinar directamente en un Gaussímetro, en un magnetómetro o en un osciloscopio, o indirectamente en un fluxómetro.

- Fuerza coercitiva: La fuerza coercitiva es la fuerza de desimancación correspondiente a una inducción magnética nula. La fuerza coercitiva se puede medir mediante métodos que utilizan el yugo magnetizante, donde se encuentran equipos como los permeámetros. Su unidad de medida es el Oersted o Amperios / metro.

2.4. Propiedades Físico Mecánicas de los plásticos.

Sometiendo los plásticos a ensayos mecánicos se obtienen valores que proporcionan gran información para el control de la producción y facilitan al constructor la selección previa. Sin embargo, los resultados de dichos ensayos sólo raramente resultan adecuados para dimensionar piezas o componentes. La respuesta del material puede oscilar entre dos comportamientos extremos bien conocidos:

*Viscoso: Toda la fuerza aplicada al cuerpo, lo deforma, y al dejar de actuar, permanece la deformación. La energía suministrada se pierde en forma de calor.

*Elástico: una vez que cesa la aplicación de la fuerza, desaparece la deformación inducida, recuperándose el trabajo correspondiente. [10]

Los materiales poliméricos presentan un comportamiento mecánico dominado por su carácter viscoelástico, especialmente en las resinas termoplásticas. El análisis del comportamiento mecánico de los polímeros permite una aproximación muy detalladamente a la caracterización de su estructura, configuraciones moleculares, transiciones térmicas, textura cristalina; tratamientos térmicos y mecánicos por reacciones de vulcanización, entrecruzado y curado.[16]

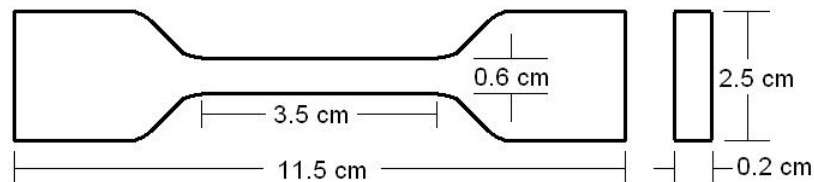
Con carácter general las fuerzas que actúan sobre el cuerpo pueden ser volumétricas o superficiales, según el número de dimensiones espaciales del elemento diferenciar necesario para considerar su actuación. Se entiende por Tensiones las fuerzas que desde el interior de los cuerpos están actuando en oposición a las fuerzas externas. Cuando se refieren a la unidad de superficie sobre la que actúan, se denominan esfuerzos unitarios o fatigas. Siendo muy difícil determinar tales tensiones, la medida de esfuerzos y deformaciones entre cargas mecánicas definidas en un estado plano permite simplificar el problema analítico en forma diferencial, y de ahí la utilización, estudio y diseño de ensayos mecánicos. Como parámetros habrá que definir, además del nivel de carga aplicado, la frecuencia o modo en el que se aplica y la temperatura, el tiempo, velocidad de aplicación del esfuerzo y, en su caso; factores ambientales, adicionales, como luz, productos químicos, etc.[10]

2.4.1. Dureza.

La dureza es una medida de la resistencia de un material a la deformación (plástica) permanente. La dureza se mide forzando con un material su superficie. El elemento penetrador que es generalmente una esfera, una pirámide o un cono, se fabrica de un material mucho más duro que el material que está siendo ensayado. Para la mayoría de los ensayos estándar se emplea una carga conocida, presionando ligeramente el penetrador a 90° en la superficie del material que está siendo ensayado. Después de que la hendidura ha sido realizada, se retira el penetrador de la superficie. Entonces se calcula un número empírico de dureza o se hace la lectura en un dial o una pantalla digital, con base al área de la cuadrícula o a la profundidad de la incrustación.[3]

2.4.2. Tensión y deformación.

Figura 2.8: Probeta para el ensayo de tensión-deformación

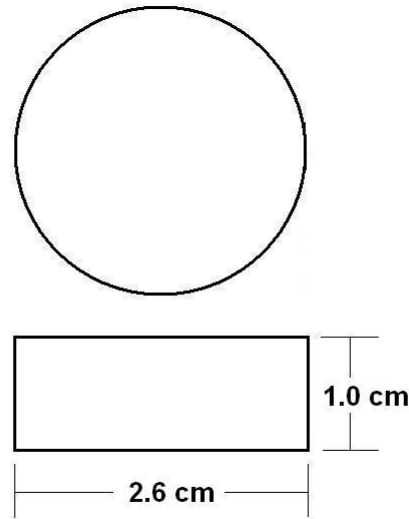


Una forma inmediata de evaluar las características mecánicas de un material a bajas velocidades de deformación es someterlo a la acción de un esfuerzo unidireccional a velocidad controlada, generalmente en el modo de tracción. La razón básica estriba en que es posible seguir a su través la evolución de la respuesta con el tiempo al realizarse a muy bajas velocidades, todo o contrario que otros ensayos de carácter instantáneo como por ejemplo el de impacto.

A esta prueba también se le llama resistencia a la tracción y alargamiento. Esta es la carga por unidad de superficie de la sección transversal original, aplicada en el momento de la ruptura de una probeta.

El alargamiento o deformación, es la extensión producida entre dos marcas de referencia por un esfuerzo de tracción aplicado a una probeta, y se expresa como porcentaje de la distancia original entre las señales.

Figura 2.9: Probeta para ensayos de resiliencia e inducción remanente



Es importante conocer también el concepto de modulo, es decir, el esfuerzo (aplicado sobre la sección original), necesario para producir un alargamiento dado.[24]

Un aumento de temperatura se traduce en una disminución de la resistencia de la pieza a un tiempo dado, a la vez que requiere menor tiempo para llegar al punto de rotura a un esfuerzo determinado.[21]

Los datos obtenidos de un ensayo de tracción son Módulo de elasticidad, resistencias a la tracción en fluencia y en rotura y los niveles de deformación.

2.4.3. Resiliencia.

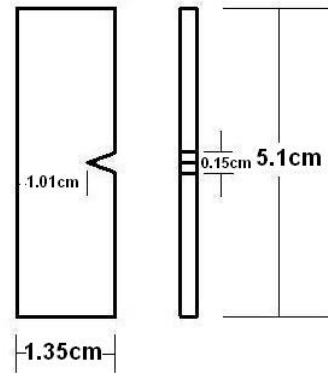
La resiliencia es la relación existente entre la energía devuelta por un material al recuperarse de una deformación y la energía necesaria para producir esa deformación en el mismo. Se expresa generalmente como porcentaje.

Algunos métodos por medio de los cuales se pueden medir la resiliencia son: la realización de una curva de tensión-alargamiento a baja velocidad o, por ensayos de impacto.

Un resiliómetro es un aparato en el que un péndulo se deja caer libremente sobre una muestra del material en forma de tapón. La lectura de resiliencia, corresponde a la altura a la cual rebota expresada como un porcentaje de la lectura de caída. [16]

2.4.4. Resistencia al impacto.

Figura 2.10: Porbeta para el ensayo de resistencia al impacto izod



Los ensayos de impacto, son ensayos de fractura a elevada velocidad en los que se comunica a una probeta de material una importante cantidad de energía mecánica de forma puntual e instantánea con el fin de provocar su fractura, determinándose la energía necesaria para ello. La velocidad del ensayo es una variable de gran importancia ya que cuando aumenta la velocidad de deformación disminuye la ductilidad y la resistencia del material en el punto de fluencia. Aunque el impacto es uno de los esfuerzos más importantes a los que puede estar sometida una pieza aún no ha sido posible realizar un sistema de análisis de esfuerzos que relacione la geometría de la pieza, las variables del impacto y las constantes del material, para definir su comportamiento. Por consiguiente, los ensayos sólo sirven para hacer una clasificación de los materiales y para explorar cualitativamente el efecto de variables como temperatura, velocidad y efecto de entalla.

Por otra parte, el comportamiento al impacto está afectado por una serie de variables de fabricación como son la historia térmica de la pieza, líneas de flujo, aberturas, depresiones, orientación del polímero, relación de estirado, existencia o no de cargas, etc., por lo que el proceso de diseño de piezas frente al impacto debe contar con ensayos hechos en prototipos simulando las condiciones reales de uso.

En materiales dúctiles o tenaces la fracción de energía necesaria para iniciar la fractura suele ser elevada, mientras que su fractura ya iniciada requiere muy poca energía para propagarse y dar lugar a la rotura de la pieza. Por otra parte, cualquier irregularidad

submicroscópica, se convierte en potencial concentración de esfuerzos y una manera de atenuar estos efectos es precisamente con la mecanización de la probeta a ensayar, es decir una entalla.[20]

En cuanto a los modos de trabajo de la probeta a ensayar suelen habituales el de viga simplemente apoyada que soporta la caída puntual de un péndulo (Charpy). La modalidad impacto-tracción, en la que un extremo de la probeta se empotra y el impacto se produce en la región de voladizo y el ensayo tipo Izod (Ensayo a utilizar para nuestras probetas), en el que la probeta se empotra hasta el límite de la entalla recibiendo también el impacto en las inmediaciones de a misma con un mazo colocado en un brazo pendular. En el ensayo Izod la energía cinética del mazo es lo suficientemente grande como para poder considerar constante la velocidad durante el impacto. La energía necesaria para romper la pieza se determina por la máxima altura que alcanza el péndulo después de romper la muestra, y la resistencia del material se calcula dividiendo la pérdida de energía del péndulo (debida al impacto) por el espesor de la muestra.

En estos ensayos lo normal es que en la probeta se mecanice una entalla y sobre ella se produzca el golpe. Las dimensiones y radios de la entalla son críticos para los valores de absorción de energía. Por otra parte la entalla actúa como concentrador de esfuerzos, tanto más, cuanto mayor sea su radio. En una probeta sin entalla la deformación tiene lugar a lo largo de la longitud de la probeta. En una probeta con entalla, la mayor parte de la deformación tiene lugar en las proximidades de la arista de la hendidura de la entalla, de modo que en esta zona la velocidad de deformación aparente es mucho mayor que en las probetas con entallas.

Otra incidencia de la entalla es que, cuando se produce el impacto, la "grieta" ya está iniciada, luego la cantidad de energía absorbida depende fundamentalmente de la energía de propagación. En probetas sin entalla la energía absorbida es la suma de las dos: iniciación y propagación.[21]

- Variables del material que intervienen en la resistencia al impacto:

Orientación molecular, Temperatura de transición (T_g), Peso molecular, Plastificación.

- Variables de fabricación:

La temperatura del fundido, velocidad de inyección, estirado, etc., son variables del proceso que pueden modificar las características del material y por consiguiente su resistencia al impacto.

- Variables de diseño:

Dado que la concentración de tensiones es un factor fundamental frente al comportamiento al impacto aquellas posibles geometrías de diseño que pueden dar lugar a estas concentraciones deben ser evitadas o disminuidas siempre que sea posible Ej: orificios, esquinas y cantos agudos, depresiones, muescas, rugosidades, superficies no lisas, cambios bruscos en espesores de pared, discontinuidades.[3]

2.4.5. Análisis térmico.

Los materiales plásticos son, en general, muy sensibles a la temperatura. Mientras que aquellos que son dúctiles o flexibles pueden convertirse en frágiles o rígidos a bajas temperaturas, mucho más serio, por regla general, es el reblandecimiento e incluso la degradación que se produce cuando la temperatura se eleva sólo a niveles moderados.

El efecto de la temperatura sobre los polímeros es relativamente complejo y de una importancia fundamental en las propiedades de los mismos. Cuando un material polimérico se calienta, su comportamiento depende de sus características propias, tales como la naturaleza de su estructura química, la ramificación, la plastificación, el entrecruzamiento y la influencia de aditivos y cargas. El efecto combinado de la agresión de la temperatura y de tales características produce una gama amplísima de comportamientos muy distintos, incluso para un mismo polímero.

La degradación, el entrecruzamiento y la oxidación son los principales mecanismos que cambian las propiedades mecánicas de los polímeros expuestos a temperaturas elevadas. La degradación es causada por excisiones pirolíticas o químicas de las cadenas moleculares. La pirólisis, si ocurre sola, conduce a una reducción progresiva del peso molecular y con él a una pérdida de resistencia, alargamiento y tenacidad, seguido de una disminución de la temperatura de reblandecimiento y menor resistencia a la fluencia. Los entrecruzamientos unen las moléculas en una red rígida con estructura dura y frágil que no puede ser fundida o disuelta. La oxidación promueve la fragmentación de la estructura frágil de bajo peso molecular. En la mayoría de los casos los tres mecanismos ocurren simultáneamente.

El envejecimiento por calor afecta a la resistencia a la tracción por impacto de una resina mas rápidamente que a cualquier otra propiedad, se basa generalmente en la resistencia a la tracción por impacto.[2]

2.4.5.1. Calorimetría diferencial de Barrido (DSC).

Es una técnica que mide el flujo de calor que entra o sale de una muestra sometida a calentamiento o enfriamiento. A partir de éste, se puede calcular el calor específico y la energía de los eventos térmicos (es decir, la fusión, la cristalización o el fraguado) en una mezcla que se calienta o enfría. La DSC es un medio rápido y preciso de medir la temperatura de transición vítrea y el perfil de fusión de termoplásticos semicristalinos. También se puede usar para medir la cantidad y la eficacia de un antioxidante. La temperatura de transición Vítrea (T_g), es el centro del rango de temperaturas en el que un termoplástico caliente en curso de enfriamiento cambia desde un estado gomoso y correoso a un vidrio quebradizo. Es a temperatura por encima de la cual los segmentos moleculares pueden deslizarse uno sobre otro, y por debajo de la cual estos están fijos. Gráficamente, es la temperatura a la cual se produce un cambio repentina en la pendiente de la curva, volumen específico contra temperatura. A temperaturas superiores a la de transición vítrea, pero inferiores al punto de fusión, los polímeros cristalinos son rígidos, pero no frágiles. En este mismo intervalo las regiones no cristalinas de los polímeros tienen una gran influencia en el aumento a la resistencia al impacto.

La Temperatura de Fusión (T_m), para la mayoría de polímeros cristalinos se obtienen amplios intervalos de fusión y temperatura aparente de no equilibrio. La temperatura de fusión se puede definir como el máximo del pico de fusión registrada en el diagrama que nos reporta la Calorimetría Diferencial de Barrido.

La temperatura de fusión es una variable crítica que afecta las propiedades de los materiales termoplásticos y al posterior comportamiento del producto. Esta variable puede influir en la velocidad de producción, consumo de material y en el acabado y propiedades mecánicas de piezas finales.[25]

Los factores que determinan la temperatura de fusión de un polímero cristalino o parcialmente cristalino son dos: Las fuerzas intermoleculares y la rigidez de la cadena. Los polímeros que presentan temperaturas de fusión altas se caracterizan por calores de fusión relativamente pequeños, mientras que los polímeros que tienen temperaturas de fusión bajas presentan grandes calores de fusión.

2.4.5.2. Análisis Térmico Gravimétrico (TGA).

Es una técnica que mide la pérdida de peso de una muestra que se calienta. Cada componente de ésta se volatiliza o descompone a una temperatura específica. La técnica se usa

sobre todo para separar los componentes de una formulación de polímeros o elastómeros, según su estabilidad térmica relativa. Con ella se determinan en forma cuantitativa los niveles de humedad, extensor oleoso, plastificador, polímero negro de carbón y relleno. También se usa para cuantificar la estabilidad térmica de un material.[19] La temperatura de degradación se define como la temperatura convencional a la cual el polímero, en condiciones dadas experimentales pierde el 50 % de su peso en 30 minutos; es un valor práctico ligado a la complejidad de todo el proceso de degradación, es proporcional a la energía de disociación de los enlaces primarios de la cadena, es un rango de temperaturas asociadas con a descomposición del polímero en presencia de oxígeno y que dependen fuertemente de la naturaleza química del plástico, y en menor grado de su forma específica. La temperatura de descomposición indica el principio de un relativamente rápido desarrollo de numerosos productos de bajo peso molecular, muchos de los cuales son inflamables.[25]

2.4.5.3. Cámara de Envejecimiento.

Es un equipo en el cual se da un proceso degradativo por la interacción entre el material y un ambiente (acción de factores externos, como el calor, las radiaciones, la humedad, el oxígeno, el ozono, microorganismos, etc.), que da lugar a alteraciones en la estructura del material y de sus propiedades dimensionales, mecánicas, eléctricas, químicas y térmicas. Las propiedades de los polímeros, base de innumerables aplicaciones están determinadas por la estructura en todas sus fases, cada una de las cuales puede verse afectada por los procesos degradativos. El envejecimiento es en definitiva una modificación estructural de los polímeros que pueden afectar a la cadena principal o a los grupos laterales. Dada la íntima relación entre la estructura y parámetros físicos y parámetros químicos, se comprende la alteración de las propiedades finales del material a medida que la degradación avanza y desde grados de degradación muy bajos.

2.4.5.3.1. Tipos de envejecimiento

- Natural.
- Acelerado. Envejecimiento realizado en tales condiciones que la duración de la vida útil de estos polímeros se acorta.
- Artificial. Es un caso particular del envejecimiento acelerado, en el cual se controlan las condiciones de exposición, que se mantienen constantes o varían según ciclos simples y regulares. El envejecimiento artificial se realiza en unas cámaras de envejecimiento que simulan, de modo más o menos similar un clima natural.
- Físico. Engloba todos los fenómenos en los que no se modifica la estructura química de las macromoléculas ni de otros constituyentes poliméricos.
- Químico. Es todo fenómeno que implica una modificación química del material bajo la influencia del ambiente.[19]

Capítulo 3

Desarrollo Experimental

En la fabricación de los copolímeros magnéticos, se verifican una serie de operaciones, que incluyen la molienda del material magnético, tamizado del material magnético, mezclado y moldeo. A continuación se describirán estas operaciones y se mencionarán los equipos en los que se lleva a cabo cada una. Luego se mostraran las pruebas que se realizaron a estas mezclas.

