

**OBTENCIÓN Y EVALUACIÓN DEL MORTERO MAGNÉTICO**

**KELLY ESPERANZA GÓMEZ CONTRERAS**

**SANDRA LILIANA GÓMEZ CONTRERAS**

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

**2005**

**OBTENCIÓN Y EVALUACIÓN DEL MORTERO MAGNÉTICO**

**KELLY ESPERANZA GÓMEZ CONTRERAS**

**SANDRA LILIANA GÓMEZ CONTRERAS**

**Trabajo de Grado presentado como requisito para optar el Título de  
Ingeniero Civil  
Ingeniero Químico**

**Director**

**RAMIRO SALAZAR LARROTA Ph.D.**

**Ingeniero Químico**

**Codirector**

**DALTON MORENO Mcs.**

**Ingeniero Civil**

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

**2005**

## **DEDICATORIA**

A Dios por que sin el nada sería posible

KELLY GÓMEZ

## **DEDICATORIA**

Al Señor Jesucristo porque es quien sustenta mis pasos,  
gracias Padre mío porque haz sabido ponerme en alto.

A mi hermana Kelly, porque me ha acompañado  
incondicionalmente en cada momento.

**SANDRA LILIANA GÓMEZ CONTRERAS**

**TITULO\*: OBTENCIÓN Y EVALUACIÓN DEL MORTERO MAGNÉTICO**

**AUTOR(ES): KELLY ESPERANZA GÓMEZ CONTRERAS  
SANDRA LILIANA GÓMEZ CONTRERAS**

**PALABRAS CLAVES:** Agregado  
Magnético  
Mortero  
Paredes

**DESCRIPCIÓN:**

**La carencia de la propiedad magnética en los morteros, conduce a la búsqueda de un material que introduzca esta cualidad, con el fin de mejorar su desempeño y dar una alternativa para evitar el uso de puntillas, cintas, etc. en las paredes, que causan el deterioro y mal aspecto en la misma, así como reducir los costos por mantenimiento de estas.**

**Se evaluó las propiedades físico-mecánicas (compresión, flexión, tracción) y el comportamiento ante algunos fenómenos físico-químicos (porosidad permeabilidad y el desgaste bajo la acción de sulfatos), del mortero modificado para diferentes dosificaciones y se estableció la aplicación más apropiada que se le pueda dar en la construcción.**

**El estudio revela que al adicionarle partículas de agregado magnético al mortero, este adquiere dicha propiedad; en cuanto a su resistencia se encuentra dentro de los requerimientos permisibles para morteros de recubrimiento.**

\*Proyecto de grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico Químicas, Ingeniería Química, Ing. Ramiro Salazar

**TITLE\*: OBTAINION AND EVALUATION OF MAGNETIC MORTAR**

**AUTHOR: KELLY ESPERANZA GÓMEZ CONTRERAS  
SANDRA LILIANA GOMEZ CONTRERAS**

**KEY WORDS:** Aggregate  
Magnetic  
Mortar  
Walls

**ABSTRACT:**

The lack of magnetic properties in mortars, leads to the search for material that possesses this quality. This is made with the purpose of improving. Their performance and give us a better alternative to avoid the use of nails and tapes on the walls that may cause deterioration and bad aspect. So in this way it reduce the costs in the wall maintenance.

Both the physical-mechanical properties such as (compression, flexion, traction) and the behavior before some physical-chemical phenomena such as (porosity, permeability and the low waste under the action sulfates), of the mortar modified by different dosages were evaluate. And was established the most appropriate application that can be given in the construction.

This study reveals that the addition of magnetic aggregate particles to the mortar, provides the mortar with such property. Regarding to its resistance, thisis foun inside the allowed requivmentes for mortars.

\*Proyecto de grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico Químicas, Ingeniería Química, Ing. Ramiro Salazar

## TABLA DE CONTENIDO

	pág.
<b>INTRODUCCIÓN</b>	1
<b>1. MARCO TEÓRICO</b>	3
1.1 MORTERO	3
1.1.1 Propiedades del mortero en estado plástico (fresco)	3
1.1.2 Propiedades del mortero en estado endurecido	5
1.1.3 Clasificación de los morteros	6
1.1.4 Tipos de corrosión o afectación de la durabilidad de un mortero	8
1.2 MATERIAL MAGNÉTICO	9
1.2.1 Agregado magnético	10
1.2.2 Imanes de Neodimio	11
<b>2. ETAPA EXPERIMENTAL</b>	12
2.1 DISEÑO DE LA MEZCLA DE MORTERO	12
2.1.1 Caracterización de los materiales empleados	12
2.2 DISEÑO DE MEZCLA	20
<b>3. PRUEBAS DE LABORATORIO</b>	25
3.1 ENSAYO DE INDUCCIÓN REMANENTE	25
3.2 ENSAYO DE ADHERENCIA	26
3.3 ENSAYO DE COMPRESIÓN	27
3.4 ENSAYO DE FLEXIÓN	28

3.5 ENSAYO DE TRACCIÓN	29
3.6 ENSAYO DE POROSIDAD	30
3.7 ENSAYO DE PERMEABILIDAD	33
3.8 ENSAYO DE SOLIDEZ BAJO LA ACCIÓN DE SULFATOS	35
<b>4. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS</b>	<b>38</b>
4.1 ENSAYO DE INDUCCIÓN REMANENTE	38
4.2 ENSAYO DE ADHERENCIA	39
4.3 ENSAYO DE COMPRESIÓN	40
4.4 ENSAYO DE FLEXIÓN	45
4.5 ENSAYO DE TRACCIÓN	47
4.6 ENSAYO DE POROSIDAD	52
4.7 ENSAYO DE PERMEABILIDAD	55
4.8 ENSAYO DE SOLIDEZ BAJO LA ACCIÓN DE SULFATOS	57
4.9 COSTOS	63
4.10 ESTUDIO DE MERCADOS	64
4.11 APLICACIONES	69
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>72</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>73</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>74</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>76</b>

