

**OBTENCIÓN, EVALUACIÓN DE PEGANTE FERROMAGNÉTICO SÓLIDO Y  
DISEÑO DE UNA PLANTA PARA SU PRODUCCIÓN A ESCALA SEMI-  
INDUSTRIAL**

**DORA ISABEL CAMACHO ARIZA  
MIGUEL FERNANDO DÍAZ MORENO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BUCARAMANGA  
2005**

**OBTENCIÓN, EVALUACIÓN DE PEGANTE FERROMAGNÉTICO SÓLIDO Y  
DISEÑO DE UNA PLANTA PARA SU PRODUCCIÓN A ESCALA SEMI-  
INDUSTRIAL**

**DORA ISABEL CAMACHO ARIZA  
MIGUEL FERNANDO DÍAZ MORENO**

**Trabajo de Grado para optar al título de  
Ingeniero Químico**

**Director  
Ramiro Augusto Salazar Larotta  
Ingeniero Químico, Ph.D.**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BUCARAMANGA  
2005**

## DEDICATORIA

A Dios por darme tantas cosas maravillosas,

A mis padres Pascual y Nelly por su amor y apoyo,

A Adbul y Fernando por su incondicionalidad,

A Camilo y Nicolás por ser mi inspiración y lo más maravilloso que la vida me ha  
dado.

DORA ISABEL

## DEDICATORIA

A Dios de forma especial por todo lo que me ha obsequiado,

A mis padres Miguel Antonio y Cecilia por su amorosa comprensión,

A Marly por su dedicación y paciencia,

A Elianita por ser la fe que me guía y mujer de mi vida,

A Raquel por ser ejemplo de vida y ángel guardián,

A José, Ascensión y Alcira por brindarme su alegría en el diario vivir,

A mis tías Marina, Claudia, Helena, Rosa, Mercedes, Clara y Sofía por su apoyo,

A mis tíos Ignacio, Leonardo, Juan, Jaime y Luís por el apoyo brindado,

MIGUEL FERNANDO

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos muy especialmente a:

A DIF Físicoquímicas por la financiación de nuestro trabajo.

A Eduardo Carreño por su colaboración.

A la Ingeniera Lily Jiménez por su colaboración.

A Ramiro Augusto Salazar Larotta por su dirección.

Al Ingeniero Luís Guillermo González por su asesoría y colaboración con este trabajo.

A todas las personas que de manera desinteresada contribuyeron con la elaboración de este trabajo

## TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
1. FUNDAMENTO TEÓRICO	3
1.1 LA ADHESIÓN	3
1.2 MATERIALES ADHESIVOS O PEGANTES	4
1.3 LOS ADHESIVOS	4
1.3.1 Clasificación de los adhesivos	7
1.3.1.1 Adhesivos prepolimerizados	7
1.3.1.2 Adhesivos reactivos	7
1.3.2 Características de los adhesivos	8
1.3.3 Ensayos para adhesivos	10
1.3.3.1 Ensayo de tensión pura	10
1.3.3.2 Determinación de la viscosidad	10
1.3.3.3 Contenido de sólidos	11
1.3.3.4 Determinación del pH	11
1.4 MATERIAL MAGNÉTICO	11
1.4.1 Tipos de materiales magnéticos	11
1.4.1.1 Limadura de acero	13
1.4.1.2 Ferritas de bario y estroncio	14

1.4.2 Imanes	14
1.4.2.1 Tipos de imanes	15
1.5 INHIBIDORES DE CORROSIÓN	17
1.5.1 Inhibidores pasivadores	18
1.5.2 Inhibidores de depósito	18
1.5.3 Inhibidores de película electrolítica	18
1.5.4 Inhibidores de absorción	18
2. DESARROLLO EXPERIMENTAL	20
2.1 OBTENCIÓN DEL PEGANTE PURO	20
2.1.1 Selección de materias primas	21
2.1.2 Preparación del montaje	21
2.1.3 Preparación de los reactivos	23
2.1.4 Mezclado de los reactivos	23
2.1.5 Pruebas para el pegante puro	24
2.1.5.1 Verificación de solidificación	24
2.1.5.2 Determinación del contenido de sólidos	25
2.1.5.3 Determinación de pH	25
2.1.5.4 Prueba de desprendimiento de fibra para la evaluación de la adhesividad	26
2.1.5.5 Determinación de la densidad	27
2.1.5.6 Determinación de la viscosidad	27
2.2 OBTENCIÓN DEL PEGANTE FERROMAGNÉTICO	27

2.2.1 Selección y tratamiento del material ferromagnético	28
2.2.1.1 Selección del material ferromagnético	28
2.2.1.2 Tratamiento del material ferromagnético	29
2.2.1.2.1 Obtención de ferrita en polvo	29
2.2.1.2.2 Tratamiento de la limadura de acero en polvo	31
2.2.2 Incorporación del material ferromagnético en el pegante	32
2.3 EVALUACIÓN DEL PEGANTE FERROMAGNÉTICO	33
2.3.1 Pruebas para el pegante ferromagnético	34
2.3.1.1 Pruebas preliminares	34
2.3.1.1.1 Prueba de atracción magnética (cualitativa)	34
2.3.1.2 Pruebas físicas	35
2.3.1.2.1 Homogeneidad superficial	35
2.3.1.3 Pruebas físico mecánicas	35
2.3.1.3.1 Resistencia adhesiva	35
2.3.1.4 Pruebas magnéticas	37
2.3.1.4.1 Determinación de la inducción remanente	37
2.3.1.4.2 Determinación de la adhesividad magnética	38
2.3.1.5 De análisis térmico	39
2.3.1.5.1 Estabilidad térmica	39
3. RESULTADOS Y ANÁLISIS	41
3.1 OBTENCION DEL PEGANTE PURO	41
3.2 OBTENCIÓN DEL PEGANTE FERROMAGNÉTICO	45

SÓLIDO	
3.2.1 Pruebas preliminares	45
3.2.1.1 Atracción magnética	45
3.3 PROPIEDADES DE LOS PEGANTES OBTENIDOS	46
3.3.1 Homogeneidad superficial	46
3.3.2 Resistencia adhesiva	47
3.3.2.1 Esfuerzo cortante	47
3.3.3 Viscosidad	51
3.3.4 Densidad	52
3.3.5 Inducción remanente	53
3.3.6 Adhesividad magnética	54
3.3.7 Estabilidad térmica	56
3.4 DISEÑO PRELIMINAR Y ESTUDIO DE VIABILIDAD ECONÓMICA PARA EL MONTAJE DE UNA PLANTA DE PEGANTE FERROMAGNÉTICO SÓLIDO A ESCALA SEMI- INDUSTRIAL	59
3.5 APLICACIONES DEL PEGANTE FERROMAGNÉTICO SÓLIDO	60
4. CONCLUSIONES	61
5. RECOMENDACIONES	63
BIBLIOGRAFÍA	64
ANEXOS	68

## LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Relación inducción magnética/costo de ferritas	29
Tabla 2. Parámetros característicos de los pegantes sólidos comerciales	42
Tabla 3. Comparación de algunas propiedades del pegante comercial y el pegante puro	44

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Esquema básico de una unión adhesiva	5
Figura 2. Diferenciación entre adhesión y cohesión	6
Figura 3. Modos de fallo de uniones adhesivas	6
Figura 4. Imanes de ferrita de bario y estroncio	15
Figura 5. Imanes de Boro\Neodimio	17
Figura 6. Montaje para la obtención de pegante puro	23
Figura 7. Verificación de solidificación	25
Figura 8. Puntos de medición de inducción remanentes	38
Figura 9. Variación del pH con el segundo tiempo de mezclado	42
Figura 10. Variación del contenido de sólidos con el segundo tiempo de mezclado	43
Figura 11. Variación del desprendimiento de fibra con el segundo tiempo de mezclado	43
Figura 12. Esfuerzo cortante vs. Porcentaje en peso de limadura de acero (probeta 1)	47
Figura 13. Esfuerzo cortante vs. Porcentaje en peso de ferrita (probeta 1)	48
Figura 14. Esfuerzo cortante vs. Porcentaje en peso de limadura de acero (probeta 2)	48
Figura 15. Esfuerzo cortante vs. Porcentaje en peso de ferrita (probeta 2)	49
Figura 16. Esfuerzo cortante vs. Porcentaje en peso de material ferromagnético malla 200 de la serie Tyler (probetas 1 y 2)	50

Figura 17. Esfuerzo cortante para la probeta 1 con pegante comercial, pegante puro y pegante ferromagnético (limadura de acero y ferrita) malla 200 de la serie Tyler	51
Figura 18. Viscosidad del pegante comercial, pegante puro y pegante ferromagnético (limadura de acero y ferrita) malla 200 de la serie Tyler	52
Figura 19. Densidad del pegante comercial, pegante puro y pegante ferromagnético (limadura de acero y ferrita) malla 200 de la serie Tyler	52
Figura 20. Inducción remanente del pegante ferromagnético vs. Porcentaje en peso de ferrita malla 200 de la serie Tyler	53
Figura 21. Adhesividad magnética de los pegantes ferromagnéticos probeta 1-imán 1	54
Figura 22. Adhesividad magnética de los pegantes ferromagnéticos probeta 1-imán 2	55
Figura 23. Adhesividad magnética de los pegantes ferromagnéticos probeta 2-imán 1	55
Figura 24. Resultados del análisis termogravimétrico para el pegante puro	56
Figura 25. Resultados del análisis termogravimétrico para el pegante ferromagnético con 30% de limadura de acero malla 200 de la serie Tyler	57
Figura 26. Comparación del análisis termogravimétrico	57
Figura 27. Resultados de la calorimetría diferencial de barrido para el pegante puro	58
Figura 28. Resultados de la calorimetría diferencial de barrido para el pegante ferromagnético con 30% de limadura de acero malla 200 de la serie Tyler	59

## LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Objetivos	68
Anexo B. Esquema general de la metodología	69
Anexo C. Precauciones de seguridad para el manejo de Adhesivos según la norma icontec NTC 5004	70
Anexo D. Metodología utilizada para la obtención del pegante puro	71
Anexo E. Equipos utilizados para las pruebas	72
Anexo F. Selección y tratamiento del material ferromagnético	76
Anexo G. Equipos usados para la reducción de tamaño del material ferromagnético	77
Anexo H. Procedimiento para la obtención del pegante ferromagnético	78
Anexo I. Registro fotográfico secuencial de la fabricación del pegante ferromagnético	79
Anexo J. Probetas utilizadas para la evaluación del pegante ferromagnético	81
Anexo K. Reacción	82
Anexo L. Registro fotográfico de las pruebas preliminares	84
Anexo M. Proporciones de reactivos y condiciones adecuadas para la obtención del pegante puro	85
Anexo N. Registro fotográfico de la homogeneidad superficial del pegante ferromagnético	86
Anexo O. Tratamiento de datos	88

Anexo P. Tablas de resultados	91
Anexo Q. Estudio de mercado	94
Anexo R. Escalamiento del reactor	102
Anexo S. Especificaciones de los equipos	107
Anexo T. Diagramas para la planta de producción de pegante ferromagnético sólido	113
Anexo U. Análisis económico	116
Anexo V. Aplicaciones	126

## RESÚMEN

**TÍTULO:** OBTENCIÓN, EVALUACIÓN DE PEGANTE FERROMAGNÉTICO SÓLIDO Y DISEÑO DE UNA PLANTA PARA SU PRODUCCIÓN A ESCALA SEMI-INDUSTRIAL.\*

**AUTOR(ES):** DORA ISABEL CAMACHO ARIZA.  
MIGUEL FERNANDO DIAZ MORENO. \*\*

**PALABRAS CLAVES:** ferrita, limadura de acero, material ferromagnético, pegante ferromagnético sólido, adhesivo.

### DESCRIPCIÓN

En el presente trabajo se estudió la posibilidad de encontrar un pegante sólido con propiedades ferromagnéticas, como alternativa nueva, práctica y rentable para la solución de diversos problemas en la industria y la vida cotidiana, empleando como materia prima: agua, alcohol industrial (etanol), resina polimérica PVP, óxido de zinc, ácido esteárico y solución de soda cáustica, además de la preparación del pegante sólido, se seleccionó el tipo de material ferromagnético y el tratamiento para incorporarlo como carga, se determinó el punto de incorporación en el proceso, y técnicas analíticas para determinar sus propiedades.

Como carga ferromagnética se utilizó ferrita de bario y estroncio y limadura de acero por su buena relación calidad-precio, disponibilidad comercial y facilidad de reducción de tamaño, por otro lado se encontró que el punto más adecuado para incorporar el material ferromagnético es junto con la solución de soda cáustica y el ácido esteárico a la mezcla de reactivos.

Mediante comparación de propiedades físicas, mecánicas y ferromagnéticas de los pegantes ferromagnéticos sólidos elaborados, se tomó como mejor opción de formulación la presentada al incorporar a la mezcla de reactivos 30% de limadura de acero malla 200 de la serie Tyler, a partir de este resultado, se encontró un pegante ferromagnético sólido con buenas propiedades adhesivas y ferromagnéticas, se propusieron algunas aplicaciones, se diseñó una planta para su producción a escala semi-industrial y se demostró su viabilidad económica.

\* Trabajo de Grado.

\*\* Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Ingeniería Química. Director: Ramiro Augusto Salazar Larota, Ingeniero Químico, Ph.D.

## SUMMARY

**TITLE:** OBTENTION, EVALUATION OF FERROMAGNETIC ADHESIVE SOLID AND DESIGN OF A PLANT FOR ITS PRODUCTION TO A SEMI-INDUSTRIAL SCALE.\*

**AUTHORS:** DORA ISABEL CAMACHO ARIZA.  
MIGUEL FERNANDO DIAZ MORENO. \*\*

**KEY WORDS:** ferrite, steel filing, ferromagnetic material, adhesive ferromagnetic solid, adhesive.

## DESCRIPTION

In the Present work was studied the possibility to find a solid glue with ferromagnetic properties, as a new alternative, practice and profitable solution for diverse problems in the industry and the daily life, to elaborate the solid glue it was used as a raw material: water, industrial alcohol (ethanol), polymeric resin PVP, I oxidize of zinc, estearic acid, caustic soda water solution, besides the preparation of the solid glue, it was selected the type of ferromagnetic material and the treatment to incorporate it like load, the incorporation point was determined in the process, and technical analytic to determine its properties.

As ferromagnetic load it was used barium and strontium ferrite and steel filing by their good relation quality-price, commercial availability and easy size reduction; it was found that the most appropriate point to incorporate the ferromagnetic material is together with the addition of the solution of caustic soda water solution and the estearic acid to the reagents mixture.

By means of comparison of physical, mechanic and ferromagnetic properties, of the elaborated solid ferromagnetic glues, it was took as a better formulation option the one presented when incorporating to the mixture of reagents 30% of steel filing mesh 200 of the Tyler series, from this result, it was found a solid ferromagnetic glue with good adhesive and magnetic properties; it was proposed some applications, also a plant was designed for its production to semi-industrial scale and its economic viability was demonstrated.

\* Grade project.

\*\* Physic-Chemical Engineering Faculty. Chemical Engineering. Director: Ramiro Augusto Salazar Larota, Chemical Engineer, Ph.D.

## INTRODUCCIÓN

Las investigaciones encaminadas a adicionar nuevas y mejores propiedades a materiales que ya se conocían han sido tomadas muy en cuenta desde hace varios años por la versatilidad en las aplicaciones que generan a los nuevos materiales. De esta manera nace la incorporación de la propiedad ferromagnética a materiales que carecen de ésta, dando paso a investigaciones profundas que se enmarcan en un campo enorme y poco explorado.

En la actualidad los materiales que son producto de la mezcla de otros materiales son un punto fundamental en el estudio de la ciencia de los materiales, debido a que han logrado mejorar de forma substancial las ventajas de dos tipos de materiales mientras que minimizan las desventajas que presentan cada uno de ellos por separado, haciéndolos más atractivos para su aplicación en distintas áreas que eran desconocidas anteriormente. De ésta forma la ciencia de los materiales y el campo del magnetismo se unen para hacer un aporte al mejoramiento de la calidad de vida del mundo al suplir algunas de sus necesidades anteriormente insatisfechas.

En este trabajo se presenta el estudio previo y la elaboración de pegante ferromagnético sólido que no solo cuente con propiedades adhesivas sino también ferromagnéticas, buscando así una alternativa novedosa, versátil y rentable en pro de solucionar diversos problemas en el campo industrial y de la vida común.

Para el estudio, se elaboró el pegante sólido sin material magnético bajo una formulación desarrollada por los autores, en donde se encontraron las variables de proceso y las proporciones adecuadas para tal fin. Además se usaron técnicas de

análisis para determinar las propiedades físicas y mecánicas de las muestras obtenidas.

A partir de las determinaciones que se llevaron a cabo en muestras de pegante sólido con diferentes concentraciones de carga ferromagnética, se encontró un pegante sólido con propiedades ferromagnéticas que conservaba otras características como la adherencia; para tal efecto se determinó el tipo de material ferromagnético, tamaño de partícula y la cantidad de material ferromagnético a incorporarse en el proceso de preparación del pegante sólido. Teniendo en cuenta esta formulación, se propone una serie de aplicaciones opcionales para este material y se deja abierta la posibilidad de encontrar nuevas alternativas de uso.

Por último, se describe el diseño preliminar de una planta de pegante ferromagnético sólido para cubrir no solo las necesidades de la ciudad de Bucaramanga y su área metropolitana (a partir de un estudio de mercados realizado) sino también a nivel nacional. Se hace el análisis para su montaje y puesta en marcha, determinando un costo de cada pegante de 10 g de tal forma que la planta sea viable económicamente.

## 1. FUNDAMENTO TEÓRICO

### 1.1. LA ADHESIÓN

La adherencia se produce debido a la formación de enlaces electrovalentes o covalentes entre el adhesivo y el sustrato, lo mismo que en ciertos acabados, o con más frecuencia, a causa de las fuerzas secundarias de Van der Waals.

Las fuerzas de London o fuerzas de dispersión desempeñan una función importante en la formación de enlaces secundarios. Estas fuerzas intervienen cuando el adhesivo y el sustrato están muy juntos y disminuyen con rapidez a medida que la distancia entre los átomos aumenta. Por tanto, es importante la cercanía molecular. Esto se facilita si el adhesivo tiene buenas propiedades humectantes y la superficie del sustrato es uniforme y está limpia. Los materiales flexibles son mejores adhesivos que los rígidos porque la flexibilidad permite que las moléculas se aproximen más.

Tanto los dipolos inducidos como los permanentes contribuyen a la adherencia y los últimos son de particular importancia. Si el extremo positivo del dipolo es un átomo de hidrógeno, puede formarse un enlace de hidrógeno (por ejemplo,  $\overline{N}-H \dots \overline{O} = \overline{C}$ ). Los almidones, las dextrinas y las colas, que se encuentran entre los adhesivos tradicionales, dependen para su adherencia de los enlaces de hidrógeno, lo mismo que el nitrato de celulosa, las fenólicas y las resinas epóxicas. Los grupos oxhidrilo alifáticos y fenólicos y los grupos carboxilo forman enlaces de hidrógeno.

La adhesión requiere que los átomos estén a no más de unos décimas de ángstrom uno del otro. Las energías superficiales tales como la tensión superficial, el aire atrapado y los contaminantes pueden debilitar la adhesión por esta razón, con el objeto de alcanzar una fuerza de adhesión máxima, se requiere una limpieza absoluta de la superficie a pegarse.

## **1.2 MATERIALES ADHESIVOS O PEGANTES**

Hoy en día, existen diversas marcas de adhesivos en el mercado obtenidos mediante varias formulaciones. Estos adhesivos son capaces de mantener varios tipos de materiales juntos por medio de la adhesión de sus superficies. Aunque los componentes básicos de los productos se pueden obtener con facilidad, sus combinaciones específicas no se dan a conocer al público, por celos comerciales, competencias, confidencialidad, patentes etc.

Existen un número de factores generales que requieren ser considerados en la evaluación de un adhesivo. Estos factores pertenecen al comportamiento de un adhesivo desde el momento de su fabricación hasta que se ha llevado a cabo la liga final, los cuales están relacionados con sus propiedades de trabajo e incluyen características tales como viscosidad, consistencia, tiempo de almacenamiento, vida de trabajo, cobertura, pegajosidad, penetración, velocidad de curado y velocidad de desarrollo de fuerza. Existen diferentes métodos estándar para evaluar este tipo de factores.

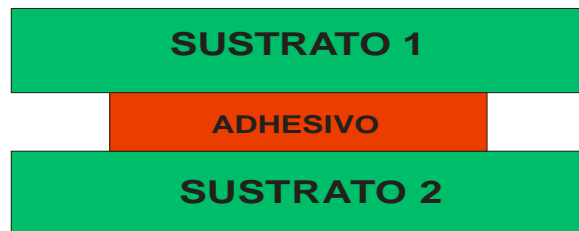
## **1.3 LOS ADHESIVOS**

Se puede definir adhesivo como aquella sustancia que aplicada entre las superficies de dos materiales iguales o diferentes, permite una unión resistente a la separación.

La mayoría de adhesivos forman una unión al rellenar los huecos y fisuras diminutas que existen normalmente en cualquier superficie, aunque esta sea muy lisa.

En la figura 1 se muestra la unión de dos sustratos por medio de un adhesivo, denominando sustratos o adherentes a los materiales que se pretende unir por medio del adhesivo y adhesión al conjunto de interacciones físicas y químicas que tienen lugar en la interfase adhesivo/adherente.

**FIGURA 1. Esquema básico de una unión adhesiva**

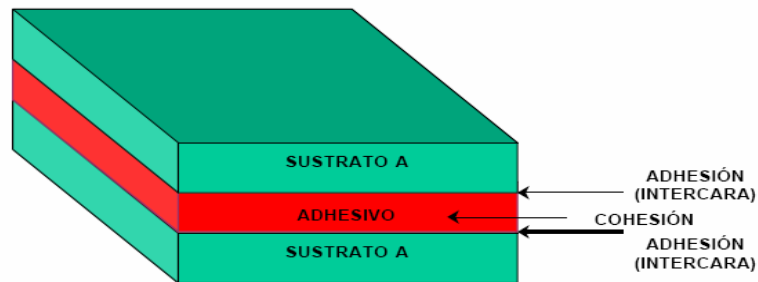


En general, un adhesivo puede considerarse como cualquier sustancia capaz de mantener unidos materiales por sujeción superficial. El mecanismo por el cual ocurre esta fijación superficial depende de:

- La fuerza de unión del adhesivo al sustrato o adhesión que puede ser de tipo *específica* en la cual existen fuerzas químicas en la interfase entre el adhesivo y los sustratos o de tipo *mecánica* la cual da origen a una acción de inmovilización es decir las moléculas del adhesivo actúan como ganchos que se introducen en los poros de las superficies de los sustratos.
- La fuerza interna del adhesivo o cohesión que es la atracción entre partículas adyacentes dentro de un mismo cuerpo.

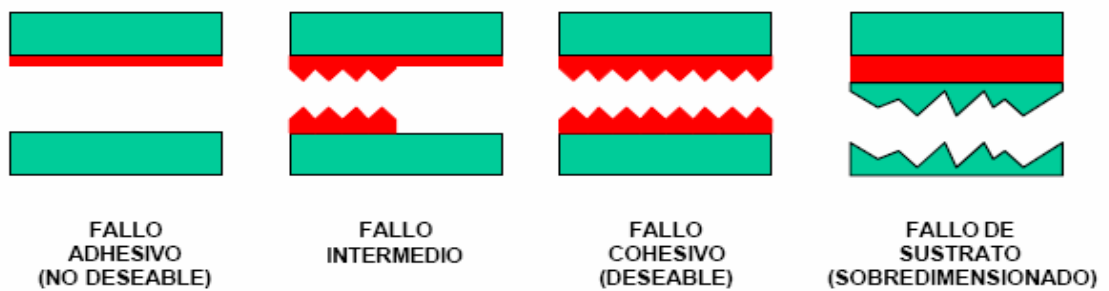
En el figura 2 se aprecia la diferencia entre adhesión y cohesión.

**FIGURA 2. Diferenciación entre adhesión y cohesión**



La adhesión de dos sustratos se puede evaluar simplemente realizando una prueba de rotura de la unión adhesiva como se puede observar en la figura 3.

**FIGURA 3. Modos de fallo de las uniones adhesivas**



Así, el fallo de una unión adhesiva puede ocurrir según tres posibles modos:

- Separación por adhesión: cuando la separación se produce en la interfase sustrato-adhesivo.
- Separación por cohesión: cuando se produce la ruptura del adhesivo.
- Ruptura de sustrato: cuando el propio sustrato rompe antes que la unión adhesiva o que la interfase sustrato-adhesivo.

Cuando se diseña una unión adhesiva se pretende que la rotura no sea en ningún caso adhesiva, es decir, que la separación nunca se produzca en la interfase sustrato-adhesivo. Los modos de rotura adhesiva nunca son predecibles, puesto que la magnitud de la fuerza de adhesión, depende de un gran número de factores rara vez controlables en su totalidad. Por el contrario, sí se pueden conocer las características mecánicas del adhesivo y, por tanto, se pueden predecir las cargas a la rotura en modo cohesivo bajo diferentes tipos de esfuerzos.

**1.3.1 Clasificación de los adhesivos.** Una de las clasificaciones más empleadas se basa en el mecanismo de formación de la junta adhesiva. Así, se pueden distinguir dos grandes grupos de adhesivos. Los **adhesivos prepolimerizados**, es decir, aquéllos cuyo polímero ya existía antes de ser aplicado sobre la unión, y los **adhesivos reactivos** que se caracterizan porque el adhesivo en estado líquido, viscoso, gel, etc. esta constituido por monómeros o cadenas oligómeras que polimerizan y/o se entrecruzan durante el proceso de polimerización que ocurre cuando dicho adhesivo se ubica entre los sustratos a unir.

Dentro de estos dos grandes grupos se definen diversas subclases:

#### **1.3.1.1 Adhesivos prepolimerizados**

- En fase líquida, que pueden ser soluciones acuosas como los cementos, las colas o el almidón, soluciones orgánicas como el caucho natural y emulsiones o líquidas como los adhesivos en base a PVC.
- En fase sólida como lo son los adhesivos de contacto o las cintas adhesivas también llamados adhesivos piezosensibles, y los adhesivos termofusibles o hot melts.

#### **1.3.1.2 Adhesivos reactivos**

- Que curan mediante poliadición como los cianoacrilatos, los anaeróbicos o los acrílicos.
- Que curan mediante policondensación como los epoxis o las siliconas.

Los principios de la adhesión son comunes a todas las familias adhesivas, sin embargo sólo los adhesivos reactivos son capaces de dar soluciones fiables a problemas de ingeniería.

**1.3.2 Características de los adhesivos.** Los adhesivos están aumentando su empleo en la industria, a causa de ciertas características atractivas entre las cuales se pueden citar:

- Capacidad para disminuir la concentración de tensiones en las uniones.
- Proporcionan contornos suaves e irrompibles en las estructuras pegadas.
- Capacidad para unir materiales heterogéneos.
- Capacidad para pegar materiales muy delgados.
- Resistencia a la fatiga.
- Ayudan a reducir el peso de las estructuras.
- A menudo permiten simplificación en el diseño.
- Condiciones de aplicación: bajas temperaturas (desde temperatura ambiente hasta alrededor de 175°C, dependiendo del tipo de adhesivo); bajas presiones (desde contacto simple hasta algunas decenas de Kg/cm<sup>2</sup>,

dependiendo del tipo de adhesivo y de la configuración de la estructura a construir); tiempos cortos (desde minutos hasta alrededor de 24 horas, en función del adhesivo y de la temperatura de curado).