3.1. Elaboración de Probetas

Figura 3.1: Tipos de probetas elaboradas



3.1.1. Preparación de la ferrita de estroncio y bario

Es el proceso mediante el cual se reduce el tamaño del material magnético a un diámetro de partícula más pequeño, para facilitar su posterior incorporación al copolímero. Esta

operación se lleva a cabo en un molino de bolas donde la reducción del material se hace por impacto y por rozamiento con el medio sólido de molienda (bolas de diferentes diámetros); posteriormente se hace una selección del diámetro de partícula adecuado para el mezclado del material con el copolímero, mediante el tamizado con mallas (malla 270 serie Tyler), con diámetro promedio de partícula $52 \mu\text{m}$ aproximadamente.

Una vez teniendo el material tamizado con un diámetro seleccionado, se tiene cierta cantidad de ferrita disponible para el posterior mezclado con el copolímero.

3.1.2. Preparación de las mezclas de polímero y ferrita

Se trabajó con Estireno Acrilonitrilo (SAN) y con Estireno Acrilonitrilo Butadieno (ABS) Se hicieron cinco mezclas variando el porcentaje de ferrita de estroncio y de bario entre 0 y 35%. Se toma un volumen determinado de polímero el cual debe conocerse su peso para luego mediante la siguiente fórmula establecer el porcentaje másico peso a peso sobre el que se va a realizar.

$$\%P/P = \frac{W_{ferrita}}{W_{ferrita} + W_{resina}} * 100$$

3.1.3. Mezclado

Figura 3.2: Miniextrusor



El Mezclado de los materiales se realizó por extrusión. El proceso de extrusión utilizado fue extrusión seca, donde el reblandecimiento del material se realizó por calor, y a la vez se mezcló y homogeneizó bajo la presión del tornillo. Entonces, se debe tener en

cuenta algunas variables como el perfil de temperatura y velocidad del tornillo (rpm). [6, 22]

A continuación se purga el extrusor, para evitar contaminar la muestra con anteriores materiales extruidos teniendo en cuenta el perfil de temperaturas de los polímeros, para obtener una buena fluidez y un buen mezclado.

Se llegó a las siguientes condiciones: Velocidad del tornillo 25 - 35 rpm y perfil de temperaturas del SAN, Tabla3.1 y ABS Tabla3.2.

Tabla 3.1: Perfil de Temperatura del miniextrusor para el SAN

zona	zona1	zona2	zona3	zona4
T °C	183	198	212	229

Tabla 3.2: Perfil de Temperatura del miniextrusor para el ABS

zona	zona1	zona2	zona3	zona4
T °C	180	195	205	215

Este es un miniextrusor (Figura3.2) de marca Berstora de un solo tornillo o husillo, cuyo diámetro 1.5 pulg; tiene una relación de velocidades que va desde 15 - 90 rpm. Consta de las cuatro zonas normalizadas para el proceso de mezclado, las tres primeras en el lomillo y la cuarta entre el tornillo y la boquilla o dado. Además, posee un sistema de refrigeración con agua, que ayuda a mantener constante la temperatura en cada zona después de haber alcanzado un máximo programado en el controlador.

Cada una de estas zonas es calentada por termocuplas, hasta una temperatura exacta según el perfil térmico para el proceso de extrusión de cada resina. Estas temperaturas van desde la que se necesita para ablandar el material en la zona 1, hasta una temperatura óptima de fluidez del material para ser moldeado en la zona 4 (boquilla).

La temperatura en cada zona es regulada por cuatro controladores modernos digitales marca OMRON E5CK. Estos controladores después de haberlos calibrado, fijación del rango de temperatura, velocidad de calentamiento, margen de error, etc., son fáciles de maniobrar; simplemente se programa la temperatura máxima para cada zona en el controlador correspondiente.

El paso a seguir una vez elaboradas las mezclas fue pasarlas por el molino de cuchillas de la Escueta de Ingeniería Química donde las mezclas fueron pulverizadas y posteriormente se repitieron estos pasos para obtener mezclas totalmente homogéneas y listas para su respectivo moldeo.

Figura 3.3: Molino de cuchillas



3.1.4. Moldeado

Para la elaboración de las probetas las mezclas fueron llevadas a EXTRUCOL S.A. donde se realizaron en la inyectora manual (Figura 3.5) ubicada en el laboratorio de ensayos de dicha empresa; bajo las especificaciones de las norma ASTM D638 (tipo IV) para las pruebas de tensión-deformación, envejecimiento, dureza, rebote, y resistencia al impacto, se realizaron cinco probetas por cada porcentaje para obtener datos mas confiables. [21, 4]

Se utilizó una temperatura de 190 - 200°C en la inyectora para una carga muy pequeña dentro del cilindro; está carga se obliga a salir del cilindro hacia los moldes, haciendo una gran fuerza sobre el brazo de la inyectora (colgarse del brazo), para que así el material salga y se disperse en el molde evitando quedar con burbujas o imperfecciones. Las placas donde va ajustado el molde se mantuvieron a una temperatura de 55 - 70°C, para evitar el choque térmico y lograr así que el material tuviera mejor fluidez dentro del molde. La inyectora posee dos controladores para mantener estas temperaturas.[4, 9]

Figura 3.4: Molde para la prueba de tensión-deformación



Figura 3.5: Inyectora



3.2. Pruebas Realizadas

A continuación se mencionan las pruebas magnéticas, mecánicas, físicas y químicas realizadas sobre los polímeros magnéticos, desarrolladas con el fin de caracterizar los polímeros. Se incluyen sus definiciones y el procedimiento de medida en el laboratorio para cada una de ellas. Para un mejor reporte de resultados estadísticos se realizaron cinco ensayos para cada prueba.

3.2.1. Inducción Remanente

Los materiales que se comportan como materiales magnéticos presentan una propiedad que esta relacionada directamente con el campo magnético que producen; esta propiedad es la inducción remanente o remanencia. Como se menciona anteriormente el

magnetismo es producido por el movimiento de rotación de los electrones (espín) en un átomo, lo cual genera un momento magnético; la suma vectorial de estos momentos determina el momento magnético total, el cual es alto para los materiales que se comportan como imanes permanentes.

La inducción remanente o remanencia, es la fuerza de imantación que está presente (debido al momento magnético total) o que permanece en un material que ha sido imantado hasta la saturación en un circuito cerrado. Las unidades de medida de la remanencia son Tesla (T) o Gauss (G), los cuales se pueden determinar directamente en un gaussímetro, magnetómetro u osciloscopio ó indirectamente en un fluxómetro. Para el uso del gaussímetro es necesario tener probetas inducidas mediante el proceso de polarización y probetas sin inducir para poder comparar los datos.

El proceso de polarización se llevó a cabo con imanes de Neodimio, para generar un mayor campo magnético, en los extremos acoplados de tal forma que quedarán norte con sur, es decir, en atracción por las dos superficies más grandes y paralelas.

Los valores experimentales de la inducción remanente de la resina magnética obtenido se determinaron mediante un gaussímetro Yokogawa 3251 para probetas cilíndricas de 2.6 cm de diámetro y 1.0 cm de altura, figura 3.6.

Figura 3.6: Gaussímetro



3.2.2. Adhesividad

Es de interés para el control de calidad determinar el valor de la adherencia, en la práctica dicho valor depende de la forma y las dimensiones de la pieza, del modo en que se aplica el esfuerzo y de su dirección respecto a la superficie de unión, y de otros factores característicos de cada pieza en particular; por lo que, con fines de control de calidad, se recomienda que siempre que sea posible se ensaye la pieza real o una parte de la misma, aunque para ello haya que diseñar un ensayo especial no aplicable a otras piezas distintas.

Se determino la adherencia normal para la pieza, colocando esta en un imán y colgando de la pieza el peso necesario hasta lograr el desprendimiento de la probeta del imán y así se determino la capacidad de adherencia de las probetas con respecto al imán para cada concentración.

La prueba de adherencia consistió en determinar el esfuerzo necesario para separar probetas cilíndricas de resinas magnéticas de 2.6 cm de diámetro y entre 1.0 cm de altura de un imán.

Pero naturalmente hay necesidad de disponer de métodos de ensayo normalizados, que proporcionen resultados comparables. De esta manera existen ensayos descritos en la norma ASTM D 413 y ASTM D 429, para determinar la adherencia mediante la aplicación de una fuerza ya sea de arranque, normal al plano de unión o de cizallamiento. [9]

3.2.3. Resistencia a la Tensión - Deformación

Una forma inmediata de evaluar las características de un material a bajas velocidades es someterlo a la acción de un esfuerzo unidimensional a velocidad controlada, registrando gráficamente la deformación en función del esfuerzo ejercido, describiendo así el comportamiento al que es sometido. Este ensayo se realizó a una atmósfera con temperatura de 19°C y humedad del 44 % por un período de 24 horas, como preacondicionamiento. Norma ASTM D638. [9]

La resistencia a la tensión es la carga por unidad de superficie de la sección transversal original, aplicada en el momento de la rotura de una probeta. El alargamiento o deformación, es la extensión producida entre dos marcas de referencia por un esfuerzo de tracción aplicado a una probeta, y se expresa como un porcentaje de la distancia original entre las señales.

El alargamiento a la rotura es el obtenido en el momento de romperse la probeta. Es importante conocer también el concepto de módulo, es decir, el esfuerzo (aplicado sobre la sección original), necesario para producir un alargamiento dado. En el caso de los polímeros SAN y ABS, a diferencia de los metales, los esfuerzos y deformaciones no son proporcionales, y por esta razón cuando se aplica al acero, el módulo es el esfuerzo dividido por la deformación (una razón constante). Aplicado a los polímeros, el módulo representa el esfuerzo específico a una cierta deformación (ni una razón, ni una constante, simplemente las coordenadas de un punto de la curva tensión-alargamiento). Se procede a marcar en su cuello, separaciones de referencia de 0.5 cm y a medir su espesor (con el fin de hallar el área de la sección transversal original sobre la cual se van aplicar los esfuerzos).

Los extremos de las probetas se colocan en las mordazas de la Máquina Universal de Esfuerzos marca TINIUS OLSEN serie 10000, con celda de carga 1 - 50.000 KN, con desplazamiento de velocidad constante de 0.1 - 500.0 mm/min; con calibración supervisada por la superintendencia de industria y comercio, Figura 3.7. Las escalas para manejo del equipo son: 5 - 100 % carga máxima 5, 10, 25, 50 y 2500 KN y con indicación digital, del laboratorio de calidad de la empresa EXTRUCOL S.A.

La mordaza inferior es accionada a una velocidad de 5 mm por minuto y estira la probeta hasta su rotura. La distancia entre las marcas de referencia, va en aumento y para medir el alargamiento se controla la longitud entre los centros de ella.

Figura 3.7: Máquina Universal de Esfuerzos



3.2.4. Ensayo de Resistencia al Impacto IZOD

La prueba de impacto mide la energía necesaria para romper una probeta con muesca patrón por una carga bajo impulso, para esta se utilizaron diez probetas entre envejecidas y no envejecidas para después romperlas con el péndulo existente en el laboratorio de operaciones unitarias de la escuela de ingeniería química, Figura 3.9; este péndulo esta provisto de una escala circular que mide la energía absorbida en lb-ft por la muesca de la probeta en el momento de la ruptura; y por un martillo de 4.6 lb de peso.

Es importante conocer la capacidad que tienen los polímeros para absorber energía y ver como esta propiedad se ve afectada a medida que aumenta la concentración de la ferrita. La probeta que se utiliza, es una con entalla (muesca) que actúa como concentrador de esfuerzos, Figura 3.8. Norma ASTM D256.[9]

Figura 3.8: Probeta para Impacto



Figura 3.9: Péndulo para Impacto



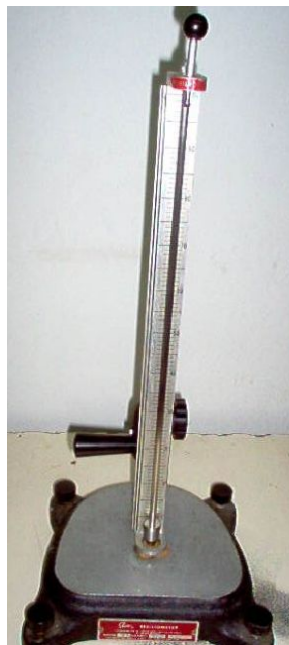
3.2.5. Ensayo de Dureza y Resiliencia

Para la prueba de Resiliencia o Rebote se utilizó el resilómetro Shore, Figura 3.11, ubicado en el laboratorio de Operaciones Unitarias de la escuela de ingeniería Química. Para la prueba de dureza se utilizó un durómetro Shore tipo D, Figura 3.10 que es el recomendado para esta prueba que indica la dureza Shore en la escala D, para materiales duros. Norma ASTM D1706.[9]

Figura 3.10: Durómetro



Figura 3.11: Resilómetro



3.2.6. Estudio Del Comportamiento Térmico

Mediante los ensayos del Análisis Termogravimétrico (TGA) y Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC) se determinaron las temperaturas de degradación, fusión y descomposición. Estas pruebas se realizaron en los equipos respectivos ubicados en la Escuela de Ingeniería Química.

3.2.6.1. Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC).

Figura 3.12: DSC



Esta prueba mide los cambios que experimenta la muestra con la temperatura. Esta utiliza calentadores individuales para mantener temperaturas idénticas en dos sostenedores de platino, uno con una pequeña muestra de polímero más ferrita, sellada mecánicamente en un plato de aluminio y el otro contiene un plato idéntico, Figura 3.12.

La temperatura es medida en ambos platos para mantener iguales temperaturas durante un ciclo programado de calentamiento, este luego es registrado como función de la temperatura. Para el SAN se hizo un barrido desde una temperatura de 310K hasta 400K, con una velocidad de calentamiento de 20°C /min y para el ABS se hizo un barrido de 320 a 420K con una velocidad de calentamiento de 20°C /min . El análisis se hizo para las muestras de SAN y ABS , de 0 a 35 % de ferrita. Normas ASTM D 3418.[9]

3.2.6.2. Análisis Termogravimétrico (TGA).

Figura 3.13: TGA



En el análisis termogravimétrico se destaca los cambios en la masa o peso de la muestra. Se hizo un barrido para el SAN desde una temperatura de equilibrio de 30°C hasta 600°C. en presencia de nitrógeno con flujo de 100 cc/min, y una velocidad de calentamiento de 10°C / min; y para el ABS se hizo un barrido desde una temperatura de equilibrio de 30°C hasta 800°C en presencia de nitrógeno con flujo de 100 cc/min, y una velocidad de calentamiento de 10°C / min, Figura 3.13. Se analizaron las muestras en cápsulas de platino; una para el polímero con ferrita en todos los porcentajes y otra para el polímero puro. Norma ASTM E1131[9]

3.2.7. Estudio del Ensayo de Envejecimiento

Fue adaptada la cámara de envejecimiento de la Escuela de ingeniería Química para realizar estudios de radiación, Figura 3.14, condensación, aireación y calentamiento, en un tiempo máximo de 1000 horas. Para estos espécimenes se determinaron las propiedades de tensión-deformación y Resistencia al impacto Izod para las diferentes concentraciones de aditivos en tiempos de 300, 600 y 1000 horas.

La finalidad de este ensayo es evaluar la degradación que sufre el material. mediante un envejecimiento artificial-acelerado. Esta clase de envejecimiento se puede clasificar

como intemperización, donde se simula un ambiente expuesto a la intemperie, lluvia, rocío, radiación solar, cambios de temperatura y humedad.

Dentro de la cámara se colocaron probetas de cada concentración y se sacaron distribuidas, durante las mil horas tratando de hacer una curva de varios puntos igualmente separados.

La distribución del tiempo en la cámara esta dada de la siguiente forma:

- 07:00 am, a 11:00 a.m. 55° C * Aire húmedo
- 11:00 am, a 02:00 pm. Radiación + Aire seco
- 02:00 pm, a 05:00 pm. Condensación + Aire seco
- 05:00 pm. a 07:00 pm. Radiación Aire seco
- Fin de semana: Radiación + Aire Seco (viernes 5:00 pm hasta lunes 7:00am)

La radiación ultravioleta se simuló con cuatro (4) lámparas ultravioleta tipo C de longitud de onda de 255 nm, y 15 wattios de potencia. La temperatura se logró con un sistema de resistencia de calefacción, para la simulación del aire se utilizó una turbina, que se ajustó a las necesidades del ensayo, según la cantidad del aire que se necesitara. Para el aire húmedo se abrió una rejilla ubicada en la parte superior de la cámara que permite el acceso de la humedad del ambiente. La condensación que simula lluvia y rocío, se logró con resistencias de inmersión, alcanzando temperaturas entre 50 y 60°C, controlando la temperatura con un flujo de aire constante Normas ASTM D1435 y D4329.[9]

Figura 3.14: Cámara de Envejecimiento



Capítulo 4

Resultados y Discusiones

En este capítulo se harán las observaciones, consideraciones y una discusión sobre las propiedades obtenidas en los ensayos realizados, para las mezclas de los polímeros con ferrita en sus diferentes grados de composición.

4.1. Tensión-Deformación

Para la elaboración de este ensayo se utilizó la máquina universal de ensayos del laboratorio de control de calidad de EXTRUCOL S.A. para hacer los cálculos correspondientes se tomó como constante los siguientes valores

$$L_0 = 3.5 \text{ cm}$$

$$\text{Área transversal inicial} = 0.14 \text{ cm}^2$$

se trabajó con una velocidad constante de 5 mm/min, % de rango de fuerza de 5N y un rango de extensión de 10 mm para el SAN y 50 mm para el ABS.