## LISTA DE CUADROS

	<b>pág.</b>
Cuadro 1. Aplicaciones de morteros según su fluidez	4
Cuadro 2. Usos de los morteros de cemento	7
Cuadro 3. Composición del agregado magnético	10
Cuadro 4. Datos para la Gráfica de Consistencia del Cemento	13
Cuadro 5. Granulometría de la arena	16
Cuadro 6. Gravedades Específicas	18
Cuadro 7. Relación entre % de Fluidez y Relación A/C	20
Cuadro 8. Contenido de materiales por metro cúbico	21
Cuadro 9. Proporciones para mezclas de mortero con 30% de agregado magnético	22
Cuadro 10. Proporciones para mezclas de mortero con 50% de agregado magnético	22
Cuadro 11. Proporciones para mezclas de mortero con 70% de agregado magnético	23
Cuadro 12. Proporciones para mezclas de mortero con 100% de agregado magnético	23
Cuadro 13. Nomenclatura de las mezclas de mortero	24
Cuadro 14. Costo de los diferentes tipos de mortero por m <sup>3</sup>	63
Cuadro 15. Descripción de la población de la demanda	65
Cuadro 16. Distribución proporcional del tamaño de la muestra	67

## LISTA DE FIGURAS

	<b>pág.</b>
Figura 1. Gráfico de consistencia del cemento	13
Figura 2. Serie de tamices utilizados en el proyecto	15
Figura 3. Granulometría arena utilizada	16
Figura 4. Molino de quijadas	19
Figura 5. Molino de bandas	19
Figura 6. Relación entre % de fluidez y relación A/C	20
Figura 7. Gaussímetro Yokogawa	26
Figura 8. Montaje ensayo de adherencia	26
Figura 9. Máquina universal de ensayos TREBEL	27
Figura 10. Montaje ensayo de flexión	29
Figura 11. Montaje ensayo de tracción	30
Figura 12. Porosímetro de Campo Ruska	31
Figura 13. Permeámetro de Gas Ruska	33
Figura 14. Probetas utilizadas para los ensayos de permeabilidad y porosidad	35
Figura 15. Montaje ensayo solidez a sulfatos	37
Figura 16. Variación de la inducción remanente con respecto a los diferentes tamaños e incremento en los porcentajes de agregado magnético	38
Figura 17. Esfuerzo vs. porcentaje de agregado magnético	39

Figura 18. Probetas de compresión falladas	40
Figura 19. Resistencia a la compresión vs. tiempo de las mezclas de mortero para el tamaño 1.19 mm (R16)	41
Figura 20. Resistencia a la compresión vs. tiempo para el tamaño 0,595 mm (R30)	41
Figura 21. Resistencia a la compresión vs. tiempo para el tamaño 0,297 mm (R50)	42
Figura 22. Resistencia a la compresión vs. contenido de agregado magnético a los 7 días	42
Figura 23. Resistencia a la compresión vs. contenido de agregado magnético a los 14 días	43
Figura 24. Resistencia a la compresión vs. contenido de agregado magnético a los 28 días	43
Figura 25. Disminución de la resistencia a la compresión a los 28 días de los diferentes tipos de morteros con agregado magnético respecto al mortero normal	44
Figura 26. Falla probetas a flexión	46
Figura 27. Resistencia a la flexión a los 28 días para los diferentes tipos de mortero	46
Figura 28. Disminución de la resistencia a la flexión a los 28 días	47
Figura 29. Falla de las probetas de tracción	48
Figura 30. Resistencia a la tracción vs. tiempo para el tamaño 1,19 mm (R16)	48
Figura 31. Resistencia a la tracción vs. tiempo para el tamaño 0,595 mm (R30)	49
Figura 32. Resistencia a la tracción vs. tiempo para el tamaño 0,297 mm (R50)	49
Figura 33. Resistencia a la tracción a los 7 días vs. contenido de	50

agregado magnético

Figura 34. Resistencia a la tracción a los 14 días vs. contenido de agregado magnético	50
Figura 35. Resistencia a la tracción a los 28 días vs. contenido de agregado magnético	51
Figura 36. Disminución de la resistencia a la tracción a los 28 días	52
Figura 37. Valores de porosidad vs. porcentaje de agregado magnético	53
Figura 38. Valores de porosidad para cada uno de los tipos de mortero	53
Figura 39. Porcentaje de aumento de la porosidad de los mortero con agregado magnético en relación con el mortero normal	54
Figura 40. Valores de permeabilidad vs. contenido de agregado magnético	55
Figura 41. Valores de permeabilidad de los diferentes tipos de mortero	56
Figura 42. Porcentaje de variación de la permeabilidad	57
Figura 43. Desgaste mortero normal	58
Figura 44. Probetas sometidas a desgaste por sulfatos	58
Figura 45. Desgaste de los diferentes tipos de mortero	59
Figura 46. Desgaste por sulfatos a los 7 ciclos de cada uno de los tipos de mortero	59
Figura 47. Porcentaje de variación del desgaste por sulfatos	62
Figura 48. Simulación de una pared con recubrimiento de Mortero Magnético R30/70	69
Figura 49. sistema de adhesión a la pared con recubrimiento magnético R30/70 del objeto decorativo mediante un imán de neodimio	70
Figura 50. Pared con recubrimiento de mortero magnético R30/70	70

decorada mediante la utilización de imanes de neodimio (relación área imán respecto al cuadro: 1/100)

Figura 51. Cuadros de diferentes tamaños sostenidos en la pared con recubrimiento de mortero magnético mediante imanes de neodimio (relación área imán respecto al cuadro: 1/100) 71

## LISTA DE ANEXOS

	<b>pág.</b>
Anexo a. Objetivos.	76
Anexo b. Análisis de Rayos X para el material magnético.	77
Anexo c. Resultados Ensayo de Inducción Remanente para los diferentes tipos de mortero con agregado magnético.	80
Anexo d. Resultados Ensayo de Adherencia para los diferentes tipos de mortero.	81
Anexo e. Resultados Ensayo de Compresión.	82
Anexo f. Resultados Ensayo de Flexión.	95
Anexo g. Resultados Ensayo de Tracción.	99
Anexo h. Resultados Ensayo de Porosidad. Método Porosímetro de Campo Ruska.	112
Anexo i. Resultados Ensayo de Permeabilidad. Método Permeámetro de Gas Ruska.	116
Anexo j. Resultados Ensayo Solidez bajo la acción de sulfatos.	123
Anexo k. Estudio de Mercado. Encuesta	126

## **AGRADECIMIENTOS**

Las autoras expresan sus agradecimientos a:

Ramiro Salazar, Ingeniero Químico y Director de la Investigación, por su apoyo, colaboración y sus valiosas orientaciones.

Dalton Moreno, Ingeniero Civil y Codirector de la Investigación, por su apoyo colaboración y sus valiosas orientaciones.

Jairo Hernández Salazar, Técnico del Laboratorio de Materiales, por su asesoría y colaboración a lo largo de la investigación.

