

FORMULACION, EVALUACION Y APLICACION DEL GRAFITO MAGNETICO

**FRANCESCO DANIELO MARRUGO FERNANDEZ
JOSE LUIS VELASQUEZ MURILLO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS FISICOQUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA
BUCARAMANGA
2004**

FORMULACION, EVALUACION Y OBTENCION DEL GRAFITO MAGNETICO

**FRANCESCO DANIELO MARRUGO FERNANDEZ
JOSE LUIS VELASQUEZ MURILLO**

**Trabajo de grado presentado para optar al título de
Ingeniero Químico**

**Director
Ing. Ph. D. RAMIRO A. SALAZAR LARROTA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS FISICOQUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA
BUCARAMANGA
2004**

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Industrial de Santander, directivas y profesores.

A Ramiro A. Salazar, por su valiosa ayuda, y su gerencia, que impulso la realización de este proyecto.

A Edgar Rodríguez, por su colaboración y guía en la fabricación de los troqueles para el proceso de prensado.

A los ingenieros Dionisio Laverde C. y Darío Y. Peña, por su orientación y corrección para la mejora de este proyecto.

A todos aquellos que de una u otra forma participaron en la realización de este proyecto.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
1. FUNDAMENTO TEORICO	3
1.1 Grafito	3
1.1.1 Propiedades	4
1.1.2 Aplicaciones	4
1.1.3 Compuestos de intercalación de grafito	4
1.1.4 Otras formas relacionadas	4
1.2 Material magnético	5
1.3 Colorantes y Pigmentos	7
1.3.1 Pigmentos inorgánicos	7
1.3.2 Pigmentos orgánicos	8
1.3.2.1 Negro de humo	8
1.4 Descripción de operaciones involucradas	9
1.4.1 Molienda	9
1.4.2 Mezclado	9
1.4.3 Prensado	9
1.4.4 Polarización	10
1.4.5 Encapsulado	10
1.5 Descripción de los equipos involucrados	10
1.5.1 Molino de bolas	10
1.5.2 Tamizador	10
1.5.3 Prensa Hidráulica	10
2. PARTE EXPERIMENTAL	11
2.1 Tratamiento de la materia prima	11
2.1.1 Tratamiento para el material magnético	11
2.1.1.1 Molienda	11
2.1.1.2 Tamizado	11
2.1.2 Tratamiento para el grafito y el colorante	12
2.2 Mezclado	12
2.2.1 Ensayos para determinar el solvente	12
2.2.2 Elaboración de la mezcla	12
2.3 Secado	12
2.4 Prensado	13
2.4.1 Determinación de la presión de trabajo	14
2.5 Polarización	15
2.5.1 Sinterización	15
2.5.2 Polarización con imanes de Neodimio	16
2.6 Pruebas físicas	16
2.6.1 Campo magnético	16
2.6.2 Pruebas mecánicas	17
2.6.2.1 Prueba de Tracción	17
2.6.2.2 Prueba de dureza	17
2.6.2.3 Prueba de compresión	17
2.6.3 Densidad	17
2.6.4 Prueba cualitativa	17

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	19
3.1 Evaluación propiedad magnética	19
3.1.1 Cuantificación del campo magnético	19
3.1.2 Prueba cualitativa	21
3.2 Pruebas Mecánicas	22
3.2.1 Prueba de Tracción	22
3.2.2 Prueba de dureza	28
3.2.3 Prueba de compresión	28
3.2.4 Prueba de densidad	32
3.2.5 Encapsulado	33
3.3 Diseño y viabilidad económica para el montaje de una planta de grafito magnético	34
3.3.1 Diseño conceptual de la planta	34
3.3.1.1 Localización de la planta	34
3.3.1.2 Descripción del proceso	34
3.3.1.3 Especificaciones de los equipos	36
3.3.1.4 Distribución de personal para la planta	42
3.3.1.5 Distribución de la planta	45
3.3.2 Análisis económico	46
3.3.2.1 Determinación de costos de producción	46
3.3.2.2 Gastos de administración y ventas	47
3.3.2.3 Costos de mano de obra directa e indirecta	47
3.3.2.4 Determinación de la inversión total y fija	47
3.3.2.5 Depreciación y amortización de activos	47
3.3.3 Evaluación financiera	48
3.3.3.1 Cálculo del VPN	48
3.3.3.2 Tasa interna de retorno	48
3.4 Criterios de selección y posibles aplicaciones	48
CONCLUSIONES	51
RECOMENDACIONES	52
BIBLIOGRAFIA	53
ANEXOS	55

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Propiedades de la ferrita de bario y ferrita de estroncio	6
Tabla 2. Notación de los porcentajes máxicos	15
Tabla 3. Esfuerzo normal σ (Kgf/cm ²), a diferentes presiones de trabajo	15
Tabla 4. Campo magnético a diferentes temperaturas sin polarizar	15
Tabla 5. Campo magnético a diferentes temperaturas	19
Tabla 6. Resultados de la prueba de tracción para la mezcla 1	23
Tabla 7. Resultados de la prueba de tracción para la mezcla 2	24
Tabla 8. Resultados de la prueba de tracción para la mezcla 3	25
Tabla 9. Resultados de la prueba de tracción para la mezcla 4	26
Tabla 10. Resultados de la prueba de tracción para la mezcla 5	27
Tabla 11. Dureza de las mezclas sinterizadas y no sinterizadas	28
Tabla 12. Esfuerzo de compresión máximo para la mezcla 1	29
Tabla 13. Esfuerzo de compresión máximo para la mezcla 2	29
Tabla 14. Esfuerzo de compresión máximo para la mezcla 3	30
Tabla 15. Esfuerzo de compresión máximo para la mezcla 4	31
Tabla 16. Esfuerzo de compresión máximo para la mezcla 5	32
Tabla 17. Densidad para las mezclas sinterizadas y no sinterizadas	33
Tabla 18. Especificaciones de los equipos.	36
Tabla 19. Organización de personal de la planta de grafito magnético	44

LISTA DE GRAFICAS

	Pág.
Figura 1. Estructura laminar del grafito (ABAB).	3
Figura 2. Imanes de ferrita de bario y estroncio	7
Figura 3. Campo magnético para las muestras no sinterizadas.	19
Figura 4. Campo magnético para las muestras sinterizadas a 623 K.	20
Figura 5. Campo magnético para las muestras sinterizadas a 723 K.	21
Figura 6. Diagrama esfuerzo-deformación unitaria para la mezcla 1	23
Figura 7. Diagrama esfuerzo-deformación unitaria para la mezcla 2	24
Figura 8. Diagrama esfuerzo-deformación unitaria para la mezcla 3	25
Figura 9. Diagrama esfuerzo-deformación unitaria para la mezcla 4	26
Figura 10. Diagrama esfuerzo-deformación unitaria para la mezcla 5	27
Figura 11. Esfuerzo de compresión para la mezcla 1	28
Figura 12. Esfuerzo de compresión para la mezcla 2	29
Figura 13. Esfuerzo de compresión para la mezcla 3	30
Figura 14. Esfuerzo de compresión para la mezcla 4	31
Figura 15. Esfuerzo de compresión para la mezcla 5	32
Figura 16. Diagrama de flujo de la planta	34
Figura 17. Diagrama del proceso de producción del grafito magnético	36
Figura 18. Distribución de personal para la empresa	43
Figura 19. Distribución de la planta.	46

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Equipos utilizados ubicados en el laboratorio de operaciones unitarias de la escuela de ingeniería química en la Universidad Industrial de Santander	55
Anexo B. Presupuesto de producción y ventas	62
Anexo C. Costos variables	63
Anexo D. Costos de Equipos para planta de grafito magnético	67
Anexo E. Costo de instalación para la planta de grafito magnético	68
Anexo F. Inversión total inicial	69
Anexo G. Gastos de administración y ventas	70
Anexo H. Costo de la mano de obra directa e indirecta	71
Anexo I. Depreciación y amortización	72
Anexo J. Cálculo del VPN sin financiamiento	74
Anexo K. Cálculo TIR	75
Anexo L. Registro fotográfico prueba cualitativa	76

RESUMEN

TITULO: FORMULACIÓN, EVALUACIÓN Y APLICACIÓN DEL GRAFITO MAGNÉTICO*

AUTOR(ES): FRANCHESCO DANIELO MARRUGO FERNÁNDEZ
JOSÉ LUIS VELÁSQUEZ MURILLO**

Palabras Claves: Grafito, Ferrita de Bario y Estroncio, Negro de Humo, Mezclado, Prensado, Polarización.

Se le pueden suministrar propiedades magnéticas al grafito, mediante la adición de ferrita de bario y estroncio por mezclado en presencia de un solvente. El conocimiento científico de la unión entre materiales magnéticos y grafito no es muy estudiado aún y está limitado a unas pocas investigaciones, este trabajo está encaminado a la obtención de la mezcla grafito, material magnético y pigmentos en diferentes proporciones para ser caracterizada y encontrar así una mezcla óptima, esto se logra mediante un tratamiento adecuado para las materias primas y su posterior tratamiento para el compactamiento e integración de los mismos. El proceso se inicia con la trituración y molienda de los imanes de ferrita de Bario y Estroncio, seguido de la clasificación del tamaño de sólido mediante un tamiz, se continúa con un mezclado ayudado por un solvente (gasolina), posteriormente se somete a prensado a 60 Kg/cm^2 (5856 KPa) durante 2.5 h, luego se somete a polarización durante 8 horas y sinterización a 673 K ó 723 K ; De tal forma se puede obtener grafito magnético con 289-370 gauss para la inducción remanente y una densidad de $2310\text{-}3100 \text{ Kg/m}^3$, de acuerdo al porcentaje de carga magnética; Finalmente se estudia la viabilidad del establecimiento de una planta de producción de grafito magnético en Colombia, a través de un análisis de aspectos de mercado, técnicos y financieros.

*Trabajo de grado

**Facultad de Ingenierías Físicoquímicas, Ingeniería Química, Dir. Ing Químico Ph. D. Ramiro Augusto Salazar La Rotta.

SUMMARY

TITLE: MAGNETIC GRAPHITE FORMULATION, EVALUATION AND USE*

AUTORS: FRANCHESCO DANIELO MARRUGO FERNANDEZ
JOSE LUIS VELASQUEZ MURILLO**

keywords: Graphite, Barium and Strontium Ferrite, Carbon Black, Mixing, Pressed, Polarization.

Abstract

Addition of barium and strontium ferrite to graphite, by using a proper solvent, can confer magnetic properties to it.

There are few investigations concerning graphite and magnetic material alloys. In this work different magnetic-graphite-dyes mixes were prepared and characterized. Optimal mix properties were obtained by an appropriate handling of raw materials and a proper post-synthesis treatment.

A first stage in the magnetic-graphite synthesis is crushing and grinding the barium and strontium ferrite magnets, followed by a classification of the resulting solid by a sieving process. This solid is combined with the graphite and carbon black by mixing with a solvent, gasoline in this case. Resultant material is pressed to 60 kgf/cm² (5856 kPa) during 2.5 h. After this, the solid is polarized and sinterized at 673 K or 723 K during 8h.

Magnetic-graphite obtained this way possesses a 289 to 370 gauss magnetic field and an absolute density between 2310 and 3100 kg/m³, according to the magnetic load percentage.

Finally an economic study was made in order determine the possibility of establishing an industrial plant for the production of magnetic-graphite plant in Colombia, having into account technical, financial and marketing factors.

*Thesis.

**Physics and Chemical Engineering Faculty, Chemical Engineering, Director Chemical Engineer Ph. D. Ramiro Augusto Salazar La Rotta.

INTRODUCCION

La investigación dirigida a la adición de nuevas propiedades a materiales (ya existentes), se viene desarrollando desde hace años atrás, produciendo un atractivo industrial por las nuevas aplicaciones que generan. Es entonces cuando surge la introducción de propiedades magnéticas a otros materiales que no las poseen, los cuales abarcan un campo muy extenso, así como poco desarrollado.

El grafito es un material muy conocido desde hace algunos siglos por la humanidad y es una de las dos formas alotrópicas más importantes del carbono las cuales son el diamante y el grafito. Posee algunas propiedades importantes como son su insolubilidad en la mayoría de los disolventes, pero se disuelve fácilmente en algunos metales fundidos. El grafito es un material muy blando y quebradizo y su coloración varía del gris mate al negro. Presenta una estructura cristalina bidimensional con enlaces covalentes y fuerzas de van der Waals con interacciones π [20].

Las ferritas son materiales que poseen la fórmula condensada $MO(Fe_2O_3)_n$ donde M es un ión de un metal divalente y n es por general un número igual o superior a 6 [7].

Las propiedades magnéticas son características de los materiales denominados ferrimagnéticos, lo que los hace factibles para ser utilizados como imanes permanentes, a la ferrita de Bario y Estroncio se le puede aumentar sus propiedades magnéticas con unas operaciones de prensado del material en polvo, acompañadas de una sinterización. La ferrita sinterizada y compactada tiene una coloración que va desde el gris hasta el café oscuro, sin embargo al ser triturada y pulverizada toma una coloración rojiza muy típica de los óxidos férricos, otra característica importante que presenta la ferrita pulverizada es el comportamiento de cada una de las partículas que la conforman convirtiéndose cada una en diminutos imanes, reduciendo de esta manera la potencia de campo magnético que tendría en estado de compactamiento y sinterización.

El conocimiento científico de la unión entre materiales magnéticos y grafito aún no es muy estudiado y está limitado a unas pocas investigaciones, las cuales han logrado desarrollar un material para ser utilizado en empaques, en la industria automotriz y bisutería. Por estas razones el siguiente trabajo está encaminado a la obtención de la mezcla grafito, material magnético y pigmentos en diferentes proporciones para luego ser caracterizada y lograr una mezcla óptima.

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

Las propiedades magnéticas fueron suministradas mediante la adición de ferrita de bario y estroncio durante el proceso de mezclado del grafito en presencia de un solvente orgánico. La ferrita de bario y la ferrita de estroncio son compuestos con fórmula molecular $BaFe_{12}O_{19}$ y $SrFe_{12}O_{19}$ respectivamente, que se comportan como imanes permanentes y son de gran aplicación industrial debido a su excepcional relación calidad / precio.[1]

Para este trabajo se llevó a cabo una metodología bastante secuencial con respecto al tratamiento de los sólidos particulados, el proceso se inició con la trituración y molienda de los imanes de ferrita de Bario y Estroncio, seguido de la clasificación del tamaño de sólido mediante un tamiz, se continuó con un mezclado ayudado por un solvente que para el caso fue gasolina, posteriormente se sometió a un prensado a 60 Kg/cm^2 (5856 KPa), durante 2.5 h, al terminar este proceso ya se tenía el material, luego se sometió a polarización durante 8 horas y sinterización a 673 K y 723 K, para terminar con las pruebas de resistencia mecánica y las de campo magnético.

Finalmente se estudió la viabilidad del establecimiento de una planta de producción de grafito magnético en Colombia, a través de un análisis de aspectos de mercado, técnicos y financieros.

1. FUNDAMENTO TEÓRICO

1.1 Grafito

El grafito es una de las formas elementales en las que se puede presentar el carbono. Otras formas bien conocidas son el diamante y los fullerenos. El grafito y el diamante son dos formas cristalinas bastante diferentes; el grafito es la forma estable a presiones y temperaturas bajas. Se puede convertir en diamante aumentando la temperatura y la presión, y utilizando un catalizador para aumentar la velocidad de reacción. El grafito se encuentra en la naturaleza en forma de roca de mineral de grafito y se puede extraer, pero también se produce artificialmente. [20]

El grafito contiene los átomos de carbono en capas paralelas, apiladas una encima de la otra. Dentro de una capa los átomos de carbono están enlazados a otros tres. Entre capas hay una distancia de 3.35 Å, indicando que entre éstas sólo hay interacciones débiles. Por esto, las capas se pueden deslizar fácilmente entre sí; gracias a esta propiedad el grafito es untuoso al tacto y resulta ser un buen lubricante.

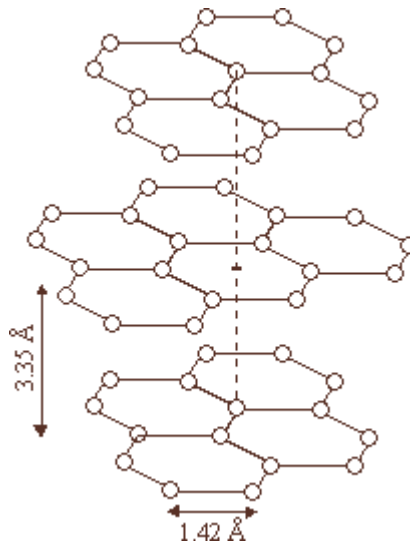


Figura 1. Estructura laminar del grafito (ABAB).

Entre capas la interacción es débil, siendo la distancia de 3.35 Å, mientras que los enlaces carbono-carbono son de 1.42 Å

Dentro de una capa un carbono se enlaza a otros tres mediante un enlace π , por lo que sobra un electrón que forma un sistema de enlaces π . La distancia entre estos átomos de carbono es algo mayor que en el benceno.

Las capas suelen estar apiladas de dos formas: en una estructura ABAB (forma hexagonal), en donde en dos capas alternadas los átomos de carbono están a la misma altura (ver la figura 1), o en una estructura ABCABC (forma romboédrica), cada tres capas.

1.1.1 Propiedades

El grafito es de color negro con brillo metálico, refractario y se exfolia con facilidad. En la dirección perpendicular a las capas presenta una conductividad de electricidad baja y que aumenta con la temperatura, comportándose como un semiconductor. A lo largo de las capas la conductividad es mayor y disminuye al aumentar la temperatura, asemejándose a un conductor semi-metálico. Posee un punto de fusión de 800 °C y una densidad que va desde 1400 Kg/m³ a 2100 Kg/m³.

1.1.2 Aplicaciones

- El grafito es un material refractario y se emplea en ladrillos, crisoles, etc.
- Al deslizarse en el grafito las capas fácilmente, resulta ser un buen lubricante sólido. Se emplea en la fabricación de diversas piezas en ingeniería, como pistones, juntas, arandelas, rodamientos, etc.
- Es conductor de la electricidad y se emplea para la fabricación de electrodos. También tiene otras aplicaciones eléctricas.
- Se emplea en reactores nucleares, como moderadores y reflectores.
- Mezclado con una pasta que usualmente es arcilla, sirve para la fabricación de lápices.

1.1.3 Compuestos de intercalación de grafito

Distintas moléculas o iones pueden penetrar en las capas del grafito. Por ejemplo el potasio puede ceder un electrón al grafito, quedando el ión de potasio, K⁺, entre las capas. Este electrón contribuye a aumentar la conductividad que presentaba el grafito.

Se pueden preparar diferentes compuestos de intercalación con distintas estequiometrías y distintas especies. En algunos casos la conductividad resultante es mayor, como en el caso del potasio, y es lo que ocurre generalmente, pero en otros, como por ejemplo con flúor, es menor.

1.1.4 Otras formas relacionadas

Existen otras formas llamadas de carbón amorfo que tienen una estructura relacionada con la del grafito:

- Carbón vegetal y carbón activado
- Negro de humo u hollín

1.2 Material magnético

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); este tipo de materiales muestra dependencia de la temperatura, ya que a medida que se incrementa el alineamiento va desapareciendo hasta llegar al punto de Curie donde el material se torna paramagnético.

Es bueno anotar que la descripción completa del comportamiento de los momentos atómicos de estos materiales requiere un tratamiento más especializado, que recae en el campo de la mecánica cuántica

Existen varios tipos de ferromagnetismo dependiendo en la forma que los momentos atómicos se alinean. Ciertas direcciones o ejes dentro de la red cristalina de un sólido ferromagnético emergen como ejes preferenciales donde reside la magnetización. Esta anisotropía magnética es responsable por el hecho de que la magnetización remanente sea estable mientras no haya energía externa aplicada al material.

Existen dos fenómenos relacionados con el ferromagnetismo: el antiferromagnetismo y el ferrimagnetismo.

El antiferromagnetismo es el estado de un material que contiene elementos ferromagnéticos, cuyos átomos están dispuestos de tal manera que la susceptibilidad del propio material es muy pequeña; esto es debido a que los espines electrónicos no equilibrados se anulan en su interior; ejemplo de este tipo de materiales son el óxido ferroso y el óxido de cromo.