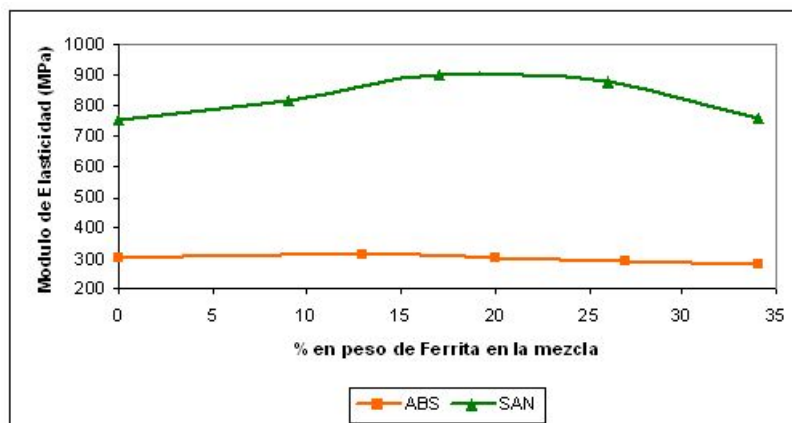
Para el análisis e interpretación de los resultados de la prueba tensión-deformación de los polímeros tanto puros como a diferentes concentraciones de ferrita, se midieron algunas propiedades importantes para el uso de los polímeros en el diseño ingenieril, utilizando los datos promedios obtenidos en cada ensayo.

Estas propiedades fueron módulo de elasticidad, resistencia máxima o final, porcentaje elongación y esfuerzo de cadencia.

4.1.1. Módulo de elasticidad

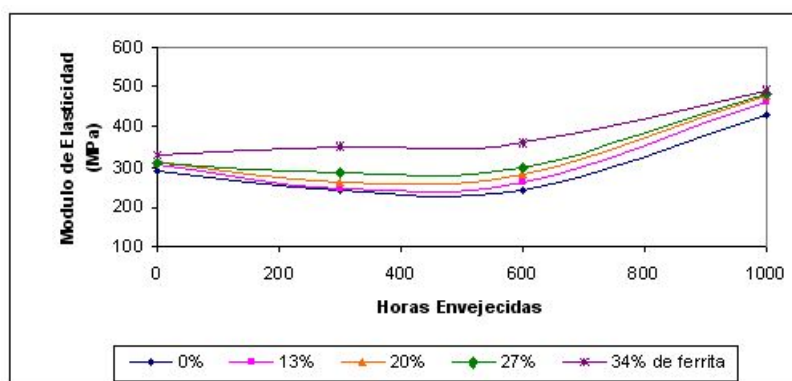
En la figura 4.1 se muestran los valores del módulo de elasticidad en función del porcentaje en peso de ferrita en la mezcla. (Tabla A.12A.6)

Figura 4.1: Modulo de Elasticidad Vs porcentaje en peso de ferrita para el ABS y el SAN



Para el ABS se observó una disminución pequeña con el aumento del porcentaje en peso de ferrita; esto nos indica a su vez, un decremento de la rigidez y por tanto una disminución de la resistencia a la deformación elástica. Las probetas envejecidas con menor exposición mantuvieron el modulo de elasticidad, al aumentar la exposición a la intemperie aumenta el modulo para todas las concentraciones de ferrita. (Tabla A.16)

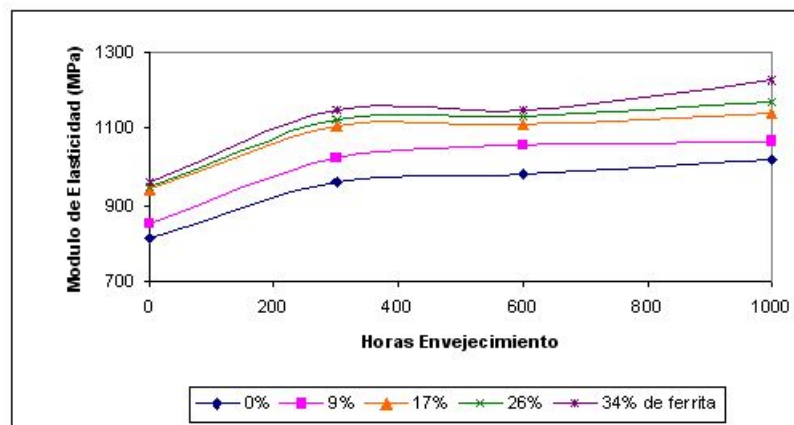
Figura 4.2: Modulo de Elasticidad Vs Horas Envejecidas para diferentes porcentajes en peso en la mezcla de ferrita/ABS



Para el SAN se observó un aumento en el modulo de elasticidad con el aumento del porcentaje en peso de ferrita (aproximadamente hasta el 20 %) es decir un aumento en el polímero de su rigidez y de su resistencia a la deformación plástica debido a las

propiedades de la ferrita, ya que la ferrita no tiene propiedades de elasticidad y tiene mayor rigidez que el polímero de ahí en adelante disminuye su modulo de elasticidad. En las probetas envejecidas se observo un incremento del modulo de elasticidad para cada porcentaje en peso de ferrita a medida que aumento su exposición al envejecimiento acelerado; esto se debe a una evolución química de la mezcla provocada por la radiación, lo anterior nos indica un aumento de la rigidez osea, mayor resistencia a la deformación elástica con el envejecimiento, lo que nos indica que para una exposición al medio ambiente larga es mas recomendable utilizar el SAN con un porcentaje en peso de ferrita aproximado del 20 %. En las figuras 4.2,4.3, representa el modulo de elasticidad versus horas envejecidas para ABS y SAN respectivamente en ambos casos para diferentes % en peso de ferrita.(Tabla A.20)[19, 10]

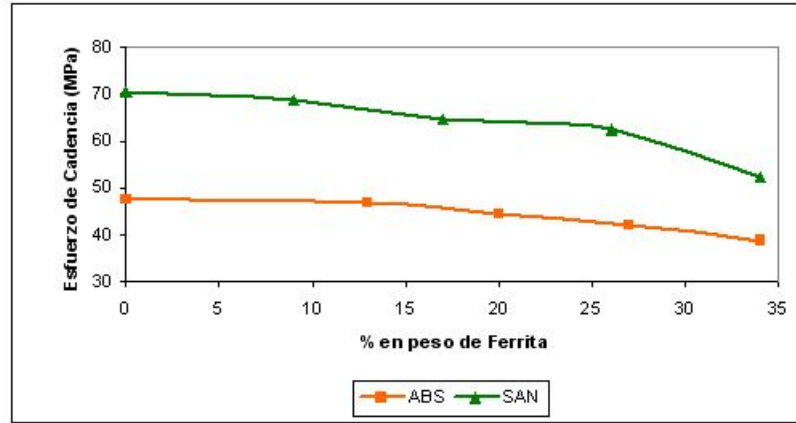
Figura 4.3: Modulo de Elasticidad Vs Horas Envejecidas para diferentes porcentajes en peso en la mezcla de ferrita/SAN



4.1.2. Resistencia máxima o Esfuerzo de Cadencia.

En la figura 4.4 se presenta el esfuerzo de cadencia (MPa) Vs % en peso de ferrita para el ABS y SAN. La resistencia máxima o de cadencia disminuye con el aumento en el porcentaje de ferrita haciendo que el material resista menos carga antes de agrietarse, al disminuir la resistencia a la deformación elástica hubo un aumento en la ductilidad de la mezcla y por ende se presento un decremento en su deformación plástica, llegando mas rápidamente al punto de resistencia máxima ocasionado por un desordenamiento de la estructura interna de la mezcla (Tablas A.6, A.12).

Figura 4.4: Esfuerzo de Cadencia Vs porcentaje en peso de ferrita en la mezcla para el ABS y SAN.



El punto de cadencia es el primer punto sobre la curva esfuerzo - deformación en el cual ocurre un incremento de la deformación sin un incremento del esfuerzo. Comparando los dos polímeros se puede observar que el ABS necesita menos esfuerzo, por lo tanto su punto de cadencia es menor, mientras que el SAN necesita de un esfuerzo mayor.[3]

Figura 4.5: Esfuerzo de Cadencia VS Horas de Envejecimiento para el ABS mezclado con diferentes composiciones de ferrita

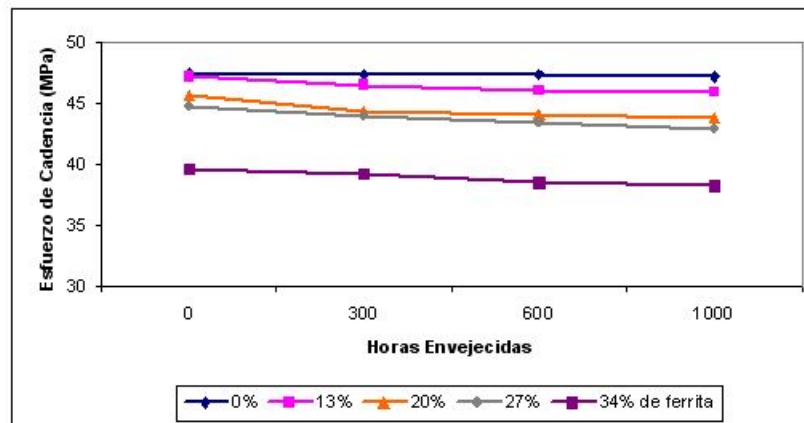
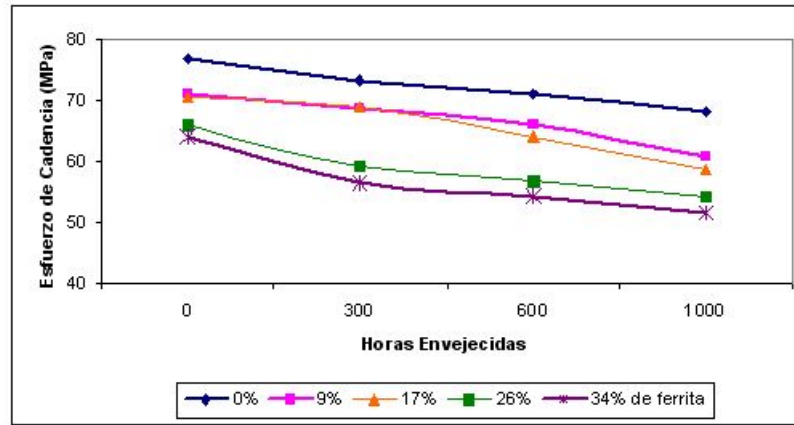


Figura 4.6: Esfuerzo de Cadencia VS Horas de Envejecimiento para el SAN mezclado con diferentes composiciones de ferrita



Las figuras 4.5,4.6, representa el esfuerzo de cadencia Vs horas de envejecimiento para el ABS y SAN con diferentes composiciones de ferrita en la mezcla.

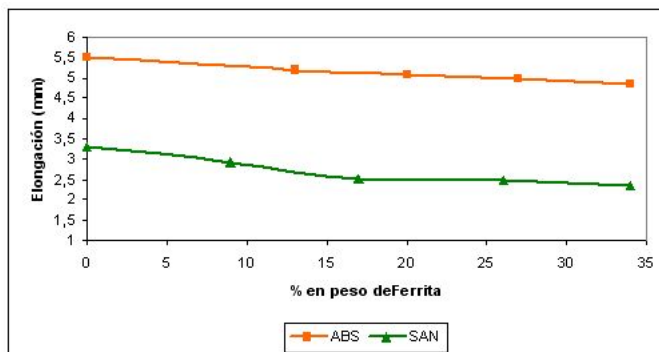
Durante el envejecimiento se noto una disminución de la resistencia máxima o de cadencia para todas las concentraciones de ferrita; debido a un reacondicionamiento físico y químico del materia, provocado esto sobre el efecto de las radiaciones UV sobre las probetas (Tablas A.15,A.19)

4.1.3. Resistencia de ruptura

En cuanto a la resistencia a la ruptura esta presento una disminución proporcional a la resistencia máxima, respecto al aumento de ferrita; así mismo fue su comportamiento para el envejecimiento, siendo su causa la misma de la resistencia máxima. (Figuras A.1,A.2 y Tablas A.1,A.2,A.3,A.4,A.5,A.7,A.8,A.9,A.10,A.11)

4.1.4. Elongación

Figura 4.7: Elongación Vs porcentaje en peso de ferrita



En la figura 4.7 se muestra la elongación versus el porcentaje en peso de ferrita en la mezcla para el ABS y SAN. Se observó un decremento en la ductilidad del material con el aumento del porcentaje en peso de ferrita, esto se vio reflejado notablemente en el decremento de la deformación unitaria de las mezclas; en el caso de los espécimenes envejecidos se observó una disminución en la deformación indicando un decremento de ductilidad. Todo esto es debido a las variaciones químicas causadas por la radiación, es decir un proceso oxidativo del material, ya que está expuesto a un proceso prolongado de degradación acelerada (Tablas A.6, A.12).

Figura 4.8: Elongación Vs Horas Envejecidas para diferentes porcentajes en peso de ferrita en el ABS

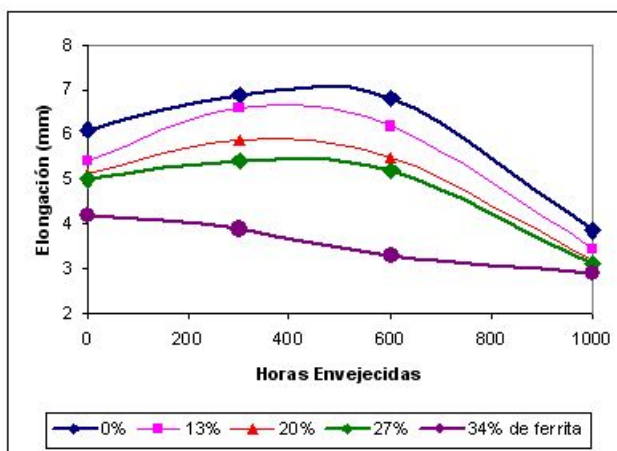
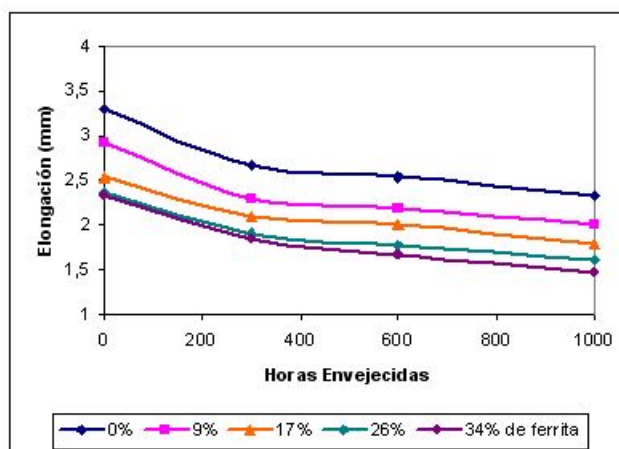


Figura 4.9: Elongación Vs Horas Envejecidas para diferentes porcentajes en peso de ferrita en el SAN



Las figuras 4.8,4.9, muestran la elongación versus horas envejecidas para el ABS y SAN respectivamente con diferentes composiciones de ferrita en la mezcla. Para los materiales envejecidos el comportamiento de la elongación para el SAN fue disminuyendo para todas las concentraciones de ferrita; mientras que para el ABS se observa que a medida que sucede el envejecimiento su elongación se conserva hasta las 300 horas para todas las concentraciones de ferrita, comienza a decaer hasta las 600 horas en forma mínima y de ahí en adelante cae notablemente la elongación hasta las 1000 horas.

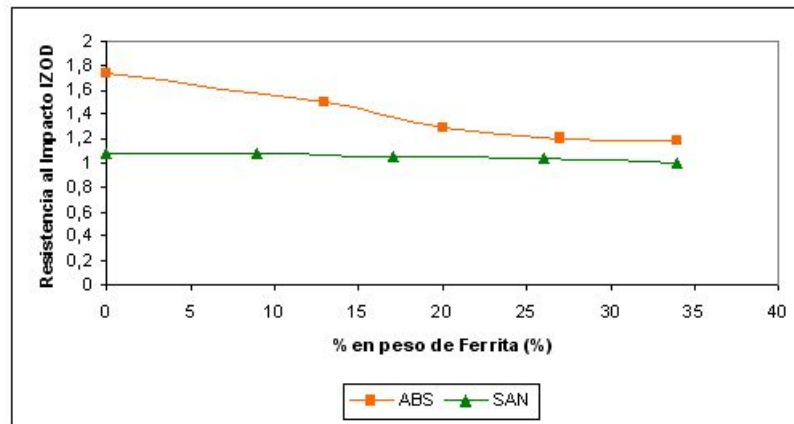
Se observa un comportamiento con una caída de elongación mas notable hasta el porcentaje del 17% de ferrita y de este en adelante se mantiene casi lineal de forma para el SAN. Mientras que para el ABS se puede observar que tiene una elongación mayor con un comportamiento muy poco variable para los porcentajes inferiores del 27% de ferrita (Tablas A.18,A.14).