- Los costos de producción pueden ser más bajos que los de cualquier otro método de unión.
- Resistencia a los agentes químicos (variable según el agente químico, el tipo de adhesivo, el tiempo y temperatura de exposición al ataque).
- Características sellantes intrínsecas.
- Amortiguamiento al choque, sonido y vibración.
- Aislamiento eléctrico y térmico.

Mientras que los adhesivos proporcionan muchas propiedades apreciables, también presentan ciertas limitaciones que se enumeran a continuación:

- Estabilidad relativamente pobre de las uniones producidas con adhesivos comerciales corrientes, a temperaturas superiores a 200°C, durante periodos de tiempos largos.
- Pueden necesitar reforzamiento mecánico cuando se requiera resistencia al despellejamiento alta.
- Vida de empleo (durante la fabricación de la junta) normalmente corta, dependiendo del sistema adhesivo que puede necesitar refrigeración y/o procedimientos de manejo especiales.

- La preparación superficial de las piezas a unir es crítica, especialmente para aplicaciones estructurales.
- Existen muy pocos métodos no destructivos para la inspección de las uniones efectuadas por pegado.

**1.3.3 Ensayos para adhesivos.** Los ensayos físicos de los adhesivos son de dos tipos: a) ensayos de uso final, en los cuales se pretende determinar el comportamiento de los adhesivos en servicio mediante la inspección y ensayo de las uniones sometidas por ejemplo a una forma predeterminada de carga o de medio ambiente. b) ensayos con fines de control de calidad que pretenden garantizar la uniformidad de las características de los adhesivos.

**1.3.3.1 Ensayo de tensión pura.** El ensayo de tensión pura se utiliza generalmente para evaluar la resistencia de metales y aleaciones, pero también para otros tipos de materiales como los adhesivos para medir su resistencia a la adhesión. En este ensayo una muestra se lleva hasta la fractura en un relativo corto intervalo de tiempo a una velocidad constante.

**1.3.3.2 Determinación de la viscosidad.** Es una propiedad fundamental y de gran importancia práctica en la caracterización de adhesivos. Se entiende por viscosidad la “pegajosidad” de un fluido, la cual deriva de la cohesión e interacción entre las moléculas del mismo. Es una medida de la resistencia al cizallamiento del fluido que se desplaza, ya sea al moverse un cuerpo en su seno, o bien al moverse tal fluido alrededor de un cuerpo.

Los viscosímetros rotacionales, tales como los del tipo Ferranti, Brookfield, Stomer y Dobbie-McInnes, son extensamente usados y son de un valor especial cuando se mide la viscosidad de líquidos no newtonianos, tales como emulsiones, por ejemplo, un poliacetato de vinilo. El tipo rotacional de instrumentos hace posible

comparar las emulsiones para una estimación controlada de esfuerzo cortante, independientemente del nivel de viscosidad. Básicamente, consiste en un cilindro exterior que gira a una velocidad constante, siendo transmitido el impulso rotativo a través del líquido a un cilindro inerte, que de ese modo actúa contra la resistencia de un muelle calibrado. Estos instrumentos son rápidos y de lectura exacta, pero requieren una muestra bastante grande.

**1.3.3.3 Contenido de sólidos.** La determinación del contenido de sólidos por calentamiento de una muestra para eliminar los disolventes es un ensayo poco seguro por dos razones: a) por la tenacidad con que se retienen los disolventes, y b) por la tendencia de las resinas termoendurecibles a condensar y eliminar los productos volátiles cuando se calientan. No obstante, este ensayo tiene algún valor para fines comparativos si se efectúa en condiciones rigurosamente controladas.

**1.3.3.4 Determinación del pH.** Para algunas resinas adhesivas el pH es un factor importante de estabilidad en el tiempo o tiempo de almacenamiento. El valor normal del pH varía de acuerdo al tipo de adhesivo, pero valores extremadamente ácidos o básicos son indeseables y peligrosos para la degradación de los adherentes o de los adhesivos mismos. Los límites normales se encuentran entre 2.5 y 11.

## **1.4 MATERIAL MAGNÉTICO**

**1.4.1 Tipos de materiales magnéticos.** De acuerdo al tipo de magnetización los materiales se pueden clasificar como diamagnéticos, paramagnéticos y ferromagnéticos.

Los materiales diamagnéticos son aquellos que en presencia de un campo magnético, la magnetización inducida es en sentido opuesto a la dirección del

campo debido a que el campo aplicado perturba el movimiento orbital de los electrones; su susceptibilidad magnética (relación intensidad de imantación a fuerza imantadora) es negativa y su permeabilidad (relación de la densidad de flujo magnético a la fuerza imantadora que produce) es inferior a la del espacio libre.

Los materiales paramagnéticos presentan electrones libres con momentos atómicos permanentes orientados de manera aleatoria, que se alinean en presencia de un campo magnético; su susceptibilidad magnética es positiva pero de magnitudes pequeñas (del orden de  $10^5$ - $10^6$ ), la permeabilidad es ligeramente superior a la del espacio libre.

Los materiales ferromagnéticos presentan momentos magnéticos atómicos que se alinean con gran facilidad en presencia de un campo magnético, estos materiales están divididos en dominios magnéticos, dentro de los cuales los dipolos a nivel atómico se encuentran alineados, la permeabilidad es mucho mayor que la del espacio libre, al igual que la susceptibilidad, propiedad que le permite ser magnetizado permanentemente por exposición del material a un campo de saturación debido a que todos los dominios tienden al mismo alineamiento (histéresis magnética). Los elementos ferromagnéticos más importantes, desde un punto de vista industrial, son el hierro (Fe), cobalto (Co) y níquel (Ni). El gadolinio (Gd) es una tierra rara que es también ferromagnética a temperaturas por debajo de  $16^\circ\text{C}$ , pero tiene poca aplicación industrial. [23]

Las propiedades ferromagnéticas de los elementos de transición Fe, Co y Ni son debidas al modo en que los espines de electrones internos desapareados se alinean en la red cristalina. En el Fe, Co y Ni los electrones internos 3d son los responsables del ferromagnetismo que presentan estos elementos. El átomo de hierro posee cuatro electrones 3d desapareados, el átomo de cobalto tres y el átomo de níquel dos.

Otro tipo de magnetismo que se presenta en algunos materiales es el antiferromagnetismo. En presencia de un campo magnético, los dipolos magnéticos de los átomos de los materiales antiferromagnéticos se alinean por sí mismos en direcciones opuestas. Los elementos manganeso y cromo, en estado sólido y a temperatura ambiente, presentan antiferromagnetismo y poseen una energía de canje negativa debido a que la razón entre sus espaciados atómicos respecto al diámetro de la órbita 3d es menor a 1,4.

En algunos materiales cerámicos, iones diferentes poseen distinta magnitud para sus momentos magnéticos y cuando esos momentos magnéticos se alinean de forma antiparalela, se produce un momento magnético neto en una dirección. Como grupo, los materiales ferrimagnéticos se denominan ferritas. Hay muchos tipos de ferritas. Un grupo se basa en la magnetita,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , que es la antiguamente conocida piedra magnética. Las ferritas poseen baja conductividad, que la hacen útil para muchas aplicaciones electrónicas.

**1.4.1.1 Limadura de acero.** La limadura de acero es un desecho industrial metalmeccánico que se obtiene de procesos de mecanizado, con el fin de pulir las piezas para un mejor comportamiento de los sistemas mecánicos. Se distinguen tres formas de obtener la limadura, las cuales se describen a continuación:

- **Limadura de acero por torneado.** La obtención de limaduras contempladas dentro de este grupo son las provenientes del mecanizado en el torno mecánico. Una condición importante de este proceso es la producción de limadura continua en forma de viruta y una gran cantidad de finos. En este tipo de limadura es indispensable realizar una clasificación y limpieza cuidadosa con el fin de eliminar las grasas y aceites provenientes del mecanizado, es el caso de las taladrinas.

- **Limadura de acero por fresado.** La fabricación de la limadura de acero por este método es a partir de las fresadoras, cuyas partículas obtenidas tienen diversos tamaños debido a las dimensiones del equipo; con respecto a la limadura obtenida por torneado, las aplicaciones y propiedades son las mismas.
- **Limadura de acero por limado.** Es quizás el método más sencillo de obtener la limadura. Su obtención y aplicaciones son similares a las anteriores, solo que aquí se obtienen partículas de menor tamaño y más homogéneo que las logradas en torneado y fresado. El tamaño de la partícula es función de la herramienta con la cual se realice el desbaste mecánico.

Esta operación es la más sencilla de obtener la limadura, debido solo a la utilización de una lima o segueta, una herramienta tan simple, de fácil manejo; mientras que la obtención de limadura por torneado o fresado requiere la presencia de máquinas complejas.

**1.4.1.2 Ferritas de bario y estroncio.** La ferrita de Bario  $BaFe_{12}O_{19}$  y la ferrita de estroncio  $SrFe_{12}O_{19}$  fueron patentadas en 1952 por la Organización Philips en Holanda con el nombre de Ferroxdure y son los materiales magnéticos más difundidos por su excepcional relación calidad/precio que se pueden encontrar en aplicaciones tan diversas como automatización, control y medición. La ferrita está compuesta por una mezcla de óxido de hierro y carbonato de bario (o estroncio) y se obtiene a través de un proceso de sinterización en seco o en húmedo. [10]

A través de la sinterización (tratamiento térmico a altas temperaturas), se obtienen las piezas con su forma y solidez definitivas [5].

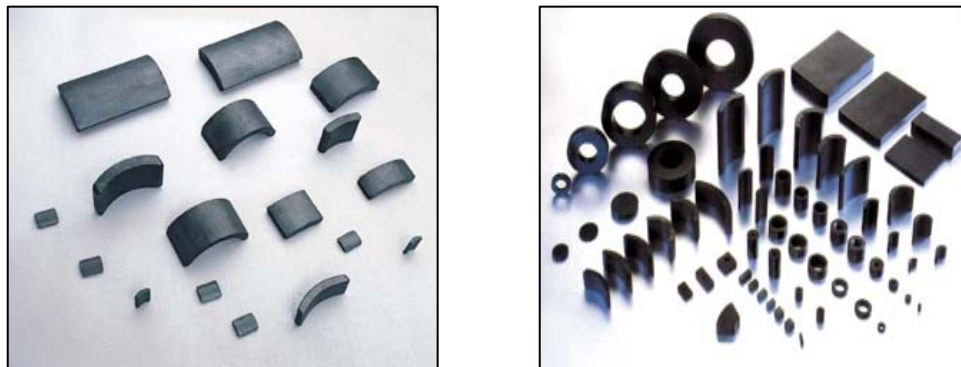
#### **1.4.2 Imanes.**

**1.4.2.1 Tipos de imanes.** Además de la magnetita o imán natural existen diferentes tipos de imanes fabricados con diferentes aleaciones tales como los imanes de tierras raras, imanes flexibles, imanes de alnico e imanes cerámicos o ferritas.

- **Imanes cerámicos**

Se llaman así por sus propiedades físicas, tienen apariencia lisa, color gris oscuro y aspecto parecido a la porcelana. A estos imanes se les puede dar cualquier forma, por esto son los más usados (en altavoces, aros para auriculares, figuras para adherir a las neveras, etc.). Son muy frágiles, pueden romperse si se caen o se acercan a otro imán sin el debido cuidado. Los imanes cerámicos se fabrican a partir de partículas muy finas de material ferromagnético (óxidos de hierro) que se transforman en un conglomerado por medio de tratamientos térmicos a presión elevada, sin sobrepasar la temperatura de fusión. Algunos imanes cerámicos están fabricados con una mezcla de bario y estroncio, estos son resistentes a muchas sustancias químicas (disolventes y ácidos) y pueden utilizarse a temperaturas comprendidas entre - 40 °C y 260 °C. En la figura 4 se presentan imanes de ferritas de bario y estroncio.

**FIGURA 4. Imanes de ferritas de bario y estroncio**



- **Imanes de alnico**

Se llaman así porque en su composición llevan los elementos aluminio, níquel y cobalto. Se fabrican por fusión de un 8 % de aluminio, 14 % de níquel, 24 % de cobalto, 51 % de hierro y 3 % de cobre. Son los que presentan mejor comportamiento a temperaturas elevadas. Tienen la ventaja de poseer buen precio, aunque no tienen mucha fuerza de atracción.

- **Imanes de tierras raras**

Son imanes pequeños, de apariencia metálica, con una fuerza 6 a 10 veces superior a la de los materiales magnéticos tradicionales. Los imanes de boro/neodimio están formados por hierro, neodimio y boro; tienen alta resistencia a la desmagnetización, son lo bastante fuertes como para magnetizar y desmagnetizar algunos imanes de alnico. Estos imanes se oxidan fácilmente y son bastante frágiles, por eso van recubiertos con un baño de cinc, níquel o un barniz epoxídico.

Los imanes de samario/cobalto no presentan problemas de oxidación pero tienen el inconveniente de ser muy costosos por esto se están sustituyendo por los de boro/neodimio (figura 5). Es importante manejar estos imanes con cuidado para evitar daños corporales y daño a los imanes (los dedos se pueden golpear seriamente). Los imanes de Neodimio (NdFeB) son los que poseen mayor fuerza coercitiva y se utilizan en los casos que requieran BH máximo y temperaturas de trabajo que no superen los 80 °C.

**FIGURA 5. Imanes de boro/neodimio**



- **Imanes flexibles**

Se fabrican por aglomeración de partículas magnéticas (hierro y estroncio) en un elastómero (caucho, PVC, etc.). Su principal característica es la flexibilidad, presentan forma de rollos o planchas con posibilidad de una cara adhesiva. Se utilizan en publicidad, cierres para nevera, llaves codificadas, etc. Consisten en una serie de bandas estrechas que alternan los polos norte y sur. Justo en la superficie su campo magnético es intenso pero se anula a una distancia muy pequeña, dependiendo del grosor de las bandas. Se hacen así para eliminar problemas, como por ejemplo que se borre la banda magnética de una tarjeta de crédito.

- **Otros imanes**

También existen imanes de platino/cobalto, utilizados en relojería, en dispositivos aeroespaciales y en odontología para mejorar la retención de prótesis completas. Algunas aleaciones utilizadas son cobre/níquel/cobalto e hierro/cobalto/vanadio.

## **1.5 INHIBIDORES DE CORROSIÓN**

Los inhibidores de corrosión son sustancias que adicionadas en pequeña cantidad al ambiente que rodea el acero logran inhibir una o las dos reacciones (anódica y catódica), necesarias para que la corrosión electroquímica ocurra o una de las dos. Una clasificación de los inhibidores en cuanto a su acción se presenta a continuación.

**1.5.1 Inhibidores pasivadores.** Son inhibidores que interactúan con el metal formando una capa de óxido del mismo metal, la cual previene la posterior corrosión. Estos inhibidores no actúan adecuadamente en presencia de cloruros o sulfatos, ya que estos destruyen la capa formada.

**1.5.2 Inhibidores de depósito.** Son inhibidores que reaccionan con componentes del electrolito (Agua de Poros) que rodean el refuerzo, depositando sobre su superficie productos de reacción protectores.

**1.5.3 Inhibidores de película electrolítica.** Estas sustancias logran aumentar la viscosidad del agua de poros en cercanías al acero, con lo cual se disminuye la difusión de oxígeno a través del medio y hasta el metal, disminuyendo la reacción catódica.

**1.5.4 Inhibidores de absorción.** Constituye el grupo más grande de inhibidores y son sustancias que se depositan dando lugar a una capa muy delgada sobre el metal al cual se unen mediante diferentes tipos de enlace. Estos inhibidores impiden una o las dos reacciones de corrosión.

Desde hace algunos años ciertos investigadores han ensayado la adición de productos destinados a evitar la corrosión del acero. Los inhibidores de corrosión parece que actúan formando en la superficie del metal una película protectora muy insoluble.

Los inhibidores químicos más utilizados son: Nitrito Sódico ( $\text{NaNO}_2$ ), Benzoato Sódico ( $\text{C}_6\text{H}_5\text{COONa}$ ), Cromato Potásico ( $\text{K}_2\text{CrO}_4$ ), Molibdatos de Sodio o Potasio ( $\text{Na}_2\text{MoO}_4$ ,  $\text{K}_2\text{MoO}_4$ ), fosfatos, Cloruro de Calcio ( $\text{CaCl}_2$ ).

## 2. DESARROLLO EXPERIMENTAL

El desarrollo experimental se divide en cuatro etapas: la primera consiste en la obtención del pegante en barra sin material ferromagnético; la segunda es la obtención del pegante en barra ferromagnético adicionando al pegante obtenido anteriormente ferrita en polvo o limadura de acero en polvo; la tercera etapa es la evaluación y estudio de las propiedades, adhesivas, ferromagnéticas y físico-mecánicas del pegante obtenido y la cuarta etapa comprende la aplicación del pegante ferromagnético sólido elaborado. (Ver **Anexo B**, Esquema general de la metodología usada).

El procedimiento desarrollado para la obtención del pegante sin material ferromagnético, incluye precauciones de seguridad en el manejo de adhesivos, como lo indica la norma ICONTEC NTC 5004 (Ver **Anexo C**).

Para efectos de comprensión, desde este punto en adelante se denominará pegante puro al pegante sin material ferromagnético sólido elaborado en el laboratorio con las condiciones de operación y composiciones de reactivos adecuadas; a su vez al hablar de pegante ferromagnético se entenderá que se refiere al pegante ferromagnético sólido, así mismo el pegante comercial utilizado para la comparación es el conocido en el mercado como pegastic.

### 2.1 OBTENCIÓN DEL PEGANTE PURO

Para la producción del pegante puro inicialmente se hizo una selección minuciosa de las materias primas, de la misma manera se buscaron proporciones adecuadas, así como condiciones de operación óptimas para el proceso de

producción. La metodología seguida para la obtención del pegante puro se presenta en el **Anexo D**.

**2.1.1 Selección de materias primas.** La selección de materias primas se realizó mediante un exhaustivo estudio de la literatura y de forma conjunta estuvo soportada en la asesoría prestada por un ingeniero químico<sup>1</sup> con amplia experiencia en la industria de los adhesivos, lo cual permitió establecer un punto de partida en la obtención del pegante puro, logrando como resultado seis reactivos fundamentales que se listan a continuación:

- Agua
- Óxido de zinc
- Resina polimérica PVP
- Ácido esteárico
- Alcohol industrial (etanol)
- Solución de soda cáustica al 10%

En este punto del desarrollo experimental el reto consistía en verificar las proporciones de los reactivos y las condiciones de operación del proceso suministradas por las fuentes anteriormente citadas, esto para obtener un producto que cumpliera o superara las especificaciones y aplicaciones de los pegantes en barra disponibles en el mercado.

**2.1.2 Preparación del montaje.** El dispositivo utilizado para llevar a cabo la obtención del pegante sin material ferromagnético estuvo conformado por:

- Balanza analítica marca Mettler Basbal modelo BB240.

---

<sup>1</sup> ENTREVISTA con Luis Guillermo Bernal, Ingeniero Químico. Santa fe de Bogotá, 9 de noviembre del 2004.

- 1 Vaso de precipitados de 1000 ml.
- Baño termostático marca MLW modelo UC2 con termómetro controlador de mercurio, con un rango de temperatura de 0°C a 140°C. Error en el control de la temperatura  $\pm 1^\circ\text{C}$ .
- Agitador mecánico con velocidad graduable, marca MLW, modelo ER10.
- 1 Termómetro bimetálico indicador marca Weston con intervalo de temperaturas entre 0 a 100°C.
- Soporte universal de acero.
- Soporte de acero para el reactor.
- Recipiente de presión y camisa de vidrio marca MLW modelo labor capacidad 3,5 L.
- Embudo de vidrio.
- Condensador de vidrio.

El montaje constaba de un reactor de vidrio con chaqueta de calentamiento dentro de la cual fluía aceite mineral para calentamiento proveniente del baño termostático, montado en un soporte de acero. En la tapa superior del reactor se encontraba ubicado un termómetro que registraba la temperatura de la solución, junto a ese orificio se encontraba otra abertura que permitía el ingreso de los reactivos al reactor ayudado por un embudo de vidrio y un tercer orificio donde se instalaba el condensador.

El agitador mecánico se encontraba conectado al soporte universal, de tal forma que la hélice que estaba acoplada al reactor se introducía en el vaso del mismo, siendo siempre la misma distancia a la que se encontraba del fondo del reactor.

En la figura 6 se muestra el montaje utilizado.

**FIGURA 6. Montaje para la obtención del pegante puro.**



**2.1.3 Preparación de los reactivos.** Los reactivos fueron pesados y medidos según su estado físico. La soda cáustica fue preparada en una disolución acuosa del 10% en peso.

**2.1.4 Mezclado de los reactivos.** Los reactivos seleccionados se incorporaron en dos momentos del proceso con ayuda de calentamiento y agitación continua, se permitió un primer tiempo de mezclado después de la adición del primer grupo de reactivos, y para el segundo grupo de reactivos se dejó un lapso de agitación y calentamiento denominado segundo tiempo de mezclado.

El agua y el alcohol industrial (etanol) fueron agregados inicialmente al reactor para formar el solvente base en el cual se disolvería la resina polimétrica PVP, posteriormente se agregó el óxido de Zinc y se inició la agitación continua por medio del agitador mecánico con velocidad graduable y el calentamiento por medio de la chaqueta que contenía el aceite proveniente del baño termostatado.

Seguidamente se agregó la resina polimétrica PVP y se dejó en agitación con velocidad constante durante el primer tiempo de mezclado el cual se determinó por medio de la inspección visual de una mezcla homogénea.

Una vez obtenida la mezcla homogénea se procedió a incorporar el ácido esteárico y la solución de soda cáustica con ayuda de un embudo de vidrio, se continuó con la agitación y el calentamiento durante un segundo tiempo de mezclado.

Posteriormente se descargó el pegante a un vaso de precipitados y seguidamente se envasó en recipientes de 10 gramos para llevarlos después a enfriamiento hasta temperatura ambiente durante 4 horas.

Para determinar el segundo tiempo de mezclado se elaboró pegante puro variando tiempos de mezclado y una vez obtenido el pegante se evaluó el contenido de sólidos y el pH siguiendo la metodología descrita más adelante en los numerales 2.1.5.2 y 2.1.5.3 respectivamente, estos parámetros fueron comparados con los valores obtenidos para tres pegantes encontrados en el mercado.

### **2.1.5 Pruebas para el pegante puro.**

**2.1.5.1 Verificación de solidificación.** Esta prueba fue de carácter cualitativo y se llevó a cabo antes de descargar el pegante para ser envasado.

La metodología de la prueba consistió en sacar una pequeña porción de la mezcla previa a descargar y verterla por gravedad sobre una superficie plana de color fuerte, de tal forma que fuera evidente el contraste de ésta con el color del pegante puro (figura 7). La prueba se consideró positiva si el pegante puro solidificaba en un lapso de tiempo menor a 5 segundos, de lo contrario la prueba era considerada negativa.

**FIGURA 7. Verificación de solidificación**



**2.1.5.2 Determinación del contenido de sólidos.** Siendo el adhesivo de estudio un producto con sólidos disueltos en él, se hace importante cuantificar su valor.

Para realizar esta determinación se tomaron 0.5 gramos de pegante puro y se colocaron en una caja petri, llevándose a una estufa precalentada a 110 °C durante 15 minutos, después se llevó nuevamente a pesar el residuo y mediante diferencia de pesos se encontró el valor de los sólidos contenidos, tal como lo indican la norma ICONTEC, NTC 2790.

**2.1.5.3 Determinación de pH.** La metodología de esta prueba consistió en agregar 5 gramos de pegante puro a un vaso de precipitados que contenía 50 ml de agua destilada, posteriormente se llevó a un agitador magnético graduable con

plato calentador, marca Cole Parmer, modelo L920013 con un intervalo de temperaturas de trabajo de 0 a 200 °C y de esta forma por medio de calentamiento y agitación se disolvió el pegante puro en el agua, para después registrar el valor haciendo uso de un medidor de pH marca Schott Gerate modelo CG820 que se encuentra en el laboratorio de operaciones unitarias de la Escuela de Ingeniería Química (Ver **Anexo E** figura 1, Registro fotográfico del equipo).

Según la norma ASTM D1583-61 (particularly in American Specifications for wood adhesives) el valor de pH debe encontrarse entre 2,5 y 11.

**2.1.5.4 Prueba de desprendimiento de fibra para la evaluación de la adhesividad.** Este ensayo permite determinar el poder de adherencia del pegante puro, evaluando la liga adhesiva de dos sustratos de papel. Se denominó sustrato 1 al papel de menor área y sustrato 2 al papel con mayor área y donde parte de fibra del sustrato 1 quedaba retenida.

Para esta prueba se realizó una junta adhesiva entre el sustrato 1 y 2 con el pegante puro. Después de permitir un tiempo de cura de 5 minutos se separaron los sustratos.

Para cuantificar esta prueba de desprendimiento de fibra, se relacionó con el peso de papel desprendido del sustrato 1 por el sustrato 2, en otras palabras la pérdida de peso al desprender una de las caras de papel (sustrato 1) sobre la otra que tenía una determinada cantidad de pegante puro, este valor se comparó con el observado al someter a la misma prueba el pegante comercial.

Después de realizar de forma repetitiva el procedimiento anteriormente descrito para la obtención del pegante puro y realizadas las pruebas citadas se llegó a las condiciones y proporciones adecuadas para la fabricación del propósito.

Una vez encontrada la formulación adecuada para la fabricación del pegante puro se evaluaron parámetros adicionales como densidad y viscosidad para poder establecer de forma cuantitativa la diferencia que existía entre este y un pegante comercial.

**2.1.5.5 Determinación de la densidad.** La densidad se evaluó de dos formas, una de ellas fue pesando las barras y calculando el volumen, teniendo en cuenta su forma geométrica y la otra fue calculando el volumen por desplazamiento de líquido dentro de una probeta.

**2.1.5.6 Determinación de la viscosidad.** Los materiales adhesivos no son simples fluidos, en general, son polímeros, usualmente solventes y a veces compuestos por polvos de diversas propiedades físicas y químicas.

Por lo tanto, no es sorprendente que los materiales adhesivos no exhiban un flujo newtoniano, y la caracterización de sus propiedades reológicas requieren más de una medición.

Para realizar la medición de la viscosidad se usó un viscosímetro marca BROOKFIELD PROGRAMABLE modelo DV-III + RHEOMETER a una temperatura de 80 °C, tal como lo indica la norma ICONTEC NTC 2790; este dispositivo se encuentra ubicado en el laboratorio de reología y mezclado de la escuela de ingeniería química de la Universidad Industrial de Santander (Ver **Anexo E** figura 2, Registro fotográfico del equipo).

## **2.2 OBTENCION DEL PEGANTE FERROMAGNÉTICO**

La obtención del pegante ferromagnético estuvo comprendida en dos etapas:

- Selección y tratamiento de material ferromagnético.

- Mezcla del material ferromagnético con el pegante.

**2.2.1 Selección y tratamiento del material ferromagnético.** Fue importante seleccionar un material ferromagnético que le proporcionara al pegante propiedades ferromagnéticas y acondicionarlo para su posterior incorporación como carga; para esto, el material se llevó a un tamaño de partícula tal que lograra ser retenido en el pegante (Ver **Anexo F**, metodología).

**2.2.1.1 Selección del material ferromagnético.** La selección del material ferromagnético se hizo teniendo en cuenta especialmente la variable calidad/precio, aunque también se dio relevancia a su disponibilidad a nivel comercial y facilidad de disminución de tamaño.

Los imanes de tierras raras como los de samario/cobalto y boro/neodimio, así como los de hierro/cobalto/vanadio, cobre/níquel/cobalto y platino/cobalto, no fueron los adecuados y se prescindió de ellos por su elevado precio a pesar de contar con buenas propiedades magnéticas; un kilogramo de imán de boro/neodimio, más económico que los anteriores, posee 12000 Gauss y su precio aproximado es de 272.000 pesos [35]. Los imanes de Alnico a pesar de su buen precio, se descartaron por su baja fuerza de atracción, la magnetita o imán natural no se tomó como una alternativa por la dificultad de consecución, sumado a la baja fuerza de inducción promedio que es de 650 Gauss y es rebasada por los imanes de ferrita. Teniendo en cuenta lo anterior se estudió la posibilidad de incluir como material de carga la ferrita de bario ( $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ ) y la ferrita de estroncio ( $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ ) o una combinación de estas dos.