El ferrimagnetismo es un concepto sugerido por Néel al desarrollar sus teorías sobre el ferromagnetismo [16]. Se refiere a un material cuyas propiedades se aproximan a las del estado antiferromagnético, pero en el que la compensación de los dipolos magnéticos es incompleta a causa de la disposición particular de la estructura. Por

consiguiente, se origina un ferromagnetismo residual; un ejemplo de estos materiales es la magnetita, que se comporta como un imán en su estado natural. Dentro de este grupo de materiales encontramos las ferritas los cuales son compuestos cerámicos sinterizados con mejores propiedades magnéticas que la magnetita. [7,11]

Las ferritas son materiales denominados ferrimagnéticos, de los que su fórmula es $MO \cdot (Fe_2O_3)_n$, donde M es un ion de un metal divalente; son compuestos cerámicos con excelentes propiedades magnéticas.

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 difundido por su excepcional relación calidad / precio. 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. [1]

Las propiedades magnéticas como la fuerza coercitiva y los valores de BH_{max} de las ferritas son altos pero se pueden incrementar con un tratamiento anisotrópico que consiste en prensar el polvo que se va a sinterizar en presencia de un campo magnético, el cual alinea su momento magnético en una dirección. Su gran fuerza coercitiva y elevada resistividad eléctrica hace que el material sea especialmente apropiado para aquellas aplicaciones en que están presentes grandes fuerzas imantadoras o campos de alta frecuencia; su bajo costo lo hace aceptable para los equipos de mantenimiento. Son muy frecuentemente usados en los parlantes de sonido por los equipos de radio difusión y otros que involucren recepción y transducción de señales de índole magnético.

A continuación se muestran las propiedades más relevantes de la ferrita de bario y de la ferrita de estroncio:

Propiedad		Valor	
		$BaFe_{12}O_{19}$	$SrFe_{12}O_{19}$
Energía Máxima de Atracción BH_{max}		8 kJ/m ³	28 kJ/m ³
		1 MOe	3.5 MOe
Inducción Remanente B_r		215 mT	385 mT
		2150 Gauss	3850 Gauss
Fuerza Coercitiva H_c	H_{cB}	135 kA/m	250 kA/m
		1.750 kOe	3140 kOe
	H_{cJ}	220 kA/m	260 kA/m
		2.760 kOe	3270 kOe
Permeabilidad		1.20 Gauss/Oe	1.10 Gauss/Oe
Densidad		4.8 g /cm ³	4.8 g /cm ³
Temperatura de Curie		450 °C	450 °C
Temperatura Máxima de Operación		250°C	250°C
Dureza		6-7 Mohs	6-7 Mohs
Módulo de Elasticidad		0.15 N/mm ²	0.15 N/mm ²

Resistencia a la compresión	700 N/mm ²	700 N/mm ²
Resistencia a la Tracción	50 N/mm ²	50 N/mm ²
Resistencia a la Flexión	55 N/mm ²	55 N/mm ²
Coefficiente de Dilatación	10 10 ⁻⁶ m/K	10 10 ⁻⁶ m/K
Resistencia eléctrica específica	> 10 ⁴ Ωm	> 10 ⁴ Ωm

Tabla 1. Propiedades de la ferrita de bario y ferrita de estroncio

En la práctica, a menudo se emplean ferritas mezcladas, pues se pueden elegir estos materiales para que formen una combinación con una magnetoestricción y una anisotropía cristalina bajas, lo que permite obtener permeabilidades más altas que con las ferritas puras, aunque puede que bajen los valores de saturación (inducción remanente). La saturación también se ve afectada con la elevación de la temperatura, ya que se produce una agitación térmica que descompone la alineación de los dipolos magnéticos, de esta manera la saturación desciende continuamente a medida que sube la temperatura, y lo hace con rapidez al acercarse al punto de Curie, donde cambia el comportamiento magnético del material; la ferrita cambia su comportamiento ferrimagnético a paramagnético.



Figura 2. Imanes de ferrita de bario y estroncio

1.3 Colorantes y Pigmentos

Los pigmentos son polvos insolubles de tamaños de partícula muy pequeños, generalmente de 0.01 micras, pero casi nunca superan la micra. Son de origen natural como sintético, de composición orgánica e inorgánica.

Un pigmento ideal debe ser químicamente inerte, libre de sales solubles, no debe ser afectado por las temperaturas normales. Deben dispersarse con facilidad, no ser tóxico y tener características de baja absorción de aceite.

1.3.1 Pigmentos inorgánicos [8]

Todos los pigmentos blancos son compuestos inorgánicos de Titanio, Zinc, Plomo o Antimonio. Se clasifican como reactivos y no reactivos.

Los pigmentos blancos no reactivos más importantes son los óxidos de Titanio. Debido a sus altos índices de refracción proporcionan un área de cubrimiento a menor costo.

Los pigmentos blancos reactivos son el carbonato básico de Plomo, el sulfato básico de Plomo, el óxido de zinc con plomo y el óxido de antimonio.

1.3.2 Pigmentos orgánicos

Este tipo de pigmentos tienen un poder de cubrimiento inferior al de los pigmentos inorgánicos, pero su poder tintorial es superior. Aunque existe una gran variedad de pigmentos orgánicos, es posible clasificarlos en seis grupos con base en las características generales de su composición química así:

Azo-insoluble, Azo-ácidos, Antraquinona, Indigoídes, Ftalocianinas, PMA y PTA. Aunque no se clasifican como tales los negros de carbón son de naturaleza orgánica, estos son el negro de humo y el grafito entre otros.

1.3.2.1 Negro de humo [18]

El negro de humo es otra materia petroquímica, básicamente es carbón puro con una estructura muy semejante a la del grafito.

El tamaño de las partículas en el negro de humo es lo que determina su valor, entre más pequeñas sean, más caro será el producto.

Existen tres procesos generales para fabricar industrialmente el negro de humo, que son los siguientes: proceso de canal, proceso de horno y proceso térmico.

Las materias primas para hacer negro de humo pueden incluir desde gas natural hasta aceites pesados con alto contenido de poliaromáticos, como los productos de la torre de vacío.

La diferencia básica entre los dos primeros procesos y el último es que los procesos de canal y de horno obtienen los productos quemando parcialmente los materiales usados como materia prima, mientras que el proceso térmico consiste en descomponer los productos por medio de calor.

Antes de 1945, el negro de humo se fabricaba a partir del gas natural usando cualquiera de los tres procesos mencionados. Después de esta fecha se modificó el proceso de horno para de esta forma poder usar hidrocarburos líquidos como materia prima, y actualmente es el que más se usa.

Los hidrocarburos que se utilizan como carga son desde gasóleos hasta residuos pesados. En general, estas cargas deben tener un alto porcentaje de aromáticos pesados o poliaromáticos, y un bajo contenido de azufre. Además deben producir un mínimo de ceniza mineral.

El negro de humo contiene de 88 a 99.3% de carbono, 0.4 a 0.8% de hidrógeno, y 0.3 a 17% de oxígeno.

El hidrógeno es un remanente de las moléculas de hidrocarburo originales, y por eso forma parte de la estructura grafitica. Por otro lado, como el oxígeno se absorbe en la

superficie, se le puede incorporar en cantidades variables mediante tratamientos posteriores.

Las variedades de negro de humo comercial tienen una amplia gama de propiedades físicas y químicas, similares a las del grafito; pero como contiene grupos superficiales, las características de los productos finales en donde se usan son diferentes.

El negro de humo se usa en el hule de las llantas, en la fabricación de tintas, lacas, pinturas, en cierto tipo de polietileno. También se emplea el negro de humo para la fabricación de diamantes artificiales y para sembrar las nubes a fin de provocar lluvia.

1.4 Descripción de operaciones involucradas

Para la fabricación de grafito magnético, se necesitan una serie de operaciones, que incluyen el manejo de sólidos particulados, mezclado de materias primas, Troquelado y polarización.

A continuación se describen los fundamentos teóricos para estas operaciones y posteriormente se mencionan los equipos en los que ellos intervienen.

1.4.1 Molienda

Es el proceso mediante el cual se reduce el tamaño un material a un diámetro de partícula deseado, para facilitar su posterior incorporación o manejo dentro de un proceso.

Esta operación se lleva a cabo en un molino que puede ser de bolas, de martillos, discos, cilindros, cuchillas, donde la reducción del tamaño del material se hace por impacto, por rozamiento, por corte o por compresión.

Para el molino de bolas de acuerdo al diámetro de partícula deseado se escoge el diámetro y número de cuerpos moledores y el tiempo de molienda dependiendo de la dureza del material a moler. [6]

1.4.2 Mezclado

Es el proceso mediante el cual se incorporan a una matriz otros materiales que pueden tener propiedades similares en frío o en caliente, se puede realizar con ayuda de mezcladores con agitación mecánica o magnética o con otro tipo de equipos como los molinos mezcladores que son de gran uso para el mezclado de sustancias elásticas como el caucho.

1.4.3 Prensado [12]

El prensado es una operación de aglomeración la cual ocurre cuando se aplica una fuerza a un sistema de macropartículas dentro de un espacio confinado.

El éxito de la operación depende en parte del aprovechamiento y la transmisión eficaz de la fuerza externa aplicada, y parcialmente de las propiedades físicas del material macroparticulado. Al aplicar una presión a un polvo en una matriz o en un troquel, se producen diferentes zonas en el material compactado, que están sometidas a diferentes cantidades de presión y se encuentran en diferentes etapas de compactación.[12]

1.4.4 Polarización

Es un proceso físico mediante el cual, por ayuda de un campo magnético externo muy fuerte se orientan en un solo sentido los espines de los electrones de valencia de los átomos del material involucrado, obteniéndose como resultado un material con mayor valor para la fuerza coercitiva. [7]

1.4.5 Encapsulado

El encapsulado o revestimiento es un proceso en el cual a la pieza se le agrega una capa protectora de un material resistente, que puede ser un polímero. Esto puede realizarse fácilmente sumergiendo la pieza varias veces, en una solución polimérica concentrada o en una masa fundida de un termoplástico.

1.5 Descripción de los equipos involucrados [6]

1.5.1 Molino de bolas

Un molino de bolas es un equipo mediante el cual es posible reducir a polvo un material alimentado. El material a pulverizar es depositado en una cámara, junto con el medio sólido de molienda, que generalmente son bolas de diferentes diámetros, para que se produzca la reducción de tamaño por impacto y por rozamiento. Este molino posee una carcasa cilíndrica que gira lentamente alrededor de un eje horizontal y está llena aproximadamente hasta la mitad de su volumen con un medio sólido de molienda. La carcasa generalmente es de acero de alto porcentaje de carbono, porcelana o de caucho, el medio de molienda son bolas de metal, porcelana, caucho o madera. En este tipo de molinos los elementos de molienda son elevados por la carcasa hasta cerca de la parte superior, desde donde caen sobre las partículas situadas debajo. La energía consumida en elevar los elementos de molienda es utilizada en reducir el tamaño de las partículas.

1.5.2 Tamizador

Este equipo consta de un conjunto de tamices (serie Tyler) con orificios de diferentes diámetros, los cuales permiten la separación de partículas sólidas de diferentes tamaños por medio de la vibración, que es debida a la acción de un mecanismo de leva, que se encarga de transformar el movimiento circular en movimiento vibratorio y acoplado a un motor eléctrico. Los tamices empleados corresponden a los números de malla 80, 140, 170, 240 y 270 serie Tyler.

1.5.3 Prensa Hidráulica

El prensado de material pulverizado se efectúa principalmente en troqueles y moldes hechos en aceros de buenas propiedades mecánicas.

El material es regado directamente sobre estos troqueles y compactado por un pistón impulsado por un fluido que puede ser aceite hidráulico para trabajos a altas presiones.

2. PARTE EXPERIMENTAL

Para llevar a cabo este proyecto se utilizaron diferentes equipos muy comunes en el tratamiento de sólidos particulados, entre los más resaltables se encuentran los molinos de bolas, tamices, equipos de prensado hidráulico, calentamiento y secado. A continuación se hace un recuento de los mismos y la operación para la cual fueron utilizados.

2.1 Tratamiento de la materia prima

El tratamiento de la materia prima se realizó en dos etapas importantes las cuales fueron: tratamiento del material magnético, tratamiento del grafito y tratamiento del colorante utilizado (negro de humo).

2.1.1 Tratamiento para el material magnético

El material magnético que se empleo fue la ferrita de bario y estroncio ($BaFe_{12}O_{19}$ $SrFe_{12}O_{19}$), la cual fue extraída de los imanes empleados en los parlantes de sonido.

El proceso que se usó para la extracción se inició con la compra de los imanes en las chatarrerías de la ciudad, luego se debió triturar este material manualmente con la ayuda de un mortero y un yunque metálico, este proceso de trituración tuvo un tiempo de duración de aproximadamente dos horas por kilogramo de imán.

2.1.1.1 Molienda

La molienda se realizó en dos tipos de molinos de bolas.

Después de realizada la trituración, el material se pasó por un molino de bolas metálicas con un tiempo de residencia de 15 horas por cada kilogramo de material triturado, el cual redujo de tamaño las partículas de malla 4 a malla 120 de la serie Tyler.

Durante este proceso se debió detener el molino cada 3 horas aproximadamente a causa del material del cual estaba hecho el molino, (era de acero y por ende poseía características magnéticas) porque la ferrita se aglomeraba en las paredes internas, disminuyendo la eficiencia de la molienda.

El material magnético se debía utilizar en polvo por lo cual se debió pasar del molino de bolas metálicas a un molino de tipo cerámico para de esta forma mejorar la eficiencia de la molienda, el tiempo de residencia para este molino fue de 24 horas por kilogramo de ferrita, este molino redujo a polvo el material magnético para su posterior tamizado.

2.1.1.2 Tamizado

El material proveniente del molino cerámico debió ser tamizado hasta un tamaño de malla 240 de la serie Tyler, para facilitar el mezclado.

El tamizado de la ferrita se debió hacer en caliente (330 K aproximadamente), debido a que en temperatura ambiente se forman aglomeraciones de material que impedían el normal tamizado. El tiempo de residencia en el equipo de tamizado fue de 40 minutos por kilogramo de material en polvo.

2.1.2 Tratamiento para el grafito y el colorante

El grafito que se utilizó fue de tipo comercial, adquirido en el mercado industrial de la ciudad y para el cual fue necesario hacer unas pruebas de mezclado con la ferrita, a diferentes tamaños de partícula del grafito analizando para cada mezcla su homogeneidad y su mejor incorporación. Con esta experimentación se concluyó que debería tener el mismo tamaño de la ferrita para lo cual se hizo necesario tamizarlo a malla 240 de la serie Tyler.

Para el negro de humo se realizó un análisis similar y se determinó la malla 200 de la serie Tyler como la más adecuada para el tamaño de partícula y para la mezcla.

2.2 Mezclado

En el proceso de mezclado se realizaron diferentes ensayos para determinar el solvente a utilizar en el mismo, para lo cual se prepararon diferentes mezclas de grafito, negro de humo y material magnético de 100 g.

2.2.1 Ensayos para determinar el solvente [10,12]

Para el primer ensayo se utilizaron 80 ml de agua destilada, pero esta no solubilizó la mezcla grafito-material magnético.

Luego se utilizaron 80 ml de alcohol etílico, el cual tampoco solubilizó la mezcla.

En el tercer ensayo se utilizó éter, solubilizando la mezcla totalmente, pero se debió utilizar 120 ml para la misma cantidad de mezcla.

Por último se experimentó con gasolina presentando la mejor disolución de la mezcla, necesitándose sólo 20 ml.

De esta forma se escogió entonces la gasolina como el mejor solvente para la mezcla debido a que la ferrita en presencia de este solvente forma una crema favoreciendo la incorporación de otros materiales por simple agitación, posteriormente se procedió a realizar pruebas de mezclado en frío y en caliente obteniendo como resultado una temperatura de mezclado para la gasolina de 330 K aproximadamente.

2.2.2 Elaboración de la mezcla

Para la elaboración de la mezcla se diseñó y se utilizó un sistema de agitación mecánica.

El mezclado se realizó en un recipiente plástico con tapa al cual se le agregaron los diversos componentes sólidos y la gasolina previamente calentada en baño de maría, luego se colocó directamente a un agitador de vidrio con un tiempo de agitación de aproximadamente una hora por 500 g de mezcla.

2.3 Secado

Dentro de la mezcla el único papel que desempeña la gasolina es el de actuar como favorecedor del mezclado, actuando como agente disolvente para el grafito y los demás componentes.

Al poner en contacto la ferrita con gasolina en caliente se formó una solución cremosa, ayudando a la incorporación del grafito y el negro de humo, en vía húmeda. La crema formada tuvo como características principales su fácil manejo y su alta capacidad para integrar otros elementos. Al tener lista la mezcla se requería que estuviese seca, para someterla a la etapa de prensado, inicialmente se pensó en dejarla secar a temperatura ambiente pero no se obtuvieron buenos resultados, esto se debió al tiempo que tardaba en secarse la gasolina, el cual osciló entre 140 y 150 horas obligándonos a buscar otra solución.

La solución más rápida que se obtuvo fue la de evaporar la gasolina subiendo la temperatura de la mezcla. Se presentó entonces el problema de los vapores, por lo cual se debió tener cuidado con el proceso de evaporación, por ello se optó por usar una placa de calentamiento, a la cual se le reguló la temperatura dentro de la cabina de extracción de gases.

De esta forma se realizaron cochadas para secado de 500 g de mezcla con un tiempo de evaporación de una hora, a una temperatura de 360 K aproximadamente, la temperatura de la placa no se pudo aumentar debido a que la mezcla también contenía grafito que es de fácil combustión.

2.4 Prensado

El prensado fue quizás la operación más importante realizada para poder obtener el material debido a su alta complejidad y los cuidados que se debieron tener para conseguirlo.

La discusión sobre el prensado arrancó cuando se debió determinar como se iba a prensar el material, si debería ser de forma laminar o en barras determinando para este tipo que perfil deberían tener las mismas.

Para poder llegar a una solución se debió indagar sobre las probetas que se manejan en el laboratorio de Resistencia de Materiales de la UIS, de esta forma se pudo concluir que debía prensarse en barras con perfiles redondos y cuadrados. Sabiendo ésto, se empezó con el diseño de unos troqueles que entregaran las características deseadas, para cada tipo de barra.

Con esta información para las barras de perfil redondo se diseñó y construyó un troquel de camisa cerrada, junto con su respectivo émbolo fabricados en acero en frío, este troquel cumplía con las especificaciones deseadas para el perfil, pero presentó varios problemas que creíamos carecer de importancia tales como el mal acabado de las paredes internas y la baja calidad del material de él cual estaban hechos, obteniendo como resultado un molde defectuoso, doblándose y deteriorándose al aplicarle presiones muy bajas las cuales no superaron los 15 Kgf/cm², además de una gran dificultad para el desmoldamiento.

Al obtener estos resultados se debió pensar en un molde que tuviese como primordiales características el fácil desmoldamiento y perfecto acabado.

Ya conociendo estos detalles se construyó un molde de similares características pero se le adicionó una modificación, esta vez se diseñó con camisa abierta las cuales se mantenían juntas por un sistemas de abrazaderas elaboradas en lámina de ³/₁₆ x 1 pulgada, el material para la fabricación fue el mismo acero, con este troquel se obtuvieron mejores resultados ya que se alcanzó una presión cercana a los 25 Kgf/cm², la cual no es suficiente para el buen compactamiento del material, cuando se intentó superar esta presión, el émbolo se partió por la baja calidad del material,

además el sistema de abrazaderas tampoco fue el más conveniente y se tuvo nuevamente un troquel inservible.

Después se diseñaron y construyeron dos moldes, uno de perfil cuadrado y camisa abierta el cual entregó barras de 9 mm de perfil y 90 mm de longitud, el otro de perfil redondo con camisa cerrada del cual se extrajeron barras de 19 mm de radio y 40 mm de longitud. Con la experiencia de los fallidos intentos anteriores el material escogido fue el acero denominado 4140 al cual se le realizó un tratamiento térmico de temple y revenido dándole una dureza de 55 Hrc. Cuando se prensaron las barras el molde de perfil redondo entregó buenos resultados pero el de perfil cuadrado nuevamente falló, agrietándose tal vez debido a fallas internas del material o por los puntos de máximo esfuerzo que se encuentran en las roscas de los tornillos prisioneros.