Se puede concluir que al estar el material expuesto mucho tiempo al medio ambiente disminuye su elongación, en el caso del ABS su elongación se mantendría pero sin una exposición muy larga; mientras que el SAN presenta un mejor comportamiento a la intemperie para tiempos prolongados. Observando las curvas de esfuerzo-deformación (Figuras A.1,A.2) podemos concluir que el ABS tiene un comportamiento de materiales duros y tenaces, experimenta un alargamiento moderado antes del punto de fluencia seguido por una deformación irreversible. Mientras que el SAN se caracteriza por un modulo de elasticidad alto y un punto de fluencia poco definido y una deformación

pequeña antes de la ruptura que presenta el comportamiento de un material duro y frágil.[5, 28]

4.2. Resistencia al Impacto Izod

Figura 4.10: Resistencia al Impacto Izod Vs porcentaje en peso de ferrita para el ABS y SAN



La figura 4.10 representa la resistencia al impacto izod versus % en peso de ferrita para el ABS y SAN. La resistencia al impacto tiene el mismo comportamiento para los dos polímeros, se mantiene casi constante a medida que aumenta la concentración de ferrita, se observa una mínima variación de resistencia al impacto.

La pequeña disminución tiene su explicación en que al mezclar el polímero con la ferrita se presenta un desordenamiento de la estructura interna conllevando a que el material se vuelva mas quebradizo, se esperaba que el comportamiento de esta mezcla aumentara la propiedad de tenacidad puesto que se esta utilizando un material mas duro que el polímero como la ferrita, pero los resultados nos muestran una pequeña variación en forma descendente, mas notoria en el ABS (Tablas A.21,A.22).[20]

Figura 4.11: Resistencia al Impacto Izod Vs Horas Envejecidas a diferentes porcentajes en peso de ferrita en el ABS

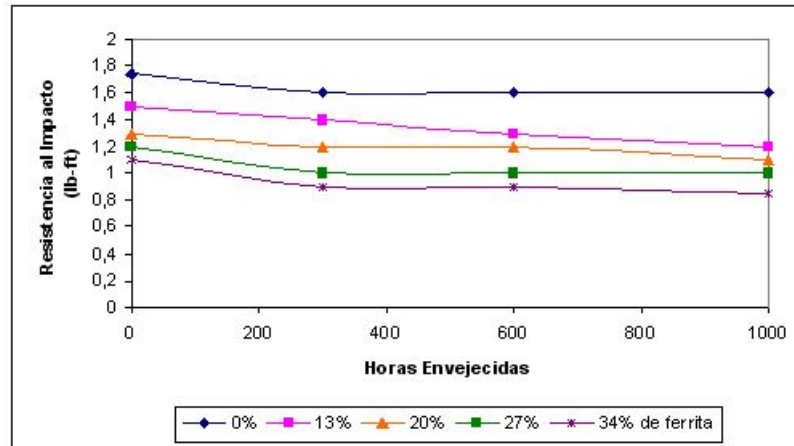
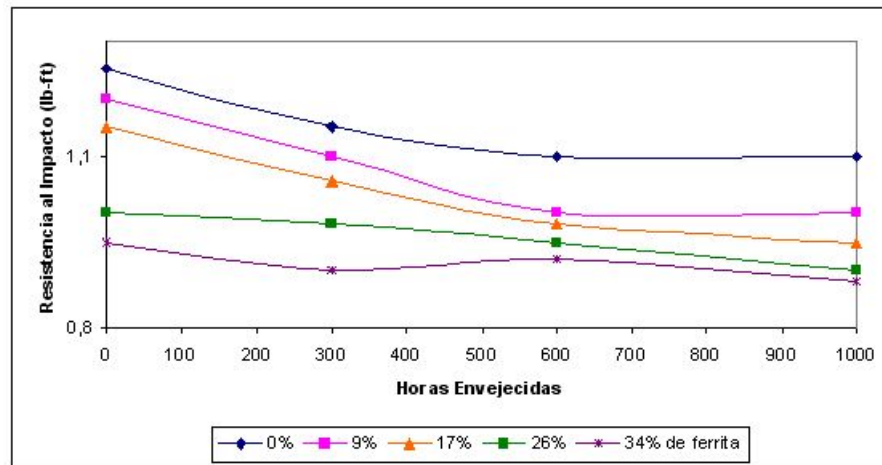


Figura 4.12: Resistencia al Impacto Izod Vs Horas Envejecidas a diferentes porcentajes en peso de ferrita en el SAN

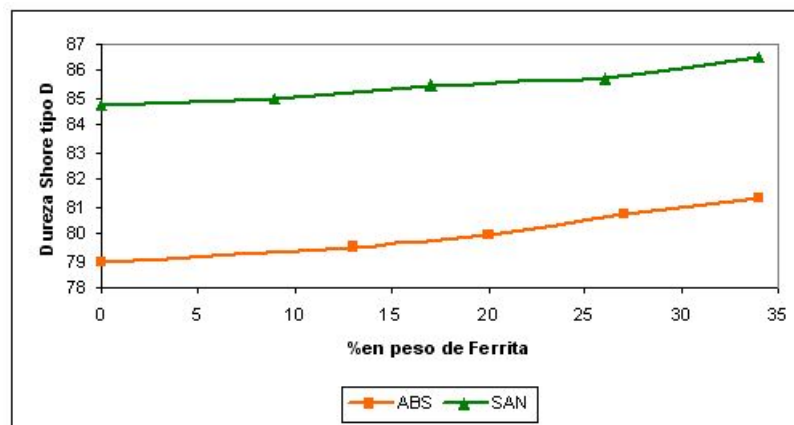


Las figuras 4.11, 4.12 presentan la resistencia al impacto izod versus horas envejecidas para el ABS y SAN respectivamente a diferentes porcentajes en peso de ferrita. Para las probetas envejecidas su comportamiento fue semejante al anterior, presento una disminución en la prueba de impacto a medida que aumentaba el porcentaje en peso de ferrita y las horas expuestas a la radiación, lo cual es un resultado esperado, ya que al aumentar el modulo de elasticidad, se intensifico su rigidez volviendo el material mas

frágil y por consiguiente se rompe con mayor facilidad con el impacto. De acuerdo a los resultados obtenidos en los ensayos se puede concluir que cuando se necesita dar uso al material frente a una buena resistencia al impacto se podrá trabajar con concentraciones del 16-20 % de ferrita, pues estas ofrecen una disminución mínima comparado con el polímero puro (Tablas A.23,??).

4.3. Dureza

Figura 4.13: Dureza Shore (tipo D) Vs porcentaje en peso de ferrita

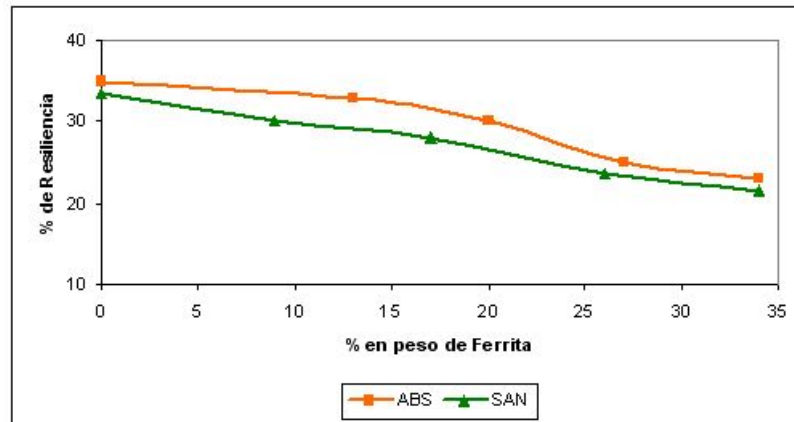


La figura 4.13 presenta la dureza Shore tipo D versus % en peso de ferrita para el ABS y SAN.

Observando los resultados se encontró que la dureza presentó un comportamiento en forma ascendente a medida que se aumentaba el porcentaje en peso de ferrita, por ejemplo del 0 al 34 % aumento un 3 % la dureza para el ABS y un 2 % para el SAN; llegando a concluir que esta característica aumenta su rigidez y disminuye su elasticidad, ganando resistencia a la penetración esto debido a que se mezcla el polímero con un material de mayor dureza como lo es la ferrita, este comportamiento fue similar para los dos polímeros (Tablas A.26,A.27).[27]

4.4. Resiliencia o Rebote

Figura 4.14: Porcentaje de Resiliencia Vs porcentaje en peso de ferrita para el ABS y SAN



Los resultados de la prueba de resiliencia o rebote se muestran en la figura 4.14, en ella se puede observar una disminución al aumentar el % en peso de ferrita, esto se debe a que la ferrita es un material duro que no presenta propiedades de rebote como los materiales elásticos, al realizar la mezcla del polímero que es material duro, también como la ferrita esta propiedad tiende a disminuir, este comportamiento fue similar para los dos polímeros, la cantidad de energía absorbida por el material debido a los impactos aumenta (Tablas A.24,A.25).[28]

4.5. Análisis Térmico

4.5.1. TGA

Se observó que la resistencia térmica del ABS varió muy poco comparando los porcentajes en peso de ferrita del 0 y 34 %. La temperatura de degradación para la concentración del 0 % es de 408.72°C como se ilustra en la figura A.3. En el caso de la temperatura de degradación para la mezcla del 34 % el valor fue de 398.52°C como se ilustra en a figura A.4. La razón por la cual, las temperaturas son tan cercana es que la ferrita no varía el comportamiento térmico del polímero debido a que los intervalos de descomposición para los diferentes % en peso de ferrita se mantuvieron constantes de 380-460°C.

Para el ABS puro se trabajó con un peso de 20.6440 mg, presentándose una pérdida de peso en el 99.82 % (0.0371 mg debido a los volátiles) y un porcentaje de residuos del 4.080 % (0.8423mg). En la mezcla del 34 % se inició con 10.0490 mg al 100 % con una pérdida de peso en el 95.78 % (0.424 mg debido a los volátiles) y residuos del 33.51 % (3.367 mg), debido al contenido de ferrita en la muestra la cual es mucho más estable a temperaturas más elevadas. Según la Figura A.4 del TGA para la mezcla del 34 %, la trayectoria de la curva pérdida de peso por temperatura es similar a la del copolímero puro, con lo cual se demuestra la buena distribución de la ferrita en el copolímero para la mezcla. Si la distribución no hubiese sido así, se presentarían alteraciones en la curva que describiría la descomposición de cada compuesto por separado.

Se observó que la resistencia térmica del SAN varió muy poco comparando los porcentajes en peso de ferrita del 0 y 34 %. La temperatura de degradación para la concentración del 0 % es de 405.09°C como se ilustra en la figura A.5. En el caso de la temperatura de degradación para la mezcla del 34 % el valor fue de 398.54°C como se ilustra en la figura A.6. Esta leve variación se debe a lo mencionado anteriormente para la ferrita; La razón por la cual, las temperaturas son tan cercanas es que la ferrita no varía el comportamiento térmico del polímero debido a que los intervalos de descomposición para las diferentes concentraciones se mantuvieron constantes de 370-440°C. Para el SAN puro se trabajó con un peso de 14.5130 mg (100 %), presentándose una pérdida de peso en el 99.9 % (0.0145 mg debido a los volátiles) y un porcentaje de residuos del 0.001 %. En la mezcla del 34 % se inició con 11.4610 mg con una pérdida de peso en el 95.91 % de la muestra (0.469 mg debido a los volátiles) y residuos del 32.56 % (3.732 mg) debido al contenido de ferrita en la muestra.

Se puede concluir que el comportamiento de los dos polímeros es semejante, con el TGA se verificó la cantidad de ferrita en las mezclas y que se mantuvo estable el intervalo de temperaturas para las diferentes concentraciones; determinando que la ferrita no varió el comportamiento térmico del polímero.[2, 27]

4.5.2. DSC

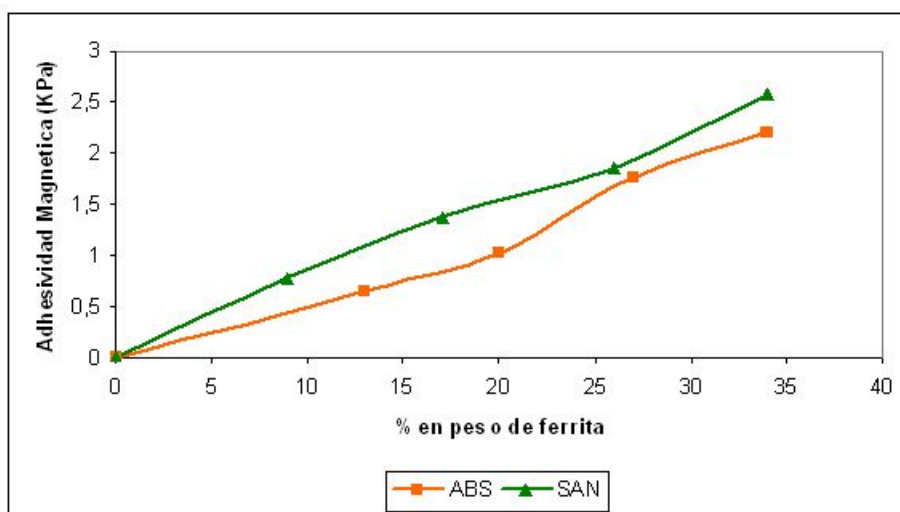
Estudiando las gráficas de ensayo de DSC para el ABS se observó una disminución en la temperatura de transición vítrea comparando con los porcentajes en peso del 13 y 34 % de ferrita. La temperatura de transición vítrea para el ABS 13 % fue de 107.51°C (Figura A.8), mientras que para la mezcla del 34 % fue de 103.18°C (Figura A.9). Lo anterior se justifica porque la ferrita al incrustarse en el copolímero, aumentó

la cantidad de espacios libres en la estructura del material, disminuyendo así la cantidad de energía necesaria para un desarreglo de las cadenas poliméricas. La temperatura de fusión de la ferrita es 1500°C (Figura A.7) determinando así, que la ferrita por tener un punto de fusión mayor, la temperatura de transición de la mezcla deberá disminuir en comparación de la temperatura del ABS puro. El punto de fusión para el ABS al 13 % fue 111.85°C y para la mezcla del 34 % fue 111.22°C . Esta disminución se encuentra dentro del mismo error experimental de la técnica un 2 %.

Analizando las figuras A.10 y A.11 del DSC para el SAN se observó una disminución de la temperatura de transición vítrea comparando las concentraciones del 9 y 34 % de ferrita. La temperatura de transición vítrea para el SAN 9 % fue de 105.43°C , mientras que para la mezcla del 34 % fue de 102.15°C . La justificación de esta disminución es la misma que para el ABS, debido a que los dos polímeros tienen el mismo comportamiento. En cuanto al punto de fusión se pudo observar una disminución comparando las concentraciones del 9 y 34 % de ferrita. El punto de fusión para el SAN 9 % fue de 109.32°C y para la mezcla del 34 % fue de 108.98°C . [2, 27, 25]

4.6. Adhesividad Magnética

Figura 4.15: Adhesividad Magnética Vs porcentaje en peso para el ABS y SAN



Mediante la figura 4.15 y de las tablas A.28, A.29 se puede observar como a medida que aumenta la el porcentaje en peso de la mezcla polímero/ferrita, aumenta su adherencia magnética y capacidad de imantación, siendo el polímero sin carga de ferrita, nula en su adherencia y en su inducción magnética. Su adherencia aumento casi directamente proporcional con el porcentaje en peso de ferrita y este comportamiento fue similar para los dos polímeros.

4.7. Inducción Remanente

A simple vista todas las mezclas ensayadas presentan el mismo comportamiento, a medida que se aumenta el porcentaje de ferrita se incrementa la fuerza magnética. Las Figuras 4.16,4.17 y tablas A.31, A.33 muestran mejor las tendencias del campo magnético de los respectivos polímeros magnéticos.

Figura 4.16: Inducción Remanente Vs porcentaje en peso de ferrita para el ABS polarizado

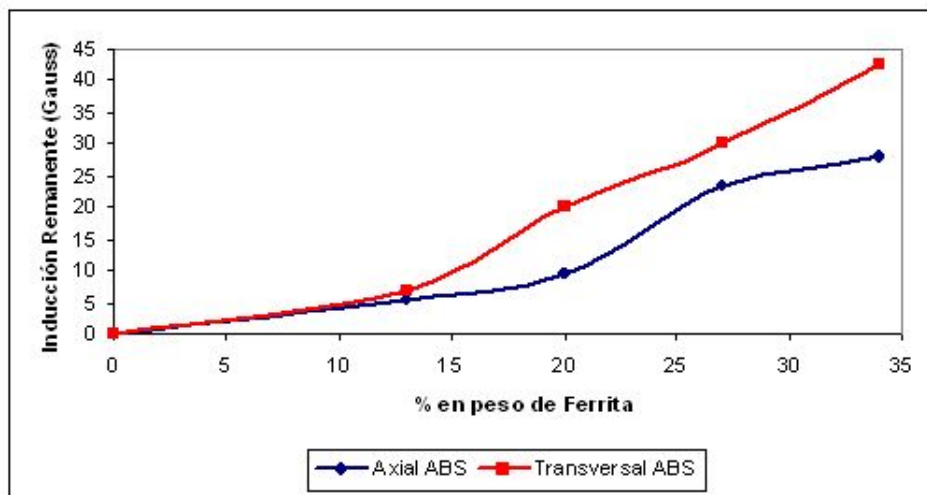
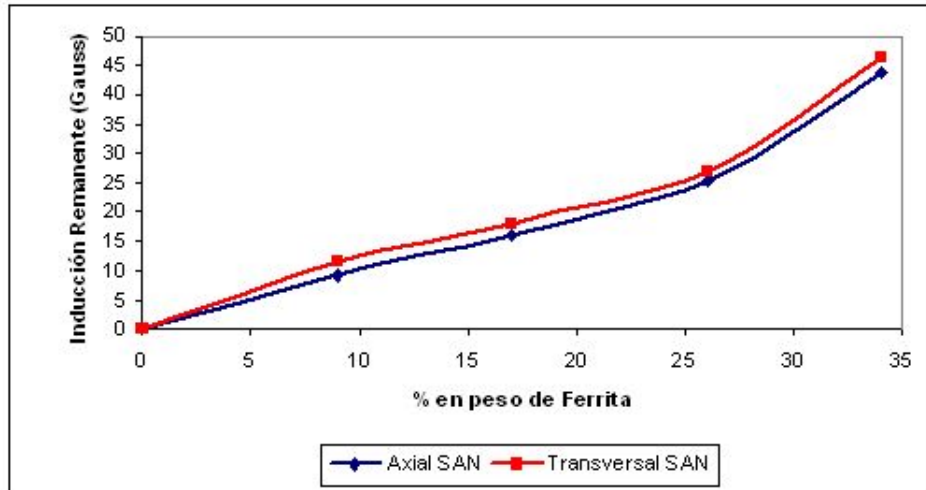


Figura 4.17: Inducción Remanente Vs porcentaje en peso de ferrita para el SAN polarizado



Podemos entonces concluir que el valor del campo magnético de las mezclas es una propiedad que depende de la porcentaje en peso de ferrita de bario ($BaFe_{12}O_{19}$) en polvo dentro de la mezcla porque a mayor porcentaje en peso de ferrita mayor inducción magnética.