Mediante análisis instrumental de difracción de rayos X se encontró que los imanes utilizados en los altavoces y parlantes de equipos de sonido son una mezcla de 98% de ferrita de bario y estroncio y 2% de otros materiales. [18]

Como complemento al estudio mencionado se encontró una relación inducción magnética/costo, de ferritas. El precio promedio de este material ferromagnético se cotizó en diferentes lugares como cacharrerías y centros de arreglo de equipos de sonido del área metropolitana de Bucaramanga.

Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 1.

**TABLA 1. Relación inducción magnética/costo de ferritas.**

Material	Inducción Remanente [Gauss]	Costo [\$/Kg]
Ferrita de Bario	1200	42500 *
Ferrita de Estroncio	1500	54500*
Mezcla de ferrita de bario y estroncio	900	700
*Datos suministrados por Dimetales Ltda. Santa Fe de Bogotá – Colombia		

Examinando la Tabla 1, se estableció que no es conveniente utilizar ferritas bario y estroncio comerciales ya que tienen precios elevados en comparación con la mezcla de estas ferritas (parlantes de los equipos de sonido).

Por otra parte la limadura de acero se consigue fácilmente en los talleres de mecánica industrial situados en los barrios Girardot, Caldas y Gaitán, establecimientos que prestan el servicio de torneado de piezas de acero en la ciudad. Su precio es bajo en comparación con el de los imanes y oscila entre 500 y 700 pesos por kilogramo (Dato suministrados por Tornopartes Bucaramanga).

## **2.2.1.2 Tratamiento del material ferromagnético**

### **2.2.1.2.1 Obtención de ferrita en polvo.** La ferrita en el mercado no se encuentra disponible en forma de partículas finas o polvo, por consiguiente, es necesario disminuir su tamaño, mediante trituración y molienda.

Antes de reducir de tamaño el material, se retiraron partes metálicas como tornillos y armazones que le rodeaban, para así posteriormente someterlo a las operaciones anteriormente mencionadas, estas se llevaron a cabo en el laboratorio de operaciones unitarias de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad Industrial de Santander.

- **Trituración.** Como se indicó anteriormente la ferrita se tomó de los imanes que se encuentran en los parlantes de los equipos de sonido, estos imanes se presentan en forma circular y sus diámetros van desde 5 cm hasta 10 cm aproximadamente dependiendo del tipo de parlante (marca y potencia), se tomaron 3 kilogramos de imán y se procedió a disminuir su tamaño, mediante trituración y maceración en un mortero de acero (se requiere que sea de acero para que las partículas de ferrita no se adhieran a éste). El tiempo estimado para la trituración del material fue de dos horas y media por kilogramo de ferrita. Al terminar esta operación se alcanzaron partículas de un tamaño no superior a la malla 4 de la serie Tyler (4.7 mm).
- **Molienda.** Se efectuaron dos moliendas, una en un molino de bolas de acero para hacer más homogéneo el tamaño de las partículas y otra en un molino de bolas cerámicas para llevar el material hasta polvo.

**Molienda en molino de bolas de acero:** Se llevó el material anteriormente triturado a un molino de volteo con bolas de acero de capacidad 2 kg/h y 46 rpm. Se inició la molienda durante una hora, con una carga de 2 Kg de material, después se detuvo la molienda durante 20 minutos para reacomodar el material ferromagnético en la parte central de molino debido a la propensión de éste a aglutinarse en las paredes de la carcasa, disminuyendo el contacto con las bolas, y por ende la eficiencia de la molienda.

Esta parte de la molienda tuvo una duración de 8 horas por kilogramo de ferrita incluyendo el tiempo muerto que consistió en la carga, acomodamiento del material cada hora y descarga del material ferromagnético, el cual se redujo de un tamaño de partícula de la malla 4 a la malla 80 de la serie Tyler (diámetro máximo de partícula, 0.177 mm aproximadamente).

**Molienda en molino cerámico:** El material se llevó a una segunda molienda en un molino de bolas cerámicas; se hizo de esta forma buscando obtener partículas muy finas que pudieran atravesar la malla 200 de la serie Tyler (diámetro máximo de partícula, 0.074 mm). El tiempo de molienda para 1 Kg de ferrita fue de 3.5 horas.

- **Tamizado.** El tamizado se basa en la separación selectiva de los materiales irregularmente granulados por tamices con mallas redondas o cuadradas. Se tamizaron 500 gramos de ferrita durante 1 hora teniendo en cuenta el tiempo de carga y descarga del material, Se etiquetaron varias bolsas con cierre hermético para almacenar la ferrita en polvo y distinguir la malla a la cual correspondían. Se seleccionó el material que pasó por las mallas 80,120 y 200 de la serie Tyler. La muestra que no cumplió con los requisitos de tamaño anteriormente expuestos se llevó nuevamente al molino de bolas cerámico, durante un tiempo aproximado de 1 hora y después se hizo la clasificación de las partículas para seleccionar las que pasaban las mallas mencionadas. Este procedimiento se llevó a cabo en varias oportunidades hasta convertir la mayor cantidad de ferrita en polvo.

**2.2.1.2.2 Tratamiento de la limadura de acero en polvo.** La limadura de acero necesitó menor número de operaciones unitarias que las que se usaron con la ferrita, debido a que se dispuso de ella en forma de polvo fino proveniente de los talleres de mecánica industrial de la ciudad.

- **Lavado con Alcohol Industrial (etanol).** Se realizó en un sistema provisto de un recipiente de acero inoxidable, en cuya parte inferior contiene una malla fina para evitar pérdidas de material, esto con el fin de retirar las impurezas y compuestos orgánicos (Taladrinas) procedentes del proceso de Torneado.
- **Secado.** Para retirar la humedad y las trazas de alcohol presentes en el material, éste fue llevado a un horno al vacío a  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$  durante cinco horas y media.
- **Tamizado.** Después del secado del material se tamizó la limadura en el mismo equipo utilizado para el tamizado de la ferrita. El proceso de tamizado para una carga de 500 gramos tardó 1 hora para finalmente separar las partículas que atravesaron las mallas 80, 120 y 200.

El material seleccionado tanto la ferrita como la limadura de acero se almacenó en empaques dispuestos de un sello hermético para evitar su contaminación. Los equipos utilizados en el tratamiento del material ferromagnético se presentan en el **Anexo G.**

**2.2.2 Incorporación del material ferromagnético en el pegante.** Una vez seleccionado y adecuado el material ferromagnético por medio del procedimiento anteriormente descrito y de haber obtenido la formulación y condiciones adecuadas para la producción del pegante puro se realizó la incorporación de dicho material en el pegante de tal forma que éste correspondiera al 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70 y 80 por ciento en peso.

La incorporación del material ferromagnético en el pegante se hizo junto con el ácido esteárico y la soda cáustica, adicionalmente cuando el material ferromagnético fue limadura de acero se hizo necesario agregar un inhibidor de corrosión comercial en un porcentaje que correspondía al 3% en peso de la limadura de acero.

Un diagrama del procedimiento para la obtención del pegante ferromagnético se muestra en el **Anexo H**. Adicionalmente en el **Anexo I** se puede apreciar un registro fotográfico secuencial de la fabricación del pegante ferromagnético.

### **2.3 EVALUACIÓN DEL PEGANTE FERROMAGNÉTICO**

La evaluación de las características magnéticas, adhesivas y físico - mecánicas, sirven para predecir el comportamiento y confiabilidad de una liga adhesiva. Con esto no solamente se prueba el material adhesivo sino también la técnica de ligamento que incluye la preparación de la superficie de aplicación y cura del adhesivo.

La exactitud y reproducibilidad de los resultados provenientes de los ensayos dependerá de las condiciones sobre las cuales sea llevado a cabo el proceso de ligado. Algunas de las variables que influyen en la obtención de una buena liga adhesiva y que se deben tener en cuenta, son las siguientes:

- Preparación de las superficies antes de la aplicación del adhesivo.
- Condiciones para la aplicación del adhesivo, incluyendo la velocidad de aplicación, espesor de la película, número de recubrimientos que se deben aplicar en una o en las dos superficies.

- Las condiciones de ensamble antes de la aplicación de la presión, incluyendo la temperatura del cuarto, el porcentaje de humedad relativa y el tiempo de ensamble.
- Condiciones de cura, incluyendo el tiempo y la cantidad de presión aplicada, así como la temperatura a la cual se lleva a cabo.

**2.3.1 Pruebas para el pegante ferromagnético.** Las pruebas realizadas al pegante ferromagnético se dividieron en cinco tipos:

- Preliminares
- Físicas
- Magnéticas
- Físico-mecánicas
- De análisis térmico

Adicionalmente se le realizaron las pruebas anteriores a excepción de la magnética al pegante puro y al comercial con el propósito de determinar la influencia del material ferromagnético en las propiedades del pegante y de esta manera poder establecer un punto de comparación.

**2.3.1.1 Pruebas preliminares.** Al pegante ferromagnético inicialmente se le realizó una prueba preliminar que permitió evaluar la propiedad ferromagnética de la liga adherente.

**2.3.1.1.1 Prueba de atracción magnética (cualitativa).** Se tomó un cuadrado de papel al que se le aplicó una cantidad conocida de pegante ferromagnético en forma de capa delgada y se unió a otro cuadrado del mismo tamaño, seguidamente se tomó como tiempo de cura 5 minutos. Posteriormente la probeta

(figura 1 **Anexo J**) se puso en contacto con un imán de neodimio (Nd) para probar el poder de atracción magnético impregnado por el pegante al papel.

### **2.3.1.2 Pruebas físicas**

**2.3.1.2.1 Homogeneidad superficial.** El análisis morfológico se hizo mediante la utilización de un microscopio, en el cual se pudo observar la distribución de las fases a nivel macro, para determinar en forma cualitativa el ordenamiento de las partículas del material ferromagnético en la mezcla adhesivo-material ferromagnético.

**Microscopía óptica.** Este ensayo permite observar la separación de las fases del adhesivo y el material ferromagnético, se realizó en un microscopio LABOPHOT-2 marca NIKON modelo M088E de la Escuela de Ingeniería Química (Ver **Anexo E** figura 3, Registro fotográfico del equipo). Se aplicó una pequeña cantidad del pegante ferromagnético en un porta muestra de vidrio formando una película delgada de la mezcla y se hizo pasar a través del microscopio para ver su estructura interfacial.

Dentro de estas pruebas se encuentran también la determinación de la densidad y la viscosidad, las cuales se realizaron de igual forma que la descrita en los numerales 2.1.5.5 y 2.1.5.6 respectivamente.

### **2.3.1.3 Pruebas físico mecánicas**

**2.3.1.3.1 Resistencia adhesiva.** La resistencia adhesiva y la forma en que el tamaño de partícula, la carga dentro del pegante y el tipo de material ferromagnético influyen sobre esta, fueron variables importantes a la hora de evaluar el pegante ferromagnético.

Para determinar esta propiedad se realizó una prueba de esfuerzo cortante, la cual consistió en determinar la fuerza soportada por una junta adhesiva hecha con pegante ferromagnético y cartulina. Se diseñaron dos probetas en disposición a solape tipo simple<sup>2</sup> con la misma área de junta, que diferían en la cantidad de pegante ferromagnético aplicado. La probeta se ilustra en la figura 2 **Anexo J**.

Los ensayos se realizaron en la máquina para ensayos Tinius Olsen 10.000 (Ver **Anexo E** figura 4, Registro fotográfico del equipo), que se encuentra en el laboratorio de control de calidad de la empresa Colombiana de Extrusión S.A. El equipo es electrónico y efectúa ensayos de tensión.

La fuerza (carga) aplicada a la muestra que está siendo ensayada se registra en el panel inferior de la máquina y en un papel de registro en el registrador ubicado a la izquierda. Mientras que la deformación correspondiente puede obtenerse a partir de la señal de un extensiómetro externo acoplado a la muestra y se consigna sobre el papel de registro. La máquina operó a una velocidad constante de 12.7 mm por minuto.

El procedimiento seguido en la preparación de las probetas se basó en la norma ICONTEC NTC 1703

- Se prepararon 3 muestras para cada porcentaje de ferrita y limadura de acero, incluyendo el pegante puro, el pegante comercial y el papel virgen. La aplicación del adhesivo sobre las probetas se completó aproximadamente en un minuto. Tres minutos después de haber empezado

---

<sup>2</sup> FACTORES TÉCNICO-GEOMÉTRICOS QUE CONDICIONAN LA ACOTACIÓN GRÁFICA DE LAS UNIONES ESTRUCTURALES MEDIANTE ADHESIVOS. (1º: 2002: Santander, España). XIV CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA. Santander: Universidad Politécnica de Madrid, España, 2002

a aplicar el adhesivo se dispuso, sin fricción, la cara engomada de una lámina sobre la cara de la otra y se prepararon las uniones traslapadas.

- Las láminas se pegaron en el orden en que fueron impregnadas con el adhesivo, inmediatamente después se colocó el grupo que contiene las tres muestras preparadas simultáneamente en una prensa, de tal forma que la presión de la mordaza actuara igualmente en todas las uniones. Las muestras se dejaron en la mordaza 24 horas a temperatura ambiente.
- Después de mantener las muestras por 24 horas en la prensa, se retiraron y se dejaron otras 72 horas a temperatura ambiente. Se determinó la resistencia al esfuerzo cortante en la máquina descrita anteriormente.
- Los resultados se obtuvieron a partir del ensayo de las tres muestras para cada porcentaje de material ferromagnético. La resistencia a la tensión del adhesivo se determinó calculando el promedio de los ensayos (Anexo M) y aquellas en las cuales la ruptura ocurrió en el sustrato y no en las uniones antes de llegar a la resistencia requerida, no se tuvieron en cuenta.

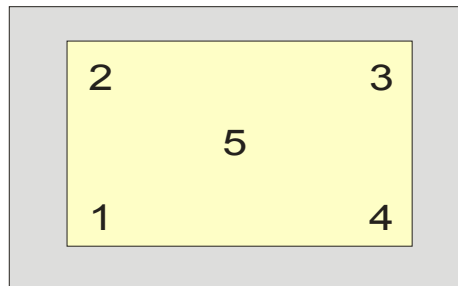
#### **2.3.1.4 Pruebas magnéticas**

**2.3.1.4.1 Determinación de la inducción remanente.** Las mediciones se realizaron en el laboratorio de física de la Universidad Autónoma de Bucaramanga. El equipo empleado para medir el campo magnético fue el Gaussímetro digital portátil marca KOSHAVA 3 (Ver **Anexo E** figura 5, Registro fotográfico del equipo) con un porcentaje de exactitud del  $\pm 1\%$ .

Se midió la inducción remanente a las mismas probetas usadas para la prueba magnética cualitativa (figura 1 **Anexo J**), con excepción de las probetas que

contenían pegante ferromagnético con limadura de acero, los cinco puntos donde se efectuaron las mediciones en cada probeta se ilustran en la figura 8.

**FIGURA 8. Puntos de medición de Inducción Remanente**



Además de la medición sobre las probetas cargadas con ferrita, también se registró la inducción remanente de los imanes de Neodimio utilizados para las demás pruebas, la de imanes de ferrita del tipo utilizado para cargar las probetas y la de las probetas libres de cargas magnéticas. De forma adicional se midió la inducción remanente a una probeta que estuvo en contacto con un imán de neodimio por un lapso de tiempo de 2 horas.

**2.3.1.4.2 Determinación de la adhesividad magnética.** Este ensayo se realizó para determinar la fuerza o peso capaz de soportar el pegante ferromagnético después de aplicado y curado en una superficie.

Se sabe que el peso de un cuerpo es la fuerza a que está sujeta una masa en virtud de la presencia de un campo gravitatorio. Si la masa de un cuerpo es igual a  $m$  [kg] y la aceleración de la gravedad es igual a  $g$  [m/s<sup>2</sup>], la fuerza  $F$  [Newton] que actúa sobre el cuerpo debida a la gravedad será:

$$Fuerza(F) = masa(m) \times aceleración\ debida\ a\ la\ gravedad(g)$$

Teniendo en cuenta esto, es posible mediante un procedimiento sencillo calcular la fuerza o peso que es capaz de soportar una cantidad determinada de pegante ferromagnético impregnado en una probeta de área conocida.

Para esta prueba fueron utilizadas las mismas probetas en cuanto a tamaño a las usadas para la prueba magnética cualitativa y se adicionaron dos cantidades diferentes de pegante para obtener dos tipos de probeta diferentes por cada tipo de material ferromagnético.

La prueba consistió en pegar un alambre de peso despreciable a un imán de neodimio de área y peso determinado, se adjuntó el imán a la probeta y con ayuda del alambre se fueron instalando pequeños pesos hasta que el imán se desprendía de la probeta, se determinó el valor de los pesos y se obtuvo la fuerza al multiplicar por la gravedad.

**2.3.1.5 De análisis térmico.** El análisis térmico comprende el conjunto de técnicas analíticas que estudian el comportamiento térmico de los materiales

Así, bajo la denominación de análisis térmico se agrupa una serie de técnicas en las cuales se sigue una propiedad de la muestra, en una determinada atmósfera, en función del tiempo o de la temperatura cuando dicha muestra es sometida a un programa de temperatura controlado.

**2.3.1.5.1 Estabilidad térmica.** Cuando un material es calentado o enfriado, su estructura y su composición química sufren cambios: fusión, solidificación, descomposición, transición, etc... Estas transformaciones se pueden analizar midiendo la variación de distintas propiedades de la materia en función de la temperatura, unas de las técnicas analíticas que estudian el comportamiento térmico de los materiales son el análisis termogravimétrico y la calorimetría diferencial de barrido (DSC).

- **Análisis termogravimétrico (TGA).** El análisis termogravimétrico mide el cambio en el peso asociado a transiciones térmicas inducidas de una sustancia calentada a una velocidad controlada como una función de la temperatura. Se empleó para esta prueba un analizador termogravimétrico TGA 2050 de la Escuela de Ingeniería Química (Ver **Anexo E** figura 6, Registro fotográfico del equipo). Las condiciones de operación se presentan a continuación:

Temperatura de equilibrio inicial: 30°C

Velocidad de calentamiento: 10°C/ minuto

Temperatura de equilibrio final: 700°C

Atmósfera: Nitrógeno

- **Calorimetría diferencial de barrido (DSC).** Este análisis mide la variación en el flujo de calor entre la muestra y la referencia cuando dicha muestra se somete a un programa de temperatura en una atmósfera controlada. Es una técnica cuantitativa que permite obtener información de la temperatura a la cual tiene lugar el cambio energético en estudio y del calor involucrado en dicho proceso. Para este ensayo se utilizó un calorímetro de Barrido Diferencial - DSC Serie Q10 de la Escuela de Ingeniería Química (Ver **Anexo E** figura 7, Registro fotográfico del equipo).

### 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

#### 3.1 OBTENCIÓN DEL PEGANTE PURO

Cada uno de los reactivos seleccionados cumple una función específica en la fabricación del pegante, por lo que se hace de vital importancia conocerla para medir el efecto que tiene en la elaboración del propósito. Los diferentes reactivos con su función particular se listan a continuación:

- *Agua*: es el solvente con mayor presencia en el pegante, que tiene como función hidratar la resina polimérica.
- *Alcohol industrial (etanol)*: sirve como solvente y es altamente volátil.
- *Óxido de zinc*: este polvo fino refleja toda la luz para producir un efecto blanco en la barra de pegante sin material ferromagnético.
- *Resina polimérica PVP*: una vez hidratada tiene la propiedad de ubicarse en los poros de los sustratos y generar una liga adhesiva.
- *Solución de soda cáustica*: ayuda en la conformación de la barra y su consistencia posterior.
- *Ácido esteárico*: reacciona con la soda cáustica produciendo un estearato de sodio (Ver **Anexo K**) que da mayor suavidad a la barra a la hora de ser aplicada sobre el papel, y crea una capa humectante que no permite que la parte externa de la barra se reseque.

Los dos tiempos de mezclado que intervienen en el proceso se hallaron de forma diferente. El primero se estableció mediante observación visual, y se sustentó en la completa dispersión del polímero en el solvente. El tiempo adecuado para este mezclado fue de 2 horas.

El segundo tiempo de mezclado se fijo después de elaborar el pegante puro ensayando con diferentes tiempos de mezcla, una vez obtenido el pegante puro se le midieron valores de pH, contenido de sólidos y desprendimiento de fibra. Para posteriormente compararlos con los valores reportados por tres pegantes comerciales.

En este orden de ideas el segundo tiempo de mezclado se estableció hasta que el pegante puro presento valores de pH, contenido de sólidos y desprendimiento de fibra que se encontraran dentro de los intervalos reportados por los pegantes comerciales, en la tabla 2 se presentan dichos intervalos.

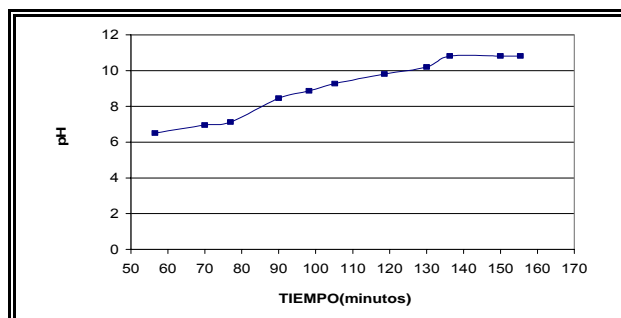
**TABLA 2. Parámetros característicos de los pegantes sólidos comerciales**

PARAMETRO	INTERVALO
pH	10 -12
Contenido de sólidos	32% - 38%
Desprendimiento de fibra (g)	0,077-0,082

(Ver **Anexo L** figura 1, Registro fotográfico prueba de desprendimiento de fibra).

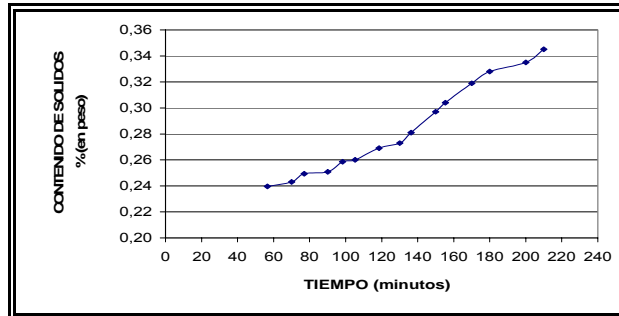
En la figura 9 se observa la variación del pH con el segundo tiempo de mezcla; para un tiempo de 2,5 horas se logra una estabilidad del pH en un valor de 10,82.

**FIGURA 9. Variación del pH con el segundo tiempo de mezclado**



En la figura 10 se presenta la variación del contenido de sólidos con el segundo tiempo de mezclado.

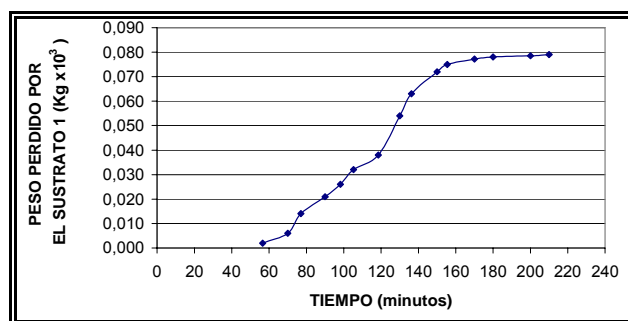
**FIGURA 10. Variación del contenido de sólidos con el segundo tiempo de mezclado**



Como se puede ver en la figura 10 el tiempo para el cual el contenido de sólidos está dentro del intervalo reportado por los pegantes comerciales es de 3 horas, y constatando con este tiempo el valor del pH se puede ver que el pegante se encuentra en el intervalo aceptado.

Por otra parte en la figura 11 se puede apreciar la influencia del segundo tiempo de mezclado en la propiedad adhesiva del pegante puro, observándose que para un tiempo superior a 150 minutos el valor del desprendimiento de fibra se encuentra dentro del intervalo que presentan los pegantes comerciales, este valor es de 0.078 gramos de papel desprendido.

**FIGURA 11. Variación del desprendimiento de fibra con el segundo tiempo de mezclado**



Basados en el análisis de las tres graficas anteriores se estableció como segundo tiempo de mezclado 3 horas, ya que el pegante obtenido tiene unas propiedades similares a las encontradas en los pegantes comerciales.

Finalmente se puede concluir que el tiempo utilizado para la fabricación del pegante puro es de cinco horas. Estos tiempos encontrados son similares a los utilizados en las industrias artesanales para la elaboración del pegante en barra.

Una vez evaluados estos parámetros se pudo establecer tanto un procedimiento como una formulación adecuada para la elaboración del propósito, así como las condiciones de operación y los tiempos de mezclado (ver **Anexo M**, proporciones de reactivos y condiciones adecuadas para la obtención del pegante puro).

Como se mencionó en el capítulo anterior el pegante puro se sometió a diversas pruebas para establecer un punto de comparación entre éste y los pegantes existentes en el mercado. En la tabla 3 se muestran los parámetros medidos para un pegante comercial (pegastic) y para el pegante puro obtenido en el laboratorio.

**TABLA 3. Comparación de algunas propiedades del pegante comercial y el pegante puro**

<b>PARÁMETRO</b>	<b>PEGANTE COMERCIAL</b>	<b>PEGANTE PURO</b>
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	0.949	0.978
Viscosidad (cp) a (80°C)	2590	2586
pH	11.3	10.82
Contenido de Sólidos (%)	33.2	32.8
Desprendimiento de fibra (g)	0,08	0,078

En general de la tabla 3 se puede concluir que el pegante puro obtenido en el laboratorio, reporta valores de densidad, viscosidad, pH, contenido de sólidos y desprendimiento de fibra semejantes a los presentados por el pegante comercial

(pegastic), el parámetro que presenta mayor diferencia es el contenido de sólidos teniendo una diferencia porcentual de 1.2 con el pegante comercial. Este resultado muestra concordancia con los demás parámetros analizados, pues explica la diferencia entre ellos, debida a una mayor presencia de sólidos en el pegante puro.

### **3.2 OBTENCIÓN DEL PEGANTE FERROMAGNÉTICO SÓLIDO**

El material ferromagnético seleccionado (limadura de acero y ferrita) se fue adicionando (por separado) progresivamente en cantidades determinadas de tal manera que estas correspondieran a porcentajes que iban desde el 10% hasta el 80% en peso de la mezcla.

El porcentaje de material ferromagnético incorporado al pegante estuvo limitado por la necesidad de obtener una mezcla homogénea entre el pegante y el material ferromagnético con el fin de garantizar las mismas propiedades para cada punto en la mezcla, teniendo con esto uniformidad en las propiedades tanto adhesivas como magnéticas en el pegante final obtenido.

El material ferromagnético que correspondió a porcentajes del 60, 70 y 80%, presentó dificultades en la incorporación es decir no cumplió con las especificaciones anteriormente mencionadas y por esta razón no se tomaron en cuenta para la evaluación del pegante ferromagnético.

#### **3.2.1 Pruebas preliminares.**

**3.2.1.1 Atracción Magnética.** En esta prueba se obtuvo como resultado para las probetas preparadas con una cantidad constante de pegante ferromagnético y una vez curada la liga adhesiva, una atracción magnética que varió con respecto a la

modificación en la carga de material ferromagnético (ver **Anexo N** figura 2, Registro fotográfico de la prueba).