Estos intentos fallidos terminaron por hacernos cambiar la forma de prensado y llegamos a la conclusión de que las barras deberían prensarse horizontalmente para lo cual se construyeron y maquinaron dos troqueles iguales, de carcasa en forma de U con dos tapones removibles en las esquinas elaborados en acero 2436 templado y revenido con dureza de 45 Hrc, para los que el prensado fue satisfactorio sabiendo que la presión máxima de trabajo sin sufrir ningún daño fue de 60 Kg/cm² (5856 KPa).

Todo el proceso de experimentación de moldes y prensado fue llevado a cabo en la prensa hidráulica, existente en el laboratorio de Operaciones Unitarias de la UIS.

Teniendo los troqueles listos para ser utilizados vino el proceso de experimentación para determinar la presión a la cual debería operarse la prensa a demás de el tiempo necesario para el prensado.

Para determinar esto se prensaron barras a 20, 40, 60 Kg/cm² de presión, durante 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 4 horas de prensado cada una.

A simple vista se pudo determinar que las barras prensadas a 20 Kg/cm², tenían muy baja consistencia y se partían al agarrarlas, también que para el tiempo de prensado a partir de 2.5 horas no se apreciaban diferencias significativas en la consistencia del material. Con esto quedaba por decidir cual sería la presión adecuada para el prensado entre 40 y 60 Kg/cm² (5856 KPa), para lo cual se realizó un diseño de experimentos con las variaciones antes mencionadas.

Las especificaciones de los equipos se encuentran en el **anexo A**.

2.4.1 Determinación de la presión de trabajo

Para poder determinar la presión de trabajo se debió realizar una serie de combinaciones entre las variables que influyen en el proceso tales como presión, composición y una propiedad física del material prensado, se escogió entonces como propiedad mas adecuada para esta determinación a la resistencia al impacto, con su valor se determinó la presión mas adecuada entre 40 y 60 Kg/cm² (5856 KPa) de la siguiente forma para las 5 mezcla a diferente composición másica que se prepararon. Con estas combinaciones se debieron prensar 10 barras para obtener los resultados necesarios [4,10]

Para efectos de notación los porcentajes másicos de las mezclas se escribirán siempre en el siguiente orden Grafito/Ferrita/Negro de humo y corresponden a los valores así:

Mezcla	1	2	3	4	5
Porcentaje Másico	70/20/10	60/30/10	45/45/10	30/60/10	20/70/10

Tabla 2. Notación de los porcentajes másicos

Presión Kg/cm ²	Mezcla 1	Mezcla 2	Mezcla 3	Mezcla 4	Mezcla 5
40	4.5	5.5	6.2	7	7.3
60	8	8.6	9	9.3	9.8

Tabla 3. Esfuerzo normal σ (Kg/cm²), a diferentes presiones de trabajo.

De los anteriores datos se obtuvo como presión de trabajo a 60 Kg/cm² (5856 KPa) debido a que nos entregó los mejores y más altos valores para la propiedad evaluada.

Ya conociendo la presión se procedió a prensar el material en sus diferentes composiciones para la realización de las distintas pruebas físicas, se prensaron entonces barras de perfil cuadrado de 9 mm x 90 mm para las diferentes composiciones que fueron sometidas a evaluación.

2.5 Polarización

El proceso continuó con la evaluación del material ya prensado, de antemano se podía intuir que el campo magnético no era muy alto por lo cual se debió realizar un proceso de polarización y/o orientación del campo magnético. El cual al final fue nuestro principal objetivo.

Aquí entró la temperatura a jugar un papel importante pues se manejó la sinterización como una alternativa para mejorar la polarización.

Se desarrollo un experimento similar al utilizado para encontrar la presión adecuada pero en este caso las variables manejadas fueron composición y Temperatura.

2.5.1 Sinterización

El material después de salir de la prensa fue llevado a la mufla donde se llevó a cabo la sinterización con el fin de mejorar la polarización del material y se realizó en dos cochadas a temperaturas distintas las cuales fueron 673 y 723 K, ya que el material magnético es un óxido férrico y las temperaturas de sinterización oscilan en un rango entre 623 K y 723 K así se obtuvieron estos datos de campo magnético para la determinación de la temperatura adecuada.[16]

Temperatura K	Mezcla 1	Mezcla 2	Mezcla 3	Mezcla 4	Mezcla 5
298	11.5 Gs	18.5 Gs	23.7 Gs	27 Gs	31 Gs
673	40 Gs	55 Gs	56.5 Gs	62.5 Gs	67.3 Gs
723	74.8 Gs	81.5 Gs	84 Gs	86 Gs	95 Gs

Tabla 4. Campo magnético a diferentes temperaturas sin polarizar

En la anterior tabla se muestran los resultados del campo magnético en Gauss y se ve claramente que los valores para las barras no sinterizadas (298 K) son muy bajos de tal modo se encontró a 723 K como la temperatura mas adecuada para la sinterización y por ende aumento del campo.

Con lo anterior no se estaba muy conforme con el valor del campo pues fue relativamente bajo y se optó por la polarización mediante la acción de un campo magnético externo como otra alternativa de trabajo.

2.5.2 Polarización con imanes de Neodimio

La polarización se realizó con la ayuda de imanes de Neodimio que son utilizados en los discos duros de computador y los cuales se perfilaron como los indicados gracias a que poseen un campo magnético cercano a los 4500 Gauss.

La polarización se llevó a cabo de la siguiente forma, sobre una superficie totalmente plana se colocaron ordenadas las barras del material prensado, de las distintas composiciones, sinterizadas y no sinterizadas e inmediatamente sobre ellas se ubicó una lámina delgada metálica, encima de esta lámina se pusieron en contacto directo los imanes de Neodimio, teniendo en cuenta su polaridad y se dejaron por aproximadamente 8 horas en contacto con los mismos.

Este procedimiento de polarización aumentó notablemente el campo magnético de las barras, ya que se pasó por ejemplo de valores de 95 Gs a 370 Gs para las barras de mezcla 5 sinterizadas a 723 K. Después de tener el material prensado y polarizado, es decir listo para su evaluación se procedió entonces a ejecutar las pruebas previstas desde los inicios del trabajo

2.6 Pruebas físicas

Las pruebas físicas que se le realizaron al material fueron las de resistencia mecánica, campo magnético, densidad y rayado las cuales fueron realizadas con el fin de determinar las propiedades mas importantes del material. [13,2]

2.6.1 Campo magnético

Cuantificar el campo magnético fue de suma importancia para la evaluación del material que se desarrolló gracias a que con ello se pudo determinar que tan factible podría ser su aplicación en los diversos campos de trabajo donde se involucraran las uniones entre metales.

Dicha prueba mas conocida como inducción remanente fue realizada en el Instituto Colombiano del Petróleo (ICP), ya que este centro poseen el equipo necesario para su fácil y práctica realización.

El equipo que se utilizó fue un Gausimetro manual portátil en el cual se puede medir el campo magnético de forma tanto axial como transversal, gracias a un sensor que tiene ubicado en la parte superior y para lo cual solo se necesita ubicar el mismo directamente sobre el material a cuantificar.

La metodología de la prueba fue sencilla primero se midió el campo magnético para los imanes de ferrita y de Neodimio, se registraron los valores en cinco puntos diferentes a lo largo de cada uno de ellos, luego se procedió a medir el campo

magnético para cada una de las barras de las cinco diferentes composiciones, polarizadas sinterizadas y no sinterizadas y de la misma forma se hicieron las mediciones en cinco lugares diferentes registrando los valores para el campo axial.

2.6.2 Pruebas mecánicas [9]

Al material se le realizaron pruebas mecánicas del tipo destructivas las cuales tuvieron como fin determinar la resistencia del material al ser sometido a trabajos donde se involucren esfuerzos de tipo cortante, impacto y compresión, a demás de la resistencia a ser rayado (dureza).

2.6.2.1 Prueba de Tracción

Las pruebas se realizaron en la máquina universal TREBEL y se llevaron a cabo con el fin de determinar las propiedades mecánicas del material, su metodología consistió en colocar la probeta cuadrada de 10 mm de perfil por 90 mm de largo en el deformímetro entre las marcas establecidas y aplicarle una carga axial de tensión, posteriormente para cada valor de carga leída, se tomaron los correspondientes valores de deformación.

2.6.2.2 Prueba de dureza

La dureza de las barras del material obtenido se calculo mediante seis mediciones de cada composición, las cuantificaciones se realizaron empleando un durómetro Shore tipo A, su metodología consistió en ubicar directamente sobre el material las puntas del equipo y cuantificar y leer posteriormente los valores dados por el equipo; cabe anotar que todas las mediciones fueron realizadas por el mismo operador con el fin de disminuir el error de este tipo de instrumentos.

2.6.2.3 Prueba de compresión

A diferencia de las dos pruebas anteriores que se realizaron con probetas cuadradas de 10 mm de perfil por 90 mm de largo, la prueba de compresión se realizó con probetas de 19 mm de diámetro por 40 mm de largo y consistió en ubicar las probetas en la máquina universal TREBEL y posteriormente aplicarle fuerza lentamente para evitar vibraciones, esta prueba se realizó por triplicado para cada tipo de mezcla.

2.6.3 Densidad

La densidad se calculó de dos formas, una fue pesando las barras y calculando el volumen aprovechando su forma geométrica y la otra fue calculando el volumen por desplazamiento de líquido dentro de una probeta, esta medición se realizó de esta forma, pero al revisar los datos obtenidos no se obtuvieron diferencias significativas entre las dos modalidades.

2.6.4 Prueba cualitativa

Esta prueba se realizó utilizando papel, grafito magnético e imanes de Neodimio, la cual consistió en rayar el papel con el grafito para posteriormente ser atraído por los imanes y de esta forma observar su poder de atracción magnético, además se aprovechó para ver la tonalidad oscura del rayado con grafito magnético de diferentes

composiciones másicas. También se realizó para comprobar que el material pulverizado también puede ser atraído por los imanes.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como se dijo en el capítulo anterior, al material ya obtenido se le realizaron pruebas físicas para su caracterización, estas pruebas son las destructivas, las cuales se encargan de determinar que tan resistente es el material, también se le realizó la prueba de inducción remanente y densidad. [10]

En este capítulo nos concentraremos en reportar los resultados obtenidos en las diferentes pruebas y su respectivo análisis.

3.1 Evaluación de la propiedad magnética

3.1.1 Cuantificación del campo magnético

Temperatura K	Mezcla 1	Mezcla 2	Mezcla 3	Mezcla 4	Mezcla 5
298	44.7 Gs	72.1 Gs	90 Gs	97.2 Gs	118.3 Gs
673	184.6 Gs	214.5 Gs	221 Gs	246.3 Gs	266.5 Gs
723	289 Gs	321.1 Gs	327.6 Gs	339.3 Gs	370 Gs

Tabla 5. Campo magnético a diferentes temperaturas

En la tabla 5 se reportan los datos de la prueba cuantitativa para el campo magnético o inducción remanente medido en Gauss para las barras que fueron sometidas a sinterización y polarización con imanes de Neodimio. En las figuras posteriores se aprecia mas claramente el comportamiento del campo, expresado en la anterior tabla.

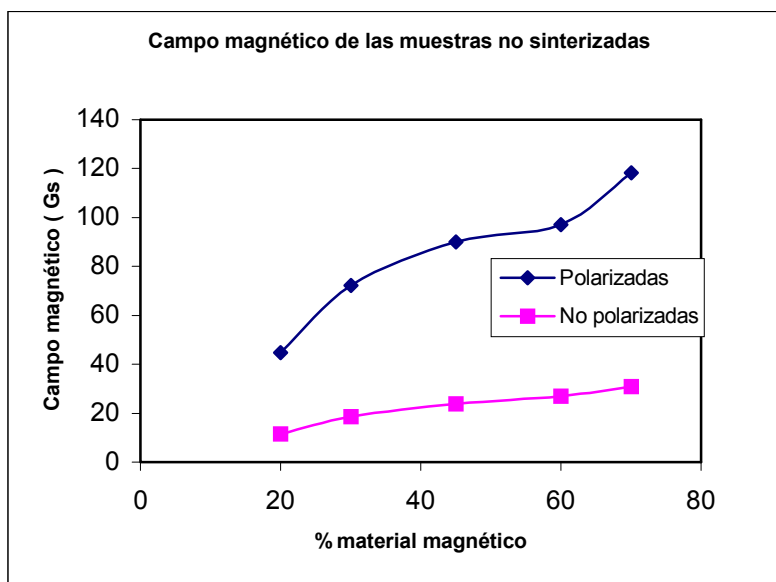


Figura 3. Campo magnético para las muestras no sinterizadas.

En la figura anterior se muestra el campo magnético medido en Gauss con respecto al porcentaje másico de ferrita, cuyo comportamiento para el material polarizado se representa por la expresión matemática:

$$Br = 0.0016C^3 - 0.2263C^2 + 11.197C - 101.85$$

$$R^2 = 0.9982$$

Y para el material no polarizado por:

$$Br = 0.0003C^3 - 0.0399C^2 + 2.191C - 18.529$$

$$R^2 = 1$$

Donde Br es la inducción remanente y C el porcentaje másico de ferrita.

A demás se puede observar para los dos casos que el incremento del campo magnético se da al aumentar la composición másica de ferrita, marcándose claramente el crecimiento para las mezclas que superan el 60% de este componente.

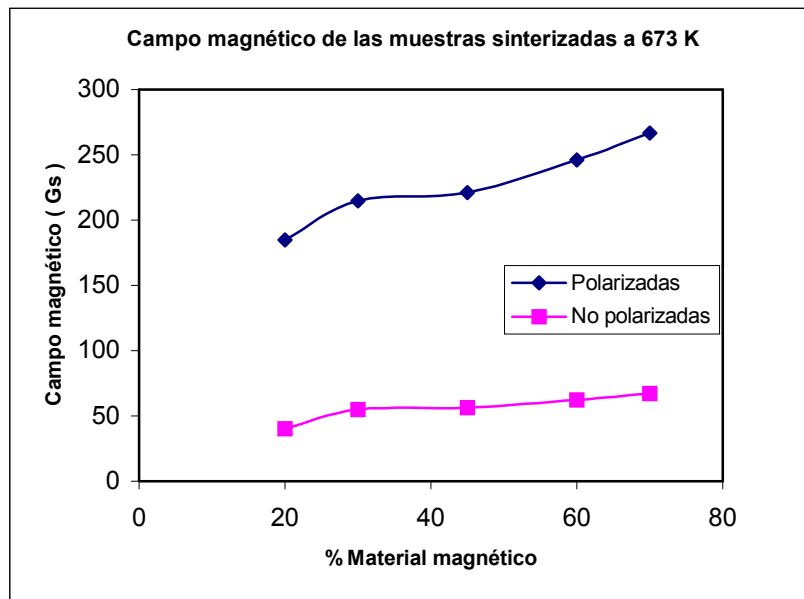


Figura 4. Campo magnético para las muestras sinterizadas a 623 K.

En la figura 4 al igual que en la anterior se representa el campo magnético, para el material sinterizado a 673 K, polarizado y para el cual se cumple la siguiente ecuación:

$$Br = 0.0014C^3 - 0.1937C^2 + 9.3857C + 64.223$$

$$R^2 = 0.9842$$

Para el material no polarizado corresponde:

$$Br = 0.0007C^3 - 0.1069C^2 + 5.2121C - 26.783$$

$$R^2 = 0.9742$$

En este caso la diferencia en los valores de la propiedad magnética entre las dos curvas en la figura se incrementaron, gracias a que ya aparece otro incremento importante en la polarización de la carga el cual fue la sinterización a 673 K, reafirmando de esta forma la importancia de la temperatura en la variación y crecimiento del campo magnético.

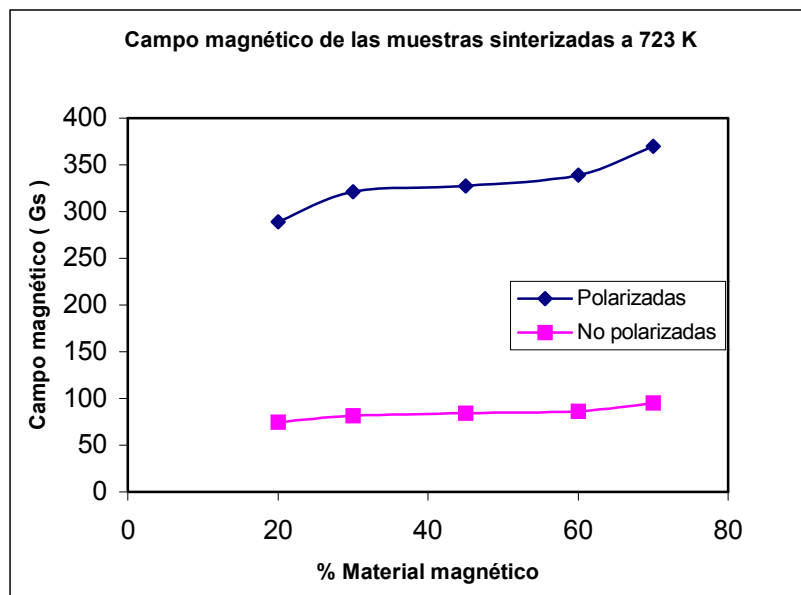


Figura 5. Campo magnético para las muestras sinterizadas a 723 K.

El comportamiento en la figura 5, para el material sinterizado a 723 K y polarizado se puede representar por:

$$Br = 0.0025C^3 - 0.3404C^2 + 15.283C + 99.584$$

$$R^2 = 0.9989$$

Para el material sinterizado a 723 y no polarizado por:

$$Br = 0.0006C^3 - 0.0839C^2 + 3.6961C + 29.232$$

$$R^2 = 0.9984$$

Al comparar las tres figuras anteriores se puede determinar sin temor a equivocarse que los datos más altos para el campo magnético que alcanzaron el orden de los 370 Gauss se pudieron obtener para una temperatura de sinterización del material de 723 K, y para una concentración de mezcla de 20/70/10 es decir la denominada mezcla 1, estos valores posiblemente se pueden mejorar al someter el material a un campo magnético más fuerte como el producido por un electro-imán.

3.1.2 Prueba cualitativa

Para esta prueba se obtuvo como resultado que para el rayado o sombreado sobre papel con grafito magnético este fue atraído por un imán siendo para el sombreado

con barras de mayor contenido de ferrita el que presentó mejor adherencia al imán de Neodimio. Por el contrario para la de menor concentración de ferrita se obtuvo menor atracción magnética pero una mayor tonalidad oscura, gracias a su más alto contenido de grafito, que sumado al negro de humo oscurecieron notablemente el rayado sobre papel.

Por otra parte las barras de grafito magnético también son atraídas por un imán, al igual que sus partículas una vez es pulverizada la barra (material pulverizado). (ver **anexo L**, registro fotográfico de esta prueba).

3.2 Pruebas Mecánicas [9,14]

Para reportar los datos obtenidos en las pruebas mecánicas que se realizaron se reportarán las tablas con los promedios acompañadas de sus respectivas gráficas y su inmediato análisis.

3.2.1 Prueba de Tracción

En este capítulo se muestran los datos graficados de la tenacidad para cada una de las mezclas sinterizadas y no sinterizadas, los valores reportados fueron obtenidos experimentalmente en pruebas por repetido y promediando sus valores para ser utilizados como se muestra a continuación:

Para las figuras 6 a 10 se muestran los valores obtenidos para la prueba de tracción y en la cual se pueden observar propiedades del material como la tenacidad, que puede ser calculada como el área bajo la curva, la ductilidad, la fragilidad, y el módulo de elasticidad.

El módulo de elasticidad que viene a representar la pendiente del diagrama esfuerzo-deformación unitaria puede ser calculado con la ley de Hooke

$$\sigma = E \times \varepsilon$$

Donde σ es el esfuerzo normal, ε es la deformación unitaria y E es el módulo de elasticidad.

Para los cálculos de la tenacidad se utilizó el programa MATLAB 6.5, el cual sirvió como herramienta computacional para resolver la integración del área bajo la curva y poder obtener el valor numérico de la propiedad mencionada, los demás valores de las propiedades se pueden leer inmediatamente en cada una de las figuras enumeradas de la 6 al 10.