Según las tablas A.30, A.32 se puede observar que las probetas no polarizadas presentan un campo magnético bajo comparado con los datos polarizados; así mismo se puede concluir que los datos de campo transversal para las probetas polarizadas fueron mas altos que los de campo axial, para los dos polímeros se obtuvo el mismo comportamiento. Estos valores posiblemente se pueden mejorar al someter el material a un campo magnético más fuerte como el producido por un electro-imán.[11]

4.8. Diseño preliminar y estudio de viabilidad de una planta para la producción de polímeros magnéticos ABS y SAN.

El estudio de viabilidad y el diseño preliminar se encuentran en los anexos 2 al 5 de los cuales se puede concluir que el montaje de la planta es viable y puede ser rentable ya que el VPN es positivo y el TIR es mayor a la tasa de oportunidad del proyecto.

Aunque se produce ganancia se recomienda realizar un estudio exploratorio a mayor escala en el futuro puesto que es un producto nuevo y no se conoce su aceptación en el mercado al momento de comenzar a producirlo en este país.

Su rentabilidad podría mejorar montando la planta en Bogotá por estar allí la fabrica que lo comercializa en Colombia, ahorrando costos de transporte; otra opción sería montar la planta cercana al país de Venezuela puesto que este es productor de estos polímeros.

Al comparar los polímeros magnéticos e industrias montadas existentes a nivel mundial se observa que el montaje de esta planta sería aceptable y rentable puesto que los países desarrollados están dando muchas aplicaciones a estos materiales (como el polietileno) y pueden aceptar nuevos polímeros con esta propiedad.

4.9. Aplicaciones

En la industria de las autopartes para automóviles estos productos podrían ser apreciados por tener los polímeros buenas propiedades físico-mecánicas y una propiedad adicional que es la adherencia a metales; los industriales de la juguetería se mostraron un tanto escépticos, frente a las características del polímero, ya que la aplicación de la nueva propiedad no es tan usada y tiene la desventaja de que las mezclas tienen un color opaco difícil de colorear, sin embargo en países más desarrollados los termoplásticos magnéticos ya se están aplicando en la línea de juguetería (pistas para carritos magnéticos) para vencer la fuerza de gravedad; mientras que los fabricantes de electrodomésticos, mostraron una aceptación al producto ya que puede ser de buena utilidad para esta rama en la fabricación de parte para televisores, neveras etc. Por otra parte objetos decorativos fabricados con estos materiales pueden ser adheridos mediante imanes en paredes con material ferromagnético.[1]

Capítulo 5

Conclusiones

- Se logró obtener y evaluar los polímeros magnéticos a partir de las resinas comerciales: Lustran ABS 248 y Lustran SAN 31 de aplicación industrial. El polímero magnético se obtuvo al mezclar cada muestra original con polvo de ferrita en diferentes proporciones.
- A partir de los datos de esfuerzo-deformación de las muestras de los polímeros magnéticos obtenidos, se puede decir que la carga magnética de relleno actúo como reforzante, de esta manera el polvo de ferrita es una alternativa dentro de los materiales de refuerzo de los polímeros, con la ventaja que aumenta la adherencia del polímero magnético a superficies metálicas, sin embargo su porcentaje de elongación se ve disminuido con el aumento del porcentaje de ferrita, adquiriendo mas rigidez y menor flexibilidad.
- La mezcla 17-26 % de polímero y material magnético, obtuvo las propiedades más adecuadas para ser utilizado como material a nivel industrial ya que cumplió con los mejores requerimientos de rigidez, dureza, adhesividad magnética e inducción remanente. Las propiedades físico-mecánicas disminuyen en un porcentaje mínimo, es decir, el material pierde levemente las propiedades originales, pero adquiere una nueva propiedad como lo es la magnética. En cuanto a la resistencia térmica la ferrita no altera el comportamiento térmico del polímero. Teniendo en cuenta las propiedades de estos materiales se percibe la posibilidad de aplicación en la industria de autopartes, juguetería, electrodomésticos y decoración.

- Al someter las mezclas de los polímeros, a condiciones de extrema degradación, estas presentaron pequeñas variaciones de desmejoramiento a medida que aumentaba el tiempo de envejecimiento e intensificaban con el aumento de la ferrita, estos cambios se apreciaron en las pruebas físico-mecánicas y las de impacto, concluyendo que estos materiales presentan poca degradación a la exposición al medio ambiente durante un tiempo prolongado.

Capítulo 6

Recomendaciones

- Se recomienda estudiar la polarización electrostática al material compuesto (polímero - ferrita), puesto que con ello se podría lograr una mayor inducción remanente en la superficie del polímero, mejorando sus propiedades magnéticas.
- Es aconsejable realizar dos pasadas por el mini-extrusor para obtener una mezcla mas homogénea o en su efecto un extrusor con mayor longitud de tornillo sinfín (cavidades secuenciales).
- Estos polímeros por ser rígidos son aconsejables para su moldeo procesarlos por el método de inyección, por que este método podría mejora la mezcla ferrita/polímero evitando la formación de burbujas y formando polímeros magnéticos homogéneos.

Bibliografía

- [1] Alonso. Asunción. Características y mercado de los polimeros acrilicos abs, san. *Revista de plasticos modernos*, pages 410–413, 2003.
- [2] A. Bello. Propiedades termicas de los polimeros ii. *Revista plasticos modernos*, 348:669–676, 1985.
- [3] Norbert Bikales M. *Characterization of polymers, Mechanicals properties of polymers*. Enciclopedia Reprints, Wiley-Interciencia, 1971.
- [4] Cachi Pessani Franco Bodini Giani. *Moldes y maquinas de inyección para la transformación de los plasticos*. McGraw Hill, 1992.
- [5] Josef Briceño. *Prediction of polymer properties*. segunda Edición, 1996.
- [6] Dupont CD. *Extrusión y coextrusión. Informativo departamento de polimeros*. Delaware. USA, 1986.
- [7] Donals G. Collias, Dimitris. Baird. Impact behavior of microcellular foams of ps and san, and single-edge-hotched tensile toughnes of microcelluler foams or ps. *Polymers Engineering of science*, 35:1178–1183, 1995.
- [8] Mike Connor. Properties and processing of resin improved by specially chemicals. *Moderns plastics*, Mid-November:c–3, 1996.
- [9] Instituto Colombiano de Normas Tecnicas. *Norma Tecnica Colombiana NTC, Plastics. Test Method for Tensile Propierties of Plastics*. Bogotá, Icontec, 2003.
- [10] Collar E.P. propiedades y ensayos de los materiales plasticos i. esfuerzos normales. *Revista de plasticos modernos*, 475:32–41, 1996.

- [11] Alvaro Ramirez G. *Polimerización. Principios de química y diseño*. Universidad industrial de santander. Escuela ingeniería química, 1987.
- [12] <http://www.abraton.com>.
- [13] <http://www.matches.com>.
- [14] <http://www.monografias.com/trabajos5/plasti/plasti>.
- [15] <http://www.psrc.usm.edu/macrog/plastic.htm>.
- [16] Ash Irene and Michael. *Encyclopedia of plastics, polymers, and residus*. Chemical publisher, New York, 1982.
- [17] Andrés. Karcz. *Electrometría de materiales Magnéticos*. Ediciones Técnicas Marcombo S.A. Barcelona, 1960.
- [18] Taylor James. Kinnear, Thomas. *Investigación de mercados: Un enfoque aplicado*. México: Mc Graw Hill, 1998.
- [19] J.M. La Costa Berna. El envejecimiento ambiental de los materiales polimericos. características para su evaluación y metodos de ensayo (i parte, ii parte). *Revista de plasticos modernos*, 415,416:125–129,226–236, 1991.
- [20] J.M. La Costa Berna. Ensayo de impacto de materiales plasticos. *Revista de plasticos modernos*, 448:381–389, 1993.
- [21] J.M. La Costa Berna. Preparación y acondicionamiento de propbetas para ensayo (parte i,ii). *Revista de plasticos modernos*, 456,457:597,54–61, 1994.
- [22] Dreyer W. Ludwingshafen. La extrucción de materiales termoplasticos. *Revista Kunststoffe plasticos*, 2:41–48, 1970.
- [23] Ramón Ortueta. *Materiales Magnéticos: Teoría, Metalurgia y Aplicaciones*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Madrid, 1995.
- [24] Cesar;Villamizar Gonzalo Pereira. *Estudio de las modificaciones reologicas y fisico-mecanicas de la resina termoplastica ABS mediante la utilización de un aditivo solido de silicona/poliestireno*. Tesis. universidad industrial de santander, 1999.

- [25] Jose Manuel. Pereña Conde. Calorimetria diferencial de barrido modulada en temperatura. un paso mas en el estudio de las propiedades termicas de los polimeros. *Revista de plasticos modernos*, 487:26–31, 1997.
- [26] Leverkusen. Schneider K. *Polimerización de ABS,SAN y ASA. Plasticos Universales*. 1981.
- [27] Raimond B. Seymour. *Introducción a la quimica de los polimeros*. Editorial Reverte, S.A., 1995.
- [28] William F. Smith. *fundamentos de la ciencia e ingenieria de los materiales*. II edición. McGraw Hill, 1994.
- [29] Rodriguez Carlos Vargas Alba. *Estudio reologico y fisico- mecanico de las mezclas polimericas SAN/aditivo solido de silicona/poliestireno*. Tesis. universidad industrial de santander, 2000.
- [30] Gultinan Joseph y colaboradores. *Gerencia de Marketing: estrategias y programas*. Bogotá: Mc Graw Hill, 2000.

Anexo A

Tablas

A.1. Tablas Esfuerzo-Deformación para el ABS

Tabla A.1: Esfuerzo tensión-deformación ABS 0 %

Probeta	Espesor(mm)	Ancho (mm)	Esfuerzo (N)	Elongación (mm)
1	2.14	6.51	708	6.4
2	2.14	6.26	628	5.45
3	2.12	6.27	681	4.7
4	2.11	6.22	631	4.6
5	2.12	6.37	678	6.3

Tabla A.2: Esfuerzo tensión-deformación ABS 13 %

Probeta	Espesor(mm)	Ancho (mm)	Esfuerzo (N)	Elongación (mm)
1	2.29	6.43	652	5.4
2	2.27	6.26	689	5.15
3	2.26	6.22	665	4.95
4	2.24	6.18	648	5.2
5	2.27	6.22	643	5.3

Tabla A.3: Esfuerzo tensión-deformación ABS 20 %

Probeta	Espesor(mm)	Ancho (mm)	Esfuerzo (N)	Elongación (mm)
1	2.31	6.42	638	4.8
2	2.28	6.26	626	4.25
3	2.26	6.26	613	6.5
4	2.23	6.21	610	4.35
5	2.25	6.36	623	5.15

Tabla A.4: Esfuerzo tensión-deformación ABS 27 %

Probeta	Espesor(mm)	Ancho (mm)	Esfuerzo (N)	Elongación (mm)
1	2.31	6.42	580	4.9
2	2.28	6.20	622	5.3
3	2.34	6.21	566	5.5
4	2.26	6.18	584	4.75
5	2.4	6.45	585	4.6

Tabla A.5: Esfuerzo tensión-deformación ABS 34 %

Probeta	Espesor(mm)	Ancho (mm)	Esfuerzo (N)	Elongación (mm)
1	2.24	6.37	536	3.9
2	2.17	6.14	541	5.3
3	2.18	6.16	546	3.55
4	2.15	6.11	548	4.05
5	2.16	6.18	538	4.2

Tabla A.6: Esfuerzo tensión-deformación ABS

% en peso de Ferrita	Extensión (mm)	Esfuerzo (MPa)	Deformación Unitaria (mm/mm)	Modulo de Elasticidad (MPa)
0	5.5	47.5	0.157	302.548
13	5.2	47.071	0.149	315.913
20	5.1	44.29	0.146	304.308
27	5	41.929	0.143	293.21
34	4.85	38.714	0.139	278.518

A.2. Tablas Esfuerzo-Deformación para el SAN

Tabla A.7: Esfuerzo tensión-deformación SAN 0 %

Probeta	Espesor(mm)	Ancho (mm)	Esfuerzo (N)	Elongación (mm)
1	2.17	6.36	981	3.34
2	2.17	6.22	935	3.05
3	2.18	6.20	1039	3.31
4	2.19	6.25	901	2.57
5	2.21	6.32	1073	4.12

Tabla A.8: Esfuerzo tensión-deformación SAN 9 %

Probeta	Espesor(mm)	Ancho (mm)	Esfuerzo (N)	Elongación (mm)
1	2.14	6.50	921	2.71
2	2.14	6.30	956	3.47
3	2.15	6.50	1065	3.025
4	2.14	6.27	961	3.075
5	2.17	6.31	899	2.38

Tabla A.9: Esfuerzo tensión-deformación SAN 17%

Probeta	Espesor(mm)	Ancho (mm)	Esfuerzo (N)	Elongación (mm)
1	2.15	6.30	923	2.995
2	2.11	6.20	828	2.12
3	2.12	6.21	874	1.74
4	2.11	6.21	886	3.05
5	2.12	6.24	999	2.755

Tabla A.10: Esfuerzo tensión-deformación SAN 26 %

Probeta	Espesor(mm)	Ancho (mm)	Esfuerzo (N)	Elongación (mm)
1	2.12	6.30	855	2.645
2	2.10	6.25	905	2.090
3	2.088	6.24	904	2.85
4	2.092	6.22	875	2.455
5	2.10	6.29	828	2.315

Tabla A.11: Esfuerzo tensión-deformación SAN 34 %

Probeta	Espesor(mm)	Ancho (mm)	Esfuerzo (N)	Elongación (mm)
1	2.16	6.28	927	2.38
2	2.16	6.25	586	1.84
3	2.17	6.25	614	2.755
4	2.16	6.24	633	2.51
5	2.17	6.31	898	2.23

Tabla A.12: Esfuerzo tensión-deformación SAN

% en peso de Ferrita	Extensión (mm)	Esfuerzo (MPa)	Deformación Unitaria (mm/mm)	Modulo de Elasticidad (MPa)
0	3.3	70.429	0.094	749.245
9	2.93	68.571	0.084	816.321
17	2.53	64.429	0.072	894.847
26	2.47	62.357	0.071	878.267
34	2.34	52.286	0.069	757.768

A.3. Tablas Esfuerzo-Deformación para el ABS Envejecido

Tabla A.13: Esfuerzo (N) para el ABS envejecido a diferentes porcentajes en peso de ferrita

Horas Envejecidas	Tiempo real simulado (meses)	0	13	20	27	34
0	0	665	661	640	626	555
300	12.21	663	650	620	615	548
600	24.42	662	646	616	608	540
1000	40.70	660	643	613.5	600	536

Tabla A.14: Extensión (mm) para el ABS envejecido a diferentes porcentajes en peso de ferrita

Horas Envejecidas	Tiempo real simulado (meses)	0	13	20	27	34
0	0	6.1	5.4	5.1	5.0	4.2
300	12.21	6.9	6.6	5.9	5.4	3.9
600	24.42	6.82	6.2	5.48	5.2	3.3
1000	40.70	3.85	3.45	3.2	3.1	2.9

Tabla A.15: Esfuerzo de cadencia (MPa) para el ABS envejecido a diferentes porcentajes en peso de ferrita

Horas Envejecidas	0	13	20	27	34
0	47.5	47.214	45.714	44.714	39.643
300	47.357	46.429	44.286	43.929	39.143
600	47.286	46.143	44	43.429	38.571
1000	47.143	45.929	43.821	42.857	38.286

Tabla A.16: Modulo de elasticidad (MPa) para el ABS envejecido a diferentes porcentajes en peso de ferrita

Horas Envejecidas	0	13	20	27	34
0	272.99	306.58	313.1	312.69	330.36
300	240.39	245.65	262.04	285.25	352.64
600	242.49	260.694	280.25	297.45	360
1000	428.57	463.92	479.44	483.71	492

A.4. Tablas de Esfuerzo-deformación para el SAN Envejecido.