Miguel Antonio Agudelo, Técnico del Laboratorio de Resistencia de Materiales por su asesoría en la realización de las pruebas mecánicas.

Daniel Garabito, Técnico de la planta de aceros de la escuela de metalúrgica, por su disposición y servicio en pro de nuestra investigación.

A nuestras tías Miriam y Fanny por su apoyo y colaboración.

A todas aquellas personas que de alguna manera contribuyeron a la realización de este trabajo.

## INTRODUCCIÓN

El avance de nuevas tecnologías en la producción de materiales a base de cemento como la utilización de aditivos, introduce nuevos conceptos para ampliar sus aplicaciones y mejorar su calidad.

Se han realizado varios estudios para darle propiedades magnéticas a materiales en busca de mejorar sus características o buscando darles un nuevo uso. Como ejemplo de dichos materiales encontramos el PVC, al que al agregarle la propiedad magnética amplió su utilización en la industria.

Es por ello que se cree positivo agregar dicha propiedad al mortero con el objeto de mejorar su utilidad.

En la actualidad el mortero utilizado en las paredes carece de propiedades magnéticas no pudiéndose adherir a este elementos construidos con materiales magnéticos. Con la obtención del mortero magnético al utilizarlo como friso en las paredes se podría adherir a la pared diferentes elementos decorativos utilizando imanes de neodimio (con alta fuerza magnética ) para así evitar la utilización de puntillas y cintas o pegantes que dan mal aspecto a la pared después de retirado el objeto decorativo.

Uno de los objetivos (anexo a) del presente trabajo es estudiar las variaciones de las propiedades más importantes en los morteros al adicionar partículas de material magnético como agregado fino, para establecer la aplicación más apropiada que se le puede dar en la construcción según el ambiente al que será sometido.

El presente estudio contiene una descripción del mortero, sus propiedades más significativas y su importancia dentro de la construcción de acuerdo a la función que desempeña.

En la etapa experimental se caracterizan los materiales utilizados y se realizan las pruebas físico-mecánicas como: resistencia a la compresión, a la flexión y la tracción; los resultados muestran que hay un decrecimiento en estas propiedades, en las pruebas físico químicas como: permeabilidad, porosidad, se presentan un aumento en cada una de ellas, en cuanto a la solidez ante la acción de sulfatos, se observa un comportamiento semejante al de un mortero normal.

Se realizó un estudio de mercado del producto donde se observa que tendrá buena acogida en el sector de la construcción.

## 1. MARCO TEÓRICO

### 1.1 MORTERO

El mortero es una mezcla plástica de cemento, agua, arena y aditivos, que dependiendo de la dosificación ofrece la trabajabilidad y resistencia suficientes para ser utilizado básicamente en tres aspectos: Pega de unidades de mampostería, relleno en mampostería estructural, recubrimiento de muros y eventualmente en pisos cuyas funciones y definiciones se encuentran bastante diferenciadas.

Dependiendo de las circunstancias particulares de cada proyecto, el criterio para la selección del mortero se debe basar en las propiedades del mortero en estado plástico o en estado endurecido. Ambas son igualmente importantes y necesarias para lograr un buen resultado final.

#### 1.1.1 Propiedades del mortero en estado plástico (fresco)

**Manejabilidad.** La manejabilidad en los morteros se refiere, a la facilidad de colocación de la mezcla, tanto en unidades de mampostería como en recubrimientos; y depende de la consistencia la cual se refiere al estado de fluidez del mortero.

Se utiliza como medida de la manejabilidad, la fluidez de la mezcla medida en el ensayo de la mesa de flujo.

De los factores que influyen en la fluidez se puede nombrar los siguientes: relación agua / cemento, relación cemento / arena y granulometría de la arena, entre otros.

El cuadro 1 muestra ciertos valores de fluidez de acuerdo con la utilidad del mortero.

**Cuadro 1. Aplicaciones de morteros según su fluidez**

Consistencia	Fluid %	Condiciones de Colocación	Ejemplos de tipo de Estructura	Ejemplos del Sistema de Colocación
Dura (Seca)	80 a 100	Secciones sujetas a vibración	Reparaciones, recubrimiento de túneles, galerías, pantallas de cimentación, pisos.	Proyección neumática, con vibradores de formaleta.
Media (Plástica)	100 a 120	Sin vibración	Pega de mampostería, baldosines, pañetes y revestimientos.	Manual con palas y palustres.
Fluida (Húmeda)	120 a 150	Sin vibración	Pañetes, rellenos de mampostería estructural, morteros autonivelantes para pisos.	Manual, bombeo, inyección.

Fuente: SÁNCHEZ DE GUZMÁN, Diego. Tecnología del concreto y el mortero. Santafé de Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana, 1987.

Para el proyecto se trabajó con una Consistencia Media (Plástica) del 110% que corresponde a un mortero para pega de mampostería, baldosines, pañetes y revestimientos, con un sistema de colocación manual.

**Retención de agua.** Mide la capacidad del mortero de mantener su plasticidad al ponerse en contacto con una superficie absorbente.

La retención de agua incide altamente en la rata de endurecimiento y en la resistencia final a la compresión, es decir, una mezcla incapaz de retener agua no permite la hidratación de los materiales cementantes.

**Velocidad de endurecimiento.** Aunque la hidratación de los materiales cementantes no se realiza en su totalidad, se puede ver afectada por condiciones como el tipo de curado, la humedad de la mezcla o la

composición de ésta, factores que producen la mayor parte de la hidratación en las horas iniciales. Una vez evaporada el agua de la mezcla, la hidratación adicional será muy lenta, dependiendo de la humedad ambiental.

### **1.1.2 Propiedades del mortero en estado endurecido**

**Retracción.** Hace referencia a los cambios de volumen debidos a las reacciones químicas que ocurren en el momento de la hidratación del cemento y que ocasionan la aparición de grietas, especialmente en aquellas con relaciones altas de agua / cemento. Causa de esto puede ser la evaporación de agua por diversos factores como el viento, superficies muy absorbentes o la elevada temperatura, que llegan a producir tensiones internas en el mortero manifestándose por tanto las grietas

**Adherencia.** La adherencia es la capacidad del mortero de soportar cargas normales y tangenciales a la superficie de contacto. Para que la adherencia sea suficiente para soportar los esfuerzos generados es necesario que haya un contacto íntimo y completo entre el mortero y la superficie de aplicación.