Se observa que las probetas presentan un aumento en la atracción por los imanes de neodimio a medida que la carga del material ferromagnético aumenta, a su vez las probetas con una carga de 10 y 20 % de material ferromagnético exhiben una atracción menor que la presentada por las probetas que contienen 40 y 50 % de carga. De forma adicional estas pruebas aportaron información sobre el deslizamiento de la barra y el estado físico de la misma, así como de la apariencia del papel después de ser aplicado el pegante con diferentes composiciones másicas de material ferromagnético.

### **3.3 PROPIEDADES DE LOS PEGANTES OBTENIDOS**

**3.3.1 Homogeneidad superficial.** Se estudió la forma de dispersión del material ferromagnético dentro del pegante. Todas las fotografías tomadas a las probetas corresponden a una relación objetivo- ocular de 25 micras, es decir, 400% de aumento. (Ver **Anexo N**, registro fotográfico del análisis superficial)

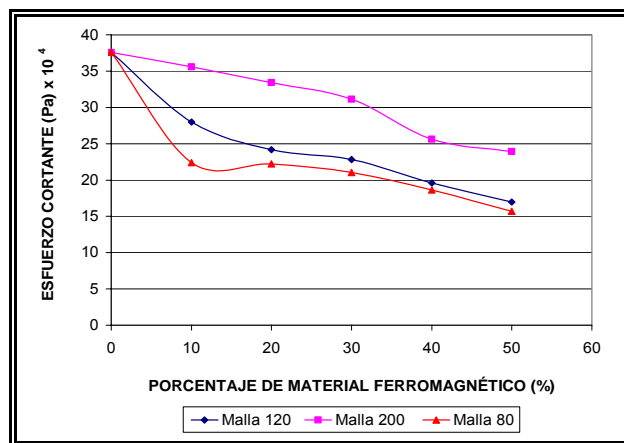
En las fotografías se pueden resaltar algunas zonas negras o tonalidades más oscuras donde las partículas de material ferromagnético se aglomeran o se unen formando una especie de núcleos, los cuales aumentan cuando se incrementa la carga de material ferromagnético dentro del pegante, este comportamiento fue exhibido por todos los tamaños de partícula, de los dos tipos de material ferromagnético, aunque se percibe que la limadura de acero muestra una distribución mas uniforme en el pegante que la ferrita.

**3.3.2 Resistencia adhesiva.** A los datos obtenidos en la prueba de resistencia adhesiva y demás pruebas realizadas a los pegantes ferromagnéticos se les aplicaron medidas de tendencias central, como media aritmética.(**Anexo O**).

**3.3.2.1 Esfuerzo cortante.** Los ensayos se efectuaron a los pegantes ferromagnéticos que tenían incorporado 10, 20, 30, 40 y 50% de ferrita y limadura de acero, con tamaño de partícula que corresponde a las mallas 80, 120 y 200 de la serie Tyler. Los resultados de la prueba para los dos tipos de probetas se registran en el **Anexo P**.

Como se puede ver en las figuras 12 y 13 el comportamiento de la resistencia al esfuerzo cortante del pegante tiende a disminuir a medida que se incrementa el tamaño de partícula y porcentaje de material ferromagnético incorporado, en las dos figuras se puede apreciar claramente que los valores de esfuerzo cortante más altos son los presentados por el pegante con material ferromagnético de tamaño de partícula correspondiente a la malla 200 de la serie Tyler.

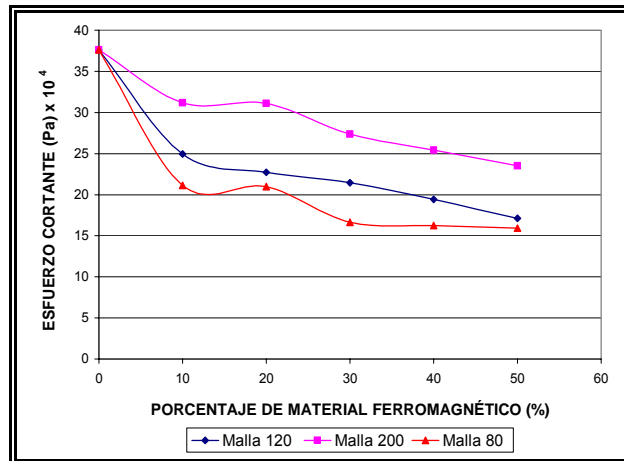
**FIGURA 12. Esfuerzo cortante vs. Porcentaje en peso de limadura de acero (probeta 1).**



También se observa que la resistencia adhesiva, es decir la propiedad adherente del pegante está menos afectada cuando a este se le incorpora limadura de acero como material ferromagnético, esto se debe a que la limadura de acero presentó

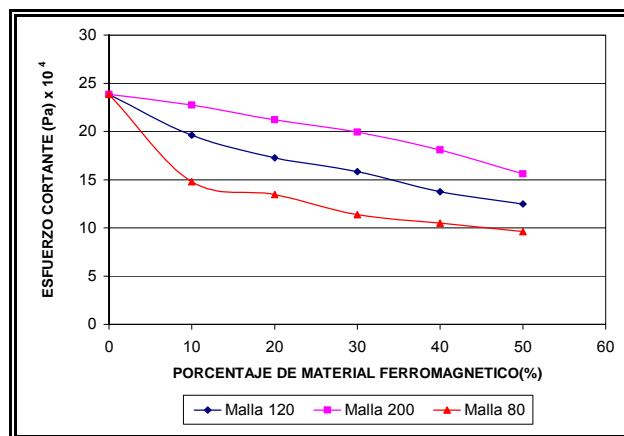
una mejor distribución que la ferrita en el pegante como se pudo apreciar en el análisis superficial.

**FIGURA 13. Esfuerzo cortante vs. Porcentaje en peso de ferrita (probeta 1).**



Para ver la influencia de la cantidad del pegante ferromagnético en la junta, sobre la resistencia al esfuerzo cortante, se realizó esta prueba con la probeta 2 (ver **Anexo P** resultados de la prueba).

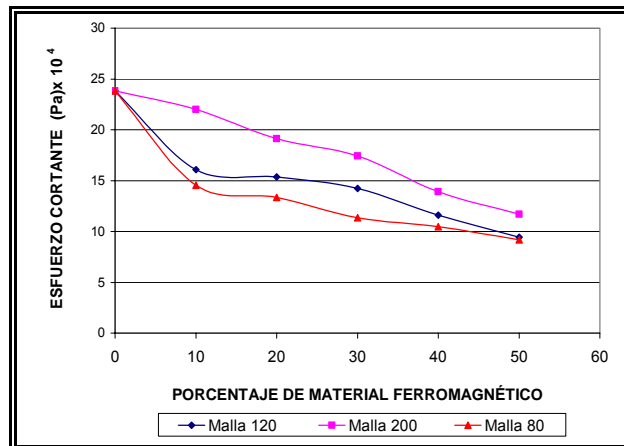
**FIGURA 14. Esfuerzo cortante vs. Porcentaje en peso de limadura de acero (probeta 2).**



De las figuras 14 y 15 se puede observar que al aumentar la carga de material ferromagnético indistintamente del tipo (limadura de acero o ferrita), así como el

tamaño de partícula de este, se hace notoria una disminución del poder adherente del pegante, que guarda relación con la fuerza soportada por la junta adhesiva.

**FIGURA 15. Esfuerzo cortante vs. Porcentaje en peso de ferrita (probeta 2).**



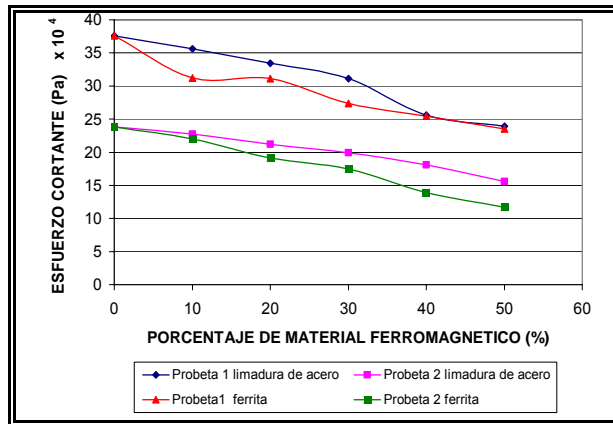
Los valores de esfuerzo cortante obtenidos para la probeta 2 son menores a los reportados para la probeta 1, esto muestra que una menor cantidad de pegante ferromagnético aplicado en la probeta, sin importar el tamaño de partícula, el tipo de material ferromagnético o la carga de este material incorporada en el pegante, genera un esfuerzo cortante menor, es decir una menor fuerza adherente a la hora de realizar una liga adhesiva.

Podemos concluir con este ensayo que la resistencia adhesiva de los pegantes se ve afectada de forma gradual por el aumento de la carga de material ferromagnético, además se observó claramente que el tamaño del material ferromagnético que afecta de forma menos significativa la resistencia al esfuerzo cortante es el correspondiente a la malla 200 de la serie Tyler.

En la figura 16 se muestra la incidencia que tiene el aumento de la cantidad de pegante ferromagnético aplicado a las probetas y se comparan los dos tipos de material ferromagnético utilizados. Se usaron tamaños de partícula acorde a la

malla 200 de la serie Tyler por presentar los valores más altos de resistencia al esfuerzo cortante, tanto para la ferrita como para la limadura de acero.

**FIGURA 16. Esfuerzo cortante vs. Porcentaje en peso de material ferromagnético malla 200 de la serie Tyler (probetas 1 y 2).**

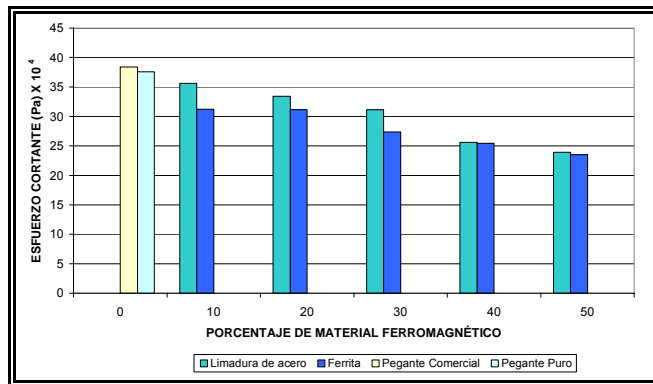


Además se muestra que el pegante ferromagnético con limadura de acero se afecta menos la propiedad adhesiva en comparación con el que tiene incorporada ferrita. Este comportamiento se describe tanto para la probeta 1 como para la probeta 2, y además se puede ver que los dos tipos de material ferromagnético tienen la misma tendencia a disminuir el poder de la junta adhesiva, a medida que la carga de este aumenta en el pegante.

En esta prueba también se evaluó el pegante comercial y el pegante puro, para poder establecer de forma cuantitativa la influencia del material ferromagnético sobre la resistencia en la junta adhesiva. En la figura 17 se puede apreciar la comparación de los pegantes antes mencionados con el sustrato y el pegante con material ferromagnético de la malla 200 de la serie Tyler.

Como se observa en la figura 17 el pegante comercial presenta el valor más alto de esfuerzo cortante que dista del pegante puro por un 2.08%, y se puede apreciar un alejamiento de estos dos por parte del pegante ferromagnético a medida que aumenta el porcentaje de material ferromagnético.

**FIGURA 17. Esfuerzo cortante para la probeta 1 con pegante comercial, pegante puro y pegante ferromagnético (limadura de acero y ferrita) malla 200 de la serie Tyler.**



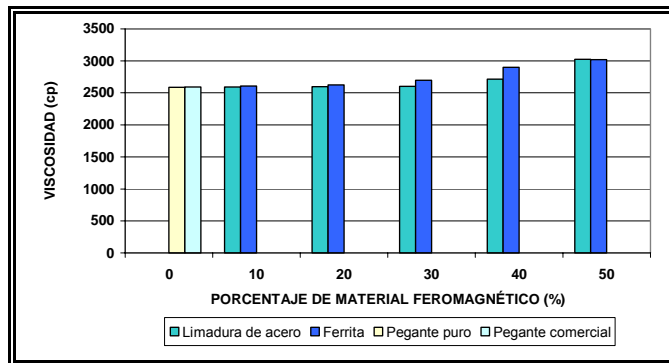
Teniendo en cuenta los resultados obtenidos para la prueba de esfuerzo cortante y su análisis posterior, en los que se aprecian los mejores comportamientos adhesivos para el pegante ferromagnético con tamaño de partícula correspondiente a la malla 200 de la serie Tyler, se seguirán usando para las pruebas posteriores los pegantes a los cuales se les incorporó este tamaño tanto para limadura de acero como para la ferrita.

**3.3.3 Viscosidad.** En esta prueba se toman como punto de referencia para comparar los datos de viscosidad obtenidos para los pegantes ferromagnéticos, los valores reportados por el pegante comercial y el pegante puro.

Analizando la figura 18 se puede concluir que la viscosidad del pegante aumenta a medida que se incrementa la carga de material ferromagnético incorporado en este. Tanto la ferrita como la limadura de acero exhiben la misma tendencia, aunque para incorporaciones menores al 50% la ferrita hace más viscoso el pegante que la limadura de acero, para el mismo tamaño de partícula.

Así mismo los pegantes con 10 y 20 % de material ferromagnético no tienen una influencia significativa sobre la viscosidad, como si la tienen los pegantes ferromagnéticos superiores al 30%.

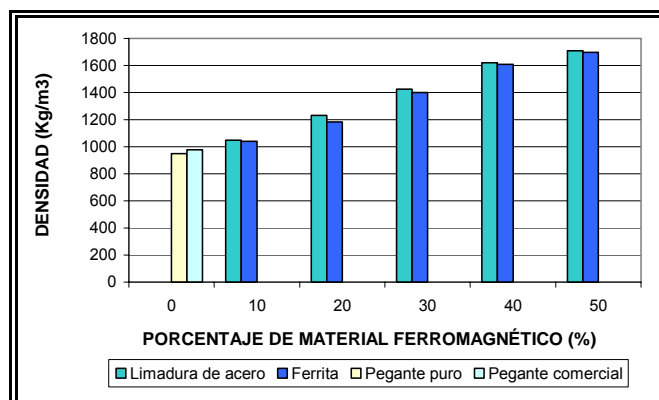
**FIGURA 18. Viscosidad del pegante comercial, pegante puro y pegante ferromagnético (limadura de acero y ferrita) malla 200 de la serie Tyler.**



**3.3.4 Densidad.** Esta prueba se realizó de dos formas como se menciona en el capítulo anterior; las diferencias entre las dos formas de medición no representaron cambios significativos en el resultado de esta, por lo tanto se reportan los datos como un promedio aritmético entre los dos resultados obtenidos.

En la figura 19 se observa un aumento gradual de la densidad del pegante a medida que se incrementa la carga de material ferromagnético incorporada al pegante. Esto se debe a que la densidad del material ferromagnético es superior a la del pegante puro, y al ser reemplazado parte del pegante por este material hace que esta propiedad aumente.

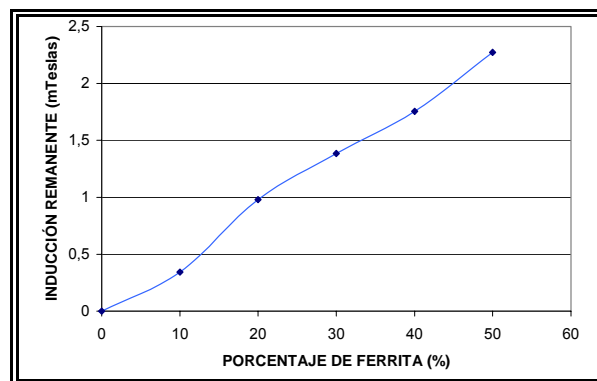
**FIGURA 19. Densidad del pegante comercial, pegante puro y pegante ferromagnético (limadura de acero y ferrita) malla 200 de la serie Tyler.**



**3.3.5 Inducción remanente.** Para tener una relación cuantitativa del campo magnético producido por los pegantes ferromagnéticos (después de aplicados y permitido un tiempo de cura) se midió la inducción magnética a los pegantes con diferentes concentraciones de ferrita para tamaño de partícula correspondiente a la malla 200 de la serie Tyler, utilizando probetas con la misma área y cantidad de pegante. Los datos obtenidos se resumen el **Anexo P** y una ilustración grafica se presenta en la siguiente figura.

En la figura 20 se puede observar que el incremento en la carga de ferrita en el pegante, genera un aumento en la inducción remanente, esto era de esperarse pues a mayor cantidad de ferrita mayor es el campo magnético presente en la probeta. Por otra parte se observa que el campo magnético para la probetas es bajo con relación al campo generado por los imanes de neodimio, esto se debe a que la ferrita después de ser triturada se encuentra desalineada pues no ha tenido un proceso de sinterizado, y por ende su campo magnético es leve.

**FIGURA 20.** Inducción remanente del pegante ferromagnético vs. Porcentaje en peso de ferrita malla 200 de la serie Tyler.



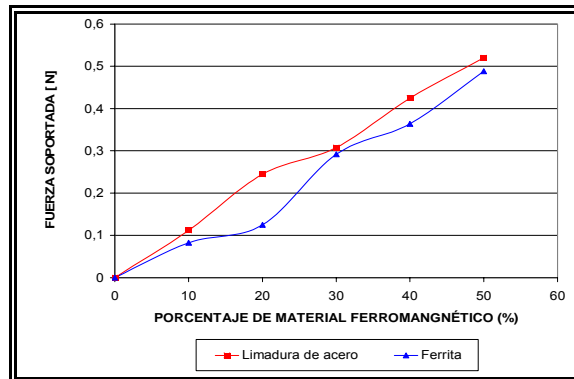
En busca de incrementar la propiedad de inducción remanente en el pegante, se expuso la probeta con el 50% de ferrita al campo generado por un imán de Neodimio durante tres horas, para posteriormente medir la inducción remanente,

como era de esperarse el valor exhibido por esta probeta fue mayor que el presentado por la probeta a la que no se indujo el campo magnético, el valor de inducción remanente para esta probeta después de la polarización fue de 3.63 mT.

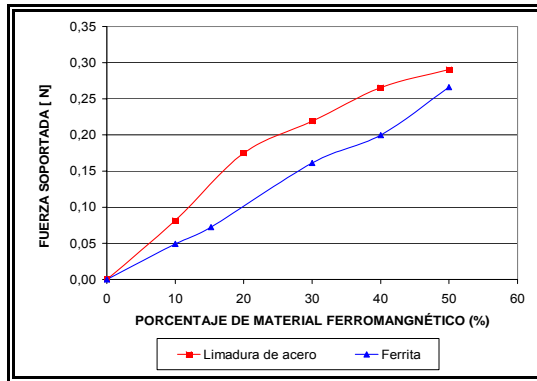
**3.3.6 Adhesividad magnética.** Esta prueba se realizó para los pegantes que contenían 10, 20, 30, 40 y 50% de material ferromagnético (limadura de acero y ferrita) de la malla 200 de la serie Tyler. Se midió la fuerza o peso que soportaban dos probetas de la misma área con diferente cantidad de pegante para cada uno de los tamaños de partícula, porcentajes de carga y tipo de material ferromagnético. También se determinó la variación de la fuerza cuando era cambiada el área del imán de neodimio. (Ver **Anexo P**, Resultados de la prueba).

En las figuras 21, 22 y 23 se observa que la fuerza soportada por los pegantes crece a medida que la carga de material ferromagnético incorporado aumenta, este comportamiento es indiferente al tipo de material ferromagnético agregado al pegante, resaltando que la limadura de acero exhibió una adhesividad magnética mayor que la presentada por la ferrita.

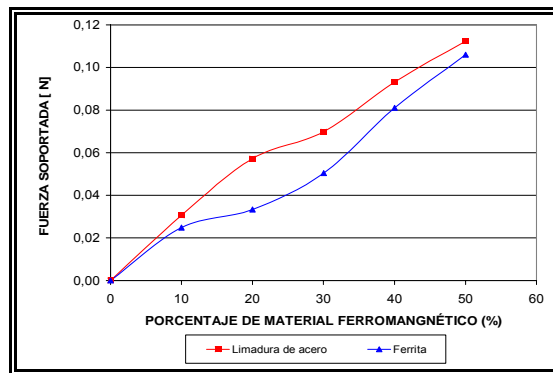
**Figura 21. Adhesividad magnética de los pegantes ferromagnéticos probeta 1- imán 1.**



**FIGURA 22. Adhesividad magnética de los pegantes ferromagnéticos probeta 1-imán 2.**



**FIGURA 23. Adhesividad magnética de los pegantes ferromagnéticos probeta 2-imán 1.**



Por otra parte se puede apreciar que al disminuir la cantidad de pegante ferromagnético en las probetas la fuerza soportada por estas, también se reduce considerablemente; de forma análoga cuando existe una disminución en el área del imán de neodimio, se reduce el campo al que son sometidas las probetas y por ende la fuerza soportada por el pegante decrece.

Del análisis de los resultados expuestos hasta el momento se concluye que el material ferromagnético que le confiere mejores propiedades magnéticas al ser incorporado en el pegante es la limadura de acero. A su vez la carga que interfiere menos en las propiedades adhesivas del pegante es el 10%, pero en busca de un equilibrio en las propiedades tanto magnéticas como adhesivas se selecciona el

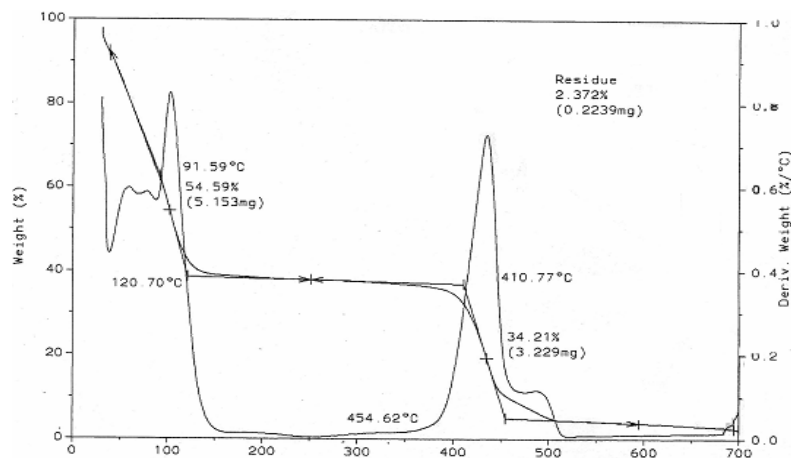
pegante ferromagnético con limadura de acero al 30% con tamaño de partícula que corresponde a la malla 200 de la serie Tyler para las pruebas posteriores.

**3.3.7 Estabilidad térmica.** Se realizó inicialmente un análisis termogravimétrico (tga) al pegante puro y al pegante comercial, posteriormente se le efectuó al pegante ferromagnético que contenía 30% de limadura de acero de la malla 200 de la serie Tyler.

Este análisis permite observar la degradación térmica del adhesivo, y ver el comportamiento de los diferentes compuestos que lo conforman, además permite evaluar la estabilidad térmica del mismo en atmósfera inerte.

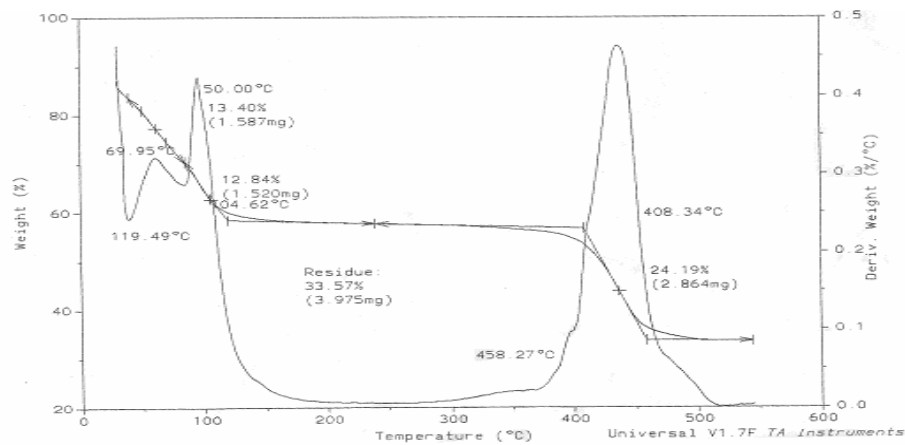
La Figura 24 muestra los resultados del análisis para el pegante puro; se observa inicialmente una pérdida de peso del 54.59% a una temperatura del 91.59°C de los compuestos volátiles que corresponde a los solventes del polímero, entre 120.70°C y 410.77 °C se presenta la estabilidad del polímero y posteriormente se advierte la degradación del polímero con una temperatura final de degradación de 454.62 °C, dejando un residuo de 2.372 % que corresponde a material inerte.

**FIGURA 24. Resultados del análisis termogravimétrico para el pegante puro.**



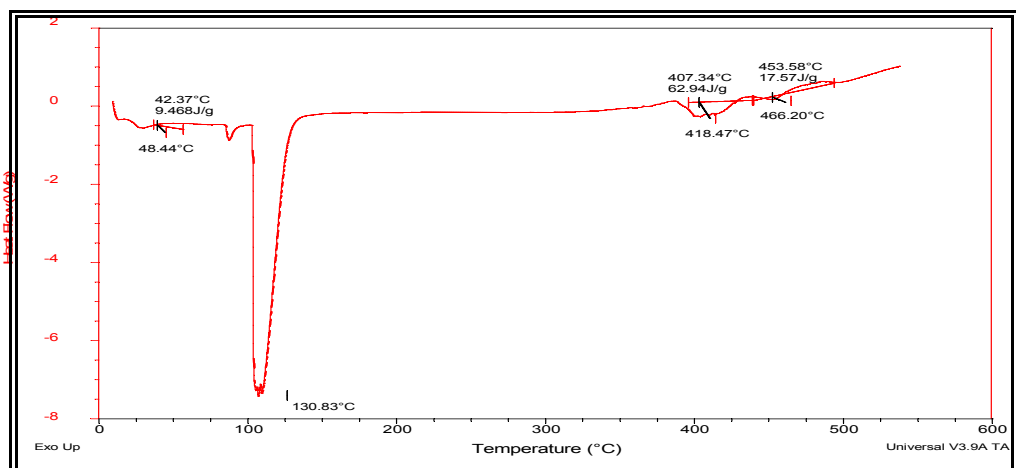
En la Figura 25 se observa que el residuo de material ferromagnético y material inerte fue del 33.57% con lo cual se puede concluir que el material ferromagnético se comporta como un material inerte y no influye en la degradación térmica del pegante, permaneciendo el peso de la limadura invariante en este intervalo de temperatura.

**Figura 25. Resultados del análisis termogravimétrico para pegante ferromagnético con 30% de limadura de acero malla 200 de la serie Tyler.**



Mediante calorimetría diferencial de barrido (DSC) de la misma manera que en la prueba anterior se analizaron los pegantes puro y con limadura de acero al 30% de material ferromagnético correspondiente a la malla 200 de la serie Tyler.