Al analizar la figuras, podemos extraer mucha información importante para la caracterización del material, se puede observar que no se presenta fluencia y por consiguiente no hay comportamiento de deformación plástica, tampoco se ve diferencia entre el esfuerzo máximo de tracción y el esfuerzo en la fractura y por lo tanto se puede concluir que el material presenta un comportamiento elástico hasta la fractura, la ductilidad del material también es muy baja y se puede observar por los valores de deformaciones unitarias, los cuales no son muy altos antes de falla, esto se ve a continuación:

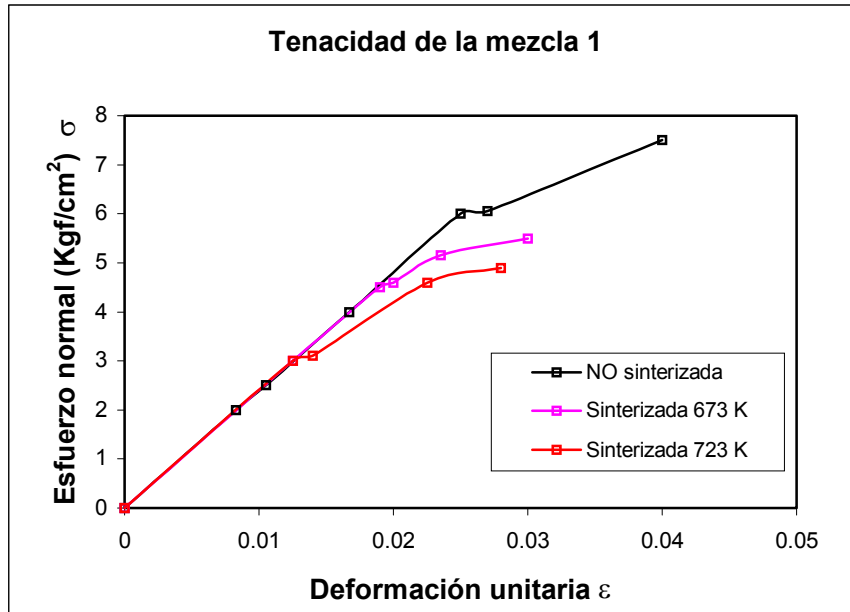


Figura 6. Diagrama esfuerzo-deformación unitaria para la mezcla 1

Para la figura 6 tenemos los siguientes valores de las propiedades:

Mezcla 1	σ_m Kgf/cm ²	ϵ_m	T Kgf/cm
No sinterizada	7.5	0.04	0.175
Sinterizada a 673 K	5.5	0.03	0.099
Sinterizada a 723 K	4.9	0.028	0.082

Tabla 6. Resultados de la prueba de tracción para la mezcla 1

Donde:

- σ_m : Resistencia máxima a la tracción
- ϵ_m : Deformación unitaria máxima de rotura
- T: Tenacidad

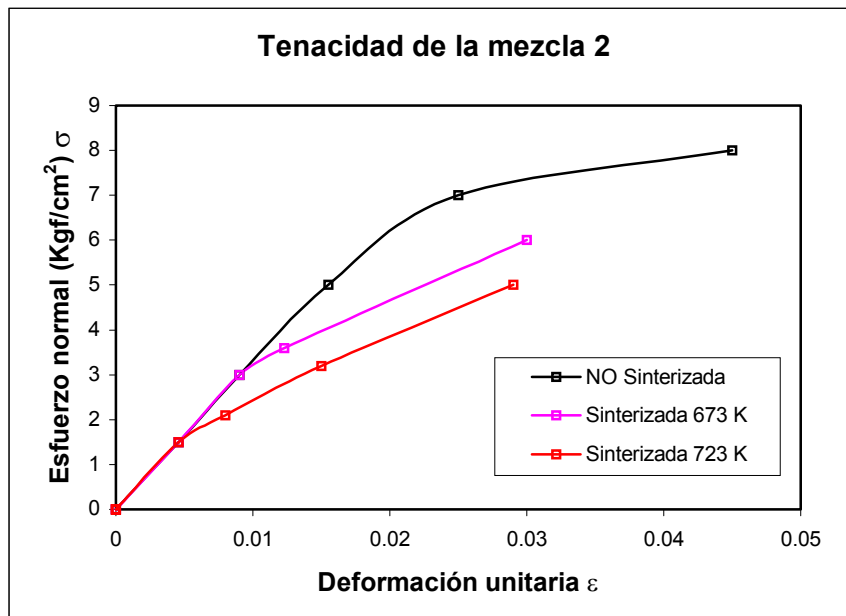


Figura 7. Diagrama esfuerzo-deformación unitaria para la mezcla 2

Para la figura 7 tenemos los siguientes valores de las propiedades:

Mezcla 2	σ_m Kgf/cm ²	ϵ_m	T Kgf/cm
No sinterizada	8	0.045	0.244
Sinterizada a 673 K	6	0.031	0.109
Sinterizada a 723 K	5	0.029	0.086

Tabla 7. Resultados de la prueba de tracción para la mezcla 2

Donde:

σ_m : Resistencia máxima a la tracción

ϵ_m : Deformación unitaria máxima de rotura

T: Tenacidad

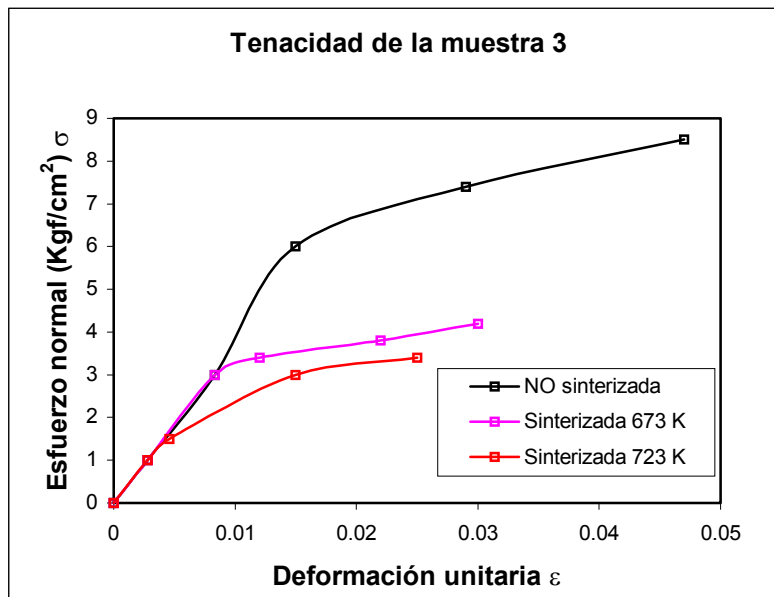


Figura 8. Diagrama esfuerzo-deformación unitaria para la mezcla 3

Para la figura 8 tenemos los siguientes valores de las propiedades:

Mezcla 3	σ_m Kgf/cm ²	ϵ_m	T Kgf/cm
No sinterizada	8.5	0.04	0.175
Sinterizada a 673 K	4.2	0.03	0.099
Sinterizada 723 K	3.4	0.028	0.082

Tabla 8. Resultados de la prueba de tracción para la mezcla 3

Donde:

- σ_m : Resistencia máxima a la tracción
- ϵ_m : Deformación unitaria máxima de rotura
- T: Tenacidad

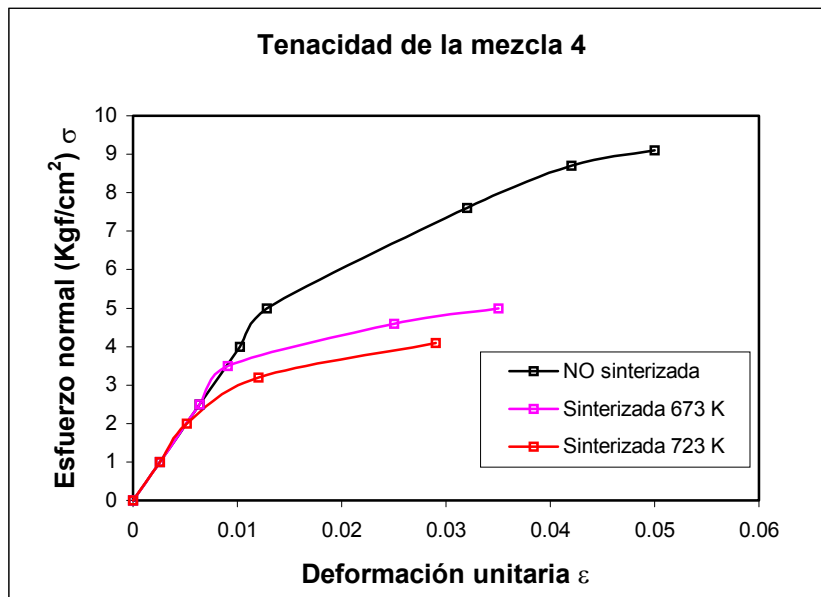


Figura 9. Diagrama esfuerzo-deformación unitaria para la mezcla 4

Para la figura 9 tenemos los siguientes valores de las propiedades:

Mezcla 4	σ_m Kg/cm ²	ϵ_m	T Kg/cm
No sinterizada	8.7	0.042	0.289
Sinterizada a 673 K	5	0.035	0.161
Sinterizada 723 K	4.1	0.029	0.145

Tabla 9. Resultados de la prueba de tracción para la mezcla 4

Donde:

- σ_m : Resistencia máxima a la tracción
- ϵ_m : Deformación unitaria máxima de rotura
- T: Tenacidad

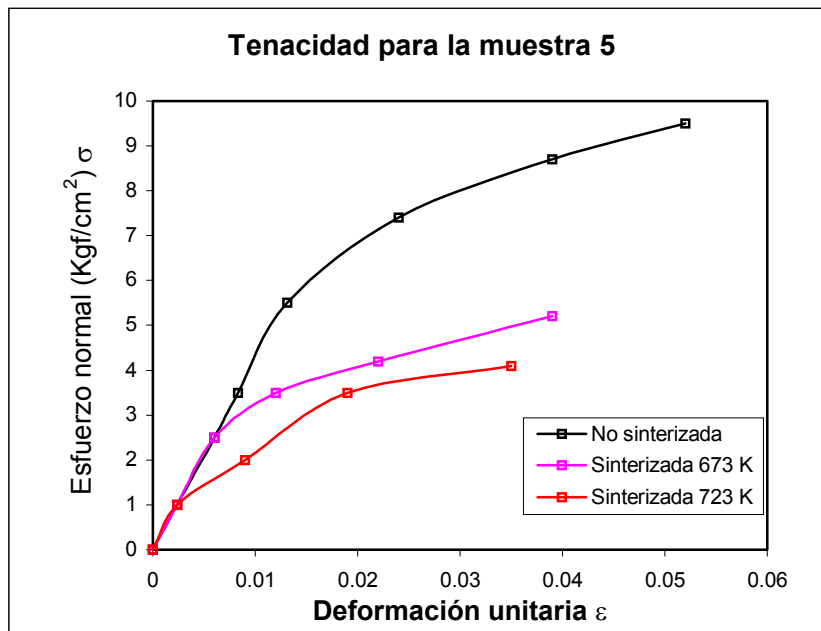


Figura 10. Diagrama esfuerzo-deformación unitaria para la mezcla 5

Para la figura 10 tenemos los siguientes valores de las propiedades:

Mezcla 5	σ_m Kgf/cm ²	ϵ_m	T Kgf/cm
No sinterizada	9.5	0.042	0.175
Sinterizada a 673 K	5.5	0.039	0.099
Sinterizada 723 K	4.3	0.035	0.082

Tabla 10. Resultados de la prueba de tracción para la mezcla 5

Donde:

σ_m : Resistencia máxima a la tracción

ϵ_m : Deformación unitaria máxima de rotura

T: Tenacidad

De acuerdo a las curvas de esfuerzo vs deformación para las diferentes mezclas se puede observar que las barras que no fueron sometidas a sinterización tienen un aumento notable en la pendiente de la curva la cual corresponde al módulo de Young, que se relaciona con la tenacidad. Para todas las gráficas anteriores se cumple además que las barras de material que fueron sometidas a sinterización disminuyeron su resistencia a la tracción y su deformación unitaria, es decir se volvieron más frágiles y menos dúctiles; estos cambios eran de esperarse ya que la sinterización reacomodó las moléculas de ferrita dentro del mismo y este movimiento de acondicionamiento en el material prensado ayudado por la estructura en capas del grafito ocasionó un debilitamiento de la parte externa del mismo haciéndose más susceptible al rompimiento justificando de esta forma la disminución en dichas propiedades.

3.2.2 Prueba de dureza

Los datos de la prueba de dureza para el material se tomaron para cada una de las barras sinterizadas y no sinterizadas y se reportaron así:

Mezcla	Dureza Shore		
	No sinterizada	Sinterizada 673 K	Sinterizada 723 K
1	21	20	19
2	22	21	20
3	27	24	24
4	30	28	28
5	32	30	29

Tabla 11. Dureza de las mezclas sinterizadas y no sinterizadas

De acuerdo a los datos obtenidos mediante la prueba se ve la tendencia del material a aumentar su dureza al incrementarse el porcentaje másico de ferrita, nuevamente se puede apreciar el efecto de la sinterización sobre la superficie del material, al aumentar la temperatura decreció la dureza.

La muestra de 70% de contenido de ferrita no sinterizada mostró ser mas dura que las demás y lo contrario sucedió para la muestra del 20% de material magnético sinterizada a 723 K que reportó un menor valor de la dureza Shore.

3.2.3 Prueba de compresión

Ya se mencionó anteriormente, para esta prueba las probetas se hicieron en forma cilíndrica y con unas dimensiones diferentes a las anteriores, sus datos son reportados en forma de gráficas a continuación:

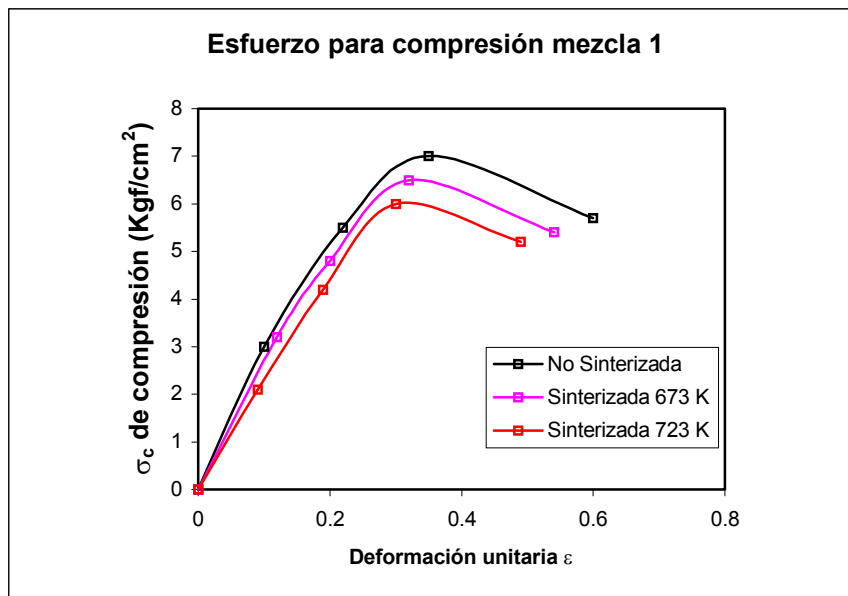


Figura 11. Esfuerzo de compresión para la mezcla 1

Para la figura 11 se tienen los siguientes datos:

Muestra 1	No sinterizada	Sinterizada 673 K	Sinterizada 723 K
σ_c (Kgf/cm ²)	7.0	6.5	6.0

Tabla 12. Esfuerzo de compresión máximo para la mezcla 1

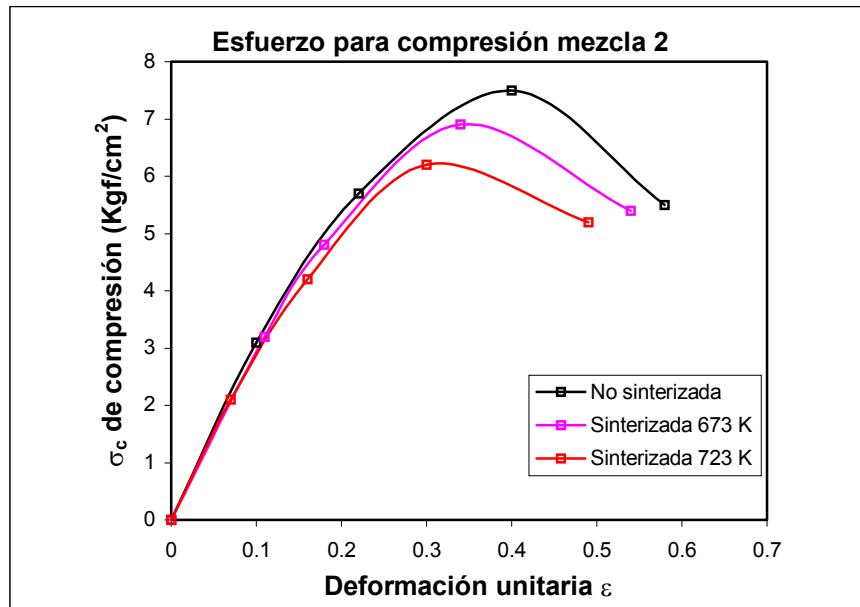


Figura 12. Esfuerzo de compresión para la mezcla 2

Para la figura 12 se tienen los siguientes datos:

Muestra 2	No sinterizada	Sinterizada 673 K	Sinterizada 723 K
σ_c (Kgf/cm ²)	7.5	6.9	6.2

Tabla 13. Esfuerzo de compresión máximo para la mezcla 2

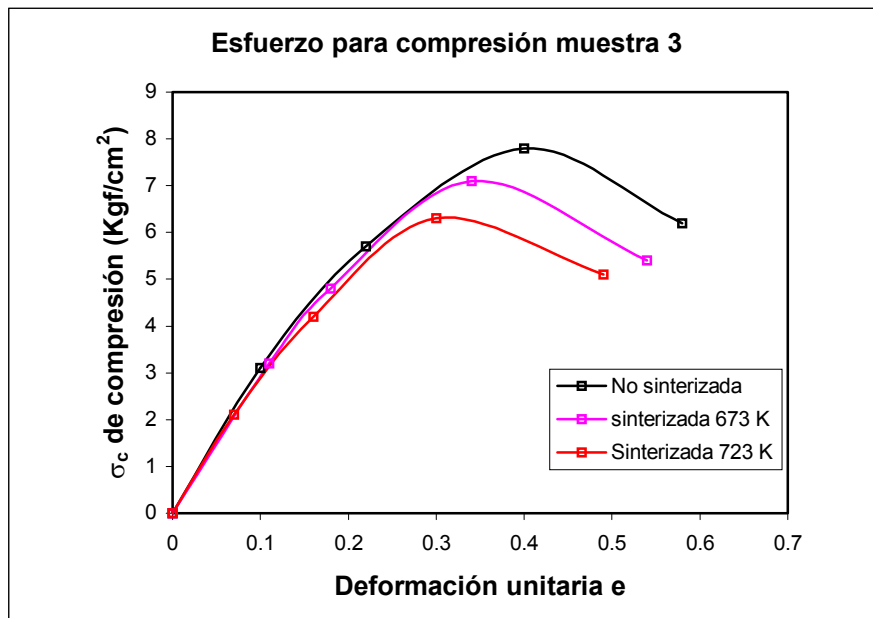


Figura 13. Esfuerzo de compresión para la mezcla 3

Para la figura 13 se tienen los siguientes datos:

Muestra 3	No sinterizada	Sinterizada 673 K	Sinterizada 723 K
σ_c (Kg/cm ²)	7.8	7.1	6.3

Tabla 14. Esfuerzo de compresión máximo para la mezcla 3

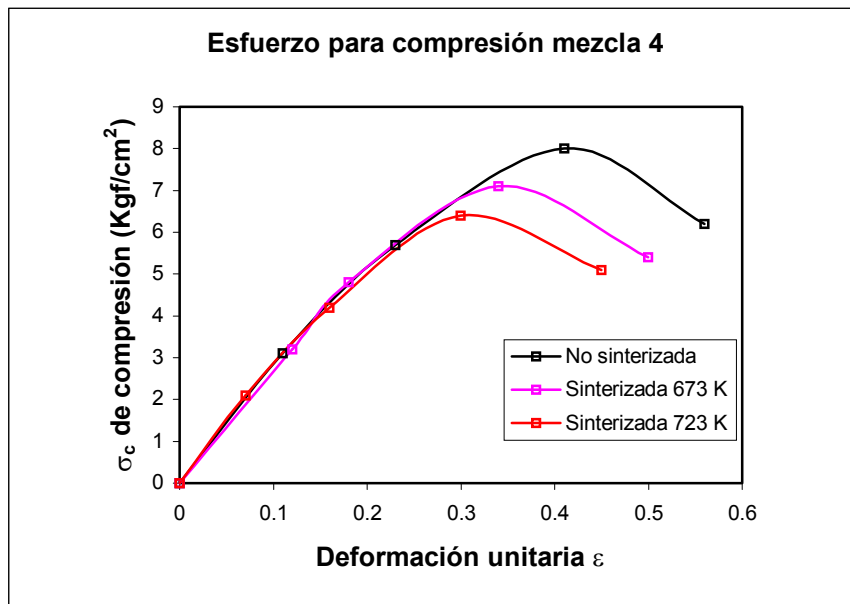


Figura 14. Esfuerzo de compresión para la mezcla 4

Para la figura 14 se tienen los siguientes datos:

Muestra 4	No sinterizada	Sinterizada 673 K	Sinterizada 723 K
σ_c (Kgf/cm 2)	8	7.1	6.4

Tabla 15. Esfuerzo de compresión máximo para la mezcla 4

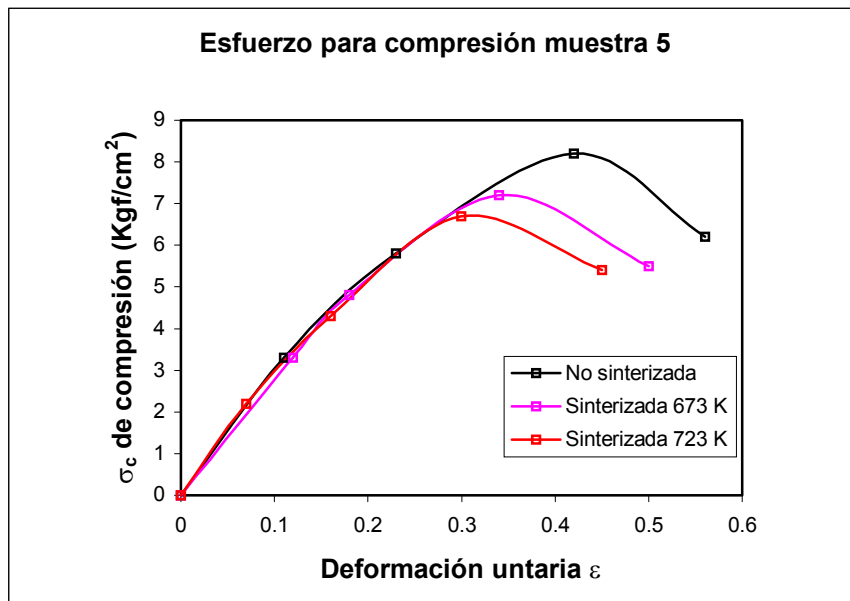


Figura 15. Esfuerzo de compresión para la mezcla 5

Para la figura 15 se tienen los siguientes datos:

Muestra 5	No sinterizada	Sinterizada 673 K	Sinterizada 723 K
σ_c (Kg/cm ²)	8.2	7.2	6.7

Tabla 16. Esfuerzo de compresión máximo para la mezcla 5

Para las figura de la 11 a 15, las cuales representan el valor para el esfuerzo máximo de compresión, se puede ver el comportamiento típico de una curva para materiales frágiles.