Tabla A.17: Esfuerzo (N) para el SAN envejecido a diferentes porcentajes en peso de ferrita

Horas Envejecidas	Tiempo real simulado (meses)	0	9	17	26	34
0	0	1073	995	986	925	898
300	12.21	1024	960	966	830	791
600	24.42	993.5	925	896	796	760
1000	40.70	954.5	853	822	760	722

Tabla A.18: Extensión (mm) para el SAN envejecido a diferentes porcentajes en peso de ferrita

Horas Envejecidas	Tiempo real simulado (meses)	0	9	17	26	34
0	0	3.3	2.93	2.53	2.37	2.34
300	12.21	2.675	2.3	2.1	1.9	1.85
600	24.42	2.54	2.19	2.00	1.77	1.67
1000	40.70	2.34	2.00	1.8	1.62	1.47

Tabla A.19: Esfuerzo de cadencia (MPa) para el SAN envejecido a diferentes porcentajes en peso de ferrita

Horas Envejecidas	0	9	17	26	34
0	76.643	71.071	70.429	66.071	64.143
300	73.143	68.571	69.	59.286	56.5
600	70.964	66.071	64	56.857	54.286
1000	68.179	60.929	58.714	54.286	51.571

Tabla A.20: Modulo de elasticidad (MPa) para el SAN envejecido a diferentes porcentajes en peso de ferrita

Horas Envejecidas	0	9	17	26	34
0	813.62	849.11	940	945	957.34
300	957.37	1025.69	1105	1125	1150
600	978.81	1057.13	1110	1130	1148
1000	1020.64	1067.05	1142.29	1172.48	1227.88

A.5. Tablas Resistencia al Impacto Izod

Tabla A.21: Resistencia al impacto Izod para el ABS

% de ferrita ABS	0	13	20	27	34
Resistencia al impacto Izod(lb-ft)	1.735	1.5	1.3	1.2	1.1

Tabla A.22: Resistencia al impacto Izod para SAN

% de ferrita SAN	0	9	17	26	34
Resistencia al impacto Izod (lb-ft)	1.086	1.075	1.055	1.045	1.0

Tabla A.23: Resistencia al impacto Izod para el ABS envejecido

% ferrita/horas envejecidas	0	13	20	27	34
0	1.735	1.5	1.3	1.2	1.1
300	1.6	1.4	1.2	1.0	0.9
600	1.6	1.3	1.2	1.0	0.9
1000	1.6	1.2	1.1	1.0	0.85

A.6. Tablas de Resiliencia o rebote

Tabla A.24: Evaluación de la resiliencia para cada porcentaje en peso de ABS

% en peso de Ferrita	0	13	20	27	34
Resiliencia	35	33	30	24	23

Tabla A.25: Evaluación de la resiliencia para cada porcentaje en peso de SAN

% en peso de Ferrita	0	9	17	26	34
Resiliencia	33.5	30	28	23.5	21.5

A.7. Tablas de Dureza

Tabla A.26: Variación de la dureza para cada porcentaje en peso para el ABS

% en peso de Ferrita	0	13	20	27	34
Dureza Shore tipo D	79	79.5	79.75	80.75	81.33

Tabla A.27: Variación de la dureza para cada porcentaje en peso para el SAN

% en peso de Ferrita	0	9	17	26	34
Dureza Shore tipo D	84.75	85	85.5	85.75	86.5

A.8. Tablas de Adhesividad Magnética

Tabla A.28: Evaluación de la adhesividad para cada porcentaje en peso para el ABS

% en peso de Ferrita	0	13	20	27	34
Pascales	0	650.1923	1017.6923	1760.3846	2205.000

Tabla A.29: Evaluación de la adhesividad para cada porcentaje en peso para el SAN

% en peso de Ferrita	0	9	17	26	34
Pascales	0	774.57692	1373.88462	1845.03846	2564.96154

A.9. Tablas de Inducción Remanente

Tabla A.30: Datos sin Polarización para el ABS

% en peso de Ferrita	Axial	Transversal
13	1.55	00.75
20	1.9	00.85
27	2.15	1.8
34	2.45	2.3

Tabla A.31: Datos Polarizados para el ABS

% en peso de Ferrita	Axial	Transversal
13	5.45	7
20	9.5	20.15
27	23.55	30
34	28.1	42.5

Tabla A.32: Datos sin Polarización para el SAN

% en peso de Ferrita	Axial	Transversal
9	00.85	00.9
17	1.3	1.2
26	1.85	1.55
34	2.1	1.85

Tabla A.33: Datos Polarizados para el SAN

% en peso de Ferrita	Axial	Transversal
9	9.35	11.45
17	16	18
26	25.25	27.1
34	43.85	46.25

A.10. Gráficas Esfuerzo - Deformación

Figura A.1: Esfuerzo Vs Deformación para el ABS

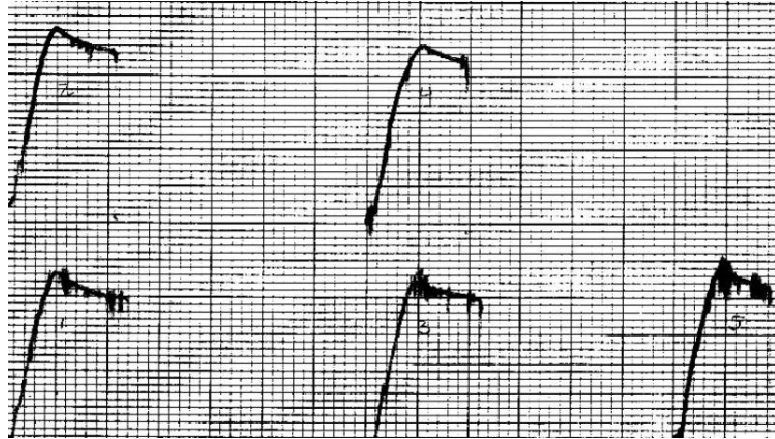
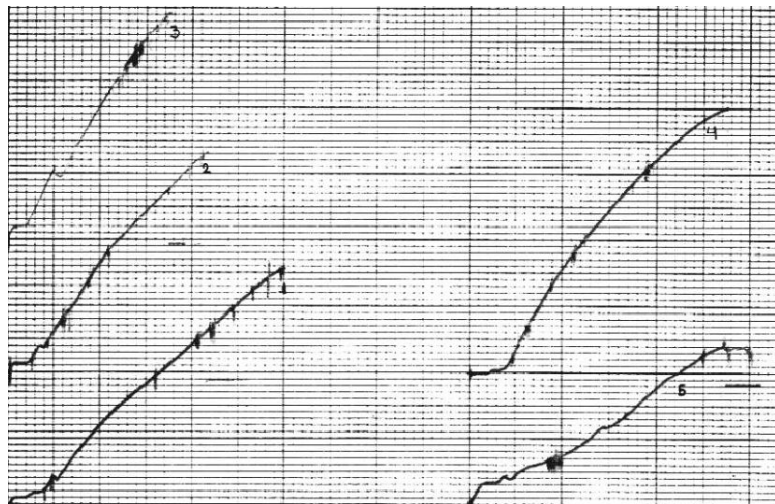


Figura A.2: Esfuerzo Vs Deformación para el SAN



A.11. Gráficas de Análisis Térmico

Figura A.3: Análisis térmico para el ABS puro por la técnica del TGA

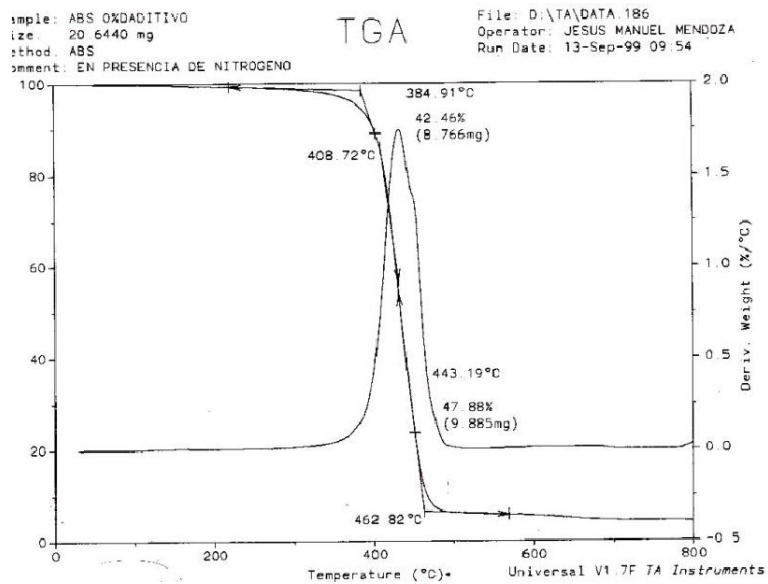


Figura A.4: Análisis térmico para la mezcla ABS/ferrita al 34 % por la técnica del TGA

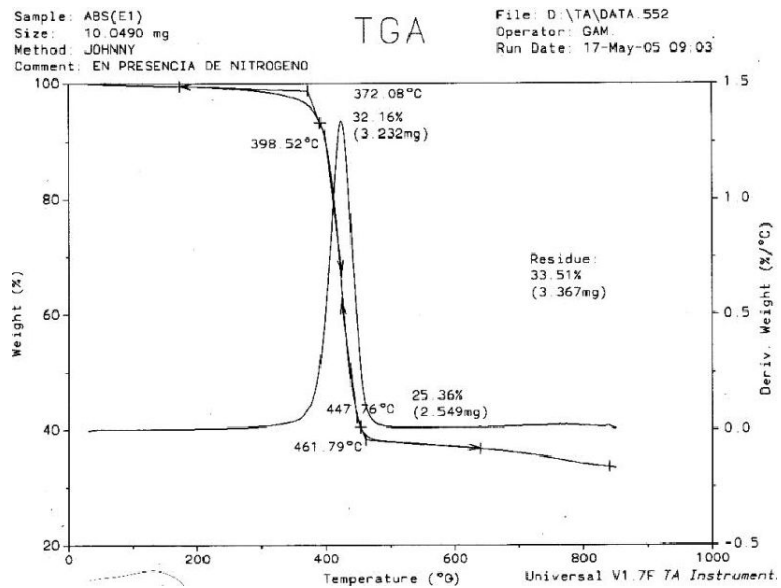


Figura A.5: Análisis térmico para el SAN puro por la técnica del TGA

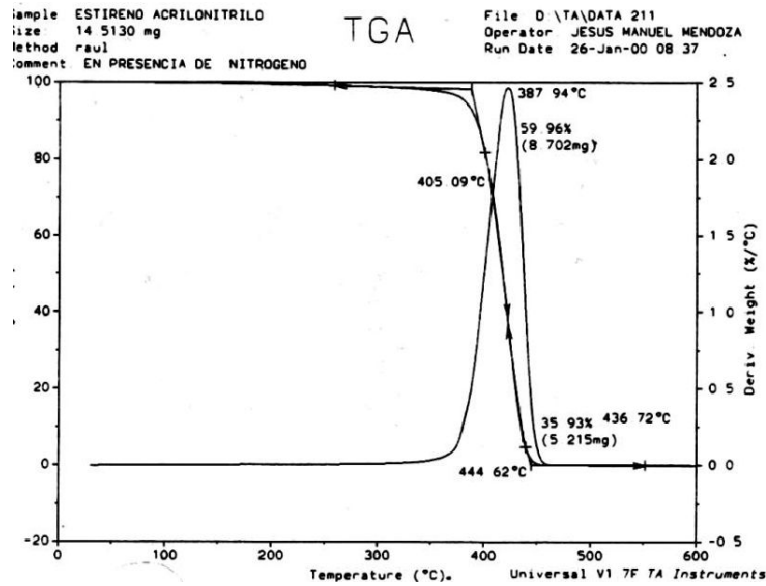


Figura A.6: Análisis térmico para la mezcla SAN/ferrita al 34 % por la técnica del TGA

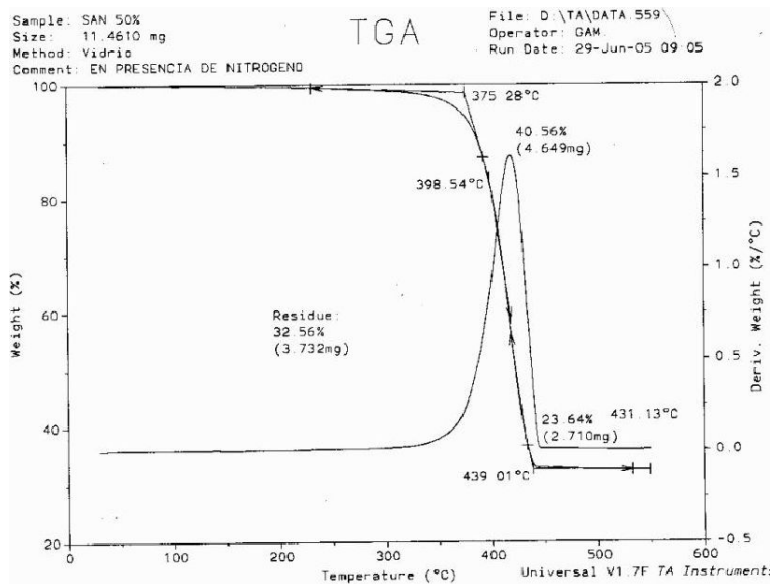


Figura A.7: Análisis térmico para la ferrita pura por la técnica del TGA

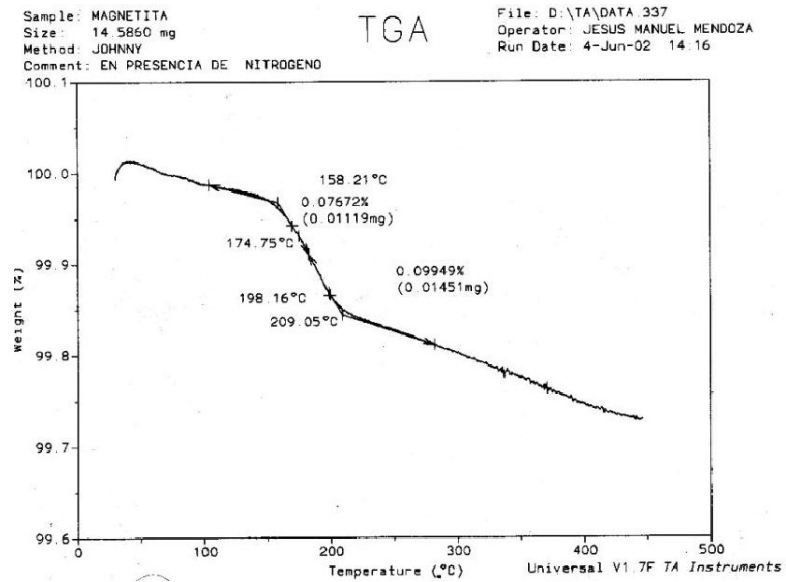


Figura A.8: Análisis térmico para la mezcla ABS/ferrita al 9% por la técnica del DSC

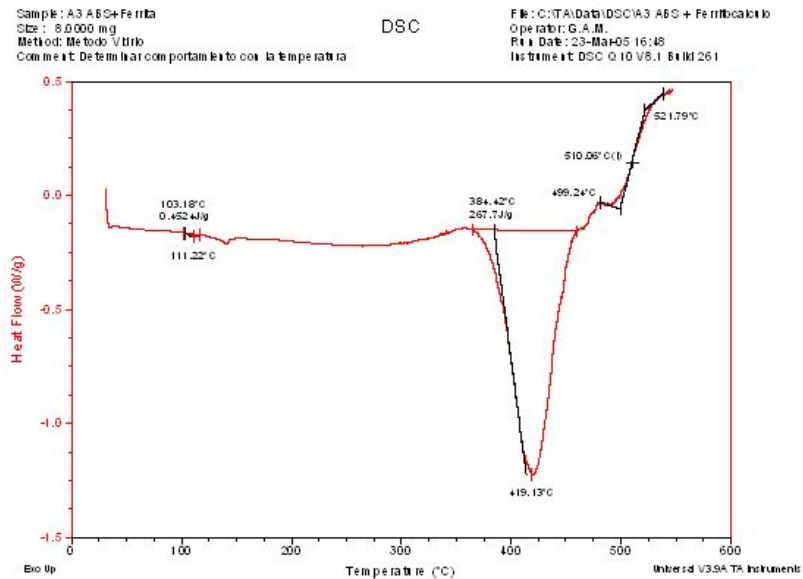


Figura A.9: Análisis térmico para la mezcla ABS/ferrita al 34 % por la técnica del DSC

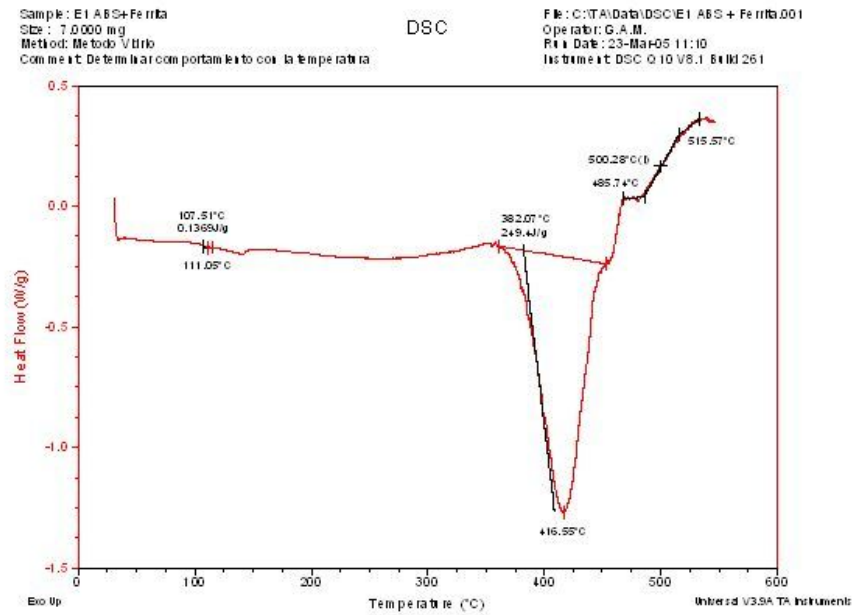


Figura A.10: Análisis térmico para la mezcla SAN/ferrita al 10 % por la técnica del DSC