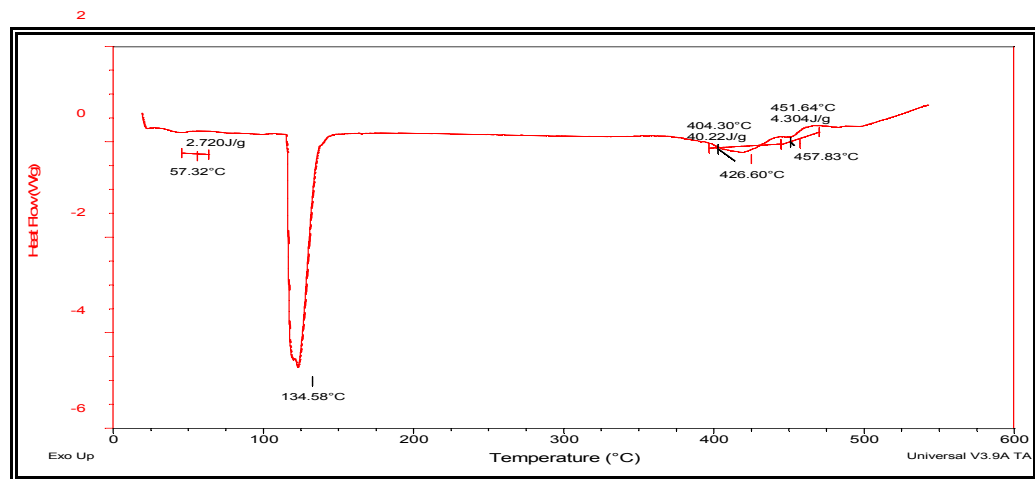
**Figura 27. Resultados de la calorimetría diferencial de barrido para el pegante puro.**



En la figura 27 se ilustra el DSC para el pegante puro, observando la temperatura de fusión de polímero en 130.83°C, después de esta temperatura el polímero se degrada y descompone en forma de gases exhibiendo un comportamiento estable hasta 400°C.

En la figura 28 se aprecia el DSC para el pegante ferromagnético con el 30% de limadura de acero. La temperatura de fusión del polímero se presenta en 134.58°C. y nuevamente se puede ver que el comportamiento después de la temperatura de fusión es estable hasta los 400°C. , lo que soporta los resultados obtenidos en la prueba termogravimétrica, en la cual se afirmó que el material ferromagnético no afectaba la estabilidad del pegante ferromagnético.

**FIGURA 28. Resultados de la calorimetría diferencial de barrido para el pegante ferromagnético con 30% de limadura de acero malla 200 de la serie Tyler.**



### 3.4 DISEÑO PRELIMINAR Y ESTUDIO DE VIABILIDAD ECONÓMICA PARA EL MONTAJE DE UNA PLANTA A ESCALA SEMI-INDUSTRIAL DE PEGANTE FERROMAGNÉTICO SÓLIDO

Se realizó el diseño preliminar de una planta de producción de pegante ferromagnético sólido a escala semi-industrial que utiliza la formulación obtenida

en el laboratorio. Por otro lado para determinar la producción diaria se hizo un estudio de mercados, el cual arrojó una necesidad de pegante ferromagnético sólido de aproximadamente 80 Kg/día (ver **Anexo Q**).

Para realizar el paso de la etapa laboratorio a la planta se realizó un escalamiento del reactor (Ver **Anexo R**), se calcularon los costos de los equipos necesarios para llevar a cabo el proceso de producción (Ver **Anexo S**) y se elaboraron los diagramas de bloques del proceso, flujo del proceso y distribución en planta (Ver **Anexo T**), finalmente se elaboró la respectiva evaluación económica para verificar la viabilidad de la puesta en marcha de la planta (Ver **Anexo U**).

### **3.5 APLICACIONES DEL PEGANTE FERROMAGNÉTICO SÓLIDO**

El pegante ferromagnético sólido integra dos propiedades, una de las cuales anteriormente no era posible encontrar en un pegante en barra del mercado. La primera de ellas es la propiedad adhesiva que permite unir de forma definitiva dos sustratos de papel mediante una liga adhesiva, esta propiedad la presentan todos los pegantes en barra hasta ahora conocidos. La propiedad por la cual el pegante ferromagnético sólido se diferencia de los demás pegantes en barra convencionales es la ferromagnética, la cual le confiere la capacidad de adherirse en forma temporal a imanes de inducciones remanentes de 900 Gauss o más. Esta última propiedad lo hace interesante para la aplicación con fines decorativos, didácticos y para un sinnúmero de usos adaptados a los problemas que nos presenta la vida cotidiana.

Al llevar a cabo este estudio se encontró con satisfacción que el pegante ferromagnético sólido logra soportar fuerzas de hasta 0.31 Newton que corresponden a un peso de 30.25 g, que es superior a cualquier peso presentado por una hoja de papel convencional o sobre de Manila, lo que permite que objetos

con un peso igual o mayor al peso indicado anteriormente puedan ser sostenidos firmemente por un imán de neodimio.

En las figuras 1, 2 y 3 del **Anexo V** se muestran algunas de las posibles aplicaciones en el área didáctica, organizacional en oficinas y de efectos varios del hogar.

## 4. CONCLUSIONES

- Se obtuvo una formulación detallada y un conjunto de variables de proceso para la fabricación de un pegante sólido sin material ferromagnético con propiedades adhesivas que se encuentran entre los intervalos de las reportadas por los pegantes sólidos encontrados en el mercado.
- Se encontró que una de las mejores opciones de la formulación del pegante ferromagnético sólido, esta se obtiene al incorporar a la mezcla de reactivos un 30% de limadura de acero malla 200 de la serie Tyler.
- Por medio de la evaluación del pegante ferromagnético sólido se pudo establecer que la propiedad adhesiva no se ve afectada significativamente con el porcentaje de material ferromagnético incorporado, pero si se muestra una tendencia a la disminución de esta propiedad al aumentar la carga de dicho material en el pegante.
- La fuerza o el peso soportado debido a la propiedad magnética del pegante obtenido son suficientes para ser utilizado en la adherencia magnética de diversos objetos livianos, en superficies donde sea necesario contrarrestar el peso del objeto debido a la fuerza de gravedad. Esta capacidad depende de la cantidad de pegante aplicado, área del imán utilizado y el porcentaje de material ferromagnético en el pegante. De esta forma se describieron unas posibles aplicaciones en sectores tanto educativos, (para fines didácticos) como empresariales y se dejó abierto el espacio para aplicaciones desarrolladas en el futuro.

Se realizó un diseño preliminar de una planta para la producción de pegante ferromagnético y se demostró su viabilidad económica a partir de un precio alternativo de venta de US\$ 0,783 para una barra de 10 g pegante.

## 5. RECOMENDACIONES

- Los ensayos de laboratorio realizados solo pretenden ser la base para enriquecer y actualizar nuevos ensayos y en algún momento ser una guía en la elaboración y formulación de nuevos adhesivos ferromagnéticos en el campo de la industria adhesiva.
- Gestionar los trámites para el registro de una patente con respecto al tema en cuestión debido a que no se han encontrado trabajos patentados sobre el tema y específicamente sobre “pegantes ferromagnéticos sólidos”.
- Implementar la incorporación de limadura de acero a pegantes sólidos para su producción en fábricas de adhesivos ya constituidas.
- Realizar estudios posteriores para encontrar un colorante que contrarreste el color oscuro turbio de pegante ferromagnético, sin que el colorante afecte sus propiedades adhesivas y ferromagnéticas.

## BIBLIOGRAFÍA

1. ABAT, Oscar y MERCADO, Mauricio. Obtención y Caracterización de Caucho Magnético para el Mejoramiento de la adhesión Caucho- Metal. Tesis de pregrado. Ingeniería Química UIS, 2003
2. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS ASTM D-1583-61, Particularly in America Specifications for wood adhesives.
3. BACA, Gabriel. Evaluación de Proyectos. Cuarta edición. Mc Graw-Hill. México, 2001.
4. BOX, George y HUNTER, William. Estadística para Investigadores: Introducción al Diseño de Experimentos, Análisis de Datos y Construcción de Modelos. Editorial Reverté S.A. Barcelona, 1989.
5. CABRERA, Blas. El Magnetismo de la materia. Institución Cultural Española, Buenos Aires, 1974.
6. DENBIGH K. G, Symposium The Scaling-Up Of Chemical Plant And Processes: The scaling-up of reactors from a knowledge of kinetics. London 1957
7. Encarta 2004. Enciclopedia. CD-ROM edición 2004.
8. FOUST, Alan y otros. Principios de Operaciones Unitarias. Octava edición. Compañía Editorial Continental.
9. FORMOSO, P. Antonio. Procedimientos Industriales al Alcance de Todos. Trece Edición. . Editorial Limusa Wiley. México 2002. p 938-946

10. HADFIELD, B. Editor, PERMANENT AND MAGNETISM, Wiley, New York, 1962.

11. HISCOX. G.D y HOPKINS. Recetario Industrial. Segunda edición .Editorial Gustavo Gili, S.A. Barcelona 1984. p 481-486

12. HOUWINK, R. y SALOMON, G. Adhesion and Adhesives. Segunda edición. London: Elsevier Publishing Company, 1967. p 482-489.

13. INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS. Adhesivos de acetato de polivinilo para madera. Bogotá D.C.: ICONTEC, 1981-12-02. NTC1703

\_\_\_\_\_, Adhesivos. Toma de muestras Bogotá D.C.: ICONTEC, NTC 5004.

\_\_\_\_\_, Métodos de ensayo para la determinación de la viscosidad. Bogotá D.C.: ICONTEC, NTC 2790.

\_\_\_\_\_, Normas Colombianas para la presentación de trabajos de Investigación, Quinta actualización, Bogotá D.C.: ICONTEC, 2002. NTC 1486

14. KARCZ, Andrés. Electrometría de Materiales Magnéticos. Ediciones Técnicas Marcombo S.A. Barcelona, 1972.

15. KATZ, Irvin. Adhesive materials: their properties and usage. California: Foster Publishing Company, 1964.

16. KENT, James. Manual de Riegel de Química Industrial. Editorial Continental S.A. México, 1984.

17. Manual de Laboratorio de Resistencia de Materiales. Ediciones UIS. Bucaramanga.
18. MARRUGO, Franchesco. FORMULACIÓN, EVALUACIÓN Y APLICACIÓN DEL GRAFITO MAGNÉTICO. Tesis de Grado. Universidad Industrial de Santander (2004)
19. MONTGOMERT, Douglas. Diseño y Análisis de Experimentos. Editorial Limusa Wiley. México DF, 2002.
20. ORTUETA, Ramón. Materiales Magnéticos: Teoría, Metalurgia y Aplicaciones. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Madrid, 1955.
21. PERRY, Robert. Manual del Ingeniero Químico. Sexta edición. Editorial Mc Graw-Hill. México, 1992.
22. PURCELL, E. ELECTRICITY AND MAGNETISM, Berkeley Physics Course, vol. 2, Mc Graw , Hill, 1965.
23. ROSENZWEI, R. MAGNETIC FLUID, *Scientific American* 246, 1215 (1982)
24. SMITH, William. Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de los Materiales. Editorial Mc Graw-Hill. México D.F, 1988.
25. SANTINI, Luis. Colas, mastiques y adhesivos de todas clases. 2 ed. Barcelona: Editorial SINTES, 1958.
26. VAN VLECK J. THE THEORY OF ELECTRIC AND MAGNETIC

27. SUSCEPTIBILITIES, Oxford University Press, Oxford, 1932.
28. VASQUEZ, Leonidas y LEON, Adolfo. Resistencia de Materiales I. Ediciones UIS. Bucaramanga.
29. VEGA M, Mario, SEMINARIO SOBRE ADHESIVOS. España 2000.
30. W.C. Wake. *"Adhesion and the formulation of adhesives"*. Editorial Dekker. (1983).
31. WEININGER, Stephen J Y STERMITZ, Frank R. Química orgánica. Editorial Reverte. S.A Barcelona, 1988. p 640-649
32. [www.Argemto.com.ar](http://www.Argemto.com.ar)
33. [www.cnicp.ar](http://www.cnicp.ar)
34. [www.histeresis.htm](http://www.histeresis.htm)
35. [www.ima.es](http://www.ima.es)
36. [www.matche.com](http://www.matche.com)

## **ANEXO A. OBJETIVOS**

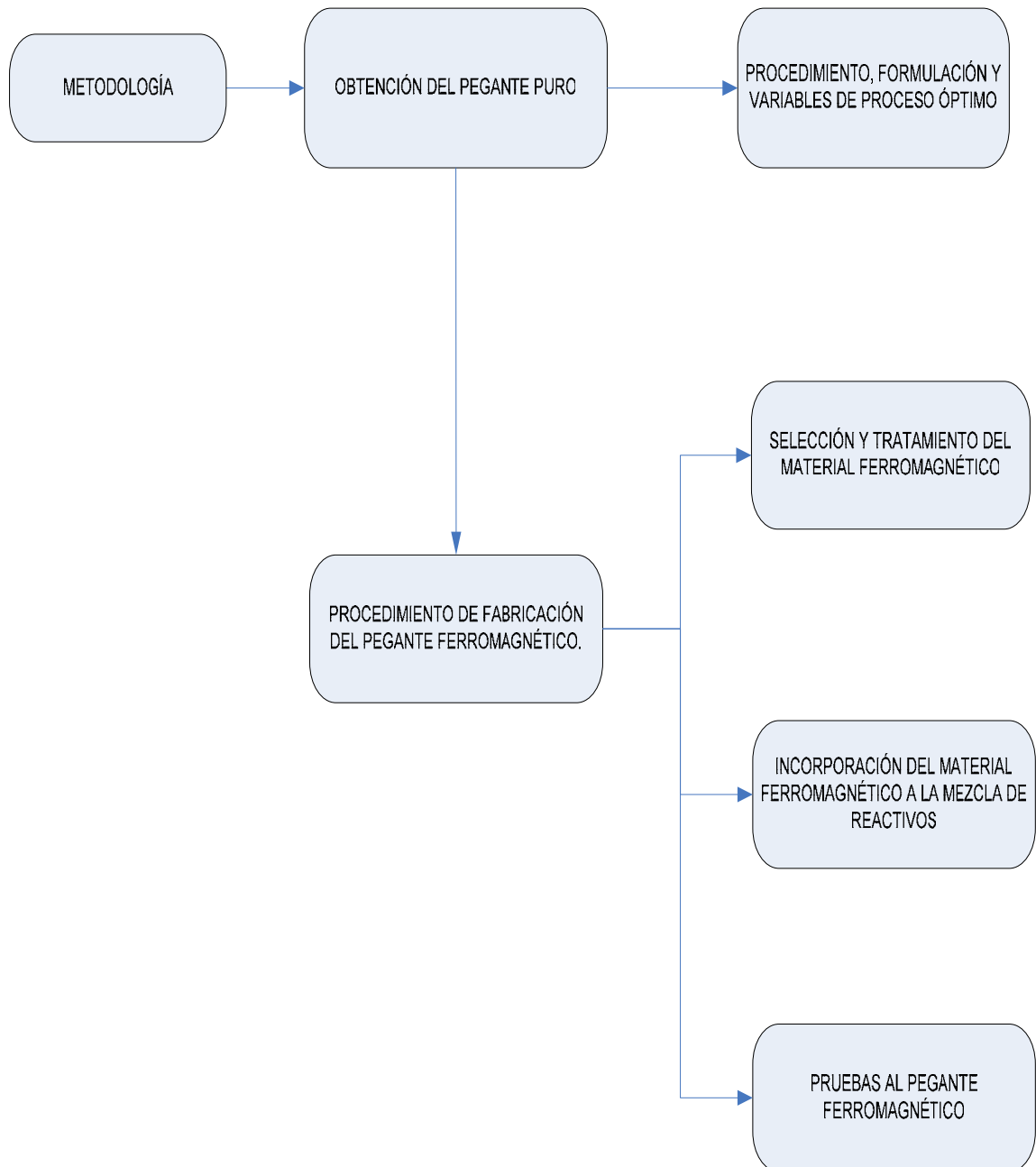
### **OBJETIVO GENERAL**

- Obtener y estimar las propiedades de un pegante ferromagnético sólido y diseñar una planta para su fabricación a escala semi-industrial.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Establecer una formulación detallada y un conjunto de variables de proceso para la elaboración de un pegante sólido con propiedades adhesivas y magnéticas.
- Determinar a partir de la valoración experimental el efecto del material magnético incorporado en las propiedades adhesivas del pegante.
- Diseñar una planta a escala semi-industrial que utilice la formulación y condiciones de proceso que fueron encontrados en la experiencia para obtener un producto de grandes beneficios tanto en el campo adhesivo como magnético.

## ANEXO B. ESQUEMA GENERAL DE LA METODOLOGÍA



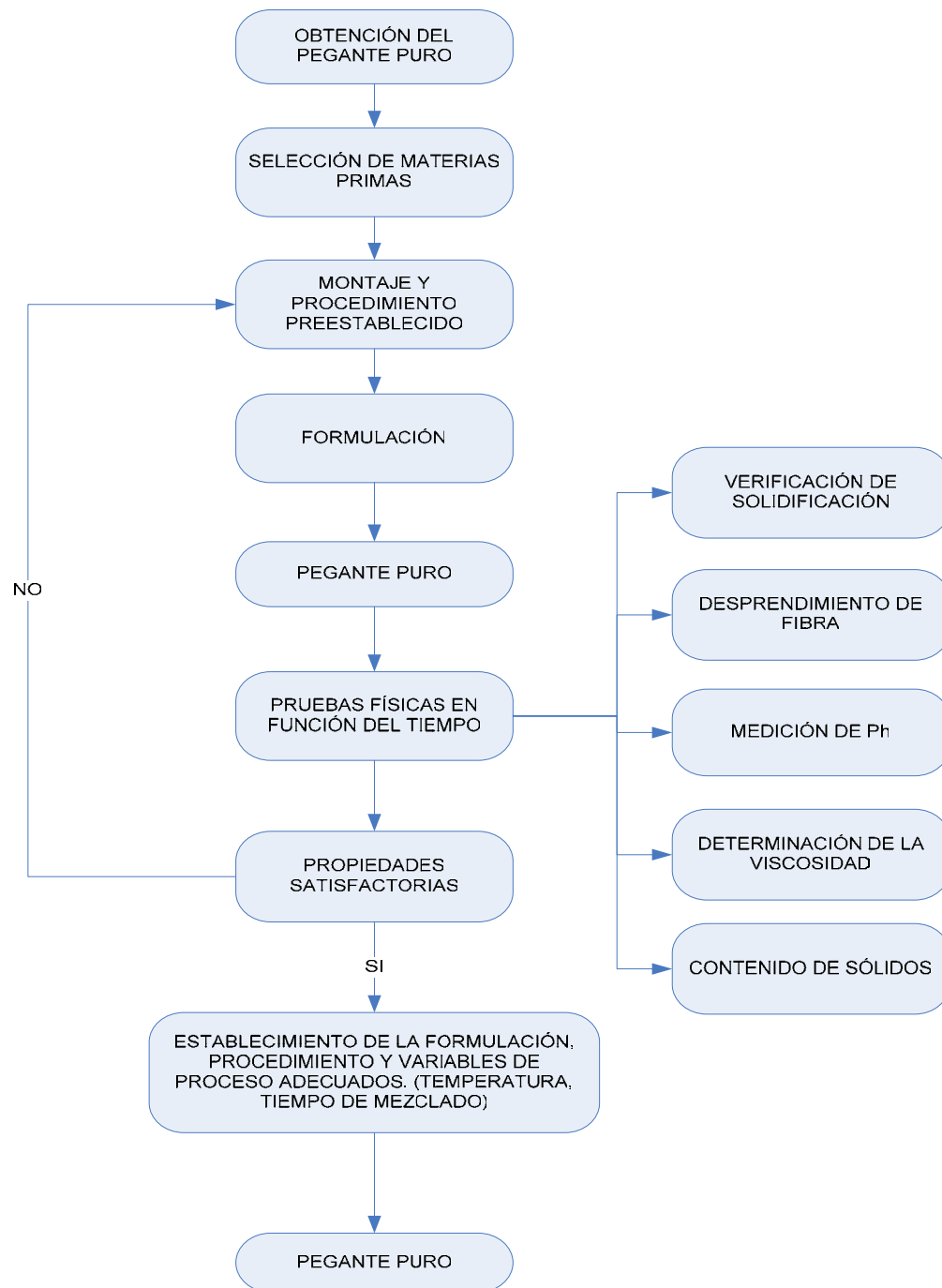
## **ANEXO C. PRECAUCIONES DE SEGURIDAD PARA EL MANEJO DE ADHESIVOS SEGÚN LA NORMA ICONTEC NTC 5004.**

- En la toma de muestras de adhesivos pueden presentarse ciertos riesgos, por ejemplo en aquellos que contienen disolventes volátiles. Entre estos cabe citar la inflamabilidad, el peligro de explosión (de una mezcla aire/vapor) y ciertos efectos fisiológicos.
  
- Antes de manipular el producto deben consultarse las precauciones indicadas en las hojas de seguridad.
  
- La formulación de un gran número de adhesivos incluye disolventes inflamables y deben tomarse las siguientes precauciones. Se debe prestar especial atención para que todos los aparatos utilizados en la toma de muestra de estos materiales estén fabricados con un material que no sea susceptible de producir chispas debido a la electricidad estática.
  
- Los vapores de los disolventes pueden ser nocivos y por tanto se deberían tomar precauciones para evitar su inhalación.
  
- Durante la toma de muestras se debería igualmente evitar, dentro de lo posible, el contacto con la piel, las salpicaduras en la ropa, etc.
  
- Se debería conocer de antemano el tratamiento correcto para los productos peligrosos y tener a mano el antídoto adecuado. Algunos constituyentes pueden absorberse a través de la piel.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> NORMA TECNICA COLOMBIANA. Adhesivos: Toma de Muestra, NTC 5004.

## ANEXO D. METODOLOGÍA UTILIZADA PARA LA OBTENCIÓN DEL PEGANTE PURO.



## ANEXO E. EQUIPOS UTILIZADOS PARA LAS PRUEBAS

FIGURA 1. Medidor de pH Schott Geräte modelo CG820.



FIGURA 2. Viscosímetro Brookfield Programmable modelo DV-III + Rheometer.



**FIGURA 3. Microscopio LABOPHOT-2 marca NIKON modelo M088E.**



**FIGURA 4. Máquina Tinius Olsen Modelo 10 000 para Ensayos de tensión.**



**FIGURA 5. Gaussímetro digital portátil marca KOSHAVA 3.**



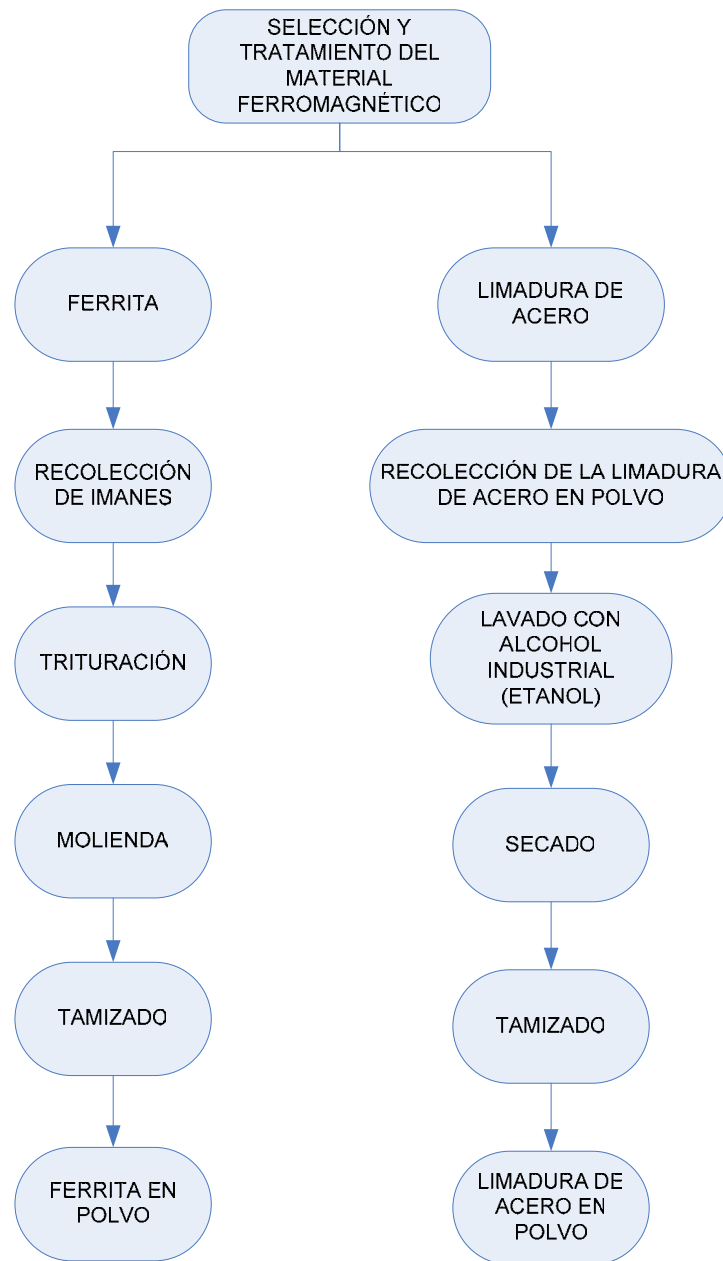
**FIGURA 6. Analizador termogravimétrico TGA 2050.**



**FIGURA 7. Calorímetro de barrido diferencial DSC Serie Q10.**



## ANEXO F. SELECCIÓN Y TRATAMIENTO DEL MATERIAL FERROMAGNÉTICO



## ANEXO G. EQUIPOS USADOS PARA LA REDUCCIÓN DE TAMAÑO DEL MATERIAL FERROMAGNETICO

FIGURA 1. Molino de bolas de acero.



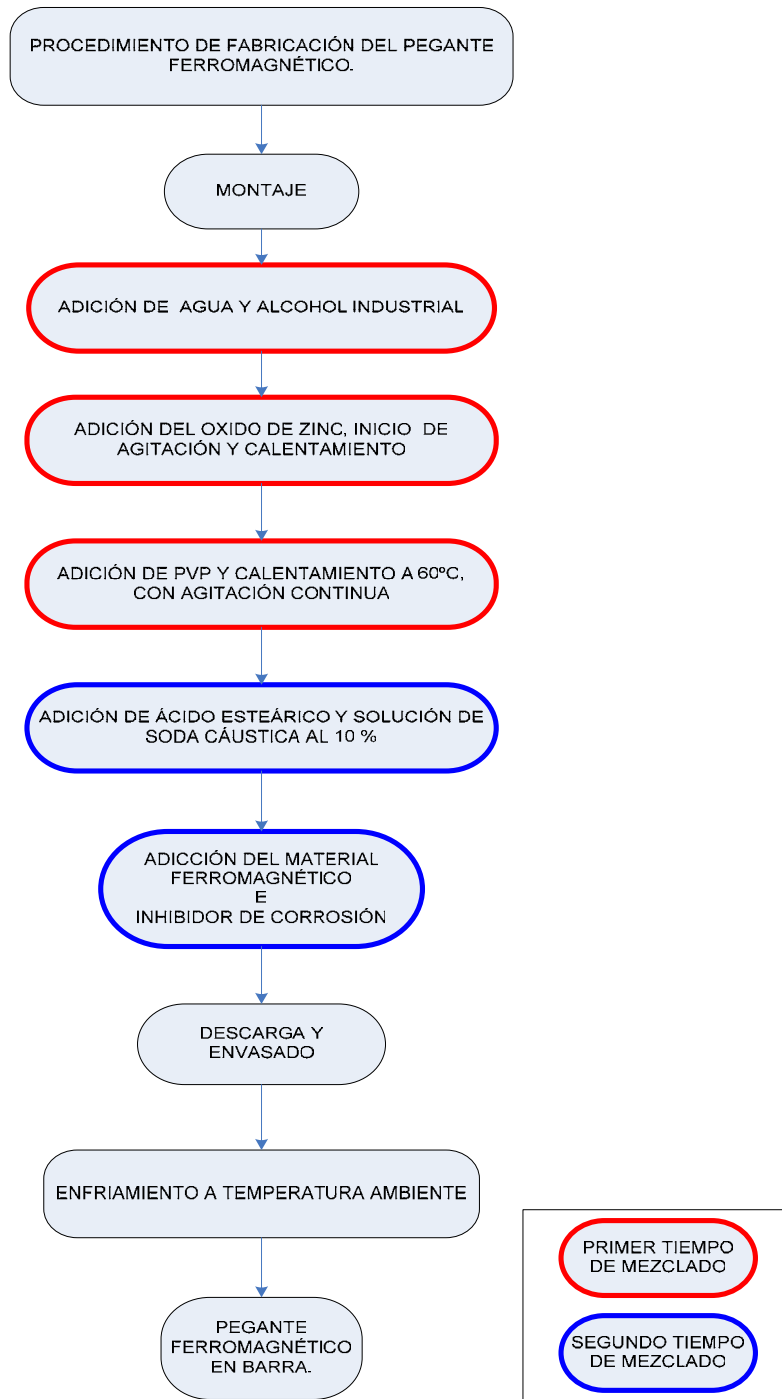
FIGURA 2. Molino de bolas cerámicas.