El máximo en las gráficas corresponde al esfuerzo máximo de compresión que se debe ejercer para aplastar el material. También se puede observar una tendencia muy importante y es el aumento del esfuerzo máximo de compresión σ_c a medida que aumenta la composición de ferrita, y a su vez tiene un descenso en la misma propiedad con el aumento de la temperatura de sinterización, esto se debe como se dijo anteriormente al movimiento de las partículas de ferrita que ocasionó el debilitamiento de las paredes de la barra, por ello la disminución en la propiedad para el material sinterizado al ser sometido a esfuerzo de compresión.

3.2.4 Prueba de densidad

Esta prueba se realizó de dos formas para calcular el volumen de cada una de las mezclas y se usaron las probetas de material con perfil cuadrado prensadas para las pruebas de resistencia mecánica y como se dijo en el capítulo anterior, las diferencias entre las dos formas de medición no tuvo mayor importancia por lo tanto se van a reportar los datos como un promedio aritmético entre los dos resultados obtenidos, los cuales son reportados a continuación en la tabla 17:

Mezcla	Densidad Kg/m ³				
	1	2	3	4	5
No sinterizada	1670	1820	2050	2200	2330
Sinterizada a 673 K	1850	2010	2160	2320	2410
Sinterizada a 723 K	2310	2400	2620	2780	3100

Tabla 17. Densidad para las mezclas sinterizadas y no sinterizadas

La densidad de la mezcla 5 mostró un valor más alto debido a su mayor porcentaje de ferrita, aquí se puede ver la tendencia para el incremento de la densidad al aumentar el contenido de material magnético. Otra tendencia importante que se presentó fue la del aumento de la densidad gracias a la sinterización.

Con los datos de densidad, se confirmó una vez más la idea planteada sobre el movimiento y acomodamiento de las moléculas de material magnético al ser sometidas a temperatura; este comportamiento se reflejó en la disminución del volumen para las barras sinterizadas, con relación a las no sinterizadas y por ello su notable aumento en la densidad.

3.2.5 Encapsulado

Se logró revestir la barra de grafito magnético, con una capa protectora alrededor; con un espesor aproximado de 3 mm, sumergiéndolas en un baño de resina comercial, utilizada para la fabricación de piezas con fibra de vidrio, obteniéndose un material mas rígido de coloración transparente en la superficie, a demás de ayudar a la no contaminación del material al ser aplicado.

3.3 DISEÑO Y VIABILIDAD ECONÓMICA PARA EL MONTAJE DE UNA PLANTA DE GRAFITO MAGNÉTICO

En este capítulo se estudiará la posibilidad del montaje de una planta de producción de grafito magnético, primero diseñando conceptualmente el proceso y luego realizando la respectiva evaluación económica.

3.3.1 Diseño conceptual de la planta

En esta sección se describirá el proceso, seleccionando y definiendo los equipos necesarios para la producción de 1080000 barras de grafito magnético mensuales.

3.3.1.1 Localización de la planta

La planta estaría ubicada en el parque industrial de Girón Santander debido a su cercanía con la materia prima, como lo son las minas de grafito en Norte de Santander, el material magnético en las cacharrerías de Bucaramanga y el área metropolitana como así el negro de humo en Barrancabermeja.

3.3.1.2 Descripción del proceso

En la siguiente gráfica se muestra el diagrama de flujo de una planta de producción de grafito magnético:

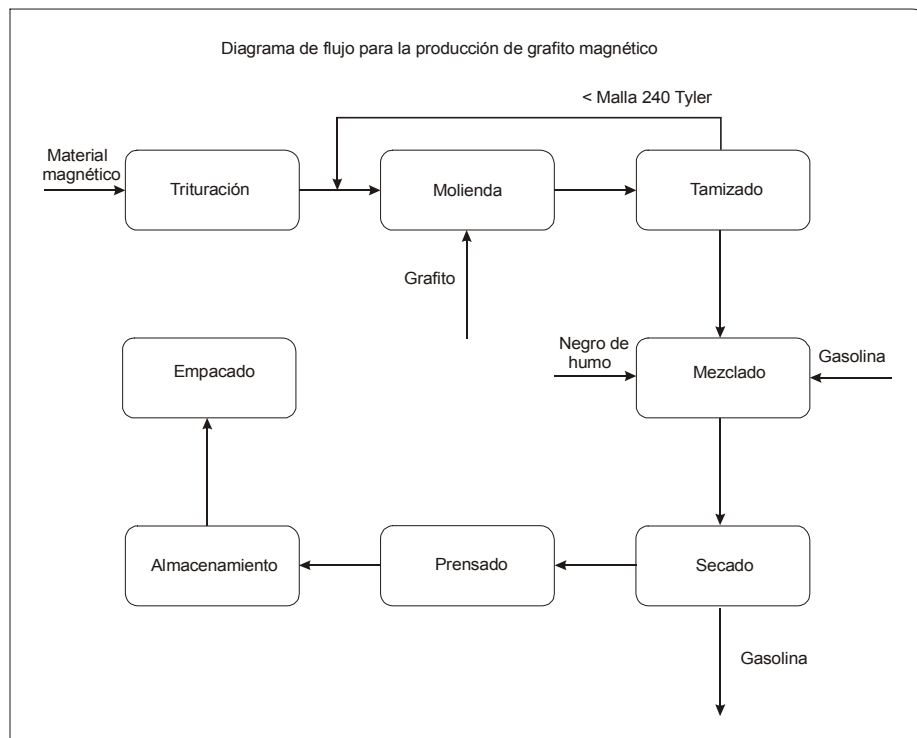


Figura 16. Diagrama de flujo de la planta

- **Trituración:** La trituración se realiza en una trituradora de mandíbula tipo Blake, hecha en acero inoxidable 304, ya que este tipo de acero pierde sus propiedades magnéticas debido al Níquel, que actúa como elemento gamágeno. Esta se realiza para que el material ingrese con un tamaño de partícula apropiado para el molino de bolas. Los imanes son descargados en un silo de almacenamiento con un tamaño promedio de partícula de 50 mm de diámetro, estos entran a la trituradora y salen con 1.25 mm pasando por la malla 4 de la serie Tyler.
- **Molienda:** La molienda se realiza para obtener un tamaño de partícula apropiado para que el mezclado sea más efectivo, con diámetro promedio de 7.4×10^{-6} m. Para la molienda del material magnético se utilizará un molino de tipo cerámico debido al carácter no magnético de la cerámica por un tiempo de 22 horas, 1 hora de cargue y 1 hora de descargue, para la molienda del grafito utilizaremos un molino de bolas metálico por un tiempo de 2 h con 1 hora de cargue y 1 hora de descargue.
- **Tamizado:** El tamizado se realiza para que el tamaño de partícula que llegará al mezclador sea el óptimo, si el material no pasa la malla 240 de la serie Tyler este es devuelto hacia el molino.
- **Mezclado:** Este se realiza en tres tanques del mismo volumen utilizando como solvente gasolina. Estos tanques son de acero inoxidable 304 y el agitador es de vidrio debido al carácter magnético de la mezcla.
- **Secado:** Se lleva a cabo en 5 placas de calentamiento con resistencias eléctricas en acero inoxidable, para evaporar la gasolina la cual solo actúa como solvente.
- **Almacenamiento:** El grafito magnético se almacena en un silo de acero inoxidable 304, para luego ser prensado.
- **Prensado:** Se hace en 5 prensas hidráulicas a 60 Kg/cm^2 (5856 KPa) de presión en troqueles fabricados en acero 2436 templado y revenido con dureza de 45 Hrc, el cual entrega 1080000 barras mensuales de perfil rectangular. El tiempo de prensado es de 2.5 horas.
- **Empaque:** Se empacan 12 barras de grafito magnético en un paquete y luego se empacan 12 paquetes para dar una gruesa.

El diagrama propuesto para el proceso se muestra en la figura 17 para una producción de 1080000 barras de grafito magnético.

DIAGRAMA PROPUESTO PARA EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE GRAFITO MAGNÉTICO

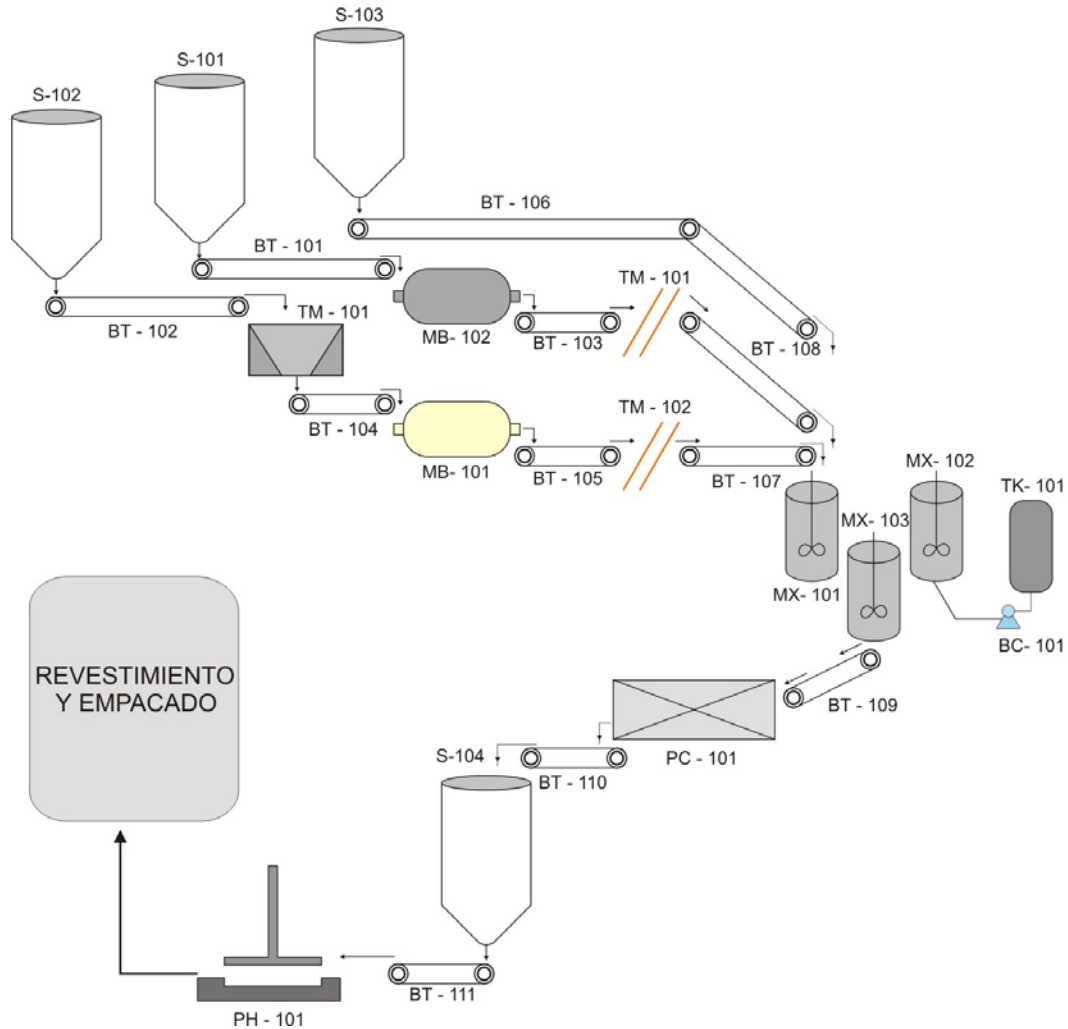


Figura 17. Diagrama propuesto para el proceso de producción del grafito magnético

3.3.1.3 Especificaciones de los equipos

En las siguientes tablas se muestran las especificaciones para cada equipo utilizado, los costos de los equipos fueron calculados por el método de Guthrie.

Planta para producción de grafito magnético	
EQUIPO: SILO	
NOMBRE DEL EQUIPO: S-101	
MATERIAL: ACERO AL CARBONO	
SUSTANCIA: GRAFITO	FLUJO: 6.75 Kg/h
DIMENSIONES DEL EQUIPO	

DIAMETRO	1.62 m	ALTURA	6.14 m
CAPACIDAD	12.66 m ³	ESPESOR	0.059728 m
COSTO EQUIPO		US\$ 7176	
EQUIPO: SILO			
NOMBRE DEL EQUIPO: S-102			
MATERIAL: ACERO INOXIDABLE 304			
SUSTANCIA: MATERIAL MAGNETICO		FLUJO: 7.7625 Kg/h	
DIMENSIONES DEL EQUIPO			
DIAMETRO	1.212 m	ALTURA	4.56 m
CAPACIDAD	5.26 m ³	ESPESOR	0.059728 m
COSTO EQUIPO		US\$ 5514.3	
EQUIPO: SILO			
NOMBRE DEL EQUIPO: S-103			
MATERIAL: ACERO AL CARBONO			
SUSTANCIA: NEGRO DE HUMO		FLUJO: 1.50 Kg/h	
DIMENSIONES DEL EQUIPO			
DIAMETRO	1.033 m	ALTURA	3.911 m
CAPACIDAD	3.28 m ³	ESPESOR	0.059728 m
COSTO EQUIPO		US\$ 4784.7	
EQUIPO: SILO			
NOMBRE DEL EQUIPO: S-104			
MATERIAL: ACERO INOXIDABLE 304			
SUSTANCIA: GRAFITO MAGNETICO		FLUJO: 15.9 Kg/h	
DIMENSIONES DEL EQUIPO			
DIAMETRO	1.857 m	ALTURA	7.016 m
CAPACIDAD	19 m ³	ESPESOR	0.059728 m
COSTO EQUIPO		US\$ 8106.6	
EQUIPO: MOLINO DE BOLAS			
NOMBRE DEL EQUIPO: MB-101			
MATERIAL: CERAMICO			
MATERIAL DE LAS BOLAS: CERAMICO			
SUSTANCIA: MATERIAL MAGNETICO		FLUJO: 6.75 Kg/h	
DIMENSIONES DEL EQUIPO			
DIAMETRO	0.593 m	LONGITUD	1.5 m
CAPACIDAD	0.41 m ³	VELOCIDAD	38.5 RPM
NUMERO DE BOLAS		85	
POTENCIA TOTAL		461.66 Kw	
TIEMPO DE MOLIENDA		22 h	
TIEMPO DE CARGUE Y DESCARGUE		2 h	

COSTO EQUIPO		US\$ 14500	
EQUIPO: MOLINO DE BOLAS			
NOMBRE DEL EQUIPO: MB-102			
MATERIAL: ACERO AL CARBONO			
MATERIAL DE LAS BOLAS: ACERO			
SUSTANCIA: GRAFITO		FLUJO: 6.75 Kg/h	
DIMENSIONES DEL EQUIPO			
DIAMETRO	0.3429 m	LONGITUD	0.853 m
CAPACIDAD	0.0792 m ³	VELOCIDAD	50.56 RPM
NUMERO DE BOLAS		60	
POTENCIA TOTAL		3443.8 Kw	
TIEMPO DE MOLIENDA		3 h	
TIEMPO DE CARGUE Y DESCARGUE		1 h	
COSTO EQUIPO		US\$ 1200	
EQUIPO: TRITURADORA DE MANDIBULA			
NOMBRE DEL EQUIPO: TM-101			
MATERIAL: ACERO INOXIDABLE			
SUSTANCIA: MATERIAL MAGNETICO		FLUJO: 7.7625 Kg/h	
DIMENSIONES DEL EQUIPO			
TAMAÑO DE ABERTURA		1.7 m	
CAPACIDAD	7 Toneladas	VELOCIDAD	275 RPM
NUMERO DE BOLAS		85	
POTENCIA TOTAL		5.22 Kw	
COSTO EQUIPO		US\$ 37037.53	
EQUIPO: BANDAS TRANSPORTADORAS			
NOMBRE DEL EQUIPO: BT-101			
NUMERO DE CARAS: 3			
SUSTANCIA: GRAFITO		FLUJO: 6.75 Kg/h	
DIMENSIONES DEL EQUIPO			
AREA CARGA	0.01 m ²	LONGITUD	10.11 m
ANCHO BANDA	0.35 m	VELOCIDAD	2 m/s
POTENCIA TOTAL		0.254 Kw	
COSTO EQUIPO		US\$ 698.6	
EQUIPO: BANDAS TRANSPORTADORAS			
NOMBRE DEL EQUIPO: BT-102			
NUMERO DE CARAS: 3			
SUSTANCIA: MATERIAL MAGNETICO		FLUJO: 7.7625 Kg/h	
DIMENSIONES DEL EQUIPO			
AREA CARGA	0.01 m ²	LONGITUD	10.11 m