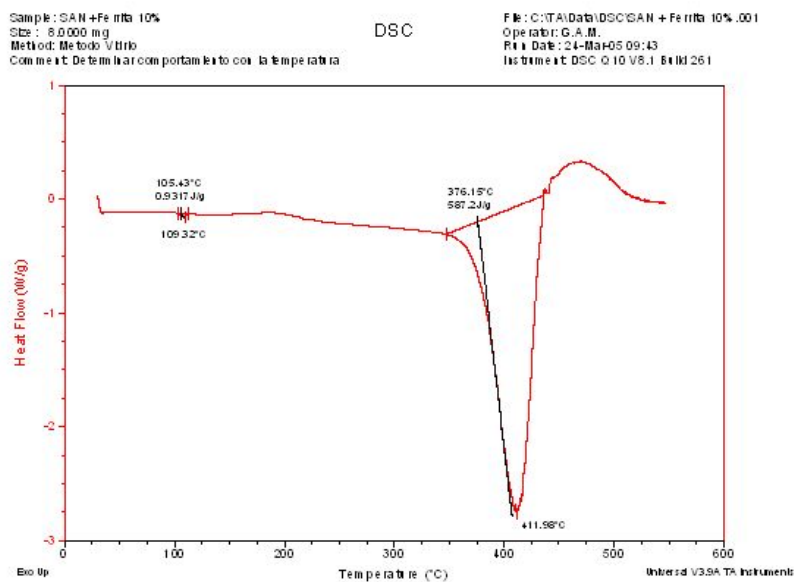
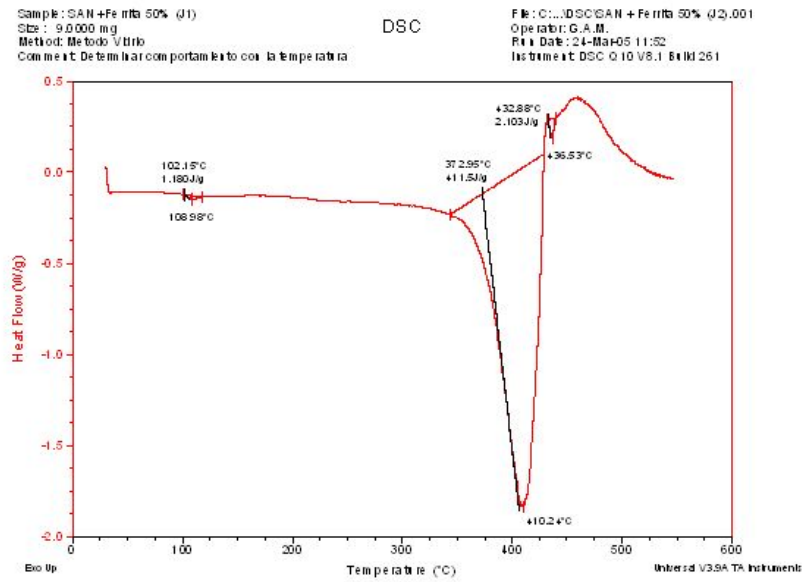


Figura A.11: Análisis térmico para la mezcla SAN/ferrita al 34% por la técnica del DSC



Anexo B

Análisis de Mercado

- Estrategias para la encuesta

El diseño fue de corte transversal, dado que, para el análisis y evaluación se partió de una muestra de los elementos de una población, realizando una sola medición (en un solo período de tiempo).

- Población

Para la realización de la investigación, se procedió con un análisis de la demanda (consumo industrial) y la oferta del polímero ABS y SAN (productores del producto industrial).

- Población de la demanda.

Para este estudio, a juicio nuestro y basados en fuentes secundarias, se consideraron los cinco sectores que consumen la mayor cantidad de polímero comercial en el país: automóvil, electrodomésticos, juguetes, electricidad y electrónica y construcción.

Para el análisis de la demanda, se determinó un número de empresas que a nivel nacional son los consumidores industriales, para identificar sus expectativas respecto a la innovación tecnológica de este tipo de producto industrial, pero con características magnéticas.

- Población de oferta.

Permite dimensionar el tamaño de la futura competencia u oferta del polímero magnético, para lo cual se establecen dos criterios de análisis:

1. La producción histórica de los últimos 5 años en Colombia, basada en registros estadísticos.
2. La producción histórica de los últimos 5 años a nivel internacional, basada en registros estadísticos. [18, 12]

Tabla B.1: Estratos de Consumo Industrial de polímeros ABS y SAN

Estrato de consumo	Unidades poblacionales	Participación
Automóviles	N1=46	33.6 %
Electrodomésticos	N2=35	24.3 %
Juguetes	N3=30	19.3 %
Electricidad y Electrónica	N4=25	12.5 %
Construcción	N5=15	10.3 %
Total	N=151	100 %

- Muestra de usuarios.

El tamaño de la muestra (unidades poblacionales a encuestar) para la demanda de servicios se obtuvo aplicando la correlación empírica probabilística, que es aplicable cuando existe una población finita pequeña, del orden de $N < 5000$ unidades

$$N = \frac{Z * P * Q * N}{e^2 * (N - 1) + P * Q * Z} = 37 \text{ consumidores industriales}$$

Donde: Z = parámetro normal de Gauss, para un nivel de confiabilidad. Para alcanzar resultados de buena verosimilitud, se tomó una confiabilidad del 95%, probabilidad para la cual le corresponde un parámetro de $Z = 1.96$

e = error de estimación, dado a criterio de los investigadores = 5 % = 0.05

P = probabilidad de éxito del experimento, asumido homogéneamente = 50 %

$Q = 1 - P = 0.5$ = probabilidad de fracaso del experimento

N = Población Objetivo = 151 unidades poblacionales

El tipo de muestreo usado fue el estratificado y el criterio conceptual de selección de los 37 sujetos de investigación, estuvo basado en los siguientes 5 estratos descritos en la tabla B.2.[30, 1]

Tabla B.2: Selección de la muestra

Estrato de Consumo	Proporción Muestral	Unidades Muestrales
Automóviles	33.6 %	n1=11
Electrodomésticos	24.3 %	n2=9
Juguetes	19.3 %	n3=7
Electricidad y Electrónica	12.5 %	n4=6
Construcción	10.3 %	n5=4
Total	100 %	n=37

La selección de los elementos muestrales a encuestar, dentro de cada submuestra fue de forma aleatoria simple e independiente, donde cualquier empresa del respectivo sector industrial de consumo tuvo la misma probabilidad de ser escogida. Para ello se consultó el registro de empresas relacionadas en Directorio Industrial Colombiano.

- Fuentes y técnicas para la recolección de la información.

Para la recolección de información necesaria de la demanda colombiana, se aplicó una encuesta (Anexo 4) vía internet, fax o telefónica, dada la imposibilidad de practicarla en forma personalizada, por encontrarse la gran mayoría de consumidores, en ciudades como Medellín, Bogotá, Cali, Cartagena y Barranquilla.

La información de la oferta o productores competencia se obtuvo de fuentes secundarias, consultada por registros estadísticos de producción, a nivel mundial, dado que Colombia no es productor de este tipo de polímeros.

Anexo C

Resultados de la encuesta

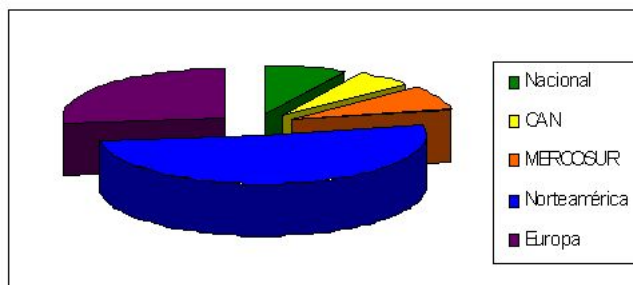
- ¿Qué tipo de proveedor (procedencia) prefiere para la adquisición de su materia prima industrial?

En la tabla C.1 describe la frecuencia (relativa) y los porcentajes o peso ponderado de los cuantificadores del mercado; mientras que la figura C.1, ilustra gráficamente dicho comportamiento en el mercado.[12]

Tabla C.1: Procedencia del polímero consumido en Colombia

Proveedor	Frecuencia	Porcentaje
Nacional	3	8.1 %
CAN	2	5.4 %
MERCOSUR	3	8.1 %
Norteamérica	19	51.4 %
Europa	10	27 %
Total	37	100 %

Figura C.1: Procedencia del polímero consumido en Colombia



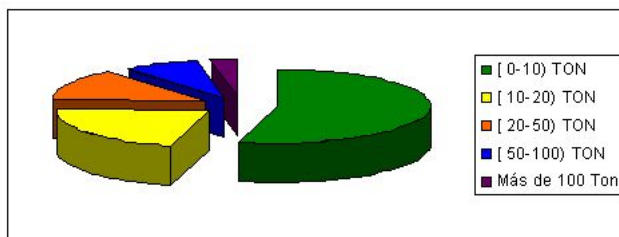
- ¿Cuál es el volumen de consumo anual de polímero?

En la tabla C.2 describe la frecuencia (relativa) y los porcentajes o peso ponderado de los cuantificadores del mercado; mientras que la figura C.2, ilustra gráficamente dicho comportamiento en el mercado.

Tabla C.2: Volumen de consumo anual de polímero en Colombia

Cantidad (ton)	Frecuencia	Porcentaje
0-10	20	54
10-20	8	21.7
20-50	5	13.5
50-100	3	8.1
Mas de 100	1	2.7
Total	37	100

Figura C.2: Volumen de consumo anual de resina en Colombia



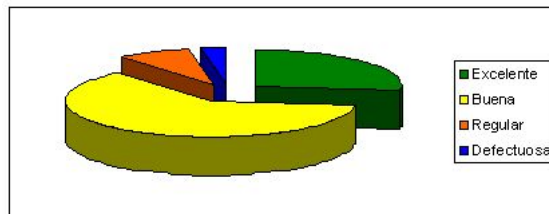
- ¿Cuál es el nivel de calidad de la materia prima así adquirida?

En la tabla C.3, describe la frecuencia (relativa) y los porcentajes o peso ponderado de los cuantificadores del mercado; mientras que la figura C.3, ilustra gráficamente dicho comportamiento en el mercado.

Tabla C.3: Nivel de calidad del polímero consumido industrialmente en Colombia

Calificación	Frecuencia	Porcentaje
Excelente	10	27
Buena	23	62.2
Aceptable	3	8.1
Defectuosa	1	2.7
Total	37	100

Figura C.3: Nivel de calidad de la resina de poliéster consumida industrialmente en Colombia



- ¿Hacia que destino (clientes) despacha o exporta sus productos fabricados con estos polímeros?

En la tabla C.4, se describe la frecuencia (relativa) y los porcentajes o peso ponderado de los cuantificadores del mercado.

Tabla C.4: Destino de los productos fabricados en Colombia con estos polímeros

Cliente	Frecuencia	Porcentaje
Nacional	20	54
CAN	7	19
MERCOSUR	5	13.5
Norteamérica	2	5.4
Europa	3	8.1
Total	37	100

- Describa su percepción sobre la aplicación que su industria haría de un polímero innovado, con características magnéticas

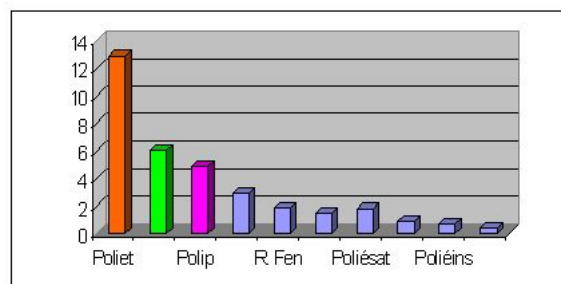
En la tabla C.5, describe la frecuencia (relativa) y los porcentajes o peso ponderado de los cuantificadores del mercado; mientras que la figura C.4, ilustra gráficamente dicho comportamiento en el mercado.

Teniendo en cuenta que este producto aún no se está produciendo a escala industrial, se considera pertinente presentar una relación de la producción consolidada (2002) de sus productos sustitutos (poliméricos) y su principal producto sustituto, el poliéster termoplástico. En el año 2002, se produjeron en Estados Unidos cerca de 40 millones de toneladas métricas de polímeros, con la distribución mostrada en la tabla C.5. [12]

Tabla C.5: Producción de polímeros en USA (2002)

Tipo de polímero	Producción (10^9 Kg)
Polietileno	12.9
PVC	6.03
Polipropileno	4.82
Poliestireno	2.89
Resinas Fenolicas	1.83
ABS-SAN	1.48
Poliester	1.49
Resinas tipo Urea	0.90
Poliester insaturado	0.65
Nylon	0.41
Epoxi	0.31
Resinas tipo melanina	0.18
Otros plásticos vinílicos	0.11

Figura C.4: Producción de productos poliméricos en el año 2002



Anexo D

Encuesta a consumidores industriales

La Escuela de Ingeniería Química de la Universidad Industrial de Santander está realizando un estudio exploratorio sobre consumo industrial de polímeros de ABS y SAN reforzadas y/o magnéticos, a nivel nacional. Agradecemos su colaboración y sinceridad en el diligenciamiento de la presente encuesta.

NOMBRE DE LA EMPRESA: _____ CIUDAD _____

SECTOR INDUSTRIAL: Automóviles ___ Electrodomésticos ___ Juguetes ___
Electricidad y electrónica _ Construcción _____

NOMBRE DEL ENCUESTADOR: _____ FECHA _____

1. ¿Qué tipo de proveedor (procedencia) prefiere para la adquisición de su materia prima industrial?

- a. Nacional.
- b. Países de la CAN (Comunidad Andina de Naciones).
- c. Países del MERCOSUR.
- d. Norteamérica.
- e. Europa

2. ¿Cuál es el volumen de consumo anual de polímero?

- a. 0 -10 toneladas.
- b. 10- 20 toneladas.
- c. 20 -50 toneladas.

d. 50- 100 toneladas.

e. Más de 100 toneladas.

3. ¿Cuál es el nivel de calidad de la materia prima así adquirida?

a. Excelente.

b. Buena.

c. Aceptable.

d. Defectuosa.

4. ¿Hacia que destino (clientes) despacha o exporta sus productos fabricados con estos polímeros?

a. Nacional.

b. Países de la CAN (Comunidad Andina de Naciones).

c. Países del MERCOSUR.

d. Norteamérica.

e. Europa.

5. Describa su percepción sobre la aplicación que su industria haría de un polímero innovado, con características magnéticas.

GRACIAS POR SU COLABORACIÓN.

Anexo E

Diseño y viabilidad preliminar de una planta para la producción de polímeros magnéticos de ABS y SAN.

En esta sección se estudiará la posibilidad del montaje de una planta de producción de polímero magnético, primero diseñando conceptualmente el proceso y luego realizando la respectiva evaluación económica. [15]

E.1. Diseño conceptual de la planta

En esta sección se describirá el proceso, seleccionando y definiendo los equipos necesarios para la producción de 1.5 toneladas de polímero magnético mensual.

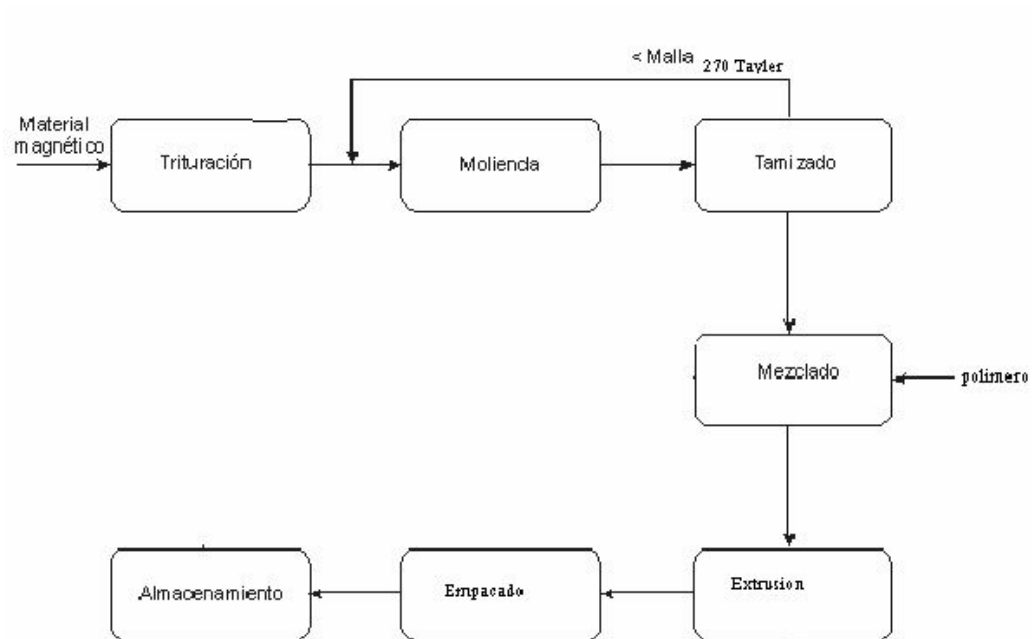
E.2. Localización de la planta

La planta estaría ubicada en el parque industrial de Girón Santander debido a su cercanía con la materia prima, como lo es el material magnético en las cacharrerías de Bucaramanga y el área metropolitana, el polímero debe transportarse de Bogotá por una alianza con la empresa Basf. Química Colombia S.A. que lo importa y es una de las mas reconocidas.