FIGURA 3. Juego de tamices de la serie Tyler.



## ANEXO H. PROCEDIMIENTO PARA LA OBTENCIÓN DEL PEGANTE FERROMAGNÉTICO.



# ANEXO I. REGISTRO FOTOGRÁFICO SECUENCIAL DE LA FABRICACIÓN DEL PEGANTE FERROMAGNÉTICO.

## 1. Montaje.



## 2. Adición y mezclado de reactivos.



### 3. Adición y mezclado de material ferromagnético.



### 4. Descarga y envase.



## ANEXO J. PROBETAS UTILIZADAS PARA LA EVALUACIÓN DEL PEGANTE FERROMAGNÉTICO

FIGURA 1. Probeta utilizada para la prueba magnética cualitativa, adherencia magnética y campo magnético.

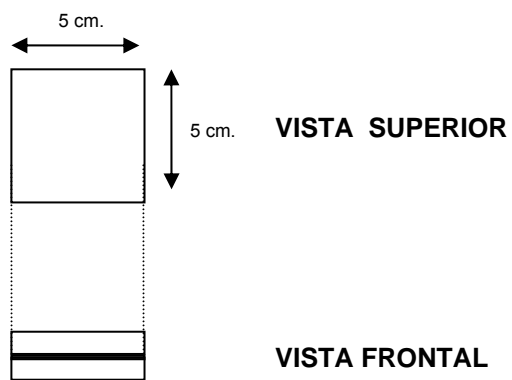
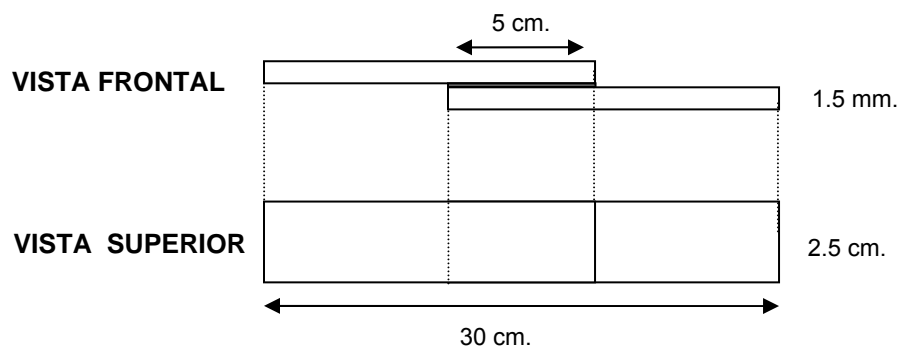
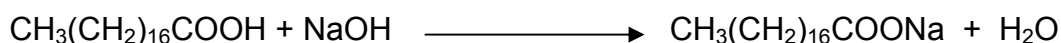


FIGURA 2. Probeta utilizada para el ensayo de esfuerzo cortante.



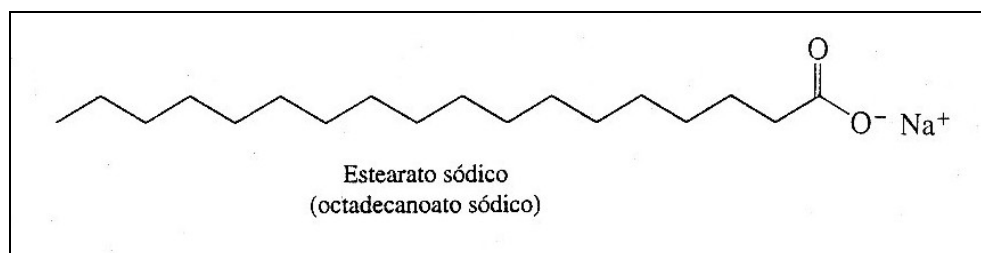
## ANEXO K. REACCIÓN

En presencia de bases fuertes como el hidróxido de sodio, los ácidos carboxílicos se neutralizan rápida y cuantitativamente como es el caso del ácido esteárico y la solución de soda cáustica.



Las sales carboxilato de metales son iónicas, y por eso su peso molecular no es demasiado alto, las sales sódicas y potásicas de los ácidos carboxílicos son solubles en agua. Los ácidos carboxílicos pueden por lo tanto extraerse de soluciones acuosas de hidróxido sódico o potásico. La solubilidad de las sales de los ácidos carboxílicos que tiene entre 12 y 18 carbonos es inusual y puede verse en el caso de estearato sódico. En la figura 1 se puede apreciar la molécula de estearato sódico.

FIGURA 1. Estearato sódico

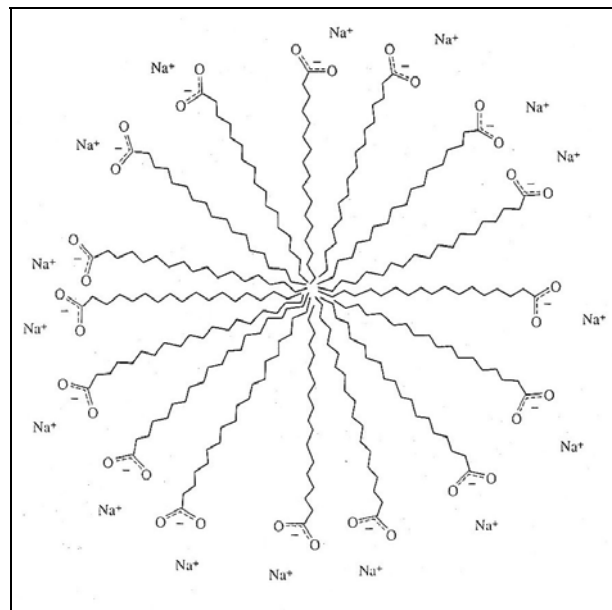


El estearato sódico tiene un grupo carboxilato polar en uno de sus extremos de la larga cadena de hidrocarburo. El grupo carboxilato es hidrofílico y confiere solubilidad en agua a la molécula. La cadena de hidrocarburo es lipófila y tiende a asociarse con otras cadenas de hidrocarburo. El compromiso al que llega el estearato de sodio cuando se coloca en agua es formar una dispersión coloidal de agregados esféricos denominados micelas. Cada micela se compone entre 50 a

100 moléculas individuales. Las micelas se forman espontáneamente cuando la concentración de carboxilato excede en un cierto valor mínimo llamado concentración crítica micelar.

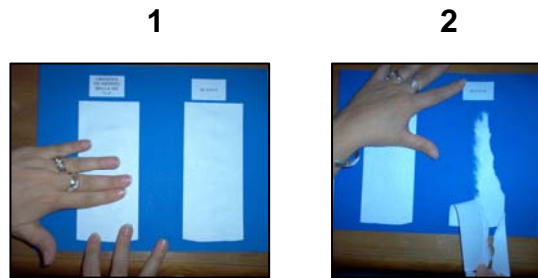
En la figura 2 se muestra una representación de la micela o dispersión coloidal del estearato sódico.

**FIGURA 2. Dispersión coloidal del estearato sódico en agua.**



## ANEXO L. REGISTRO FOTOGRÁFICO DE LAS PRUEBAS PRELIMINARES

Figura 1. Prueba de desprendimiento de fibra



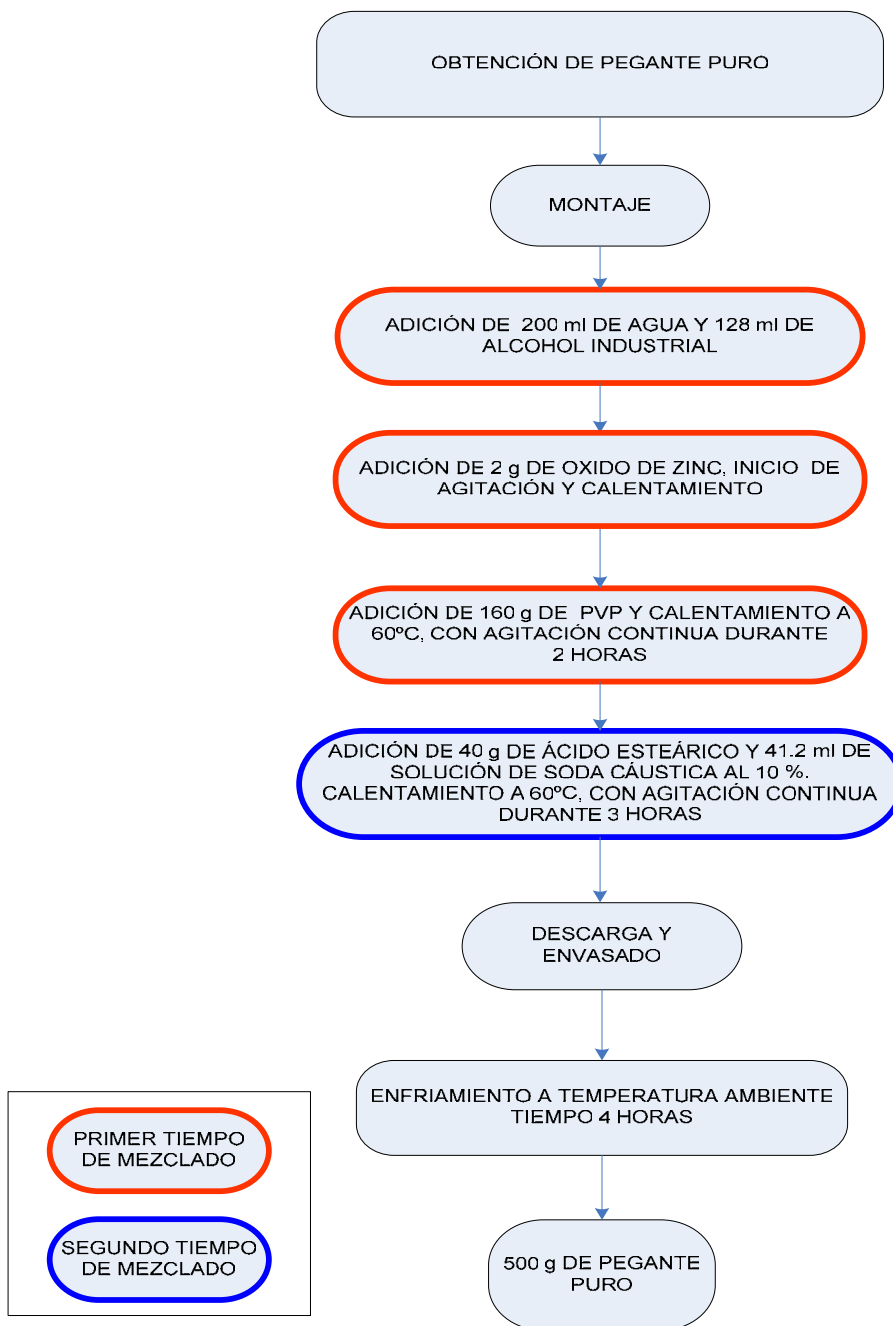
Área Probeta 100.75 cm<sup>2</sup>  
Cantidad de pegante 0.5 g

Figura 2. Prueba de atracción magnética.



Área de la probeta 1: 25 cm<sup>2</sup>  
Cantidad de pegante ferromagnético Probeta 1: 0,28 g.  
Imán 1: Peso=10,47 g, Área=6 cm<sup>2</sup>, Espesor=0,4 cm, B =120 mT

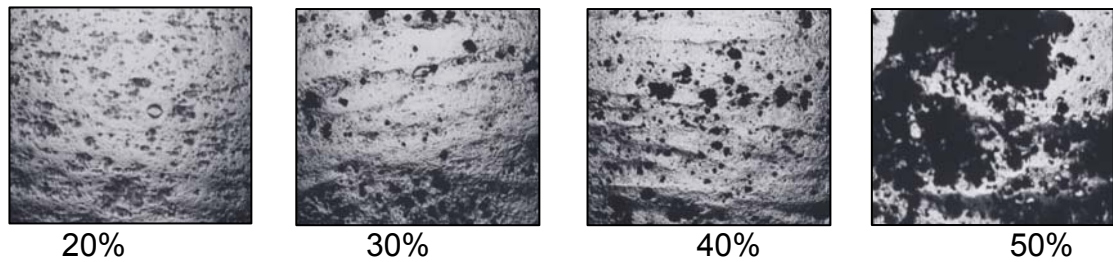
## ANEXO M. PROPORCIONES DE REACTIVOS Y CONDICIONES ADECUADAS PARA LA OBTENCIÓN DEL PEGANTE PURO



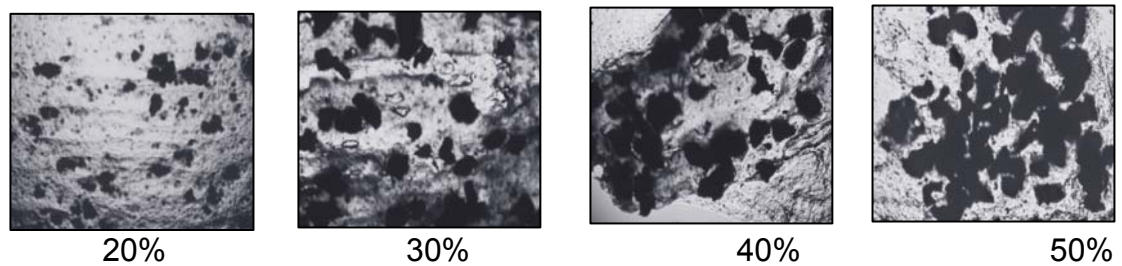
## ANEXO N. REGISTRO FOTOGRÁFICO DE LA HOMOGENEIDAD SUPERFICIAL DEL PEGANTE FERROMAGNÉTICO

Las fotografías mostradas a continuación corresponden a una relación objetivo-ocular de 25 micras, es decir, 400% de aumento.

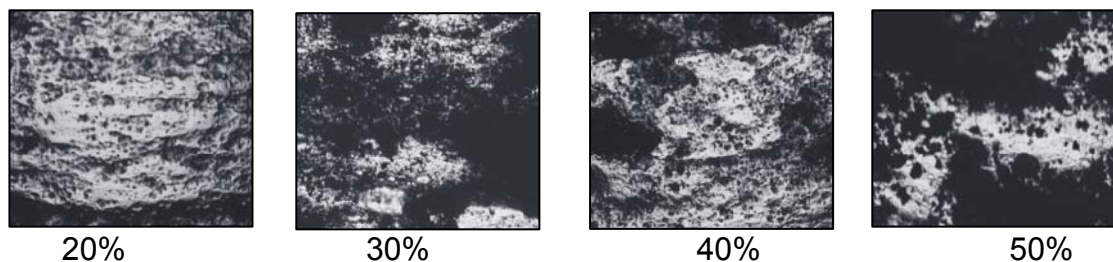
**FIGURA 1. Fotografías del pegante ferromagnético con 30, 40, 50 y 60% de limadura acero malla 80 de la serie Tyler.**



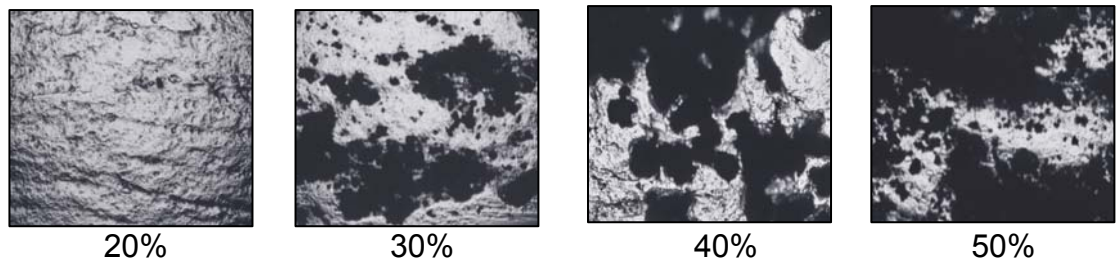
**FIGURA 2. Fotografías del pegante ferromagnético con 30, 40, 50 y 60% de ferrita malla 80 de la serie Tyler.**



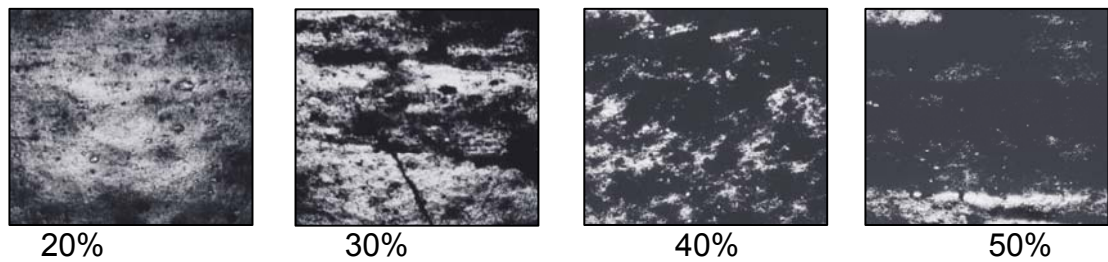
**FIGURA 3. Fotografías del pegante ferromagnético con 30, 40, 50 y 60% de limadura acero malla 120 de la serie Tyler.**



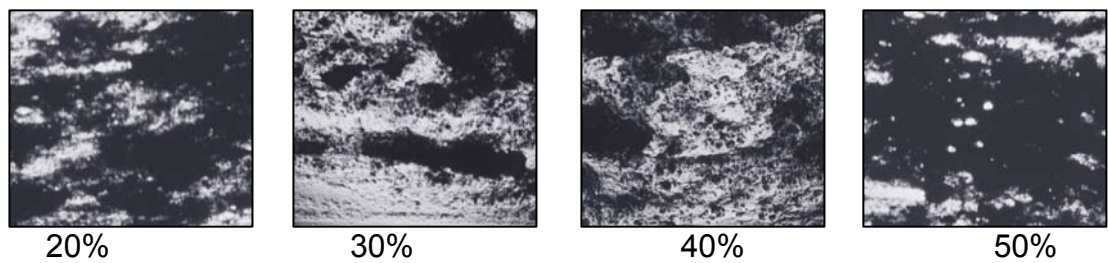
**FIGURA 4. Fotografías del pegante ferromagnético con 30, 40, 50 y 60% de ferrita malla 120 de la serie Tyler.**



**FIGURA 5. Fotografías del pegante ferromagnético con 30, 40, 50 y 60% de limadura acero malla 200 de la serie Tyler.**



**FIGURA 6. Fotografías del pegante ferromagnético con 30, 40, 50 y 60% de ferrita de bario malla 200 de la serie Tyler.**



## ANEXO O. TRATAMIENTO DE DATOS

Cualquier prueba se mide por la similitud de los resultados alcanzados cuando la misma prueba se realiza un cierto número de veces, la confiabilidad de la prueba o de cualquier otro instrumento de medición se ve afectada por la variación casual y por ello no se obtiene resultados exactamente similares. Se necesita mucho tiempo, energía y dinero para hacer un análisis total de una gran masa de datos, por eso para los ensayos se tomó un grupo de datos específicos.

**La Muestra.** Se define como el conjunto de  $n$  observaciones obtenidas de la realidad (normalmente  $n$  es relativamente pequeña).

**Media de la muestra.** La Media aritmética de una serie de cantidades se obtiene sumando los valores de las cantidades y dividiendo el resultado entre el número de ellas. La media aritmética debe considerarse como un valor calculado y no como un valor que existe realmente. Se puede decir que la media aritmética es el valor que tomaría la variable si estuviese uniformemente repartida entre todos los individuos que forman la muestra. Da una medida de la situación de la muestra.

$$\text{Media Muestral } \bar{y} = \frac{\sum y}{n} = \frac{y_1 + y_2 + \dots + y_n}{n}$$

**Amplitud (o recorrido o campo de variación).** Es la diferencia entre los valores mayor y menor observados durante el ensayo. Se le designa por la letra  $w'$ . Tiene interés casi exclusivamente para muestras pequeñas, de tamaño no superior a 12.

**Varianza muestral.** Es la suma de los cuadrados de las diferencias de los valores observados a su media aritmética dividida por el número total de observaciones.

Se le designa generalmente por el símbolo S. Da una medida de la dispersión de la muestra.

$$\text{Varianza muestral } S^2 = \sum \frac{(y - \bar{y})^2}{(n-1)}$$

**Desviación típica muestral.** Es la raíz cuadrada (positiva) de la varianza evidentemente designada por S o  $\delta$ .

$$S = \sqrt{\frac{\sum (y - \bar{y})^2}{(n-1)}}$$

La variación producida por factores distorsionantes, tanto conocidos como desconocidos, se denomina *error experimental*, normalmente solo una pequeña parte de él puede ser atribuido a error en la medición. Efectos importantes pueden quedar ocultos total o parcialmente por el error experimental y a la inversa a causa del error experimental, el investigador puede equivocarse y creer en efectos que no existan. Todo investigador se enfrenta a dos difíciles tareas:

- Descubrir y entender las complejas relaciones que pueden existir entre varias variables
- Alcanzar este objetivo a pesar de que los datos están contaminados con error experimental

Cuando un experimento o una operación se repite bajo aproximadamente las mismas condiciones los resultados observados no son completamente idénticos. Las fluctuaciones que ocurren de una repetición a otra se denominan ruido, variaciones experimentales, error experimental o simplemente error, se refiere a variaciones que son a menudo inevitables. Muchas fuentes contribuyen al error

experimental además de los errores de medición, análisis y muestreo. Pueden contribuir por ejemplo variables tales como: la temperatura ambiente, destreza y vigilancia del personal, antigüedad y pureza de los reactivos y eficiencia o estado del equipo.\*

---

\* **BOX George; HUNTER William y HUNTER J Stuart.** Estadística para investigadores: Introducción al diseño de experimentos, análisis de datos y construcción de modelos. Barcelona: Editorial REVERTE S.A., 1993.

## ANEXO P. TABLAS DE RESULTADOS

### ▪ PRUEBA DE ESFUERZO CORTANTE

Tabla 1 Resultados de esfuerzo cortante para la probeta 1.

MALLA	PORCENTAJE DE MATERIAL FERROMAGNÉTICO	LIMADURA DE ACERO		FERRITA	
		Fuerza soportada (N)	Esfuerzo (Pa)x10 <sup>4</sup>	Fuerza soportada (N)	Esfuerzo (Pa)x10 <sup>4</sup>
80	10	280	22,4	264	21,12
	20	278	22,24	262	20,96
	30	263	21,04	208	16,64
	40	233	18,64	203	16,24
	50	196	15,68	199	15,92
120	10	350	28	312	24,96
	20	302	24,16	284	22,72
	30	285	22,8	268	21,44
	40	245	19,6	243	19,44
	50	212	16,96	214	17,12
200	10	445	35,6	390	31,2
	20	418	33,44	389	31,12
	30	389	31,12	342	27,36
	40	320	25,6	318	25,44
	50	299	23,92	294	23,52

Área de la probeta 1: 12.5 cm<sup>2</sup>

Cantidad de pegante ferromagnético Probeta 1: 0.5 g.

Tabla 2 Resultados de esfuerzo cortante para la probeta 2.

MALLA	PORCENTAJE DE MATERIAL FERROMAGNÉTICO	LIMADURA DE ACERO		FERRITA	
		Fuerza soportada (N)	Esfuerzo (Pa)x10 <sup>4</sup>	Fuerza soportada (N)	Esfuerzo (Pa)x10 <sup>4</sup>
80	10	185	14,8	182	14,56
	20	168	13,44	167	13,36
	30	142	11,36	142	11,36
	40	131	10,48	131	10,48
	50	120	9,6	115	9,2
120	10	245	19,6	201	16,08
	20	216	17,28	192	15,36
	30	198	15,84	178	14,24
	40	172	13,76	145	11,6
	50	156	12,48	118	9,44
200	10	284	22,72	275	22
	20	265	21,2	239	19,12
	30	249	19,92	218	17,44

	40	226	18,08	174	13,92
	50	195	15,6	146	11,68

Área de la probeta 2: 12.5 cm<sup>2</sup>

Cantidad de pegante ferromagnético Probeta 1: 0.3 g.

Tabla 3 Resultados de esfuerzo cortante para el pegante comercial y puro.

PEGANTE	PROBETA 1		PROBETA 2	
	Fuerza soportada (N)	Esfuerzo (Pa)x10 <sup>4</sup>	Fuerza soportada (N)	Esfuerzo (Pa)x10 <sup>4</sup>
COMERCIAL	480	38.4	310	24.8
PURO	470	37.6	298	23.84

#### ▪ PRUEBA DE CAMPO MAGNÉTICO

Tabla 4. Resultados de la inducción remanente para el pegante ferromagnético con ferrita.

PORCENTAJE DE FERRITA	PUNTOS DE MEDICIÓN DE INDUCCIÓN REMANETE (mT)				
	1	2	3	4	5
10	0,3	1	1,3	1,7	2,36
20	0,2	1	1,46	1,84	2,15
30	0,2	0,8	1,27	1,78	2,22
40	0,51	1	1,3	1,68	2,31
50	0,51	1,1	1,6	1,78	2,33
<b>PROMEDIO</b>	<b>0,344</b>	<b>0,98</b>	<b>1,386</b>	<b>1,756</b>	<b>2,274</b>

Cantidad de pegante ferromagnético: 0.25 g

#### ▪ PRUEBA DE ADHESIVIDAD MAGNÉTICA

Tabla 5. Resultados de la prueba de adhesividad magnética para la probeta 1 con el imán 1.

MALLA	PORCENTAJE DE MATERIAL FERROMAGNÉTICO	LIMADURA DE ACERO		FERRITA	
		Masa soportada (g)	Fuerza (N)	Masa soportada (g)	Fuerza (N)
200	10	10,24	0,111	7,21	0,082
	20	23,8	0,244	11,58	0,125
	30	30,25	0,308	28,6	0,292
	40	42,15	0,424	35,9	0,363
	50	51,87	0,520	48,6	0,488

Área de la probeta 1: 25 cm<sup>2</sup>

Cantidad de pegante ferromagnético Probeta 1: 0,28 g.

Imán 1: Peso=10,47 g, Área=6 cm<sup>2</sup>, Espesor=0,4 cm ,B =120 mT

Tabla 6. Resultados de la prueba de adhesividad magnética para la probeta 1 con el imán 2.

MALLA	PORCENTAJE DE MATERIAL FERROMAGNÉTICO	LIMADURA DE ACERO		FERRITA	
		Masa soportada (g)	Fuerza (N)	Masa soportada (g)	Fuerza (N)
200	10	7,17	0,082	3,85	0,049
	20	16,66	0,175	6,18	0,072
	30	21,18	0,219	15,27	0,161
	40	25,90	0,266	19,17	0,200
	50	28,42	0,290	25,95	0,266

Área de la probeta 1: 25 cm<sup>2</sup>

Cantidad de pegante ferromagnético Probeta 1: 0,28 g.

Imán 2: Peso= 8,35 g, Área= 4 cm<sup>2</sup>, Espesor =0,4 cm, B =90mT

Tabla 7. Resultados de la prueba de adhesividad magnética para la probeta 2 con el imán 1.