**Resistencia.** El mortero aplicado debe servir de unión resistente, para lo cual se necesita de alta resistencia a la compresión cuando debe soportar altas cargas y sucesivas, las cuales dan un índice de las resistencias a tensiones de corte y de tracción.

**Durabilidad.** En un mortero la durabilidad se refiere a la capacidad de resistir a agentes externos como la temperatura, la penetración del agua, el desgaste por abrasión, la retracción al secado, agentes corrosivos (ambientes agresivos), y ciclos de congelamiento y descongelamiento, etc. sin afectar sus condiciones físico-químicas con el tiempo.

### **1.1.3 Clasificación de los morteros**

Los morteros pueden clasificarse de diferentes maneras, entre ellas se tienen:

**Según el tipo de composición.** Este método se basa en la clasificación según el tipo de aglutinante o el material distintivo en la fabricación del mortero. Algunos son:

- Morteros de cemento: es el tipo de mortero más usado, su principal característica es su alta resistencia y durabilidad.
- Morteros calcáreos: su componente aglutinante es la cal, se caracteriza por su manejabilidad.
- Mortero combinado: sus elementos aglutinantes son el cemento Pórtland y la cal hidratada. Esta mezcla se caracteriza por poseer una buena manejabilidad y una resistencia aceptable.
- Mortero celular: se caracteriza por la incorporación de aire, adición de espuma o cascarilla de arroz. Su principal propiedad es su bajo peso.
- Mortero polimérico: se caracteriza por poseer propiedades plásticas

#### **Según el tipo de preparación**

- Mortero premezclado
- Mortero preparado in situ

## Según el tipo de función que cumplen

- Mortero sin función estructural o morteros de recubrimiento; sirven para:
  - Friso o pañete
  - Retención de agua
  - Pega de enchapes
  
- Mortero con función estructural:
  - Morteros para elementos estructurales
  - Morteros de mampostería
  - Morteros de pega

El cuadro 2 presenta la relación arena/cemento en un mortero según el uso que este tenga.

### Cuadro 2. Usos de los morteros de cemento

Mortero	Usos
1:1	Mortero muy rico para impermeabilizaciones y rellenos
1:2	Para impermeabilizaciones y pañetes de tanque subterráneos. Rellenos
1:3	Impermeabilizaciones menores. Pisos
1:4	Pega para ladrillos en muros y baldosines. Pañetes finos
1:5	Pañetes exteriores: pega para ladrillos y baldosines, pañetes y mampostería en general. Pañetes no muy finos.
1:6 y 1:7	Pañetes interiores: pega para ladrillos y baldosines, pañetes y mampostería en general. Pañetes no muy finos.
1:8 y 1:9	Pegas para construcciones que se van a demoler muy pronto. Estabilización de taludes en cimentaciones.

Fuente: SÁNCHEZ DE GUZMÁN, Diego. Tecnología del concreto y el mortero. Santafé de Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana, 1987.

#### 1.1.4 Tipos de corrosión o afectación de la durabilidad de un mortero

##### Corrosión externa

- **Corrosión física:** hace referencia al desprendimiento del material por desgaste mecánico al contacto con agentes externos que gastan sus capas superficiales, más conocido como erosión.
  
- **Corrosión química:** ocurre cuando una disolución agresiva ataca al material, intercambiando iones. Se presenta de dos formas:
  - Corrosión por cambio iónico: debida a la reacción de cambio entre cargas eléctricas de los componentes de la pasta endurecida de cemento y las sustancias presentes en el agua agresiva.
  
  - Corrosión por expansión: se presenta en la superficie de mortero una acción físico-química instantánea que produce desgaste e intercambio aniónico, lo cual inicia la destrucción del mortero. Esto produce en la estructura expansiones y dilataciones reiteradas que aflojan la composición de la matriz de mortero y producen su inminente desintegración.
  
  - Corrosión por lixiviación: causada por la acción de aguas poco carbonadas, aguas blanda y agua que contiene ácido carbónico.

##### Corrosión interna

- Exceso de yeso en el cemento que se pone en contacto con una solución de cal.
  
- Adición excesiva de cenizas volantes al cemento.

Ataques al mortero por parte del medio ambiente:

- Ataque por sulfatos: interacción físico-química entre los minerales constituyentes de la pasta de mortero y los iones sulfatos presentes en el medio. Manifestaciones:
  - Ataque en forma de expansión
  - Pérdida de masa o desintegración
  - Agrietamiento
  
- Carbonatación: inclusión de  $\text{CO}_2$  atmosférico que reduce la alcalinidad de la pasta y produce la despasivación y como consecuencia la corrosión del acero en elementos estructurales.
  
- Ciclo de hielo y deshielo: consiste en la congelación y descongelación del agua absorbida por la mezcla de mortero que al pasar de un estado a otro, genera tensiones que agrietan internamente la estructura y generan la pérdida de resistencia y durabilidad.

## **1.2 MATERIAL MAGNÉTICO**

El magnetismo es una de las propiedades más estudiadas y con más aplicaciones en el campo de la ingeniería. Actualmente se han realizado varios trabajos agregando compuestos ferromagnéticos o ferrimagnéticos pulverizados a otros materiales.

El presente trabajo incorpora al mortero convencional agregado magnético para ampliar sus aplicaciones.

**1.2.1 Agregado Magnético.** El agregado magnético utilizado para este trabajo se extrae de la región ubicada en el Cañon del Chicamocha y presenta según el análisis de Rayos X (anexo b), la composición química relacionada en el cuadro 3:

**Cuadro 3. Composición del agregado magnético**

<b>Fase Cristalinos</b>	<b>Nombre</b>	<b>% Cuantitativo</b>
SiO <sub>2</sub>	Quartz	48,14%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Hematite	31,44%
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	Magnetite	9,51%
FeO(OH)	Goethite	9,70%
	Amorfos	1,18%

Fuente: Ensayo de Rx.

**SiO<sub>2</sub>** : La arena de sílice es un compuesto resultante de la combinación del Sílice con el Oxígeno. Su composición química esta formada por un átomo de sílice y dos átomos de Oxígeno, formando una molécula muy estable: SiO<sub>2</sub>. Esta molécula es insoluble en agua, y en la naturaleza se encuentra en forma de cuarzo. Si el cuarzo esta cristalizado se denomina Cristal de Roca.

Los usos industriales de la sílice se derivan de sus importantes propiedades físicas y químicas, destacándose especialmente su dureza, resistencia química, alto punto de fusión, piezoelectricidad, piroelectricidad y transparencia.

**Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>** : La hematita es la mena más importante de hierro. Se distingue por su brillo metálico y mate en las variedades terrosas; su raya rojo indio y su color castaño rojizo, gris a negro. Se vuelve fuertemente magnético al calentarlo en la llama reductora. Es semiconductor infusible.

**Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>:** La magnetita es una mena corriente de hierro. Se caracteriza por su color negro de hierro, brillo metálico, huella negra. Es fuertemente magnético; puede actuar como un imán natural y se conoce con el nombre de piedra imán. En su composición presenta 72,4% Fe , 27,6% de O.

**FeO(OH):** La Goethita se presenta con color pardo amarillento a pardo oscuro, su brillo adamantino a mate; sedoso en ciertas variedades escamosas o fibrosas, su huella es pardo amarillenta. Su composición es: 62,9% de Fe, 27,0% de O y 10,1% de H<sub>2</sub>O. La goethita es isoestructural. Se distingue de la hematita por el color de su huella. Difícilmente fusible. Se convierte en magnético en la llama reductora.

**1.2.2 Imanes de Neodimio.** Los imanes de neodimio (NdFeB) son los que poseen mayor fuerza coercitiva y su campo de aplicación es en todos aquellos casos que requieran BH máximo y con temperaturas de trabajo que no superen los 80 grados centígrados. Al tratarse de material sujeto a rápida oxidación los imanes en Neodimio se protegen normalmente con baño de zinc, níquel, barniz epoxídico o de otro tipo. El Neodimio desarrolla una potencia 7/10 veces superior a los materiales magnéticos tradicionales.

Para este trabajo se usaron imanes de neodimio con área de 8 cm<sup>2</sup> y capacidad inductiva de 4000 Gauss.

## 2. ETAPA EXPERIMENTAL

### 2.1 DISEÑO DE LA MEZCLA DE MORTERO

**2.1.1 Caracterización de los materiales empleados.** Los procedimientos y materiales empleados deben ser controlados por las normas vigentes del país, (NTC) y algunas de interés internacional (ASTM), las principales normas a utilizar en la caracterización de los materiales están incluidas a continuación.

**Cemento.** El cemento utilizado es un cemento hidráulico, encargado de brindar la mayor parte de la resistencia al mortero, inicialmente, siendo igualmente el primer agente conglomerante del conjunto.

El cemento utilizado es producido por “Cementos Paz del Río”, referenciado como Pórtland Tipo I, en su presentación de 50 Kg., con los siguientes datos:

Peso Específico (NTC 221)	2.93 gr/cm <sup>3</sup>
Tiempo de fraguado (NTC 118)	0.58 Horas
Consistencia normal del Cemento (NTC 110)	25.15 %

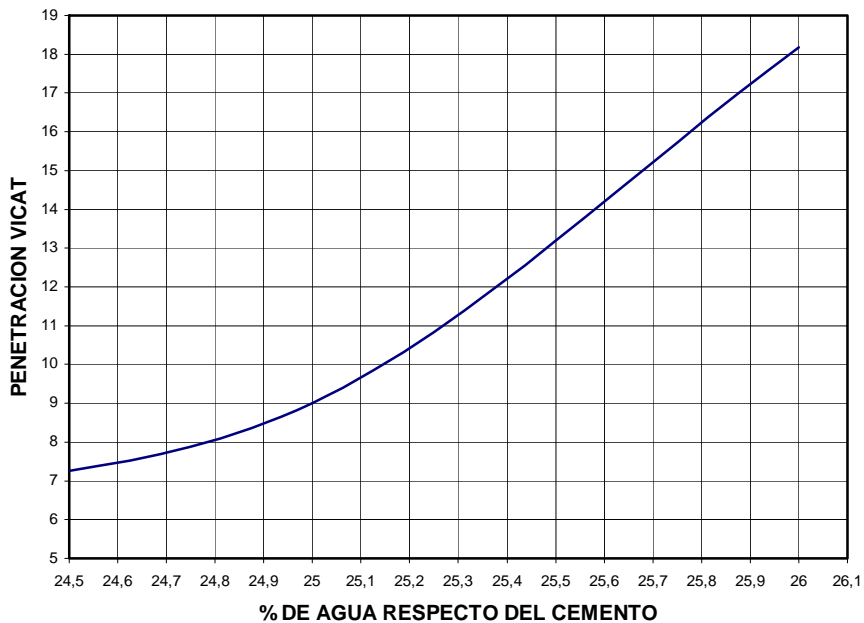
La gráfica de consistencia del cemento (figura 1) depende de la penetración de Vicat para diferentes porcentajes de agua respecto del peso del cemento (cuadro 4).

**Cuadro 4. Datos para la Gráfica de Consistencia del Cemento**

Cemento	Agua		Penetración	
	gramos	%	ml	Parcial
500	26	130	18	18.17
500	26	130	18.5	
500	26	130	18	
500	25	125	9.5	9
500	25	125	8.5	
500	25	125	9	
500	24	120	6.5	6.33
500	24	120	6.5	
500	24	120	6	

Fuente: datos tomados experimentalmente en esta investigación para la consistencia del cemento.

**Figura 1. Gráfico de consistencia del cemento**



**Agua.** Se pueden distinguir tres usos principales del agua, una es el agua de amasado, encargada de lubricar los agregados causando fluidez de la masa; el agua de hidratación, encargada de reaccionar químicamente con las partículas de cemento generando un producto estable; el agua de curado, encargada de controlar la temperatura y los cambios de humedad del mortero a fin de lograr la mayor hidratación del cemento.

Por lo general, se recomienda que el agua que sea potable y que no tenga un pronunciado olor o sabor puede usarse para mezclas de concreto o mortero.

El agua utilizada en esta investigación fue tomada del Acueducto Metropolitano de Bucaramanga, directamente de las redes de agua potable para consumo humano, por lo tanto no fue necesario hacer análisis químicos, dada su reconocida calidad; esta misma agua es la empleada por las obras de la ciudad en la preparación de sus morteros y concretos.

**Arena.** Existen gran variedad de arenas que por su naturaleza pueden ser silíceas o cuarzosas, calizas graníticas, arcillosas etc., o según el material que predomine. Las rocas de origen para las arenas no deben ser activas frente al aire, agua, hielo ni a los conglomerantes. No se recomiendan las arenas porosas y siendo las mejores las arenas silíceas por su dureza y estabilidad.

La forma que presenta los granos de la arena, tiene una relación directa con la manejabilidad del mortero, ya que entre más redondeadas sean las partículas ofrecen mayor manejabilidad del mortero.