E.3. Descripción del proceso

En la gráfica E.1 se muestra el diagrama de flujo de una planta de producción de polímero magnético:

Figura E.1: Diagrama de Bloques



Trituración:

La trituración se realiza en una trituradora de mandíbula tipo Blake, hecha en acero inoxidable 304, ya que este tipo de acero pierde sus propiedades magnéticas debido al Níquel, que actúa como elemento gamágeno. Esta se realiza para que el material ingrese con un tamaño de partícula apropiado para el molino de bolas. Los imanes son descargados en un silo de almacenamiento con un tamaño promedio de partícula de 50 mm de diámetro, estos entran a la trituradora y salen con 1.25 mm pasando por la malla 4 de la serie Tyler.

Molienda:

La molienda se realiza para obtener un tamaño de partícula apropiado para que el mezclado sea más efectivo, con diámetro promedio de $7.4 \cdot 10^{-6} \text{m}$. Para la molienda del material magnético se utilizará un molino de tipo cerámico debido al carácter no magnético de la cerámica por un tiempo de 22 horas, 1 hora de cargue y 1 hora de descargue, para la molienda del polímero utilizaremos un molino de bolas metálico por un tiempo de 2 h con 1 hora de cargue y 1 hora de descargue.

Tamizado:

El tamizado se realiza para que el tamaño de partícula que llegará al mezclador sea el óptimo, si el material no pasa la malla 270 de la serie Tyler este es devuelto hacia el molino.

Mezclado:

Este se realiza en un mezclador de sólidos particulados. Este mezclador es de acero inoxidable 304 debido al carácter magnético de la mezcla y el mezclador es de doble hélice fijo al cilindro con un motor.

Extrusión:

Para este se utiliza una extrusora en acero inoxidable de dos tornillos con una cuchilla eléctrica de corte adaptada a una placa de orificios donde el polímero sale como espageti para el corte del polímero magnético en peles.

Almacenamiento:

El polímero magnético se pasa por una banda transportadora para luego ser almacenado en un silo para su respectivo empacado.

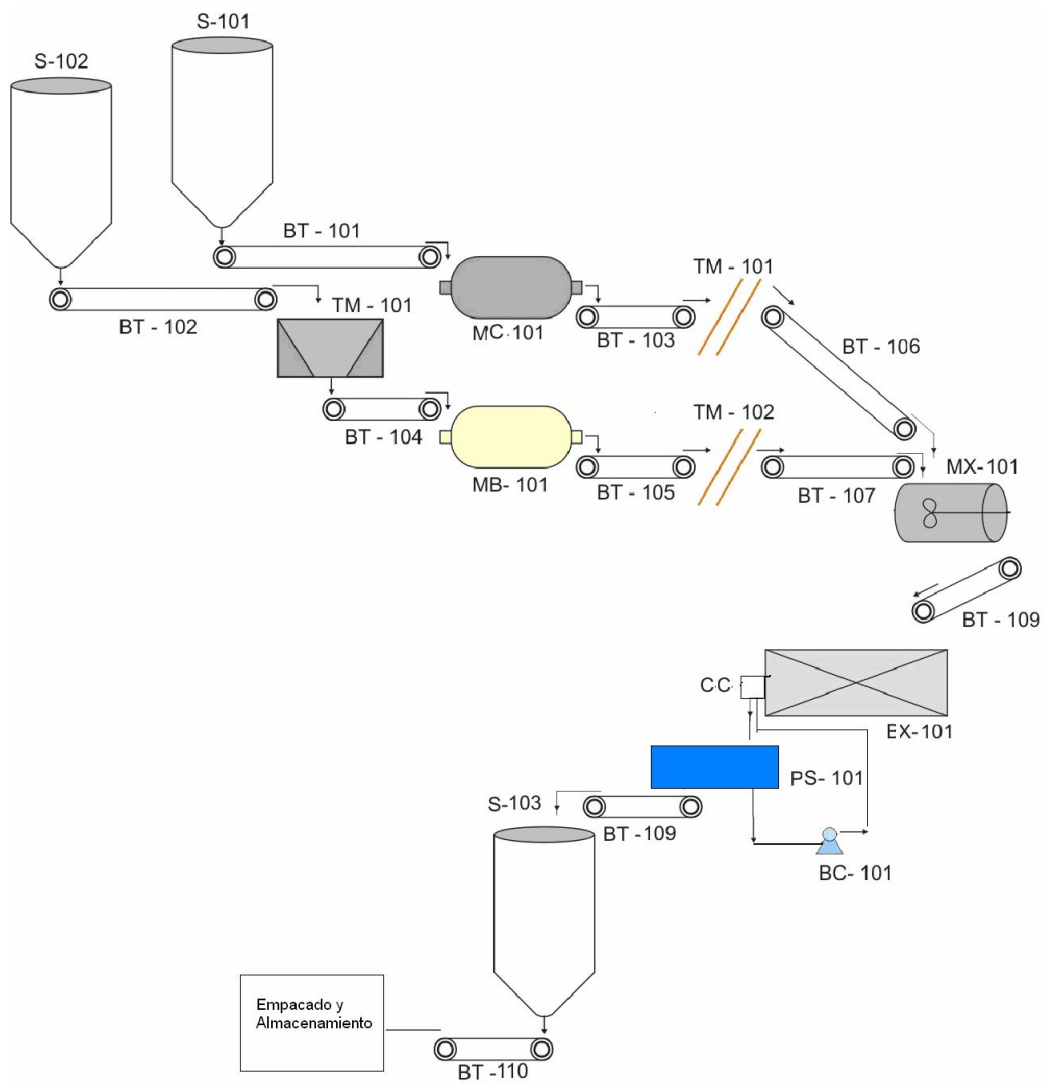
Empaque:

Se empaqa el polímero magnético en forma de peles en bolsas o bultos.

E.4. Diagrama del proceso

El diagrama propuesto para el proceso se muestra en la figura E.2, para una producción de 1.5 toneladas de polímero magnético.

Figura E.2: Diagrama del proceso



E.5. Especificaciones de los equipos

En las siguientes tablas se muestran las especificaciones para cada equipo utilizado, los costos de los equipos fueron calculados por[13].

Tabla E.1: Silos

Nombre del Equipo	S-101-103	S-102
Material	Acero al Carbono	Acero Inoxidable 304
Sustancia	polímero- Mezcla	Material magnético
Flujo	3.75Kg/h	7.7625Kg/h
Diámetro	1.033m	1.212m
Altura	3.11m	4.56m
Capacidad	3.28m ³	5.26m ³
Espesor	0.0597m	0.0597m
Costo Equipo	US \$4785	US \$5514

Tabla E.2: Molino de Bolas y de Cuchillas

Nombre del Equipo	MB-101	MC-102
Material	Cerámico	Acero al Carbono
Material de las Bolas	Cerámico	-
Sustancia	Material magnético	polímero
Flujo	6.75Kg/h	6.75Kg/h
Diámetro	0.593m	0.343m
Longitud	1.5m	0.853m
Capacidad	0.41m ³	0.0792m ³
Velocidad	38.5 rpm	50.56rpm
Numero de Bolas	85	-
Costo de Equipo	US \$14500	US \$2500

Tabla E.3: Bandas Transportadoras

Nombre del Equipo	BT-101-102	BT-103-104-105	BT-106-107 108-109-110
Sustancia	polímero	Material magnético	Mezcla magnética
Flujo	6.75Kg/h	6.75Kg/h	15.9Kg/h
Numero de Caras	3	3	3
Área Carga	0.01m ²	0.01m ²	0.01m ²
Longitud	10.11m	10.11m	4.3m
Ancho Banda	0.35m	0.35m	0.35m
Velocidad	2m/s	2m/s	1m/s
Potencia Total	0.254Kw	0.254Kw	0.254Kw
Costo de Equipo	US \$800	US \$800	US \$554

Tabla E.4: Mezclador de partículas solidas, Tamiz y Trituradora

Nombre del Equipo	MX-101	TZ-101-102	TM-101
Sustancia	Mezcla	Material magnético	Material magnético
Flujo	15.9Kg/h	6.75Kg/h	7.762Kg/h
Tipo	Cilindro con fondo elíptico	Mesa vibratoria con mallas de la Serie Tayler	Tamaño de abertura 1.7m
Mezclador	Doble hélice fijo al cilindro	-	-
Material	Acero al Carbono	Cobre	Acero Inoxidable
Diámetro	0.85m	0.501m	-
Longitud	1.06m	-	-
Capacidad	0.6m ³	-	2Ton
Espesor	0.0597m	-	0.35m
Costo de Equipo	US \$15720	US \$350	US \$17500

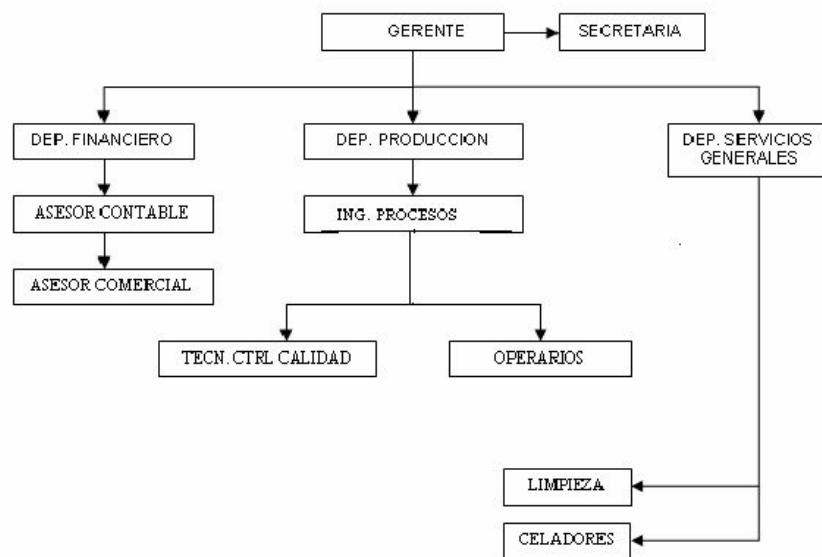
Tabla E.5: Extrusora, Piscina de agua, Bomba

Nombre del Equipo	EX-101	PA-101	BC-101
Tipo	AP-55	Rectangular	Bomba Centrífuga dinámica de flujo axial
Diámetro	50-150mm	0.5m	Impulsor: 1.27m
L/D	20-45mm	L = 4m	Cabeza total: 7.62m
Velocidad	180rpm	-	3550 rpm
Flujo	150 Kg/h	-	3 Kg/h
Zonas	5	Sustancia: Agua	Material: Hierro dúctil
Potencia total	57 Kw	Material:Acero al carbono	0.372 Kw
Costo Equipo	US \$30000	US \$1150	US \$651

E.6. Distribución de personal para la planta

A continuación se presenta un esquema organizacional propuesto para la administración, operación y control de la planta. La empresa se divide en cinco departamentos como se presenta en la figura E.3:

Figura E.3: Diagrama de Bloques para la distribución de personal.



1. Dirección general: Este departamento está compuesto por el presidente o gerente, el cual se encarga de velar por el cumplimiento de la misión de la empresa (producción óptima con ventas altas), además de las personas que lo respaldan. Las funciones de este departamento son la elaboración de planes estratégicos de producción y ventas, modificación de la estructura de la organización, asignación, dirección y administración de los recursos.
2. Departamento de finanzas: Este se encarga de identificar, medir, registrar y distribuir la información económica, la previsión de gastos e ingresos, y las inversiones que posibiliten el crecimiento de la empresa. Se compone por contabilidad general, presupuesto e inversiones.
3. Departamento de compras y ventas: Este departamento es el recomendado para realizar todo el proceso de compras de materia prima e insumos necesarios para la producción así como también de cualquier elemento necesario para garantizar el funcionamiento administrativo, al mismo tiempo se le encomienda la misión del mercadeo del producto terminado, investigando y promoviendo el producto en el mercado.
4. Departamento de producción: Se encarga de transformar la materia prima en el producto deseado, incluyendo tareas de recepción y almacenamiento de los insumos, venta y distribución del producto terminado y el mantenimiento de los equipos. Es conformado por la unidad de ingeniería de procesos, mantenimiento, materiales y servicio, seguridad industrial y control de calidad.
5. Departamento de servicios generales: Es el departamento encargado de prestar servicios como vigilancia, aseo, etc.[30]

Tabla E.6: Organización del personal de planta

Departamento	Cargo	personal
Dirección General	Gerente	1
	Secretaria	1
Finanzas	Jefe de contabilidad	1
Producción	Ingeniero de procesos	2
	Operadores de planta	4
	Operario de mantenimiento	2
	Operario de control de calidad	2
Compras y Ventas	Director de ventas	1
	Director de compras	1
Servicios Generales	Vigilante	1
	Personal de aseo	1
	Recepcionista	1
Total		18

E.7. Distribución de la planta

El objetivo de la distribución es hacer un análisis preliminar de las zonas que se contarían dentro de la planta, la cual puede servir como partida para el diseño de la misma.

La distribución debe contener las siguientes zonas:

1. Producción: En esta sección se encuentra toda la maquinaria ideal para la transformación de la materia prima.
2. Mantenimiento: En este área se encuentra todo el personal y las herramientas necesarias para realizar el mantenimiento preventivo y correctivo de los equipos de la empresa.
3. Control de calidad: Esta cuenta con infraestructura de laboratorios en donde se le realizarán pruebas tanto a la materia prima como al producto terminado.
4. Recepción de materia prima: En esta zona se descarga la materia prima.
5. Almacenamiento del producto terminado: En esta zona se almacena el producto terminado en condiciones tales que permitan su conservación y manejo.

6. Área administrativa: en esta zona se encuentra el edificio de oficinas de la gerencia general, del departamento de compras, ventas, finanzas y servicios generales.

El área total de la planta se calculó mediante el dimensionamiento de los equipos, dejando un espacio de 1.5 m entre cada equipo. Luego se multiplicó por un factor de 3 correspondiente al área de circulación, oficinas, etc. obteniendo un total de 1300 m². Se le adicionó lo correspondiente a las demás secciones anteriormente mencionadas, con un factor de 1.85 adicional al área de producción recogiendo un dato de 2500 m² para toda la planta.

E.8. Análisis económico

En el análisis económico presentado a continuación se tuvieron en cuenta las siguientes condiciones:

1. La planta se ubicaría en el parque industrial de Girón.
2. El tiempo de evaluación del proyecto de 10 años. El año cero es el año en que se realiza el desembolso de inversión y se construye la planta. El año 2 correspondiente al primer año de funcionamiento de la planta de polímero magnético.
3. Todos los valores presentados se encuentran en dólares constantes, por lo cual no se tendrá en cuenta la variación por inflación. Los valores presentados para el año cero, corresponden al precio más reciente disponible en mercado de todos los items considerados ó en su defecto al precio en diciembre del 2004.
4. Las conversiones realizadas de pesos a dólares se hicieron tomando como referencia una tasa de cambio de 2.200 pesos en el caso de los valores del componente colombiano, como salarios y servicios industriales [30].

Determinación de costos de producción (proceso)

Para la determinación del presupuesto de costos de producción se tuvo en cuenta que la producción de la planta aumenta paulatinamente, pasando del 70 % en el año 1 con lo cual se cubrirá el mercado nacional al 95 % en el quinto año manteniendo este nivel, tal como se muestra en el presupuesto de producción y ventas presentado en el anexo B.

Se considera un nivel de ventas constantes del 100 % el cual se puede lograr, con el inicio de la labor de mercadeo desde la instalación de la planta.

El costo total de equipos, tiene un valor de US\$ 113000 precios FOB. sin instalación.

Gastos de administración y ventas

En la sección anterior se establecieron los requerimientos de personal para asegurar el buen funcionamiento de la planta de polímero magnético, lo cual representa unos egresos fijos para la compañía.

Para la determinación de estos gastos se tuvieron en cuenta las asignaciones salariales integrales actuales para los cargos requeridos. Para el primer año de funcionamiento se estima que éstos gastos pueden ascender a los US\$ 59000.00/año.

Costos de mano de obra directa e indirecta

La mano de obra directa, está conformada básicamente por los ingenieros y los operarios de la planta.

La mano de obra indirecta, por su parte, estaría conformada por el Director del departamento, el personal del área de mantenimiento, control de calidad y seguridad industrial.

Determinación de la inversión total inicial y fija

Para determinar la inversión total requerida para el montaje de la planta de polímero magnético, en primer lugar se determinaron los costos de los equipos, lo cual se realizó mediante el método de Guthrie [15] y las especificaciones del programa SINET XLC.

Para el cálculo del costo del terreno y acondicionamiento se tuvo en cuenta que el área total de la planta de polímero magnético es 2500 m², con un costo de US\$ 15000 acondicionada. La inversión total requerida para el montaje de la planta de polímero magnético en el parque industrial de Girón, llega a US\$ 314831.00.

E.9. Evaluación financiera

Una vez determinados todos los parámetros requeridos para la evaluación económica en esta sección se presenta la evaluación financiera del montaje de la planta de polímero

magnético, sin financiamiento, con el análisis del VPN y TIR.

Calculo del VPN

Para el cálculo del VPN del proyecto, se utilizaran los FNE calculados en el estado de resultados, las inversiones requeridas anualmente y el valor de salvamento de los activos determinados en la depreciación y amortización de activos.

EL criterio de decisión utilizado fue: Si el $VPN > 0$, el proyecto es viable

SI el $VPN \leq 0$, el proyecto debe ser rechazado.[18]

Aunque el VPN sea igual a cero el proyecto estará rindiendo la tasa de oportunidad establecida por el inversionista, es mejor hacer otro tipo de decisiones antes de tomar la decisión de invertir.

Al realizar el cálculo, se determinó que el VPN del proyecto sin financiamiento es de U\$ 53295.5, el cual, al ser un valor positivo indica que el proyecto es viable.

Tasa Interna de Retorno

En este caso se tiene que la TIR sin financiamiento es del 9.97%, en el caso sin financiamiento ésta tasa interna de retorno se encuentra por encima de la tasa de oportunidad del 7% haciendo el proyecto atractivo.