MALLA	PORCENTAJE DE MATERIAL FERROMAGNÉTICO	LIMADURA DE ACERO		FERRITA	
		Masa soportada (g)	Fuerza (N)	Masa soportada (g)	Fuerza (N)
200	10	2,05	0,031	1,44	0,025
	20	4,76	0,057	2,32	0,033
	30	6,05	0,070	4,06	0,050
	40	8,43	0,093	7,18	0,081
	50	10,37	0,112	9,72	0,106

Área de la probeta 2: 25 cm<sup>2</sup>

Cantidad de pegante ferromagnético Probeta 2:0,1 g.

Imán 1: Peso=10,47 g, Área=6 cm<sup>2</sup>, Espesor=0,4 cm ,B =120 mT

## ANEXO Q. ESTUDIO DE MERCADO

Para el análisis de aceptación del pegante ferromagnético sólido, se utilizó un muestreo no probabilístico por conveniencia, permitiendo una muestra de elementos acorde a las necesidades del estudio.

### 1. CARACTERÍSTICAS DE LA POBLACIÓN

Para llevar a cabo el estudio, se efectuó un análisis de los posibles usuarios entre los cuales se destaca los sectores de la enseñanza, financiero y administración pública. Debido al volumen de individuos que lo conforman, estos sectores son vistos como un mercado potencial y se hace de vital importancia tomarlo en cuenta para esta investigación. Los datos obtenidos para la encuesta piloto representan el consumo nacional con una confiabilidad del 95%.

**Generalidades del estudio.** Este estudio se basa en fuentes primarias, provenientes de encuestas personalizadas a usuarios finales, con capacidad de compra e independencia de toma de decisiones.

Para llevar a cabo el análisis, se determinó un número de empresas del sector de la educación, donde se incluyen profesores, estudiantes universitarios y padres de familia, mientras que en las de administración pública y financiera se buscó una zona de gran afluencia de estas para hacer más representativo el resultado obtenido de las encuestas. En la Tabla 1 se describe la población.

**TABLA 1. Descripción de población nacional para el estudio realizado**

SECTOR	UNIDAD POBLACIONAL	PARTICIPACIÓN PORCENTUAL (%)
<b>Financiero</b>	N <sub>1</sub> = 110596*	15.08
<b>Administración pública</b>	N <sub>3</sub> = 240296*	32.8
<b>Enseñanza</b>	N <sub>4</sub> = 382135*	25.12
<b>Total</b>	733027	100
*Datos suministrados por <a href="http://www.dane.gov.co">www.dane.gov.co</a>		

## 2. MUESTRA

El tamaño de la muestra (unidades poblacionales a encuestar) para la demanda de pegante ferromagnético se obtuvo al hacer una encuesta piloto de 30 personas. La encuesta arroja como resultado que un individuo consume un promedio de 4 pegantes en barra por año y que la desviación estándar es de 1.2 pegantes, esto supone que el individuo que menos usa pegante en barra en un año consume  $4 - 1.2 = 2.8$  pegantes al año, y que el individuo que mas consume al año adquiere  $4 + 1.2 = 5.2$  pegantes. El nivel de confianza aceptado es de 95%, que significa que en la cuantificación de la demanda se tiene el 95% de certeza que la media de consumo obtenida en la muestra (4 pegantes/año/individuo) estará dentro de las tres desviaciones estándar de la media poblacional, la cual siempre es desconocida, esto es, nadie sabe con absoluta certeza cual es el consumo promedio de pegante en barra por un individuo al año, pero esta fórmula otorga un 95% de confiabilidad para que esto suceda. Por otro lado, la fórmula tiene el error permisible, que para este caso se fijó en 10%.

$$n = \frac{\sigma^2 Z^2}{E^2}$$

Donde:

$\sigma = 1.2$ , Desviación estándar de la muestra piloto.

Z = Parámetro normal de Gauss, para el nivel de confianza. Considerando una confiabilidad del 95% de probabilidad para la cual le corresponde un parámetro de Z igual a 1.96

E= Error de estimación, según a criterio de los investigadores, correspondiente a 10% = 0.1

$$n = \frac{(1.2)^2 * (1.96)^2}{(0.1)^2} = 553.19 \cong 553$$

El tipo de muestreo utilizado fue el no Probabilístico por conveniencia y el criterio conceptual de selección de los 553 encuestados, estuvo basado en una distribución proporcional al tamaño de la muestra. El formato de la encuesta realizada se muestra a continuación. [3]

## ENCUESTA

**NOMBRE:** \_\_\_\_\_  
**OCUPACIÓN:** \_\_\_\_\_  
**EMPRESA:** \_\_\_\_\_  
**TELEFONO:** \_\_\_\_\_

### 1. ¿QUE ADHESIVO USA PARA PEGAR PAPEL?

CINTA ADHESIVA \_\_\_\_\_ PEGANTE LIQUÍDO (COLBÓN) \_\_\_\_\_ PEGANTE EN BARRA \_\_\_\_\_ NS/NR \_\_\_\_\_.

NINGUNO \_\_\_\_\_.

### 2. ¿CUANTOS ADHESIVOS EN BARRA PARA PEGAR PAPEL COMPRA AL AÑO?

DOS\_\_\_\_, TRES\_\_\_\_, CUATRO\_\_\_\_.CINCO\_\_\_\_\_.

**3. ¿QUE PROPIEDAD VALORA MÁS EN UN PEGANTE PARA PAPEL?**

COSTO\_\_\_\_, ADHERENCIA\_\_\_\_, BUEN OLOR\_\_\_\_, FACILIDAD DE APLICACION\_\_\_\_. BAJA TOXICIDAD\_\_\_\_\_.

**4. ¿CONSIDERA QUE ES NECESARIO ADICIONAR OTRO MATERIAL AL ADHESIVO PARA INCORPORARLE NUEVAS PROPIEDADES?**

SI\_\_\_\_ NO\_\_\_\_\_

¿PORQUÉ?\_\_\_\_\_

**5. ¿USARÍA UN ADHESIVO FERROMAGNÉTICO EL CUAL LE BRINDE LA POSIBILIDAD DE TENER LAS PROPIEDADES TANTO ADHESIVAS COMO FERROMAGNÉTICAS EN EL MISMO PRODUCTO?**

SI\_\_\_\_ NO\_\_\_\_\_

¿PORQUÉ?\_\_\_\_\_

**6. SI SE OFRECE EN EL MERCADO UN ADHESIVO FERROMAGNÉTICO, ¿CUAL SERÍA EL VALOR QUE PAGARÍA POR ÉL?**

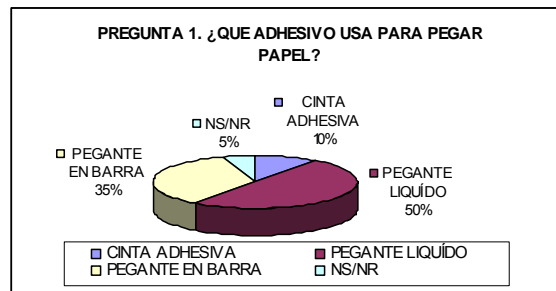
- \_\_\_ 10% POR DEBAJO DEL PRECIO DEL ADHESIVO NORMAL
- \_\_\_ EL VALOR CORRESPONDIENTE AL ADHESIVO NORMAL
- \_\_\_ 10-20% POR ENCIMA DEL PRECIO DEL ADHESIVO NORMAL
- \_\_\_ 20-30% POR ENCIMA DEL PRECIO DEL ADHESIVO NORMAL

**7. ¿EN QUE SITIOS COMPRA PEGANTE EN BARRA?**

- \_\_\_ PAPELERÍAS.
- \_\_\_ SUPERMERCADOS MAYORISTAS.
- \_\_\_ MISCELANEAS DE BARRIO.

En la Figura 1 se observa que el pegante más utilizado para pegar papel son los pegantes líquidos, en especial los basados en polivinil alcohol, los siguen los pegantes en barra y por último las cintas adhesivas.

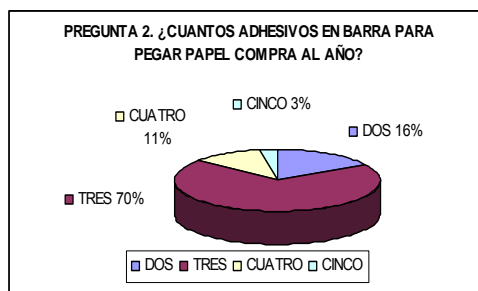
**FIGURA 1. Primera pregunta de la encuesta**



Para la Figura 2 se encontró que la mayoría de los encuestados compran tres pegantes al año, mientras que una porción muy baja de los encuestados compran cinco pegantes por año.

La información recolectada en esta pregunta fue utilizada para pronosticar la cantidad de pegante ferromagnético a fabricar en la planta a escala semi-industrial a la cual se le hizo un estudio preliminar.

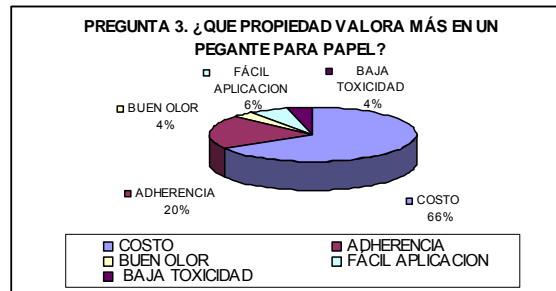
**FIGURA 2. Segunda pregunta de la encuesta**



Para la Figura 3 se encontró como prioridad para el consumidor objetivo, el costo del producto, seguido de la buena adherencia, mientras que otros aspectos como

la baja toxicidad o la buena aplicación carecen de relevancia a la hora de hacer la compra.

**FIGURA 3. Tercera pregunta de la encuesta**



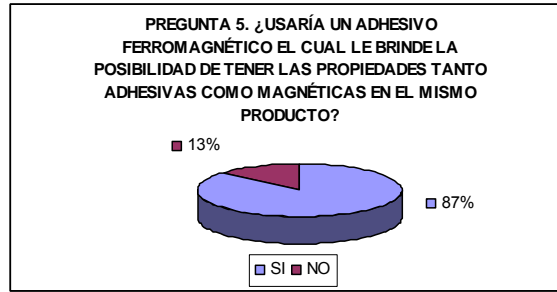
La información recopilada por la Figura 4 muestra que la mayoría de los encuestados tienen una necesidad insatisfecha con respecto a las propiedades ofrecidas por los pegantes en barra convencionales.

**FIGURA 4. Cuarta pregunta de la encuesta**



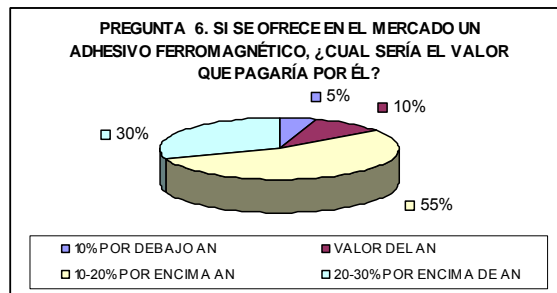
La Figura 5 muestra una iniciativa positiva a probar un nuevo pegante en barra que tenga además de las propiedades adhesivas convencionales propiedades ferromagnéticas.

**FIGURA 5. Quinta pregunta de la encuesta**



Como se mencionó en la tercera pregunta el costo del producto es un limitante en el perfil del consumidor objetivo, pero tomando en cuenta los resultados de la Figura 6 se puede concluir que los consumidores objetivo valorarían la propiedad ferromagnética y estarían dispuestos a pagar un precio mayor por el pegante ferromagnético sólido.

**FIGURA 6. Sexta pregunta de la encuesta**



En la Figura 7 se observa que la costumbre del consumidor objetivo es consumir la mayor parte de los pegantes en barra convencionales, en las papelerías, seguidos de los supermercados y de las misceláneas, por esto la tarea de distribución del producto debe estar orientada a estos establecimientos.

**FIGURA 7. Séptima pregunta de la encuesta**



Tomando en cuenta los datos suministrados por las encuestas se pudo determinar que la cantidad de pegantes ferromagnético sólido a consumir por los diferentes tipos de consumidores ascienden a 2 202 746 pegantes ferromagnéticos sólidos al año para el consumo nacional, lo que nos da una producción DE 76.5 Kg/día para satisfacer la demanda nacional.

## ANEXO R. ESCALAMIENTO DEL REACTOR

Cuando se planea hacer cualquier escalamiento de gran tamaño de un proceso en el cual interviene una reacción, con base a un trabajo realizado en el laboratorio, hay normalmente dos decisiones importantes que deben ser tomadas y que preceden cualquier diseño detallado de los equipos:

- Si el proceso debe operarse en discontinuo o continuamente, y si es el último, si se necesita un reactor tubular o un juego de reactores con tanque agitado.
- Qué volumen es necesario del tipo escogido de reactor para el rendimiento requerido. [6]

Con base en estas premisas anteriores se usó un reactor discontinuo en el laboratorio y con el fin de obtener las dimensiones adecuadas se realizó un escalamiento de este para una planta a escala semi-industrial.

El escalamiento del reactor para la elaboración del pegante ferromagnético sólido, se hizo llevando a cabo un procedimiento que se muestra a continuación.

El volumen del reactor a utilizar es de 50 L, en donde se producirán dos cochadas diarias de 38,25 Kg para obtener una producción de 76,5 Kg/día de pegante ferromagnético sólido.

El tipo de agitador utilizado en el laboratorio fue una hélice mezcladora de tipo marino que se muestra en la figura 1.

**Figura 1. Agitador utilizado en el laboratorio.**



Donde,

$V_m$ : volumen del reactor usado en el laboratorio = 3,5 L.

$V_p$ : Volumen del reactor en la planta = 50L.

Para que exista similitud dinámica:

$$\frac{L_m}{D_m} = \frac{L_p}{D_p}$$

Donde,

$L_m$ : Altura del reactor usado en el laboratorio = 0,25 m.

$D_m$ : Diámetro del reactor usado en el laboratorio = 0,15 m.

$L_p$ : Altura del reactor en la planta.

$D_p$ : Diámetro del reactor en la planta.

$$\frac{L_p}{D_p} = 1,67$$

Ahora:

$$V_p = \frac{\pi * D_p^2 * L_p}{4}$$

Multiplicando miembro a miembro por  $D_p$ ,

$$D_p * V_p = \frac{\pi * D_p^3 * L_p}{4}$$

Acomodando los términos,

$$Dp = \sqrt[3]{\frac{4 * Vp}{\pi * \left(\frac{Lp}{Dp}\right)}} = 0,337m$$

$$Lp = 0,56 m$$

Para el agitador tenemos:

Calculando el diámetro del agitador para la planta:

$$\frac{Dim}{Dm} = \frac{Dip}{Dp}$$

Donde,

$D_{im}$ : Diámetro del impulsor usado en el laboratorio = 0,06 m.

$D_{ip}$ : Diámetro del impulsor de la planta.

$$Dip = \frac{Dim * Dp}{Dm} = 0,134 m$$

Calculando la velocidad del agitador para la planta:

$$Np * Dip^2 = Nm * Dim^2$$

Donde,

$N_m$ : velocidad del agitador usado en el laboratorio = 600 rpm.

$N_p$ : velocidad del agitador de la planta.

$$Np = \frac{Nm * Dim^2}{Dip^2} = 119 rpm$$

Para que se cumpla la igualdad de régimen en el modelo y en la planta se calcula el número adimensional de Reynolds.

$$N_{Re} = \frac{Di^2 N \rho}{\mu}$$

Para el modelo se tiene:

$$N_{Re_m} = \frac{Di_m^2 N_m \rho}{\mu} = 2762$$

Donde,

$N_{Rem}$  = número de Reynolds en el modelo.

$Di_m$  = diámetro del impulsor del modelo = 0,06 m

$N_m$  = velocidad del agitador usado en el laboratorio = 600 rpm.

$\mu$  = viscosidad de la solución = 2,61 Pa\*s.

$\rho$  = densidad de la solución = 1420 Kg/m<sup>3</sup>.

Para la planta se tiene:

$$N_{Re_p} = \frac{Di_p^2 N_p \rho}{\mu} = 2747$$

$N_{Rep}$  = número de Reynolds en la planta.

$Di_p$  = diámetro del impulsor de la planta = 0,206 m

$N_p$  = velocidad del agitador en la planta = 119 rpm.

$\mu$  = viscosidad de la solución = 2,61 Pa\*s.

$\rho$  = densidad de la solución = 1420 Kg/m<sup>3</sup>.

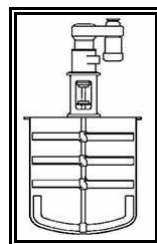
El número de Reynolds se mantiene prácticamente invariante entre el modelo y la planta, haciendo que el régimen de flujo no cambie de la etapa laboratorio al escalado a la planta semi-industrial.

Después de haber realizado el escalamiento del reactor y su agitador tipo hélice marina, se advierte que es necesario cambiar el tipo de agitador para la planta de producción de pegante ferromagnético, pues a pesar que el agitador utilizado cumplió con las necesidades del proceso no es el más adecuado para manejar una viscosidad del orden de 2610 centipoise y una carga de 38,25 Kg por cochada.

Además si se diera su uso a escala semi-industrial se podría encontrar el fluido estancado cerca de las paredes del recipiente en zonas alejadas de las hélices de turbina o propulsor. [21]

Para encontrar el agitador más apropiado para la planta de pegante ferromagnético sólido se dispuso a una búsqueda mediante el asesoramiento de diferentes fabricantes nacionales e internacionales, dando como resultado una serie de agitadores de los cuales se eligió un agitador helicoidal<sup>5</sup> con las características mencionadas anteriormente con el fin de mantener el mismo régimen de flujo (figura 2).

**Figura 2. Agitador helicoidal usado en la planta de producción de pegante ferromagnético sólido.**



---

<sup>5</sup> [www.mix-cor.com.mx/](http://www.mix-cor.com.mx/)

## ANEXO S. ESPECIFICACIONES DE LOS EQUIPOS

**TABLA 1. Especificaciones para el tanque TK-101**

<b>EQUIPO: TANQUE</b>			
NOMBRE DEL EQUIPO: TK-101			
TIPO: CILINDRO CON FONDO ELIPTICO			
MATERIAL: RESINA PLÁSTICA			
SUSTANCIA: ALCOHOL		FLUJO: 0,5 m <sup>3</sup> /h	
DIMENSIONES DEL EQUIPO			
DIÁMETRO	1,6 m	LONGITUD	4 m
CAPACIDAD	8 m <sup>3</sup>	ESPESOR	0,0597 m
<b>COSTO EQUIPO</b>		<b>US\$ 3751,99</b>	

**TABLA 2. Especificaciones para el tanque TK-102**

<b>EQUIPO: TANQUE</b>			
NOMBRE DEL EQUIPO: TK-102			
TIPO: CILINDRO CON FONDO ELIPTICO			
MATERIAL: RESINA PLÁSTICA			
SUSTANCIA: AGUA		FLUJO: 18 Kg/h	
DIMENSIONES DEL EQUIPO			
DIAMETRO	1,6 m	LONGITUD	4,5 m
CAPACIDAD	9 m <sup>3</sup>	ESPESOR	0,0597 m
<b>COSTO EQUIPO</b>		<b>US\$ 4702,4</b>	

**TABLA 3. Especificaciones para el tanque TK-103**

<b>EQUIPO: TANQUE</b>			
NOMBRE DEL EQUIPO: TK-103			
TIPO: CILINDRO CON FONDO ELIPTICO			
MATERIAL: RESINA PLÁSTICA			
SUSTANCIA: SOLUCIÓN DE SODA AL 10%		FLUJO: 3 Kg/h	
DIMENSIONES DEL EQUIPO			
DIÁMETRO	1 m	LONGITUD	3,2 m
CAPACIDAD	2,5 m <sup>3</sup>	ESPESOR	0,0597 m
<b>COSTO EQUIPO</b>		<b>US\$ 2695,99</b>	

**TABLA 4. Especificaciones para el tanque TK-104**

<b>EQUIPO: TANQUE</b>			
NOMBRE DEL EQUIPO: TK-104			
TIPO: CILINDRO CON FONDO ELÍPTICO			
MATERIAL: RESINA PLÁSTICA			
SUSTANCIA: INHIBIDOR		FLUJO: 0,1Kg/h	
DIMENSIONES DEL EQUIPO			

DIÁMETRO	0,7 m	LONGITUD	1 m
CAPACIDAD	0,3 m3	ESPEJOR	0,0597 m
<b>COSTO EQUIPO</b>		<b>US\$ 952</b>	

**TABLA 5. Especificaciones para el tanque TK-105**

<b>EQUIPO: TANQUE</b>			
NOMBRE DEL EQUIPO: TK-105			
TIPO: CILINDRO CON FONDO ELIPTICO			
MATERIAL: RESINA PLÁSTICA			
SUSTANCIA: ALCOHOL Y AGUA		FLUJO: 0,5 m <sup>3</sup> /h	
DIMENSIONES DEL EQUIPO			
DIÁMETRO	0,7 m	LONGITUD	1 m
CAPACIDAD	0,3 m3	ESPEJOR	0,0597 m
<b>COSTO EQUIPO</b>		<b>US\$ 952</b>	

**TABLA 6. Especificaciones para la bomba BC-101**

<b>EQUIPO: BOMBA</b>	
NOMBRE DEL EQUIPO: BC-101	
TIPO: BOMBA PERISTALTICA	
MATERIAL: RESINA PLASTICA	
SUSTANCIA: SOLUCIÓN AGUA/ALCOHOL	FLUJO: 0,05m <sup>3</sup> /h
DIMENSIONES DEL EQUIPO	
VELOCIDAD	1550 RPM
POTENCIA	0,33 Kw
<b>COSTO EQUIPO</b>	<b>US\$ 825,75</b>

**TABLA 7. Especificaciones para la bomba BC-102**

<b>EQUIPO: BOMBA</b>	
NOMBRE DEL EQUIPO: BC-102	
TIPO: BOMBA PERISTALTICA	
MATERIAL: RESINA PLASTICA	
SUSTANCIA: ALCOHOL	FLUJO: 0.17m <sup>3</sup> /h
DIMENSIONES DEL EQUIPO	
VELOCIDAD	3500 RPM
POTENCIA	0,33 Kw
<b>COSTO EQUIPO</b>	<b>US\$ 906,25</b>

**TABLA 8. Especificaciones para las bandas transportadoras BT-101, BT-102, BT-103, BT-104**

<b>EQUIPO: BANDAS TRANSPORTADORAS</b>			
NOMBRE DEL EQUIPO: BT-101, BT-102, BT-103, BT-104			
SUSTANCIA: MATERIAL FERROMAGNÉTICO		FLUJO: 20Kg/h	
DIMENSIONES DEL EQUIPO			
AREA CARGA	0,01 m2	LONGITUD	10 m
ANCHO BANDA	0,35 m	VELOCIDAD	0,5 m/s

POTENCIA TOTAL	0,55 Kw
<b>COSTO EQUIPO</b>	<b>US\$ 890</b>

**TABLA 9. Especificaciones para las bandas transportadoras BT-105, BT-106**

<b>EQUIPO: BANDAS TRANSPORTADORAS</b>			
NOMBRE DEL EQUIPO: BT-105, BT-106			
SUSTANCIA: PEGANTE FERROMAGNÉTICO ENVASADO		FLUJO: 12Kg/h	
DIMENSIONES DEL EQUIPO			
AREA CARGA	0,01 m <sup>2</sup>	LONGITUD	5m
ANCHO BANDA	0,35 m	VELOCIDAD	0,5 m/s
POTENCIA TOTAL		0,55 Kw	
<b>COSTO EQUIPO</b>		<b>US\$ 698,6</b>	

**TABLA 10. Especificaciones para los tamices TM-101, TM-102, TM-103**

<b>EQUIPO: TAMIZ</b>	
NOMBRE DEL EQUIPO: TM-101, TM-102, TM 103	
TIPO: MESA VIBRATORIA CON MALLAS DE LA SERIE TYLER	
MATERIAL: COBRE	
SUSTANCIA: MATERIAL FERROMAGNÉTICO	FLUJO: 6,70 Kg/h
DIMENSIONES DEL EQUIPO	
DIÁMETRO	0,501 m
AREA	0,2 m <sup>2</sup>
TIEMPO DE TAMIZADO	1,5 h
TIEMPO DE DESCARGUE	0,5 h
<b>COSTO EQUIPO</b>	<b>US\$ 368,2</b>

**TABLA 11. Especificaciones para el secador SEC-101**

<b>EQUIPO: SECADOR</b>			
NOMBRE DEL EQUIPO: SEC-101			
MATERIAL: ACERO INOXIDABLE 304			
SUSTANCIA: MATERIAL FERROMAGNÉTICO		TEMPERATURA: 110°C	
DIMENSIONES DEL EQUIPO			
ÁREA DE SUPERFICIE DESECADO		0,6m <sup>2</sup>	
ALTO	1m	ANCHO	0,8 m
		LARGO	1,2 m
<b>COSTO EQUIPO</b>		<b>US\$ 8800</b>	

**TABLA 12. Especificaciones para el lavador LAV-101**

<b>EQUIPO: LAVADOR</b>	
NOMBRE DEL EQUIPO: LAV-101	
MATERIAL: ACERO INOXIDABLE 304 L	

SUSTANCIA: MATERIAL FERROMAGNÉTICO		FLUJO 20 Kg/h	
DIMENSIONES DEL EQUIPO			
ALTO	1,7 m	DIÁMETRO	0,91m
<b>COSTO EQUIPO</b>		<b>US\$ 4887,5</b>	

**TABLA 13. Especificaciones para el reactor REC-101**

<b>EQUIPO: REACTOR</b>			
NOMBRE DEL EQUIPO: R-101			
TIPO: REACTOR CON CHAQUETA DE CALENTAMIENTO.			
MATERIAL: ACERO INOXIDABLE			
SUSTANCIA: PEGANTE CON MATERIAL FERROMAGNÉTICO		TEMPERATURA: 60°C	
CARGA: 38,25 Kg			
DIMENSIONES DEL EQUIPO			
VOLUMEN	0,05m <sup>3</sup>	ALTURA	0,56m
POTENCIA AGITADOR	0,745 Kw	DIÁMETRO	0,34 m
<b>COSTO EQUIPO</b>		<b>US\$ 13731,22</b>	

**TABLA 14. Especificaciones para el condensador C-101**

<b>EQUIPO: CONDENSADOR</b>			
NOMBRE DEL EQUIPO: C-101			
TIPO: CORAZA Y TUBOS			
MATERIAL: ACERO INOXIDABLE			
FLUIDO POR LOS TUBOS	ALCOHOL	TEMPERATURA	75°C
FLUIDO POR LA CORAZA	AGUA DE ENFRIAMIENTO	TEMPERATURA	25°C
NUMERO DE TUBOS	78	LARGO	2,1m
<b>COSTO DEL EQUIPO</b>		<b>US\$ 11 800,36</b>	

**TABLA 15. Especificaciones para el condensador C-102**

<b>EQUIPO: CONDENSADOR</b>			
NOMBRE DEL EQUIPO: C-102			
TIPO: CORAZA Y TUBOS			
MATERIAL: ACERO INOXIDABLE			
FLUIDO POR LOS TUBOS	AGUA/ALCOHOL	TEMPERATURA	60°C
FLUIDO POR LA CORAZA	AGUA DE ENFRIAMIENTO	TEMPERATURA	25°C
NUMERO DE TUBOS	14	LARGO 2,1 m	2,1m
<b>COSTO DEL EQUIPO</b>		<b>US\$ 8 600</b>	

**TABLA 16. Especificaciones para el silo S-101**

<b>EQUIPO: SILO</b>			
NOMBRE DEL EQUIPO: S-101			
MATERIAL: ACERO AL CARBONO			
SUSTANCIA: MATERIAL FERROMAGNÉTICO		FLUJO: 20 Kg/h	
DIMENSIONES DEL EQUIPO			
DIÁMETRO	2,1m	ALTURA	3m
CAPACIDAD	10 m <sup>3</sup>	ESPESOR	0,0597 m
<b>COSTO EQUIPO</b>		<b>US\$ 4 668,2</b>	