El tamaño máximo de las partículas es fundamental para obtener una determinada textura, es así como se busca que las arenas presenten menor finura posible y que el consumo de pasta cementante sea mínima. Entre

mayor finura presente un agregado, mayor será su superficie específica y por consiguiente tendrá que ser mayor la pasta cementante.

La procedencia de la arena utilizada en esta investigación es Pescadero; este punto de extracción se encuentra a 1.6 Km. del Puente Pescadero sobre el Cañón del Río Chicamocha.

La caracterización de la arena se hizo mediante los siguientes ensayos: análisis granulométrico, contenido de materia orgánica, gravedades específicas, peso unitario, % de absorción y % de vacíos.

En la figura 2 se observan los tamices utilizados en el proyecto para realizar el análisis granulométrico a la arena empleada.

**Figura 2. Serie de tamices utilizados en el proyecto**



**Análisis Granulométrico:** Los tamices utilizados para el análisis granulométrico fueron: No. 4, 8, 16, 30, 50, 100 cumpliendo con la norma NTC 174, como se muestra en el cuadro 5.

**Cuadro 5. Granulometría de la arena**

ANALISIS GRANULOMETRICO					
Tamiz No.	Tamaño (mm)	Peso Retenido	% Retenido	% Retenido Acumulado	% que Pasa
4	4,76	12,9	1,29	1,29	98,71
8	2,38	18	1,8	3,09	96,91
16	1,19	131,6	13,16	16,25	83,75
30	0,595	236,8	23,68	30,93	60,07
50	0,297	344,8	34,48	74,41	25,59
100	0,149	207,8	20,78	95,19	4,81
FONDO		47			
TOTAL		998.9			

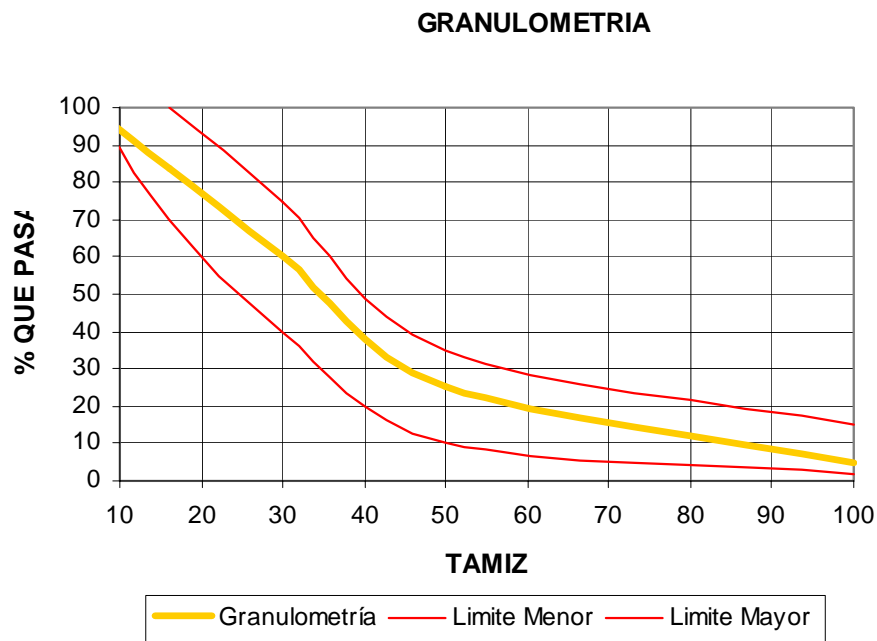
PESO MUESTRA	1000 gr
--------------	---------

Modulo de Finura	2,3016
------------------	--------

Fuente: datos obtenidos experimentalmente de la granulometría de la arena para esta investigación

La granulometría de la arena utilizada para este trabajo se muestra en la figura 3.

**Figura 3. Granulometría arena utilizada**



**Ensayo de contenido de materia orgánica:** Este ensayo se realizó mediante el método para determinar el contenido aproximado de materia orgánica en arenas usadas en la preparación de morteros y hormigones, descrito en la NTC 127. Se colocó una cantidad de arena (aproximadamente 130 cm<sup>3</sup>) en un frasco y se le agregó una solución de hidróxido de sodio, se tapó el frasco, se agitó vigorosamente y se dejó reposar por 24 horas. Después de este período se comparó el color de la solución normal de referencia (hidróxido de sodio) con la del líquido contenido en el frasco con arena. El color obtenido fue el mismo de la muestra de referencia, lo que indica: Contenido de Materia Orgánica = 0%.

**Ensayo de gravedades específicas, peso unitario, absorción y vacíos:** se utilizaron las Normas NTC 92 (Método para determinar la masa unitaria de los agregados) y NTC 237 (Método para determinar el peso específico y la absorción de los agregados).

**Cuadro 6. Gravedades específicas**

<b>GRAVEDADES ESPECIFICAS</b>				
<b>Datos</b>				
A	=	Peso del Frasco + Agua hasta la marca, en el aire	670	Gramos
B	=	Peso de la Muestra en condición S.S.S en el aire	500	Gramos
C	=	Peso de la Muestra, Frasco y Agua agregada hasta la marca, en el aire	970.8	Gramos
D	=	Peso de la Muestra secada al horno	493,7	Gramos
<b>CALCULOS</b>				
Gravedad especifica real .....	$\frac{D}{(A - C + D)}$	=	$\frac{493,7}{670 - 970.8 + 493,7}$	= 2,55
Gravedad especifica aparente .....	$\frac{D}{(A + B - C)}$	=	$\frac{493,7}{670+500-970.8}$	= 2,47
Gravedad especifica aparente .....	$\frac{B}{(A + B - C)}$	=	$\frac{500}{670 + 500 - 970,8}$	= 2,50 (E)
<b>PESO UNITARIO</b>				
<b>CALIBRACION DEL MEDIDOR</b>				
P1	=	Peso del Medidor + vidrio .....		Gramos
P2	=	Peso del Medidor + vidrio + agua .....		Gramos
V	=	Volumen del medidor .....	$\frac{(P2 - P1)}{1000}$	= 2835 dcm3
<b>DATOS</b>				
Pm	=	Peso del medidor vacio .....		2560
Pc	=	Peso del medidor + material S.S.S compactado .....		6594,6
Ps	=	Peso del medidor + material S.S.S suelto.....		6339
Peso unit. agreg.S.S.S compactado	$\frac{(Pc - Pm)}{V}$	=	$\frac{6594,6 - 2560}{2835}$	= 1423,0 Kg/m3 (F)
Peso unit. agreg.S.S.S suelto	$\frac{(Ps - Pm)}{V}$	=	$\frac{6339,3 - 2560}{2835}$	= 1333,0 Kg/m3
% de absorción	$\frac{(B - D) * 100}{D}$	=	$\frac{(500 - 493,7) * 100}{493,7}$	= 1,3 %
% de Vacios	$\frac{(E*1000 - F)}{E*10}$	=	$\frac{(2,5*1000) - 1423}{2,5 * 10}$	= 43,00 %