ANCHO BANDA	0.35 m	VELOCIDAD	2 m/s
POTENCIA TOTAL		0.254 Kw	
COSTO EQUIPO		US\$ 698.6	
EQUIPO: BANDAS TRANSPORTADORAS			
NOMBRE DEL EQUIPO: BT-103			
NUMERO DE CARAS: 3			
SUSTANCIA: GRAFITO		FLUJO: 6.75 Kg/h	
DIMENSIONES DEL EQUIPO			
AREA CARGA	0.01 m ²	LONGITUD	2.5 m
ANCHO BANDA	0.35 m	VELOCIDAD	1 m/s
POTENCIA TOTAL		0.254 Kw	
COSTO EQUIPO		US\$ 347.4	
EQUIPO: BANDAS TRANSPORTADORAS			
NOMBRE DEL EQUIPO: BT-104-105-107			
NUMERO DE CARAS: 3			
SUSTANCIA: MATERIAL MAGNETICO		FLUJO: 6.75 Kg/h	
DIMENSIONES DEL EQUIPO			
AREA CARGA	0.01 m ²	LONGITUD	2.5 m
ANCHO BANDA	0.35 m	VELOCIDAD	1 m/s
POTENCIA TOTAL		0.254 Kw	
COSTO EQUIPO		US\$ 1042.2	
EQUIPO: BANDAS TRANSPORTADORAS			
NOMBRE DEL EQUIPO: BT-106			
NUMERO DE CARAS: 3			
SUSTANCIA: NEGRO DE HUMO		FLUJO: 1.5 Kg/h	
DIMENSIONES DEL EQUIPO			
AREA CARGA	0.01 m ²	LONGITUD	16.07 m
ANCHO BANDA	0.35 m	VELOCIDAD	2 m/s
POTENCIA TOTAL		0.254 Kw	
COSTO EQUIPO		US\$ 880.7	
EQUIPO: BANDAS TRANSPORTADORAS			
NOMBRE DEL EQUIPO: BT-108			
NUMERO DE CARAS: 3			
SUSTANCIA: GRAFITO		FLUJO: 6.75 Kg/h	
DIMENSIONES DEL EQUIPO			
AREA CARGA	0.01 m ²	LONGITUD	11.5 m
ANCHO BANDA	0.35 m	VELOCIDAD	2 m/s
POTENCIA TOTAL		0.254 Kw	
COSTO EQUIPO		US\$ 1045.3	

EQUIPO: BANDAS TRANSPORTADORAS			
NOMBRE DEL EQUIPO: BT-109-110			
NUMERO DE CARAS: 3			
SUSTANCIA: GRAFITO MAGNETICO		FLUJO: 15.9 Kg/h	
DIMENSIONES DEL EQUIPO			
AREA CARGA	0.01 m ²	LONGITUD	10.11 m
ANCHO BANDA	0.35 m	VELOCIDAD	2 m/s
POTENCIA TOTAL		0.254 Kw	
COSTO EQUIPO		US\$ 1317.2	
EQUIPO: BANDAS TRANSPORTADORAS			
NOMBRE DEL EQUIPO: BT-111			
NUMERO DE CARAS: 3			
SUSTANCIA: GRAFITO MAGNETICO		FLUJO: 15.9 Kg/h	
DIMENSIONES DEL EQUIPO			
AREA CARGA	0.01 m ²	LONGITUD	4.3 m
ANCHO BANDA	0.35 m	VELOCIDAD	1 m/s
POTENCIA TOTAL		0.254 Kw	
COSTO EQUIPO		US\$ 455.8	
EQUIPO: TANQUE			
NOMBRE DEL EQUIPO: TK-101			
TIPO: CILINDRO CON FONDO ELIPTICO			
MATERIAL: ACERO AL CARBONO			
SUSTANCIA: GASOLINA		FLUJO: 2.25 Kg/h	
DIMENSIONES DEL EQUIPO			
DIAMETRO	1 m	LONGITUD	1.27 m
CAPACIDAD	1 m ³	ESPESOR	0.059728 m
COSTO EQUIPO		US\$ 2210.9	
EQUIPO: MEZCLADOR			
CANTIDAD DE MEZCLADORES: 3			
NOMBRE DEL EQUIPO: MX-101-102-103			
TIPO: CILINDRO CON FONDO ELIPTICO			
AGITADOR: DOBLE HELICE DE VIDRIO			
MATERIAL: ACERO AL CARBONO			
SUSTANCIA: MEZCLA		FLUJO: 15.9 Kg/h	
DIMENSIONES DEL EQUIPO			
DIAMETRO	0.85 m	LONGITUD	1.06 m
CAPACIDAD	0.6 m ³	ESPESOR	0.059728 m
COSTO EQUIPO		US\$ 15713.8	
EQUIPO: BOMBA			

NOMBRE DEL EQUIPO: BC-101			
TIPO: BOMBA CENTRIFUGA DINAMICA DE FLUJO AXIAL			
MATERIAL: HIERRO DUCTIL			
SUSTANCIA: GASOLINA		FLUJO: 2.25 Kg/h	
DIMENSIONES DEL EQUIPO			
IMPULSOR	1.27 m ABIERTO	VELOCIDAD	3550 RPM
CABEZA TOTAL	7.62 m	POTENCIA	0.372 Kw
COSTO EQUIPO		US\$ 651.34	
EQUIPO: TAMIZ			
NOMBRE DEL EQUIPO: TM-101			
TIPO: MESA VIBRATORIA CON MALLAS DE LA SERIE TYLER			
MATERIAL: COBRE			
SUSTANCIA: GRAFITO		FLUJO: 6.75 Kg/h	
DIMENSIONES DEL EQUIPO			
DIAMETRO		0.501 m	
AREA		0.2 m ²	
COSTO EQUIPO		US\$ 343.3	
EQUIPO: TAMIZ			
NOMBRE DEL EQUIPO: TM-102			
TIPO: MESA VIBRATORIA CON MALLAS DE LA SERIE TYLER			
MATERIAL: COBRE			
SUSTANCIA: MATERIAL MAGNETICO		FLUJO: 6.75 Kg/h	
DIMENSIONES DEL EQUIPO			
DIAMETRO		0.501 m	
AREA		0.2 m ²	
TIEMPO DE TAMIZADO		1.5 h	
TIEMPO DE DESCARGUE		0.5 h	
COSTO EQUIPO		US\$ 343.3	
EQUIPO: PLACAS DE CALENTAMIENTO			
NOMBRE DEL EQUIPO: PC-101			
NUMERO DE PLACAS: 5			
TIPO: PLACAS DE CALENTAMIENTO CON RESISTENCIAS ELECTRICAS			
MATERIAL: ACERO INOXIDABLE			
SUSTANCIA: GRAFITO MAGNETICO		FLUJO: 15.9 Kg/h	
DIMENSIONES DEL EQUIPO			
LARGO		1 m	
ANCHO		1.25 m	
AREA		1.25 m ²	

TIEMPO DE SECADO	1.5 h
POTENCIA	62.5 Kw
COSTO EQUIPO	US\$ 3500
EQUIPO: PRENSAS	
NOMBRE DEL EQUIPO: PH-101	
NUMERO DE PRENSAS: 5	
TIPO: PRENSA HIDRAULICA	
MATERIAL: ACERO INOXIDABLE	
SUSTANCIA: GRAFITO MAGNETICO	FLUJO: 15.9 Kg/h
DIMENSIONES DEL EQUIPO	
PRESION	50000 Kg
LONGITUD	2.4 m
ANCHO	1.3 m
AREA	3.12 m ²
TIEMPO DE PRENSADO	2 h
COSTO EQUIPO	US\$ 51000
EQUIPO: TROQUELES	
MATERIAL	ACERO 2436
CANTIDAD	5
LONGITUD	2.4 m
ANCHO	1.3 m
COSTO	US\$ 40000
Costo total de equipos	US\$ 207567.6

Tabla 18. Especificaciones de los equipos.

3.3.1.4 Distribución de personal para la planta

A continuación se presenta un esquema organizacional propuesto para la administración, operación y control de la planta. La empresa se divide en siete departamentos como se presenta en la figura 18:

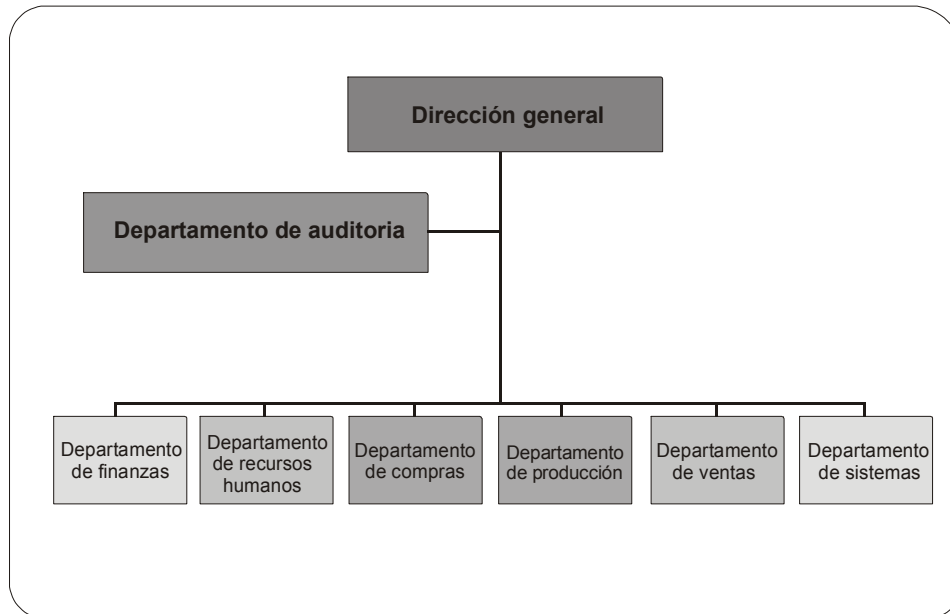


Figura 18. Distribución de personal para la empresa

- **Dirección general:** Este departamento está compuesto por el presidente o gerente, el cual se encarga de velar por el cumplimiento de la misión de la empresa (producción óptima con ventas altas), además de las personas que lo respaldan. Las funciones de este departamento son la elaboración de planes estratégicos de producción y ventas, modificación de la estructura de la organización, asignación, dirección y administración de los recursos.
- **Departamento de auditoria y control:** Establece y ejecuta los procedimientos para el control de los recursos.
- **Departamento de finanzas:** Este se encarga de identificar, medir, registrar y distribuir la información económica, la previsión de gastos e ingresos, y las inversiones que posibiliten el crecimiento de la empresa. Se compone por contabilidad general, presupuesto e inversiones.
- **Departamento de recursos humanos:** Se encarga de administrar los sueldos y salarios, la evaluación de cargos, la selección y evaluación administrativas. Se conforma por dirección de empleo, de formación, de bienestar social y relaciones laborales.
- **Departamento de compras:** Este departamento es el recomendado para realizar todo el proceso de compras de materia prima e insumos necesarios para la producción así como también de cualquier elemento necesario para garantizar el funcionamiento administrativo.
- **Departamento de producción:** Se encarga de transformar la materia prima en el producto deseado, incluyendo tareas de recepción y almacenamiento de los insumos, venta y distribución del producto terminado y el mantenimiento

de los equipos. Es conformado por la unidad de ingeniería de procesos, mantenimiento, materiales y servicio, seguridad industrial y control de calidad.

- **Departamento de ventas:** Este departamento se le encomienda la misión del mercadeo del producto terminado, investigando y promoviendo el producto en el mercado.
- **Departamento de sistemas:** Se encarga de establecer y sugerir las mejores alternativas para el manejo rápido y efectivo de la información generada por la organización.

Departamento	Cargo	Personas
Dirección general	Junta directiva	
	Gerente general	1
	Secretaria de gerencia	1
Producción	Director del departamento de producción	1
	Ingenieros de procesos	3
	Operadores de planta	15
	Jefe de mantenimiento	1
	Técnicos de mantenimiento	6
	Jefe de almacenamiento	1
	Operarios de almacenamiento	4
	Jefe de control de calidad	1
	Operario de control de calidad	9
	Jefe de unidad industrial	1
	Personal de seguridad	9
	Finanzas	Director del departamento de finanzas
Jefe de contabilidad		4
Auxiliar contable		1
Director de presupuesto		1
Auxiliar de presupuesto		1
Tesorero		1
Recursos humanos	Director de recursos humanos	1
	Secretaria del departamento	1
	Jefe de selección contratación	1
	Director de bienestar social	1
	Jefe de servicios médicos	1
	Personal de salud	2
	Jefe de servicios	1
	Personal de servicios generales	5
	Mensajero	1
	Recepcionista	1

Ventas	Director de ventas	1
	Vendedores	2
Compras	Director de compras	1
	Auxiliar de compras	2
Auditoria y control	Auditor general	1
	Asistente de auditoria	1
Sistemas	Director de sistemas	1
	Técnico auxiliar de sistemas	1
Total		85

Tabla 19. Organización de personal de la planta de grafito magnético

En la tabla 19, se presentan los cargos en la estructura organizacional y el número de personas que desempeñan cada cargo [3].

3.3.1.5 Distribución de la planta

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

La distribución debe contener las siguientes zonas:

- **Producción:** En esta sección se encuentra toda la maquinaria ideal para la transformación de la materia prima.
- **Mantenimiento:** En este área se encuentra todo el personal y las herramientas necesarias para realizar el mantenimiento preventivo y correctivo de los equipos de la empresa.
- **Control de calidad:** Esta cuenta con infraestructura de laboratorios en donde se le realizarán pruebas tanto a la materia prima como al producto terminado.
- **Recepción de materia prima:** En esta zona se descarga la materia prima.
- **Almacenamiento del producto terminado:** En esta zona se almacena el producto terminado en condiciones tales que permitan su conservación y manejo.
- **Entrega del material terminado:** En esta zona se carga el producto terminado.
- **Area administrativa:** en esta zona se encuentra el edificio de oficinas de la gerencia general, del departamento de compras, ventas, finanzas, sistemas, auditoria y servicios generales.

El área total de la planta se calculó mediante el dimensionamiento de los equipos, dejando un espacio de 1.5 m entre cada equipo. Luego se multiplicó por un factor de 3 correspondiente al área de circulación, oficinas, etc. obteniendo un total de 3300 m². Se le adicionó lo correspondiente a las demás secciones anteriormente mencionadas, con un factor de 1.85 adicional al área de producción recogiendo un dato de 6105 m² para toda la planta. en la figura 19 se muestra la distribución de las zonas en la planta.

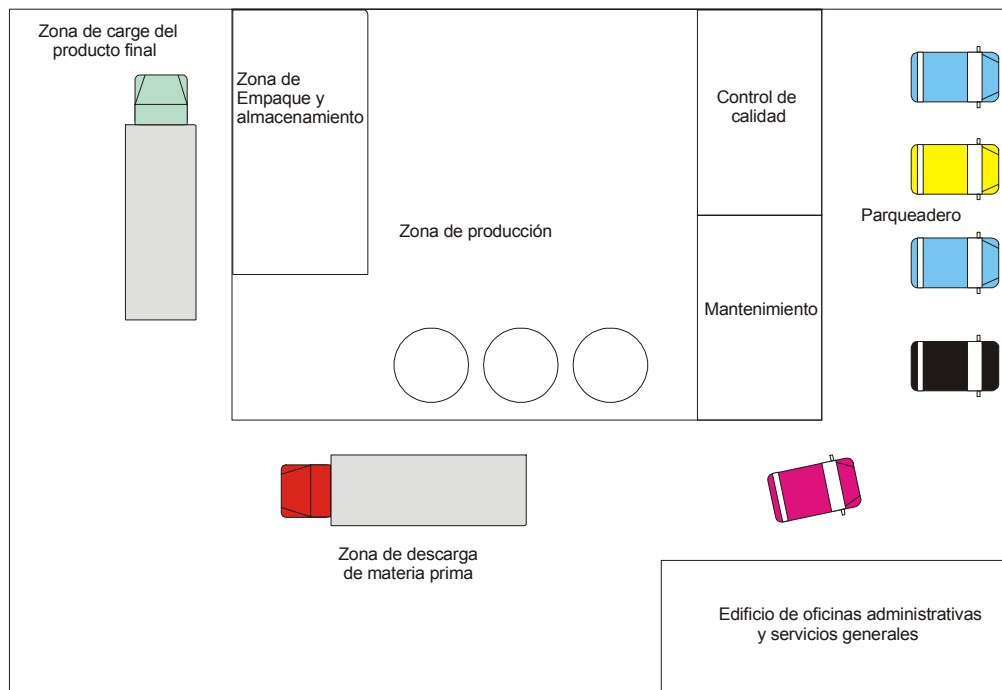


Figura 19. Distribución de la planta.

3.3.2 Análisis económico

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

- La planta se ubicaría en el parque industrial de Girón.
- El tiempo de evaluación del proyecto de 10 años. El año cero es el año en que se realiza el desembolso de inversión y se construye la planta. El año 2 correspondiente al primer año de funcionamiento de la planta de grafito magnético.
- Todos los valores presentados se encuentran en dólares constantes, por lo cual no se tendrá en cuenta la variación por inflación.
- Los valores presentados para el año cero, corresponden al precio más reciente disponible en mercado de todos los items considerados ó en su defecto al precio en diciembre del 2003.
- Las conversiones realizadas de pesos a dólares se hicieron tomando como referencia una tasa de cambio de \$2.700.00 en el caso de los valores del componente colombiano, como salarios y servicios industriales [3].

3.3.2.1 Determinación de costos de producción

Para la determinación del presupuesto de costos de producción se tuvo en cuenta que

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

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

3.3.2.2 Gastos de administración y ventas

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

Para la determinación de estos gastos se tuvieron en cuenta las asignaciones salariales integrales actuales para los cargos requeridos, presentados en el **anexo G**. Se presentan los valores correspondientes a los gastos de personal y a algunos gastos administrativos. Para el primer año de funcionamiento se estima que éstos gastos pueden ascender a los US\$ 186880.00/año.

3.3.2.3 Costos de mano de obra directa e indirecta

La mano de obra directa, está conformada básicamente por los ingenieros y los operarios de la planta; cuyos sueldos ascenderían a US\$ 92736.00/año.

La mano de obra indirecta, por su parte, estaría conformada por el Director del departamento, el personal del área de mantenimiento, control de calidad y seguridad industrial, con un costo total de US\$ 123600.00/año. En el **anexo H**, se presenta de forma detallada el personal requerido y las asignaciones salariales correspondientes a lo anterior.

3.3.2.4 Determinación de la inversión total inicial y fija

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

En la **anexo D** se resume el costo total de equipos, los cuales tienen un valor de US\$ 207567.6.00 precios FOB. sin instalación. El detalle de los precios de instalación se puede observar en el **anexo E**.

La inversión total requerida para el montaje de la planta de grafito magnético en el parque industrial de Girón, llega a US\$ 1195083.9.00 y se muestra en forma detallada en el **anexo F**. Para el cálculo del costo del terreno y acondicionamiento se tuvo en cuenta que el área total de la planta de grafito magnético es 6105 m², con un costo de US\$ 23322.2.00 acondicionada.

3.3.2.5 Depreciación y amortización de activos

En el **anexo I**, se presentan los valores correspondientes a la depreciación de activos

tangibles y la amortización de activos intangibles matizada para la planta de grafito magnético. La depreciación fue calculada mediante el método de línea recta, y no se considera la reevaluación de activos.

3.3.3 Evaluación financiera

Una vez determinados todos los parámetros requeridos para la evaluación económica en esta sección se presenta la evaluación financiera del montaje de la planta de grafito magnético, sin financiamiento, con el análisis del VPN y TIR.

3.3.3.1 Calculo del VPN

Para el cálculo del VPN del proyecto, se utilizarán los FNE calculados en el estado de resultados, las Inversiones requeridas anualmente y el valor de salvamento de los activos determinados en la sección de depreciación y amortización de activos. Para el cálculo del VPN se utilizó la siguiente Fórmula:

$$VPN = \sum_{t=1}^n \frac{(FNE_t)}{(1+i)^t} - \sum_{t=1}^n \frac{(E_t)}{(1+i)^t} + \frac{VS_n}{(1+i)^n} - C_0$$

EL criterio de decisión utilizado fue:

Si el $VPN > 0$, el proyecto es viable

Si el $VPN \leq 0$, el proyecto debe ser rechazado [3].

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

Al realizar el cálculo, se determinó que el VPN del proyecto sin financiamiento es de U\$ 268591.6, el cual, al ser un valor positivo indica que el proyecto es viable.

En el **anexo J** se presenta la información utilizada en el cálculo del VPN sin financiamiento. Estos flujos también serán utilizados en el cálculo de la TIR, ver **anexo K**.

3.3.3.2 Tasa Interna de Retorno

En este caso se tiene que la TIR sin financiamiento es del 16.4%, en el caso sin financiamiento ésta tasa interna de retorno se encuentra por encima de la tasa de oportunidad del 7% haciendo el proyecto atractivo.

3.4. Criterios de selección y posibles aplicaciones

Recopilando la literatura al respecto, el estado del arte y los resultados obtenidos; se puede tener una estimación de la aplicabilidad del grafito magnético y unos criterios un poco más claros de selección para situaciones donde se necesita un material que sea compacto, resistente a muchos factores como temperatura (no cercanos a la

temperatura de Curie), aceite, sustancias químicas etc, y además como propiedad adicional que presente cualidades magnéticas.