**TABLA 17. Especificaciones para el silo S-102**

<b>EQUIPO: SILO</b>			
NOMBRE DEL EQUIPO: S-102			
MATERIAL: ACERO AL CARBONO			
SUSTANCIA: MATERIAL FERROMAGNÉTICO MALLA 200		FLUJO: 20 Kg/h	
DIMENSIONES DEL EQUIPO			
DIAMETRO	1,2 m	ALTURA	3,7 m
CAPACIDAD	4,2 m <sup>3</sup>	ESPESOR	0,0597 m
<b>COSTO EQUIPO</b>		<b>US\$ 2 380,6</b>	

**TABLA 18. Especificaciones para el silo S-103**

<b>EQUIPO: SILO</b>			
NOMBRE DEL EQUIPO: S-103			
MATERIAL: RESINA PLÁSTICA			
SUSTANCIA: OXIDO DE ZINC		FLUJO: 1,50 Kg/h	
DIMENSIONES DEL EQUIPO			
DIÁMETRO	0,55 m	ALTURA	1 m
CAPACIDAD	0,2 m <sup>3</sup>	ESPESOR	0,0597 m
<b>COSTO EQUIPO</b>		<b>US\$ 1 320</b>	

**TABLA 19. Especificaciones para el silo S-104**

<b>EQUIPO: SILO</b>			
NOMBRE DEL EQUIPO: S-104			
MATERIAL: RESINA PLÁSTICA			
SUSTANCIA: PVP		FLUJO: 2 Kg/h	
DIMENSIONES DEL EQUIPO			
DIÁMETRO	1,5 m	ALTURA	4 m
CAPACIDAD	7m <sup>3</sup>	ESPESOR	0,0597 m
<b>COSTO EQUIPO</b>		<b>US\$ 4 940</b>	

**TABLA 20. Especificaciones para el silo S-105**

<b>EQUIPO: SILO</b>			
---------------------	--	--	--

NOMBRE DEL EQUIPO: S-105			
MATERIAL: RESINA PLÁSTICA			
SUSTANCIA: ACIDO ESTEARICO		FLUJO: 2 Kg/h	
DIMENSIONES DEL EQUIPO			
DIAMETRO	1,2 m	ALTURA	2.5 m
CAPACIDAD	2,8 m3	ESPESOR	0,0597 m
<b>COSTO EQUIPO</b>		<b>US\$ 2 176</b>	

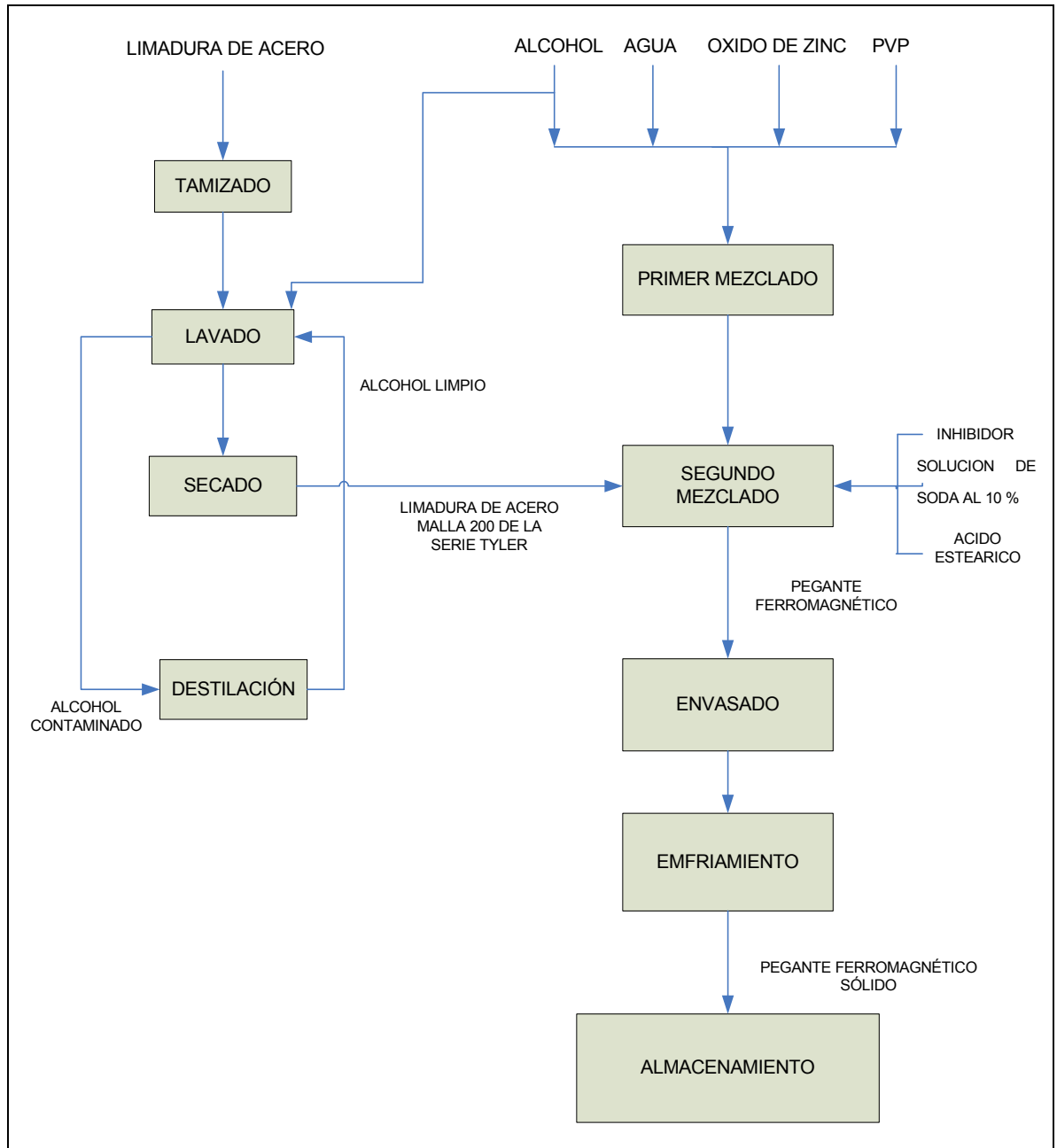
**TABLA 21. Especificaciones para el destilador DES-101**

<b>EQUIPO: DESTILADOR</b>			
NOMBRE DEL EQUIPO: DES-101			
TIPO: DESTILADOR RAY-LEIGH			
MATERIAL: ACERO INOXIDABLE			
CAPACIDAD	0,05 m <sup>3</sup>	TEMPERATURA	78,5°C
<b>COSTO DEL EQUIPO</b>		<b>US\$ 8 809</b>	

<b>Costo total de equipos</b>	<b>US\$ 207 567,6</b>
-------------------------------	-----------------------

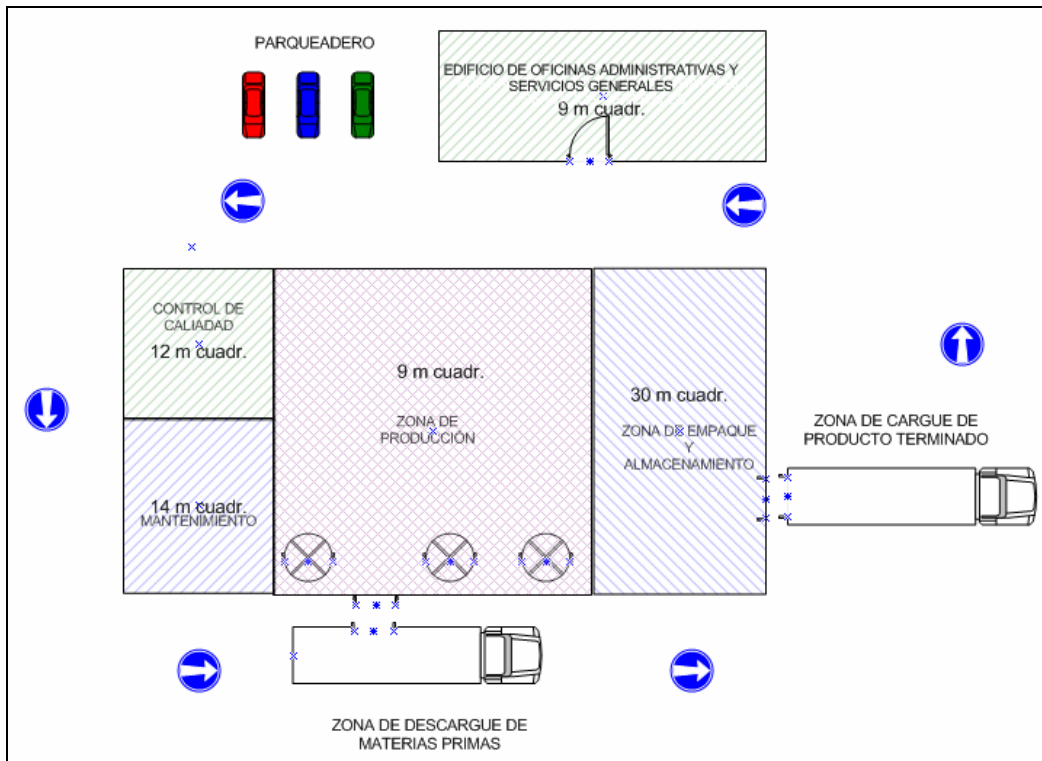
## ANEXO T. DIAGRAMAS PARA LA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE PEGANTE FERROMAGNÉTICO SÓLIDO

FIGURA 1. Diagrama de bloques del proceso para la producción de pegante ferromagnético sólido





**FIGURA 3. Distribución en planta.**



## ANEXO U. ANÁLISIS ECONÓMICO

Teniendo en cuenta que el producto a fabricar es novedoso se estimó una producción de pegante ferromagnético de 76.5Kg/día. Se seleccionó para este fin un sistema discontinuo de producción y se calcularon los costos requeridos al sustituir los equipos usados en el laboratorio por maquinaria de alta capacidad.

**Necesidades del proceso.** Las necesidades tenidas en cuenta en el diseño de la planta para la elaboración de pegante ferromagnético sólido se presentan a continuación.

**Consumo de reactivos.** Los reactivos usados en el proceso de obtener 76.5 kg/día de pegante ferromagnético sólido son:

- Agua 21.42 L
- Solución de soda cáustica al 10% 4.42 L
- Ácido esteárico 4.28 Kg
- Alcohol industrial (etanol) 13.71 L
- Resina Polimérica PVP 17.14 Kg
- Óxido de Zinc 0.214 Kg
- Inhibidor de corrosión 0.7 L
- Limadura de acero incorporada (Con base en el análisis experimental se determinó un 30% de limadura de acero malla 200 de la Serie Tyler en el reactor, lo que corresponde en este caso a 22.95 Kg diarios de limadura de acero)

**Servicios industriales.** Entre los servicios industriales que se tienen en cuenta para la fabricación de pegante ferromagnético sólido se destacan: agua de enfriamiento, vapor de caldera y energía eléctrica.

- **Agua de enfriamiento:** El agua de enfriamiento requerida es la usada en los condensadores C-101 y C-102 y se estima en 5 m<sup>3</sup>/h.
- **Consumo de vapor:** Es necesario comprar vapor de caldera para alimentar el destilador con el fin de recuperar la corriente de alcohol industrial (etanol) contaminado proveniente del lavador. El consumo diario de vapor es de 13,5 Kg.
- **Energía Eléctrica:** El consumo diario de energía eléctrica demandado por los equipos en la planta de pegante ferromagnético sólido es de 3,04 KWh.

**Especificaciones de los equipos.** Para el diseño de una planta a escala semi-industrial es preciso sustituir los equipos utilizados en la etapa de laboratorio por equipos de mayor capacidad para una producción de 76.5 Kg de pegante ferromagnético sólido diaria. Entre otros cambios se encuentran el uso de vapor para el destilador, el de un reactor del volumen preciso para cargarlo con los reactivos y el material ferromagnético; bombas para reactivos, subproductos y bandas transportadoras para la limadura de acero y pegante ferromagnético sólido envasado.

**Análisis económico.** El análisis económico se realizó considerando los siguientes aspectos:

- El periodo de evaluación del proyecto es de 8 años, partiendo del año 2005 (año cero), año en que se realiza la inversión inicial y se edifica la planta.

- La producción anual es de 22.032 Ton / año, teniendo en cuenta que esta capacidad es el 60% de la capacidad instalada de la planta de pegante ferromagnético, la cual asciende a 36.72 Ton/ año.
- La intensidad de operación de la planta es de 12 horas diarias y seis días a la semana, para un total de 288 días al año.
- La tasa de cambio utilizada para cambiar pesos a dólares fue de \$2.298,99 (Septiembre 30 de 2005) y se asume que se mantiene prácticamente invariante en el tiempo.

**Determinación de los costos de capital total de inversión.** La inversión de capital se compone por dos ítems: la inversión de trabajo y la inversión fija.

En la tabla 1 se encuentra el costo total de los equipos: US\$ 99.561,06, precios FOB, que corresponde a los precios sin instalación, al hacer la instalación el valor asciende a: US\$ 316.494,1807.

**TABLA 1. Costos de equipos para la planta de pegante ferromagnético (US\$)**

<b>EQUIPO</b>	<b>COSTO (US\$)</b>
BOMBA 101	825,75
BOMBA 102	906,25
BOMBA DOSIFICADORA 101,102,103,104	3900
BANDA TRANSPORTADORA 101,102,103,104	3560
BANDA TRANSPORTADORA 105,106	1397,2
CONDENSADOR 101	11 800,36
CONDENSADOR 102	8 600
DESTILADOR	8 809
LAVADOR	4 887,5
REACTOR	13 731,22
SILO 101	4 668,2
SILO 102	2 380,6
SILO 103	1 320
SILO 104	4 940
SILO S105	2 176
SECADOR	8 800
TANQUE DE ALMACENAMIENTO 101	3 751,99
TANQUE DE ALMACENAMIENTO 102	4 702,4
TANQUE DE ALMACENAMIENTO 103	2 695,99

TANQUE DE ALMACENAMIENTO 104	952
TANQUE DE ALMACENAMIENTO 105	952
TORNILLO SINFIN	2 700
TAMIZ 101,102,103	1 104.6
TOTAL EQUIPOS	99 561,06

**TABLA 2. Costos de instalación para la planta de pegante ferromagnético (US\$)**

<b>COSTOS DIRECTOS</b>	<b>US\$</b>
Materiales Directos Cp, Precios de Equipos (FOB)	99561
Cm, Materiales para Instalación	70688
Mano de Obra Directa, CI	62992
Total Costos Directos	233242
<b>COSTOS INDIRECTOS</b>	
Cfit, Transporte, Seguros, Impuestos	13619
Co, Construcción Overhead	44094
Ce, Costos Ingeniero Contratista	25537
Total Costos Indirectos	83252
<b>TOTAL COSTOS DE INSTALACION</b>	<b>316494</b>

**TABLA 3. Costos de capital Total de inversión (CTI)**

<b>CONCEPTO</b>	<b>US\$</b>
Total Costos de Instalación	316494,18
Csite+Cserv, Costos de Preparación del Lugar e Instalaciones de Servicios	31649,42
CDPI Total Inversión Permanente Directa	348143,59
Ccont, Costos de Contingencias	121850,19
CTDC, Capital Total Depreciable, (CDPI+ Ccont)	469993,78
Cland, Costo de adquisición Terrenos	8699,47
Cstart-up, Costo de Arranque de la planta	46999,37
CTPI, Inversión Permanente Total	525692,64
CWC, Inversión de Trabajo	78958,95
CCTI, Capital Total de Inversión, CTPI+ CWC	604651,59

Para el año de instalación de la planta se debe disponer de una cantidad de dinero destinada a la inversión de trabajo que se calcula como el 15% del porcentaje del Capital Permanente de Inversión (CTPI). Así mismo en la tabla 2 y 3 se encuentran los costos de Capital Total de Inversión.

**Evaluación de los costos totales.** La totalidad de los costos anuales para la operación de la planta de pegante ferromagnético sólido incluye: costos de comercialización del producto, costos de administración, costos de producción y los costos de depreciación de activos (Ver tablas 4, 5, 6 y 7). Los costos anuales para producir 22.032 Ton/año de pegante ferromagnético sólido, calculados en US\$ 1.151.698,90 se presentan en la tabla 8.

**TABLA 4. Costo Total Anual de Materias Primas para la producción de pegante ferromagnético (22,032 Ton/Año)**

<b>MATERIAS PRIMAS (MP)</b>	<b>COSTO UNITARIO(US\$)</b>	<b>CONSUMO DIARIO (MP / Kg PEGANTE FERROMAGNÉTICO)</b>	<b>CUMP (US\$/Kg PEGANTE FERROMAGNÉTICO)</b>	<b>COSTO ANUAL (US\$)</b>
Agua (US\$/m <sup>3</sup> )	2,57	0,28	0,718	15 831,67
Alcohol industrial etanol (US\$/m <sup>3</sup> )	0,87	0,1792	0,156	3 451,848
Óxido de zinc(US\$/Kg)	2,69	0,0028	0,007	166,36
Pvp(US\$/Kg)	30,27	0,224	6,781	149 408,08
Ácido esteárico(US\$/Kg)	2,08	0,056	0,116	2 576
Solución de soda cáustica al 10% (US\$/ m <sup>3</sup> )	0,96	0,05776	0,055	1 217,77
Limadura de acero(US\$/Kg)	0,28	0,3	0,084	1 868,75
Antioxidante comercial (US\$/ m <sup>3</sup> )	0,87	0,009	0,007	172,5
CUMP TOTAL			7,929	174 92,99

**TABLA 5. Costo Total Anual de Servicios Industriales para la producción de pegante ferromagnético (22,032 Ton / año).**

<b>SERVICIOS INDUSTRIALES (Sind.)</b>	<b>COSTO UNITARIO</b>	<b>CONSUMO DIARIO (SIND. / Kg PEGANTE FERROMAGNÉTICO)</b>	<b>CUS (US\$/Kg)</b>	<b>COSTO TOTAL ANUAL (US\$)</b>
Energía Eléctrica (US\$/KWh)	0,13	3,04	0,39	8 707,05

Vapor (US\$/Kg. Vapor)	0,018	10,11	0,18	4 009,38
Agua de enfriamiento (US\$/ m <sup>3</sup> )	0,32	5	1,58	34888,11
CUS TOTAL (US/Kg)			2,16	47604,54

El Costo Unitario de Mantenimiento (CUMA) es evaluado como el 4% de los Costos Totales de Instalación de los equipos de proceso. Este valor es de 5,75US\$ / Kg de pegante ferromagnético.

El Costo Unitario de Mano de Obra es de 5,28 US\$ / Kg pegante ferromagnético. Incluye los costos directos e indirectos. El costo de mano de obra directa e indirecta asciende a: US\$ 49.065,02/ año y US\$ 67.333,92 /año respectivamente.

**TABLA 6. Costo de mano de obra Directa e Indirecta**

Descripción	Cantidad De Personas	Sueldo /mensual US \$	Total Anual /carga US \$
<b>Mano de Obra Directa</b>			
Ingeniero de procesos	2	1522,41	36537,78
Operadores de planta	6	173,9	12527,24
Total Mano de Obra Directa			49065,02
<b>Mano de Obra Indirecta</b>			
Director del departamento de Producción	1	1522,41	18268,89
Jefe de mantenimiento	1	652,46	7829,52
Técnicos de mantenimiento	2	304,48	7307,55
Jefe de almacenamiento	1	652,46	7829,52
Operarios de almacenamiento	3	173,98	6263,62
Jefe de control de calidad	1	652,46	7829,52
Operarios de control de calidad	1	173,98	2087,87
Jefe de seguridad industrial	1	652,46	7829,52
Personal de seguridad	1	173,98	2087,87
Total Mano de Obra Indirecta			67333,91

$$\text{CUPT} = \text{CUMP} + \text{CUS} + \text{CUMA} + \text{CUMO}$$

Donde:

CUPT: Costo Unitario de Producto Terminado (US\$ / Kg pegante ferromagnético)

CUMP: Costo Unitario de Materia Prima (US\$ / Kg. pegante ferromagnético)

CUS: Costo Unitario de Servicios Industriales (US\$ / Kg. pegante ferromagnético)

CUMA: Costo Unitario de Mantenimiento, (US\$ / Kg. pegante ferromagnético)

CUMO: Costo Unitario de Mano de Obra (US\$ / Kg. pegante ferromagnético)

El Costo Unitario de Administración y Venta es de 6.31 US\$ / Kg. Pegante ferromagnético.

**TABLA 7. Costos de administración y ventas para la planta de pegante ferromagnético**

Descripción	Cantidad De personas	Sueldo / Mensual US \$	Total Anual / Cargo US \$
<b>Gastos en Personal</b>			
Gerente general	1	1957,38	23488,58
Secretaria de gerencia	1	195,738	2348,86
Director del departamento de Contabilidad	1	782,95	9395,43
Auxiliar contable	1	173,99	2087,87
Contador público	1	652,46	7829,53
Tesorero	1	652,46	7829,53
Director de recursos humanos	1	652,46	7829,53
Secretaria de departamentos	1	173,99	2087,87
Jefe de selección y contratación	1	652,46	7829,53
Director de bienestar social	1	434,97	5219,68
Auxiliar de enfermería	1	173,98	2087,87
Jefe de servicios generales	1	304,48	3653,78
Personal de servicios generales	2	173,99	4175,75
Mensajero	1	173,99	2087,87
Recepcionista	1	173,99	2087,87
Director del departamento de ventas	1	652,46	7829,53
Vendedores	2	217,48	5219,68
Director de compras	1	652,46	7829,53
Auxiliar de compras	1	173,99	2087,87
Auditor general	1	826,45	9917,40
Asistente de auditoria	1	652,46	7829,53
Director de sistemas	1	1957,38	23488,58
Subtotal	23	10504,61	130753,07
<b>Otros Gastos</b>			
Gastos de oficina		3044,815332	3044,81
Viáticos y representaciones		3044,815332	3044,82
Otros		2174,868094	2174,87
<b>Total</b>			<b>139017,57</b>

El Costo Unitario Total es evaluado como:

$$\text{CUT} = \text{CUPT} + \text{CUAV} + \text{CUDEP}$$

Donde:

CUAV: Costo Unitario de Administración y Ventas (US\$ / Kg. Pegante ferromagnético)

CUDEP: Costo Unitario de Depreciación (US\$ / Kg. Pegante ferromagnético).

La depreciación de los activos para los cuales aplica esta práctica, se calcula utilizando el Método de Línea Recta, el cual consiste en recuperar el valor del activo en una cantidad constante a lo largo de cada uno de los años de vida útil (8 años). El valor de salvamento del activo al final de su vida útil es considerado nulo. Teniendo en cuenta lo anterior, el valor de dicha depreciación es de 82093,03US\$ /año o 3,73US\$ / Kg pegante ferromagnético.

**TABLA 8. Costos Totales involucrados en la producción de pegante ferromagnético (Producción: 22,032 Ton/año).**

<b>COSTO UNITARIO</b>	<b>US\$ / Kg. PEGANTE FERROMAGNÉTICO</b>	<b>COSTOS TOTALES ANUALES</b>
CUMP (Materias Primas)	7,93	174693,00
CUS (Servicios Industriales)	2,16	47604,54
CUMA (Mantenimiento)	5,75	126597,67
CUMO (Mano de Obra)	5,28	116398,94
CUPT (Producto Terminado)	21,12	465294,15
CUAV (Administración y Ventas)	6,31	139017,57
CUDEP (Depreciación)	3,73	82093,03
CUT (TOTAL)	52,27	1151698,90

**Determinación del precio de venta.** Teniendo en cuenta que el producto a comercializar es novedoso, no existe un precio de venta definido en el mercado, por lo que se requiere asignar un precio de venta a dicho producto. Cada barra de pegante ferromagnético producida pesa 10 g, de forma equivalente a las barras de pegante convencionales, sin embargo, considerando las características del producto se sugiere un precio de venta de cada barra de US\$ 0,783. (\$ 1.800 pesos colombianos), el cual se encuentra un 12% por encima del precio de estos productos similares en el mercado.

**Viabilidad económica.** Considerando el precio de venta del producto, resulta viable invertir en la planta de pegante ferromagnético sólido; es decir, se recupera la inversión en un lapso de 16 meses y después de esto se obtiene una ganancia de US\$ 1.358.732,49. Adicional a lo anterior, la TMRR es superior al valor ofrecido en el mercado el cual es de 7,5 % efectivo anual. Lo anterior se deduce a partir de la evaluación financiera presentada en las tablas 9 y 10.

Se usa el VPN (Valor Presente Neto) como criterio de decisión. Para calcularlo, se trasladaron los flujos de los años futuros al tiempo presente y se restó la inversión inicial. Los flujos se descuentan a una tasa que corresponde a la TMRR, de acuerdo con la siguiente fórmula: [8]

$$VPN = -CTI + \frac{(FNE_1)}{(1+i)^1} + \frac{(FNE_2)}{(1+i)^2} + \dots + \frac{(FNE_n)}{(1+i)^n}$$

FNE<sub>n</sub>: Flujo Neto de Efectivo del año n, que corresponde a la ganancia neta después de impuestos en el año n (US\$).

CTI: Capital Total de Inversión, año cero (US\$).

i: Tasa de referencia que corresponde a la TMRR, (inflación + premio al riesgo)

En este caso todos los valores de ingresos y egresos del proyecto durante el tiempo de evaluación serán considerados constantes. Por ello, la tasa de inflación es de cero.

El premio al riesgo significa el verdadero crecimiento del dinero y se le llama así, porque el inversionista siempre arriesga su dinero (siempre que no se invierta en el banco) y por arriesgarlo merece una ganancia adicional sobre la inflación. En este caso la tasa de rendimiento fijada por el inversionista es de 15%.

El criterio de decisión al emplear el método del VPN es el siguiente:

Si  $VPN \geq 0$  Acéptese la Inversión

Si  $VPN < 0$  Rechácese la Inversión

El Estado de Resultados del proyecto, se presenta de manera general en las Tablas siguientes:

**TABLA 9. Estado de resultados, planta de pegante ferromagnético**

PERIODOS DE EVALUACIÓN	TOTAL US\$
INGRESOS TOTALES, US\$	1725000,98
- COSTOS TOTALES, US\$	1151698,90
<b>= UTILIDAD ANTES IMPUESTOS, US\$</b>	<b>573302,08</b>
- PAGO DE IMPUESTOS (38%),US\$	217854,79
<b>= UTILIDAD DESPUES IMPUESTOS, US\$</b>	<b>355447,29</b>
+ DEPRECIACION, US\$	82093,03
<b>= FLUJO NETO DE EFECTIVO, US\$</b>	<b>437540,32</b>

**TABLA 10. Evaluación financiera, planta de pegante ferromagnético**

EVALUACION FINANCIERA	
Indicador	Valor
TMRR	15%
Traslado de Flujos Netos de Efectivos al Presente	1963384,08
VPN(Valor Presente Neto) US\$	1358732,49
Período de recuperación de la inversión (meses)	16

Finalmente, es posible elaborar pegante ferromagnético con buenas propiedades adhesivas y ferromagnéticas, al incorporar un 30% de limadura de acero malla 200 de la serie Tyler a la mezcla en el reactor.

Dentro de las propiedades encontradas del pegante ferromagnético sólido, se destacan: su alta adherencia entre dos sustratos de papel y la adherencia a imanes de Neodimio que presentan inducción remanente superior a 900 Gauss. Estas propiedades permiten la utilización de este pegante ferromagnético sólido en aplicaciones cotidianas.

## ANEXO V. APLICACIONES

FIGURA 1. Aplicaciones didácticas.



FIGURA 2. Aplicación para organización en oficinas



FIGURA 3. Aplicaciones en el hogar