**Roca magnética.** El material magnético utilizado se redujo de tamaño a través de un molino de quijadas (figura 4) y posteriormente se paso por un molino de bandas (figura 5), se tamizó el material triturado para escoger un tamaño de partícula acorde con la estructura de un mortero, los tamaños escogidos fueron los retenidos en los tamices Nos. 16 (1,19 mm), 30 (0,595 mm) y 50 (0,297 mm). A este material en adelante se le denominará “agregado magnético”.

**Figura 4. Molino de quijadas**



**Figura 5. Molino de bandas**



## 2.2 DISEÑO DE MEZCLA

La dosificación utilizada en la presente investigación es 1:3 en peso, con un contenido de agua según la relación Agua / Cemento de 0.65 para alcanzar una fluidez correspondiente al estado plástico (100-120%).

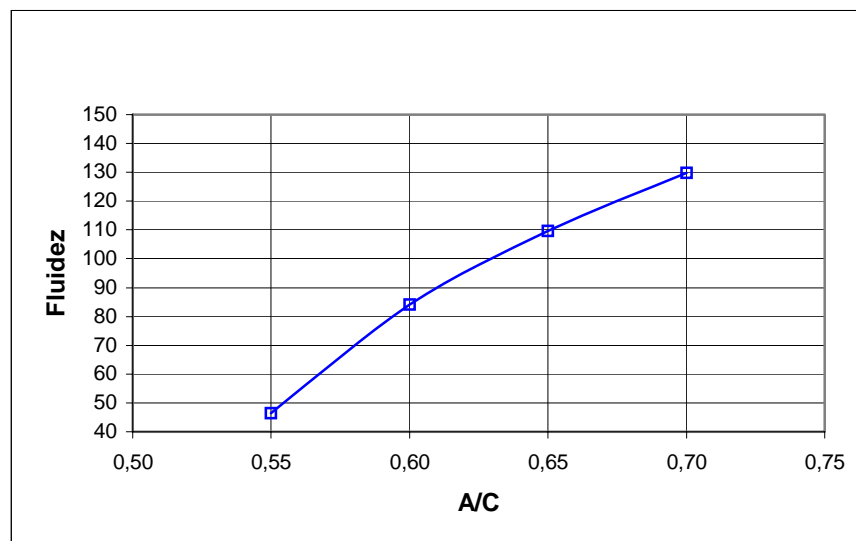
En el cuadro 7 se presenta la relación entre el % de fluidez y la relación a/c.

**Cuadro 7. Relación entre % de Fluidez y Relación A/C**

Relación A/C	Rayas	Diámetro	Fluidez (%)
0,55	10,82	148,74	46,40
0,60	20,23	186,98	84,04
0,65	26,61	212,91	109,56
0,70	31,65	233,40	129,72

Fuente: datos obtenidos experimentalmente en esta investigación

**Figura 6. Relación entre % de Fluidez y Relación A/C**



Las proporciones del mortero en peso son:

$$0.65: 1: 3 \text{ (A: C: F)}$$

Cálculo del contenido de cemento a partir de la siguiente expresión:

$$C = 1000 / ((1/G_c) + (n/G_A) + A/C)$$

Donde:

$$G_c = \text{Peso específico del cemento (2.9 gramos/cm}^3\text{)}$$

$$G_A = \text{Densidad Aparente seca de la arena (2.5 gramos/cm}^3\text{)}$$

$$n = \text{Proporción arena cemento (3)}$$

$$A/C = \text{Relación Agua / Cemento (0.65)}$$

Reemplazando se obtiene:

$$C = 1000 / ( (1/2.9) + (3/2.5) + 0.65 ) = 455.61 \text{ Kg.}$$

$$\text{Arena} = 3 * 455.61 = 1366.84 \text{ Kg.}$$

$$\text{Agua} = 0.65 * 455.61 = 296.14 \text{ Kg.}$$

Se obtienen entonces las siguientes cantidades de materiales necesarias (cuadro 8) para obtener 1 m<sup>3</sup> de mortero

#### **Cuadro 8. Contenido de materiales por metro cúbico**

<b>Material</b>	<b>Peso Seco (Kg)</b>	<b>Peso Especifico g/cc</b>	<b>Volumen (L)</b>
Cemento	455,61	2,9	157,11
Arena	1366,84	2,5	546,74
Agua	296,14	1	296,14
	2118,59		1000

Fuente: cantidades obtenidas según datos experimentales en esta investigación

Para la obtención de las proporciones de la mezcla con agregado magnético se reemplazará parte del agregado fino por este aditivo, cuyo peso específico es 2,99 gramos / cm<sup>3</sup>. Las proporciones a reemplazar son: 30, 50, 70, 100 % del volumen total de la arena por partículas de agregado magnético retenidas en los tamices No. 16, 30, y 50.

En los cuadros 9, 10, 11 y 12 se pueden observar las proporciones de las diferentes mezclas realizadas.