Dentro del campo ingenieril, la utilidad o uso del grafito magnético se establece en su posible interacción con diferentes materiales que son elaborados o almacenados en diversos procesos industriales; así el grafito magnético no presenta inconvenientes en su procesamiento de manera tal que no es atacado fácilmente por agentes ambientales (luz, calor, ozono, lluvia, humedad), productos químicos (hidrocarburos, ácidos, álcalis, compuestos aromáticos, etc.).

Con respecto a los ataques que puede sufrir el grafito magnético por sustancias químicas, puede surgir como uno de mucha importancia el que sea expuesto a sustancias que puedan disolver nuevamente el material magnético, ya que dicho ataque ocasionaría un desmoronamiento de las superficies del material; este ataque hace que el grafito se torne débil a la resistencia a la tracción y a la compresión. Por esta razón, si se va a utilizar grafito magnético para cualquier aplicación en donde estén involucrados dichos disolventes como la gasolina o éteres, se debe usar un coagulante como la arcilla para el prensado, ya que con este tipo de material el grafito presenta una mayor resistencia mecánica y un mejor grado de compactamiento.

Otra propiedad muy importante a la hora de realizar una selección del tipo de grafito magnético es la inducción remanente; si el material se va a utilizar en situaciones donde se necesita una buena respuesta mecánica es decir sometido a compresión o fricción y que además entregue buenas características magnéticas, se recomienda el uso de grafito magnético con un alto porcentaje de ferrita es decir las denominadas mezclas 4 y 5, ya que son las que presentan mejores valores para dichas exigencias mecánicas y de campo magnético y si, por el contrario, el material se va a usar como lápiz magnético o como artefacto de bisutería, donde las respuestas mecánicas no deben ser mayores, se debe implementar el uso de grafito magnético con un porcentaje moderado de ferrita tales como las mezclas 2 y 3.

Como lápiz magnético y como material didáctico, se pudo escoger a la mezcla 3 (45/45/10), como la más apropiada para ser utilizada en este campo debido a que reunió las características adecuadas como fueron un buen rayado sobre el papel y un buen valor del campo magnético.

De las principales ventajas que presenta el grafito magnético en general se puede hablar de las siguientes:

- Combina propiedades físicas, químicas y mecánicas del grafito y la ferrita que lo hacen convertirse en un material muy atractivo en cualquier campo de aplicación para la ingeniería de nuevos materiales.
- Adherencia a superficies metálicas.
- Es muy fácil de manipular, se puede recubrir de cualquier tipo de silicona, resina, madera o caucho para ser manejado como lápiz magnético y se puede cortar con una cuchilla o cualquier saca punta dependiendo del recubrimiento utilizado.

- Puede ser adaptado a situaciones y usos que no requieran demasiada potencia magnética, es decir que no se necesiten comportamientos de imanes permanentes o viceversa.
- Poseen un bajo costo de manufactura y producción.

Algunas desventajas que presenta este material son:

- Su característica de material frágil lo hace inutilizable en situaciones que requieran mayores esfuerzos debido a las limitaciones en el prensado.
- No puede ser utilizado en situaciones donde la temperatura alcance o supere los 700 K, ya que para esta temperatura el poder magnético del material se neutraliza o se hace muy bajo debido a que se llega a las cercanías de la temperatura de Curie.

El uso del grafito magnético ha estado muy limitado debido a que es un material totalmente novedoso, sólo hasta principios de este siglo se empezó a estudiar y producir usándose en primera instancia como parte fundamental en “la bisutería de tipo bioenergético”, pero se tiene proyectado un amplio rango de trabajo en el sector industrial. Como resultado, se ha desarrollado grafito magnético por magnetización mediante bombardeo con protones y con ayuda de electroimanes el cual pudo alcanzar propiedades físicas, químicas y mecánicas muy superiores a los imanes de ferrita de bario y estroncio, para ser utilizados en materiales que revolucionaran los adelantos tecnológicos en los próximos años. Por esta razón es necesario seguir investigando en la elaboración de este tipo de productos con el fin de mejorar la calidad de los mismos.

Entre otros posibles usos para este tipo de materiales se encuentran su empleo como sellos o empaques para juntas metálicas, recubrimientos para equipos y accesorios fabricados en metales ferrosos o acero tales como bandas transportadoras, tuberías y conexiones, que puedan estar sometidas a temperaturas altas y del cual se pueda aprovechar el aporte como aislante térmico que posee el grafito.

Otras aplicaciones del grafito magnético que se salen del campo industrial pero gracias a ellas fue que se auspició este trabajo son las siguientes:

- Material didáctico
- Publicidad
- Serigrafía

De acuerdo a las aplicaciones mencionadas anteriormente, se trata de dar una visión globalizada de los posibles usos del grafito magnético. No obstante, es muy difícil o casi imposible recomendarlo para una aplicación específica, exceptuando la aplicación como lápiz magnético, ya que cada situación en particular presenta unas condiciones únicas que se deben analizar individualmente y si fuera así, no se podría estar seguro del comportamiento o eficiencia del material hasta no llevarlo a la práctica a través del servicio o a través de pruebas piloto preliminares.

CONCLUSIONES

- Se pudo obtener diferentes muestras de grafito magnético, gracias a su previa formulación y mediante algunas operaciones unitarias de tratamiento de sólidos particulados para sus componentes principales, como la molienda, mezclado, prensado, etc., con distintas proporciones másicas de grafito y material magnético, obteniendo así un material frágil el cual responde o puede ser atraído fácilmente mediante la atracción de un campo magnético mediano.
- Se logró determinar mediante experimentación que la presión para el correcto prensado del material no debe ser inferior a 60 Kg/cm^2 (5856 KPa), y el tiempo de prensado tampoco puede estar por debajo de las 2 horas.
- La mezcla 45% de grafito, 45% de material magnético y 10 % de negro de humo, prensada a 60 Kg/cm^2 (5856 KPa), obtuvo las propiedades más adecuadas para ser utilizado como material didáctico ya que cumplió con los mejores requerimientos de rayado sobre el papel (prueba no existente en las normas ASTM, por eso se reportó con registro fotográfico en el **anexo L**), además de poseer una coloración bastante oscura con brillos metálicos.
- Se comprobó que el proceso de sinterizado a 673 y 723 K, originó un aumento en algunas propiedades del material tales como el campo magnético y la densidad de las diferentes mezclas del material; siendo la temperatura de 723 K la que presentó los mejores resultados.
- Se demostró que las propiedades magnéticas del material, se pueden mejorar con ayuda de un campo magnético externo (imanes de Neodimio), y que éste es capaz de orientar los espines de los electrones de valencia de las cargas de ferrita, en un mismo sentido, dando de esta forma mayores valores para la inducción remanente.
- El material obtenido (grafito magnético), puede ser revestido fácilmente sumergiendo las barras varias veces (según el espesor deseado), en soluciones poliméricas concentradas.

RECOMENDACIONES

- Realizar un estudio más detallado sobre materiales bonificados y especializados para troqueles, escogiendo el que mejor cualidades posea para soportar la distribución de carga axial y transversal sobre los puntos críticos y propensos a ruptura, los cuales son las paredes laterales de los mismos.
- Experimentar sobre un material adecuado (con carácter arcilloso posiblemente), que actúe como compactador de la mezcla, para mejorar así las cualidades del material terminado, reducir los tiempos de prensado y por ende los riesgos de fractura del mismo y del troquel.
- Implementar el uso de un electroimán como instrumento polarizante, para de esta forma lograr una mejor orientación de los electrones y por con siguiente aumento en el campo magnético.
- Se recomienda el estudio del mezclado del grafito magnético en una pasta para lograr su encapsulamiento de forma semejante a la utilizada en la elaboración de lápices.

BIBLIOGRAFIA

1. ABAD, Oscar y MERCADO, Mauricio. Obtención y Caracterización de Caucho Magnético para el Mejoramiento de la Adhesión en Sistemas Caucho-Metal. Tesis de pregrado. Ingeniería Química. UIS, 2003.
2. ASKELAND, Donald. La Ciencia de los Materiales. Grupo Editorial Iberoamérica. México, 1987.
3. BACA, Gabriel. Evaluación de Proyectos. Editorial Mc Graw-Hill. México D.F., 2000.
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. Encarta 2004. Enciclopedia. CD-ROM edición 2004.
6. FOUST, Alan y otros. Principios de Operaciones Unitarias. 8^{va} Edición. Compañía Editorial Continental
7. KARCZ, Andrés. Electrometría de Materiales Magnéticos. Ediciones Técnicas Marcombo S.A. Barcelona, 1972.
8. KENT, James. Manual de Riegel de Química Industrial. Editorial Continental S.A. México, 1984.
9. Manual de Laboratorio de Resistencia de Materiales. Ediciones UIS. Bucaramanga.
10. MONTGOMERT, Douglas. Diseño y Análisis de Experimentos. Editorial Limusa Wiley. México DF, 2002.
11. ORTUETA, Ramón. Materiales Magnéticos: Teoría, Metalurgia y Aplicaciones. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Madrid, 1955.
12. PERRY, Robert. Manual del Ingeniero Químico. 6^{ta} Edición. Editorial Mc Graw-Hill. México, 1992.
13. SMITH, William. Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de los Materiales. Editorial Mc Graw-Hill. México D.F, 1988.
14. VASQUEZ, Leonidas y LEON, Adolfo. Resistencia de Materiales I. Ediciones UIS. Bucaramanga.
15. www.diq.uchile.cl/cursos/sd20a/clases.html
16. www.ima.es.com
17. www.matche.com

18. www.nhumo.com

19. www.teqmac.com

20. www.wikipedia.com

ANEXOS

Anexo A.

Equipos utilizados ubicados en el laboratorio de operaciones unitarias de la escuela de ingeniería química en la Universidad Industrial de Santander.

1. Molinos

a. Molino de bolas metálicas

El molino fue utilizado para molturar el material magnético, por cochadas de un Kg durante 15 horas. Se utilizaron 21 bolas metálicas, 7 pequeñas, 7 medianas y 7 grandes reduciendo el material de malla 4 a malla 120 de la serie Tyler. El molino tiene una velocidad de 42 RPM y una potencia 3.5 hp.

b. Molino de tipo cerámico

En este molino se pulverizó el material magnético de malla 120 proveniente del molino de bolas metálicas hasta malla 240 de la serie Tyler, por cochadas de un Kg durante 24 horas. Se utilizaron 43 bolas de cerámica 20 grandes y 23 medianas. El molino marca Fisher Scientific Company tiene una velocidad de 42 rpm y una potencia de 3.5 hp.

2. Tamices

El tamiz consiste en una mesa vibratoria marca Fisher, con disposición de hasta 6 mallas consecutivas.

Para el tamizado se utilizaron los siguientes montajes:

a. Material magnético del molino de bolas metálicas

Para el material magnético saliente del molino de bolas metálicas se montaron 5 mallas consecutivas más el fondo 40, 60, 80, 100 y 120 de la serie Tyler.

b. Material magnético del molino de tipo cerámico y demás materias primas

Se montaron mallas consecutivas más el fondo 160, 180, 200, 220 y 240 de la serie Tyler.

3. Sistema de agitación para el mezclado

Se diseñó y se montó un sistema de agitación continua, el cual consistía en un agitador mecánico de vidrio Modelo mlw-er10, con 60 rpm y un recipiente de ABS.

4. Placa de calentamiento

La placa modelo 4803-00 de la compañía Cole-Parmer tiene dimensiones de 20x20, fabricada en acero inoxidable la cual alcanzaba temperaturas de 450 °C .

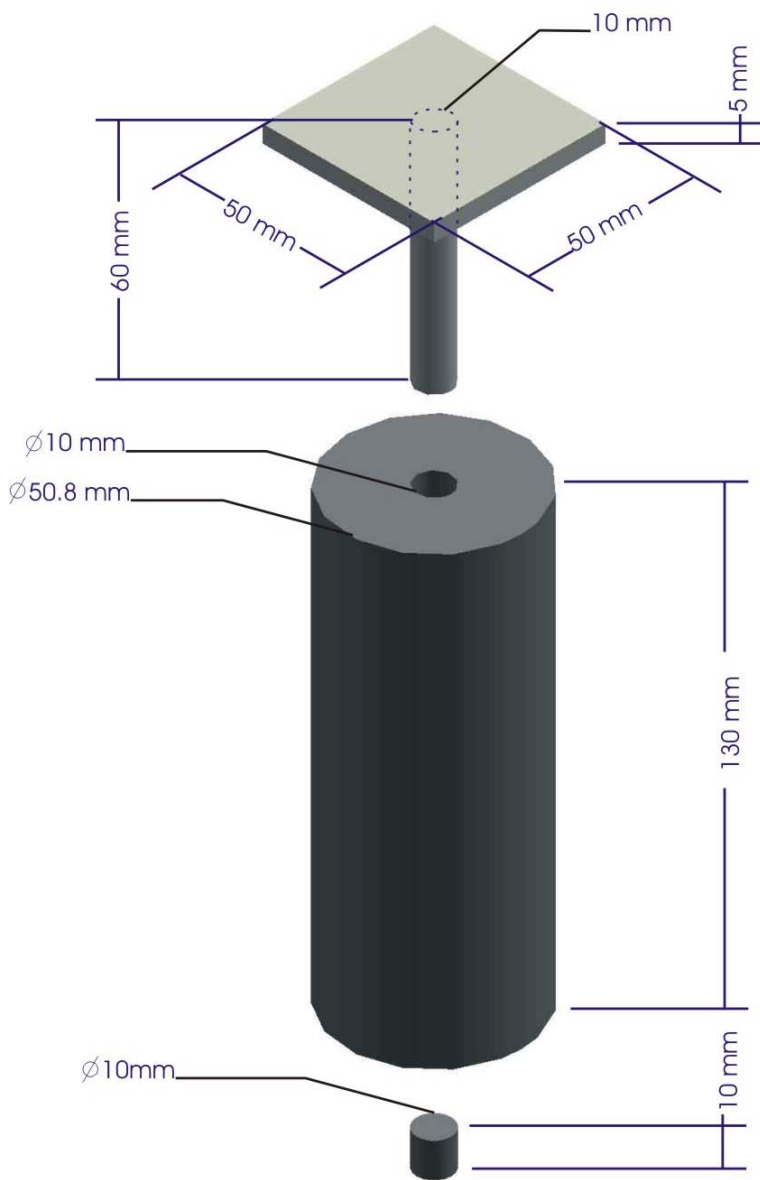
5. Prensa hidráulica

La prensa es marca Berstoraf, modelo 59-50131, con abertura de 20 cm, la cual alcanza presiones desde 0 hasta 400 Kgf/cm² y temperaturas hasta 300 °C.

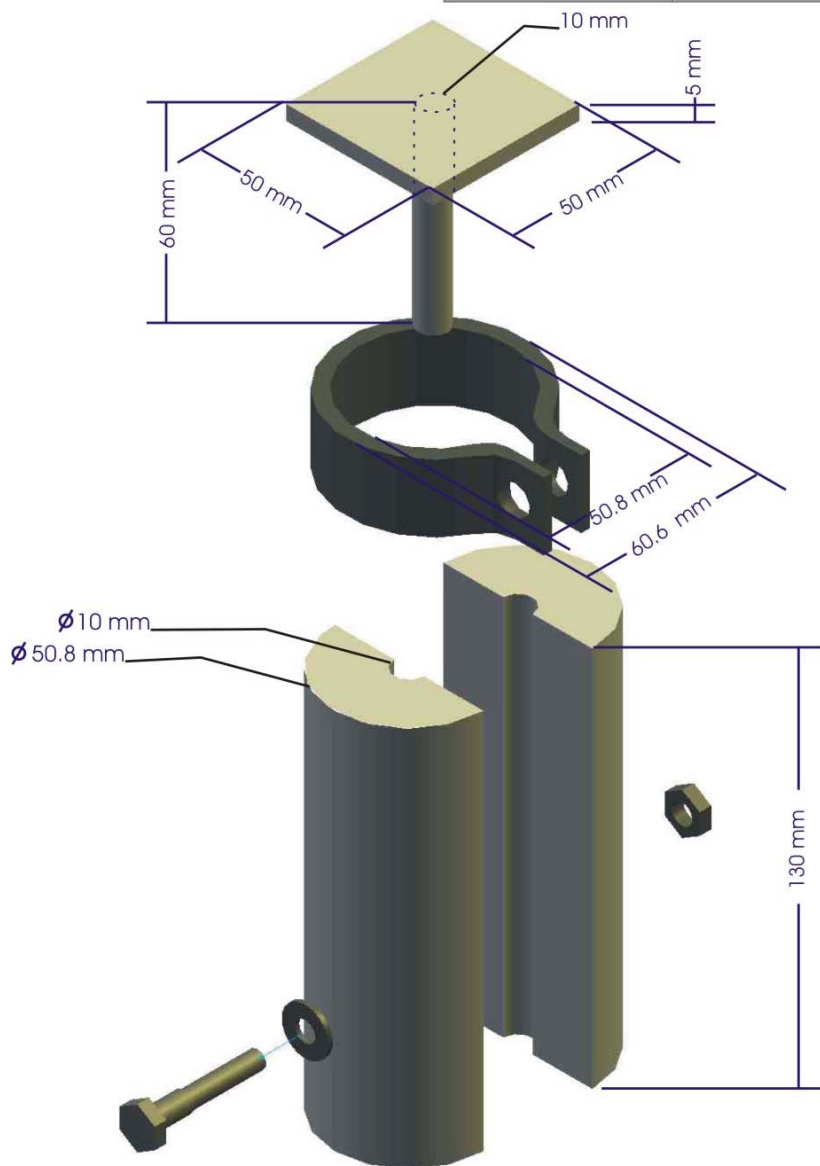
6. Troquel para el prensado

A continuación se presentan el diseño de los troqueles utilizados para el prensado del material, realizados en el programa Solid Edge V9:

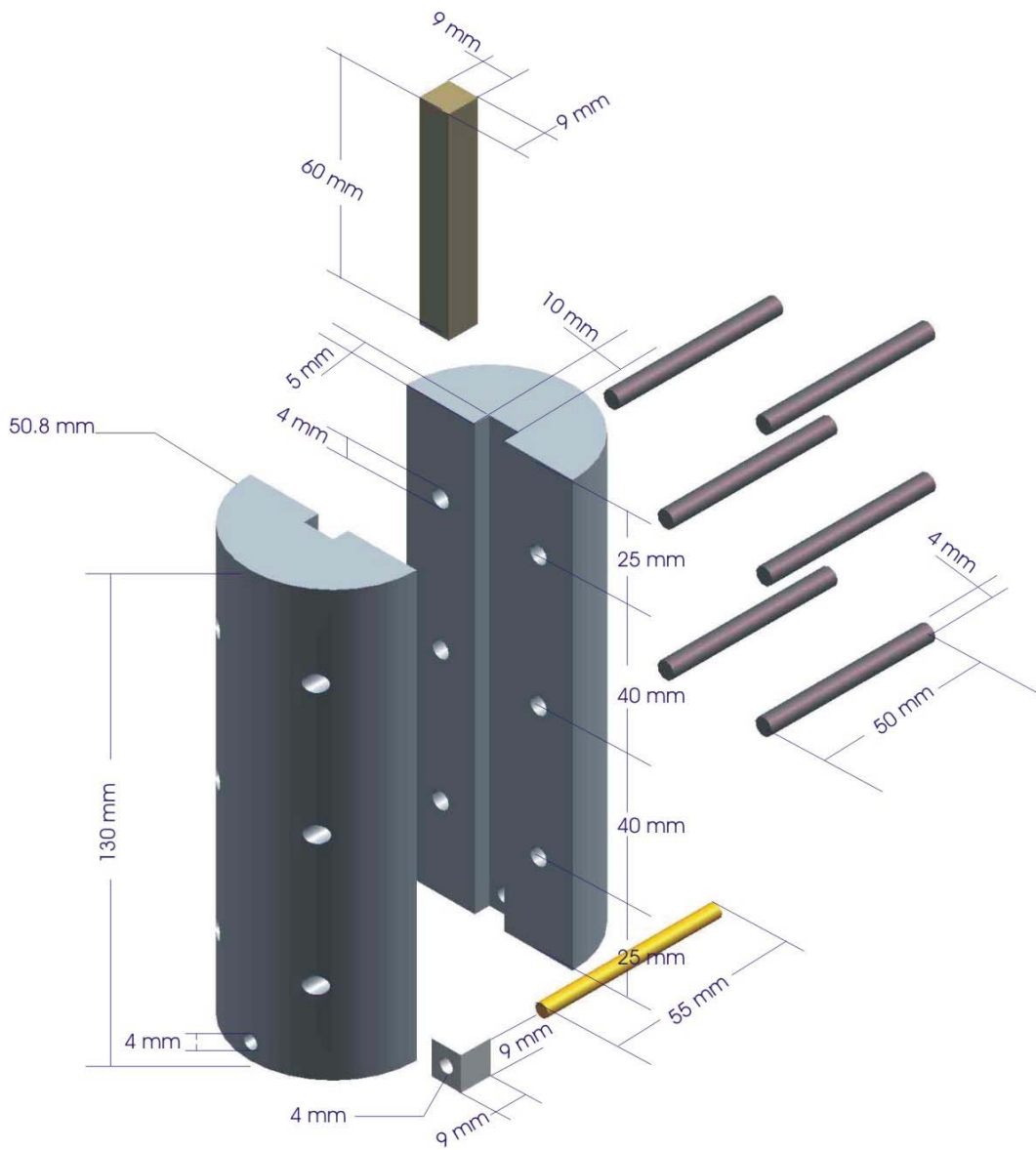
Troquel No. 1	
Pieza	Material
Macho	Acero 1020
Camisa	Acero 1020
Tapón	Acero 1020
Lámina	Platina HR

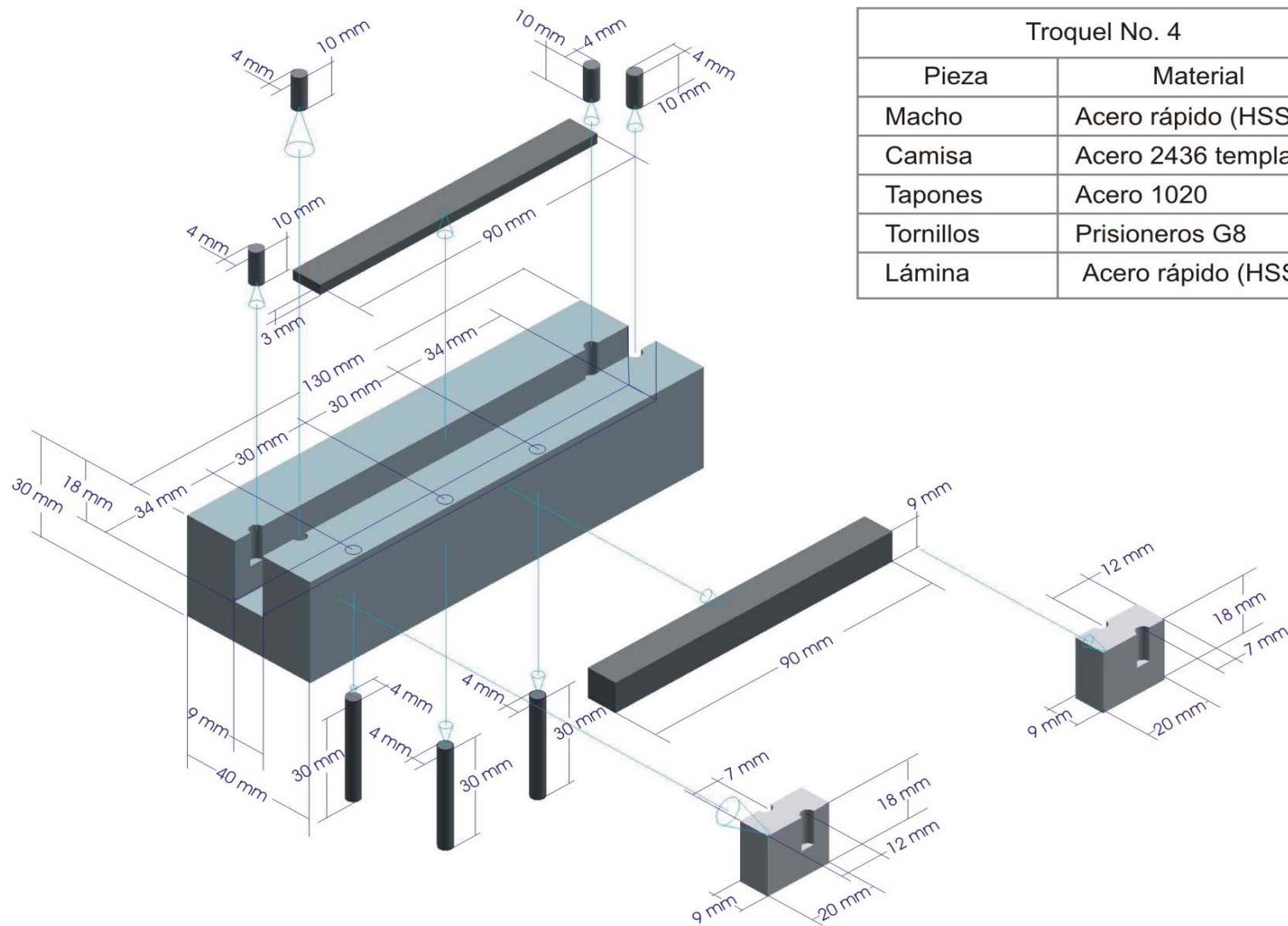


Troquel No. 2	
Pieza	Material
Macho	Acero 4140
Camisa	Acero 4140
Tapón	Acero 1020
Tornillos	7/16 G8
Lámina	Platina HR



Troquel No. 3	
Pieza	Material
Macho	Acero 4140 templado
Camisa	Acero 4140 templado
Tapón	Acero 1020
Tornillos	Prisioneros G8
Pasador	Acero 1020





Troquel No. 4	
Pieza	Material
Macho	Acero rápido (HSS)
Camisa	Acero 2436 templado
Tapones	Acero 1020
Tornillos	Prisioneros G8
Lámina	Acero rápido (HSS)

Anexo B. Presupuesto de producción y ventas.

Descripción	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11
Capacidad instalada (Ton)	129.6	129.6	129.6	129.6	129.6	129.6	129.6	129.6	129.6	129.6
Capacidad aprovechada (%)	70	75	85	90	95	95	95	95	95	95
Producción (Ton)	90.7	97.2	110.2	123.1	123.1	123.1	123.1	123.1	123.1	123.1
Precio unitario de venta (US\$/Barra)	0.09	0.0936	0.0973	0.101	0.105	0.11	0.114	0.118	0.123	0.128
Ventas (% Producido)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Unidades vendidas (Barras)	9070000	9720000	11020000	11079000	12310000	12310000	12310000	12310000	12310000	12310000
Ingresos (US\$)	816300	909792	1072730.8	1121613.1	1296086.3	1347929.8	1401846.9	1457920.8	1516237.6	1576887.1
Total ingresos por ventas (US\$)	816300	909792	1072730.8	1121613.1	1296086.3	1347929.8	1401846.9	1457920.8	1516237.6	1576887.1

Anexo C. Costos variables

Costos variables	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11
Costo de materia prima										
Cantidad de grafito (TON)	58.32	58.32	58.32	58.32	58.32	58.32	58.32	58.32	58.32	58.32
Precio unitario del grafito (US\$/TON)	1852	1855	1856	1858	1858.6	1859.3	1860.2	1861	1862.4	1863
Costo del grafito (US\$/TON)	108008.6	108183.6	108242	108358.6	108393.5	108434.4	108486.8	108533.5	108615.2	108650.2
Costo de transporte del grafito (US\$/TON)	756	756	756	756	756	756	756	756	756	756
Costo total de grafito (US\$/TON)	108764.6	108939.6	108998	109114.6	109149.5	109190.4	109242.8	109289.5	109371.2	109406.2
Cantidad de ferrita (TON)	58.32	58.32	58.32	58.32	58.32	58.32	58.32	58.32	58.32	58.32
Precio unitario de la ferrita (US\$/TON)	2991	2992.5	2993	2994.1	2994.8	2995.1	2996.2	2997	2999.1	3000
Costo de la ferrita	174435.1	174522.6	174551.8	174615.9	174656.7	174674.2	174738.4	174785	174907.5	174960

(US\$/TON)										
Costo de transporte de la ferrita (US\$/TON)	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216
Costo total de ferrita (US\$/TON)	174651.1	174738.6	174767.8	174831.9	174872.7	174890.2	174954.4	175001	175123.5	175176
Cantidad de negro de humo (TON)	12.96	12.96	12.96	12.96	12.96	12.96	12.96	12.96	12.96	12.96
Precio unitario del negro de humo (US\$/TON)	1846	1847.1	1847.9	1848.1	1848.8	1849	1849	1849.2	1850	1852
Costo del negro de humo (US\$/TON)	23924.2	23938.4	23948.8	23951.4	23960.4	23963	23963	23965.6	23976	24002
Costo de transporte del negro de humo (US\$/TON)	106	106	106	106	106	106	106	106	106	106
Costo total de negro de humo (US\$/TON)	24030.2	24044.4	24054.8	24057.4	24066.4	24069	24069	24071.6	24082	24108

Cantidad de gasolina (TON)	19.44	19.44	19.44	19.44	19.44	19.44	19.44	19.44	19.44	19.44
Precio unitario de la gasolina (US\$/TON)	762	762.1	762.2	762.3	763	764	764.5	765	766.3	767
Costo de la gasolina (US\$/TON)	14813.3	14815.2	14817.2	14819.1	14833	14852.2	14862	14871.6	14896.9	14910.5
Costo de transporte de la gasolina (US\$/TON)	74	74	74	74	74	74	74	74	74	74
Costo total de la gasolina (US\$/TON)	14887.3	14889.2	14891.2	14893.1	14907	14926.2	14936	14945.6	14970.9	14984.5
Costo total de la materia prima	322333.2	322611.8	322711.8	322897	322995.6	323075.8	323202.2	323307.7	323547.6	323674.7
Electricidad (Kwh)	47792	47792	47792	47792	47792	47792	47792	47792	47792	47792
Costo unitario de electricidad	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06

(US\$/Kwh))										
Costo total electricidad (US\$/Kwh)	2867.5	2867.5	2867.5	2867.5	2867.5	2867.5	2867.5	2867.5	2867.5	2867.5
Agua (m ³)	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225
Costo unitario agua (US\$/m ³)	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32
Costo total de agua (US\$/Ton)	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72
Empaques y envases (US\$)	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500
COSTO TOTAL (US\$)	326772.7	327051.3	327151.3	327336.5	327435.1	327515.3	327641.7	327747.2	327987.1	328114.2

Anexo D. Costos de Equipos para planta de grafito magnético

Equipo	Valor total (US\$)
Silos	25581.6
Molinos	15700
Trituradoras	37037.5
Bandas Transportadoras	6485.8
Tanques	2210.9
Mezcladores	15713.8
Bombas	651.3
Tamices	686.6
Prensas	60000
Troqueles	40000
Placas de calentamiento	3500
C_p	Costo total
	207567.6

Anexo E. Costo de instalación para la planta de grafito magnético.

COSTO		CALCULO	Valor Total (US\$)
Costos directos			
C_m	Materiales usados para instalación	$0.6 \times C_p$	124540.5
C_{el}	Instalaciones eléctricas	$0.04 \times C_p$	8302.7
C_i	Instrumentación	$0.14 \times C_p$	29059.5
C_l	Labor directa	$0.63 \times C_p$	130767.6
Total costos directos			292670.3
Costos indirectos			
C_o	Construcción Overhead	$0.7 \times C_l$	91537.3
C_E	Costos ingeniero constructor	$0.189 \times C_p$	39230.3
Total costos indirectos			130767.6
C_{ins}	Costo total de Instalación		423437.9

Anexo F. Inversión total inicial

Concepto	%	Valor \$
Equipo y maquinaria de fabricación	17.8	207567.6
Equipo y maquinaria de servicios industriales	12.5	145763.7
Equipo y vehículos de transporte	2.2	25654.4
Equipo para prevenir la contaminación ambiental	2.5	29152.7
Mobiliario y equipo auxiliar	1.1	12827.2
Gastos de instalación de equipos	36.3	423437.9
Obra civil (edificaciones)	0.9	10495
Terreno y acondicionamiento	2	23322.2
Fletes seguros impuestos y otros gastos	0.6	6996.7
Subtotal (activos fijos intangibles)	76	885217.5
Inversión diferida		0.00
Gastos de desarrollo y obtención de tecnología	1.5	17491.6
Planeación e integración del proyecto	3.7	43146.07
Supervisión de la construcción	3.7	43146.07
Administración del proyecto	0.7	8162.8
Imprevistos	14.4	167920.9
Total Inversión	100	1195083.9

Anexo G. Gastos de administración y ventas

Descripción	Cantidad De personas	Sueldo/mensual US \$	Total anual/cargo
Gastos en personal			
Gerente general	1	2000	24000
Secretaria de gerencia	1	370	4440
Director del departamento de contabilidad	1	900	10800
Auxiliar contable	1	260	3120
Contador público	1	815	9780
Tesorero	1	750	9000
Director de recursos humanos	1	1050	12600
Secretaria de departamentos	1	260	3120
Jefe de selección y contratación	1	650	7800
Director de bienestar social	1	360	4320
Auxiliar de enfermería	1	255	3060
Jefe de servicios generales	1	255	3060
Personal de servicios generales	3	165	5940
Mensajero	1	250	3000
Recepcionista	1	165	1980
Director del departamento de ventas	1	850	10200
Vendedores	2	650	15600
Director de compras	1	850	10200
Auxiliar de compras	1	255	3060
Auditor general	1	1100	13200
Asistente de auditoria	1	650	7800
Director de sistemas	1	650	7800
Otros gastos			
Gastos de oficina			5000
Viáticos y representaciones			5000
Otros			3000
Total			186880

Anexo H. Costo de la mano de obra directa e indirecta

Descripción	Cantidad De Personas	Sueldo/mensual US \$	Total anual/cargo
Mano de obra directa			
Ingeniero de procesos	3	826	29736
Operadores de planta	15	350	63000
Total mano de obra directa			92736
Mano de obra indirecta			
Director del departamento de producción	1	1700	20400
Jefe de mantenimiento	1	850	10200
Técnicos de mantenimiento	3	470	16920
Jefe de almacenamiento	1	700	8400
Operarios de almacenamiento	4	355	17040
Jefe de control de calidad	1	840	10080
Operarios de control de calidad	3	380	13680
Jefe de seguridad industrial	1	800	9600
Personal de seguridad	4	360	17280
Total mano de obra indirecta			123600

Anexo I. Depreciación y amortización

Concepto	Valor	Años	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Valor de Salvamento
Equipo y maquinaria de Fabricación	207567.6	10	18681.1	18681.1	18681.1	18681.1	18681.1	18681.1	18681.1	18681.1	18681.1	18681.1	20756.76
Equipo y maquinaria de Servicios industriales	145763.7	10	13118.7	13118.7	13118.7	13118.7	13118.7	13118.7	13118.7	13118.7	13118.7	13118.7	14576.37
Equipo y vehículos de Transporte	25654.4	5	4874.3	4874.3	4874.3	4874.3	4874.3	4874.3	4874.3	4874.3	4874.3	4874.3	1282.72
Equipo y maquinaria para Prevenir la contaminación	29152.7	10	2623.7	2623.7	2623.7	2623.7	2623.7	2623.7	2623.7	2623.7	2623.7	2623.7	2915.27
Mobiliario y equipo auxiliar	12827.2	10	1154.4	1154.4	1154.4	1154.4	1154.4	1154.4	1154.4	1154.4	1154.4	1154.4	1282.72
Gastos de instalación de equipos	423437.9	10	42343.9	42343.9	42343.9	42343.9	42343.9	42343.9	42343.9	42343.9	42343.9	42343.9	0
Obra civil (edificios)	10495	20	262.4	262.4	262.4	262.4	262.4	262.4	262.4	262.4	262.4	262.4	5247.5
Fletes seguro e impuestos aduaneros	6996.7	5	1399.3	1399.3	1399.3	1399.3	1399.3	1399.3	1399.3	1399.3	1399.3	1399.3	0
Gastos de desarrollo y obtención de tecnología	17491.6												17491.6
Planeación e integración del proyecto	43146.1	5	8629.2	8629.2	8629.2	8629.2	8629.2	8629.2	8629.2	8629.2	8629.2	8629.2	0

Supervisión de la construcción	43146.1	5	8629.2	8629.2	8629.2	8629.2	8629.2	8629.2	8629.2	8629.2	8629.2	8629.2	8629.2	0
Administración del proyecto	8162.8	5	1632.5	1632.5	1632.5	1632.5	1632.5	1632.5	1632.5	1632.5	1632.5	1632.5	1632.5	0
Total depreciación anual			103348.7	103348.7	103348.7	103348.7	103348.7	103348.7	103348.7	103348.7	103348.7	103348.7	103348.7	63552.9

Anexo J. Cálculo del VPN sin financiamiento.

Descripción	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11
Inversión inicial US\$	59754 12	5975412										
Ventas US\$			816300	909792	1072730 .8	1121613 .1	1296086 .3	1347929 .7	1401847	1457920 .8	1516237 .6	1576887 .2
Materia prima y servicios US\$			326772. 7	327051. 3	327151. 3	327336. 5	327435. 9	327515. 3	327641. 7	327747. 2	327987. 9	328114. 2
Salarios US\$			310480	312963. 8	315467. 5	317991. 3	320535. 2	323099. 5	325684. 3	328289. 8	330916. 1	333563. 4
Renta US\$			26494.5	58249.9	114367. 1	130527. 8	190668. 2	207888. 2	225810. 3	244487. 3	263894. 7	284151. 3
Valor de salvamento US\$												63552.9
Flujo neto efectivo US\$			152552. 8	211527	315744. 8	345757. 5	457446. 9	489426. 7	522710. 7	557396. 5	593438. 9	631058. 2
VPN US\$	- 59754 2	-597542	926492									

Anexo K. Cálculo de la TIR

Descripción	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11
Inversión inicial US\$	5975412	5975412										
Ventas US\$			816300	909792	1072730.8	1121613.1	1296086.3	1347929.7	1401847	1457920.8	1516237.6	1576887.2
Materia prima y servicios US\$			326772.7	327051.3	327151.3	327336.5	327435.9	327515.3	327641.7	327747.2	327987.9	328114.2
Salarios US\$			310480	312963.8	315467.5	317991.3	320535.2	323099.5	325684.3	328289.8	330916.1	333563.4
Renta US\$			26494.5	58249.9	114367.1	130527.8	190668.2	207888.2	225810.3	244487.3	263894.7	284151.3
Valor de salvamento US\$												63552.9
Flujo neto efectivo US\$			152552.8	211527	315744.8	345757.5	457446.9	489426.7	522710.7	557396.5	593438.9	631058.2
TIR US\$	16.4 %											

Anexo L. Registro fotográfico prueba cualitativa

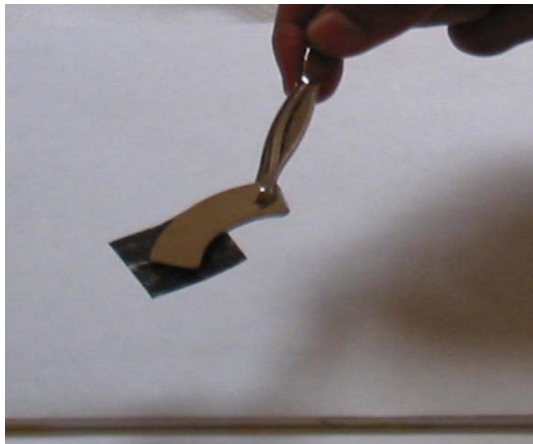


Foto A. Imán de Neodimio levantando un papel con grafito magnético de la mezcla 45/45/10*



Foto B. Imán de Neodimio atrayendo grafito magnético de la mezcla 45/45/10*

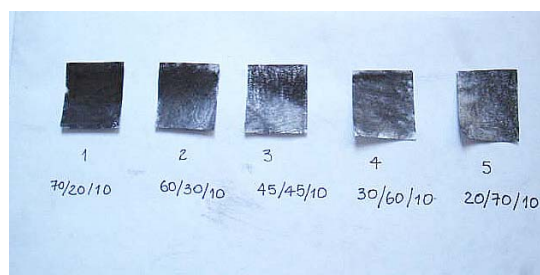


Foto C. Sombreado sobre papel para las diferentes muestras.

* 45 % de Grafito, 45 % de Material Magnético y 10 % de Negro de Humo.