**Cuadro 9. Proporciones para mezclas de mortero con 30% de agregado magnético**

<b>Material</b>	<b>Peso Seco (Kg)</b>	<b>Peso Especifico g/cc</b>	<b>Volumen (L)</b>
Cemento	455,61	2,9	157,11
Arena	956,80	2,5	382,72
Magnetita	490,43	2,99	164,00
Agua	296,14	1	296,14
	2198,98		1000

Fuente: cantidades obtenidas según datos experimentales en esta investigación

**Cuadro 10. Proporciones para mezclas de mortero con 50% de agregado magnético**

<b>Material</b>	<b>Peso Seco (Kg)</b>	<b>Peso Especifico g/cc</b>	<b>Volumen (L)</b>
Cemento	455,61	2,9	157,11
Arena	683,43	2,5	273,37
Magnetita	817,38	2,99	273,37
Agua	296,14	1	296,14
	2252,56		1000

Fuente: cantidades obtenidas según datos experimentales en esta investigación

**Cuadro 11. Proporciones para mezclas de mortero con 70% de agregado magnético**

<b>Material</b>	<b>Peso Seco (Kg)</b>	<b>Peso Especifico g/cc</b>	<b>Volumen (L)</b>
Cemento	455,61	2,9	157,11
Arena	410,10	2,5	164,04
Magnetita	1144,33	2,99	382,72
Agua	296,14	1	296,14
	2306,18		1000

Fuente: cantidades obtenidas según datos experimentales en esta investigación

**Cuadro 12. Proporciones para mezclas de mortero con 100% de agregado magnético**

<b>Material</b>	<b>Peso Seco (Kg)</b>	<b>Peso Especifico g/cc</b>	<b>Volumen (L)</b>
Cemento	455,61	2,9	157,11
Magnetita	1634,75	2,99	546,74
Agua	296,14	1	296,14
	2386,5		1000

Fuente: cantidades obtenidas según datos experimentales en esta investigación

Se realizaron 13 tipos diferentes de mezcla (con diferentes tamaños y porcentajes de agregado) las cuales se presentan con su respectiva nomenclatura en el cuadro 13.

**Cuadro 13. Nomenclatura de las mezclas de mortero**

<b>Tamiz Retenido No.</b>	<b>Porcentaje Retenido</b>	<b>Nomenclatura</b>
	0	NORMAL
16	30	R16/30
	50	R16/50
	70	R16/70
	100	R16/100
30	30	R30/30
	50	R30/50
	70	R30/70
	100	R30/100
50	30	R50/30
	50	R50/50
	70	R50/70
	100	R50/100

NORMAL: mezcla de cemento, arena y agua

RNo.: El tamiz donde se retuvo la partícula utilizada

/No.: El porcentaje de agregado magnético

### **3. PRUEBAS DE LABORATORIO**

La etapa experimental de esta investigación comprende diversos ensayos que permiten la caracterización del mortero adicionado con agregado magnético frente a su comportamiento físico mecánico, y físico químico.

#### **Ensayos de laboratorio realizados:**

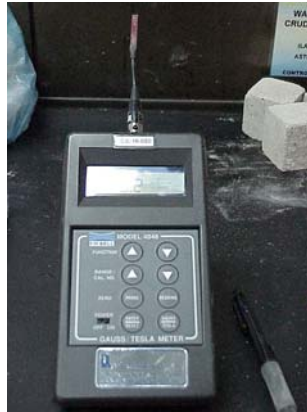
- Inducción remanente
- Adherencia
- Compresión
- Flexión
- Tracción
- Porosidad
- Permeabilidad
- Desgaste por sulfatos

#### **3.1 ENSAYO DE INDUCCIÓN REMANENTE**

Este ensayo mide la inducción remanente o remanencia, que es la fuerza de imantación que esta presente (debido al momento magnético total) o que permanece en un material que ha sido imantado hasta la saturación en un circuito cerrado.

El proceso experimental se llevó acabo con un gausimetro Yokogawa 3251.

**Figura 7. Gaussimetro Yokogawa**



### **3.2 ENSAYO DE ADHERENCIA**

En este ensayo se mide la fuerza necesaria para retirar (despegar) un imán de neodimio de un área de superficie de mortero magnético. Esta se lleva a cabo colgándole pesos al imán hasta que se despegue de dicha superficie.

**Figura 8. Montaje ensayo de adherencia**



### 3.3 ENSAYO DE COMPRESIÓN

Este ensayo mide el comportamiento del mortero de cemento hidráulico, bajo cargas de compresión.

Se emplearon probetas cúbicas de 50 mm de lado, las cuales fueron fundidas conforme a la norma NTC 220 (Determinación de la resistencia de morteros de cemento hidráulico usando cubos de 50 mm de lado). Los procesos de mezclado, preparación y almacenamiento de las probetas requeridos en esta norma se realizaron cuidadosamente para atender a sus requerimientos.

El procedimiento de ensayo de las probetas se realizó en la máquina universal de ensayos TREBEL (Figura 9), dentro de los rangos de velocidad y carga permitidas; en la evaluación de los resultados se tomó en cuenta las indicaciones complementarias de la misma norma en cuanto a los cubos defectuosos y sus correspondientes valores de aceptación.

La resistencia a compresión de los morteros se evaluó para 7, 14 y 28 días, debido a la gran influencia que poseen estas edades dentro de las diferentes propiedades del mortero y la gran importancia para la caracterización de una mezcla.

**Figura 9. Máquina universal de ensayos TREBEL**



### **3.4 ENSAYO DE FLEXIÓN**

Esta prueba determina la resistencia a la flexión de un mortero de cemento hidráulico.

Se emplearon probetas de una longitud de 16 cm y una sección cuadrada de 4 cm, las cuales fueron fundidas conforme a la norma NTC 120 (Método para determinar la resistencia a la flexión de morteros de cemento hidráulico), empleando los accesorios correspondientes, tales como molde, compactador, guías del compactador, etc.

Los procesos de mezclado, preparación y almacenamiento de las probetas requeridos en esta norma se realizaron cuidadosamente para atender a sus requerimientos.

El procedimiento de ensayo de las probetas se realizó en la máquina universal de ensayos TREBEL (Figura 9), dentro de los rangos de velocidad y carga permitidos; debido a la dificultad en la consecución del dispositivo para el apoyo de las probetas en el momento de la aplicación de la carga, recomendado por la norma, éste fue reemplazado por un montaje realizado con materiales encontrados en el laboratorio, y que cumple plenamente con la función deseada (Figura 10); en la evaluación de los resultados se debieron tomar en cuenta las indicaciones complementarias de la misma norma en cuanto a las probetas defectuosas y sus correspondientes valores de aceptación.

**Figura 10. Montaje ensayo de flexión**



Debido a que no se cuenta con suficientes moldes para la realización de este ensayo, y ante una evaluación de sus cambios a lo largo del tiempo, se consideró que esta prueba se puede evaluar para 28 días únicamente, tiempo para el cual obtendremos los valores definitivos y deseados.

### **3.5 ENSAYO DE TRACCIÓN**

Este ensayo determina el comportamiento del mortero de cemento hidráulico, bajo cargas de tensión.

Las probetas utilizadas en este ensayo se deben fundir de acuerdo a la norma NTC 119 (Método para determinar la resistencia a la tensión de morteros de cemento hidráulico).

La cantidad de agua empleada debe ser conforme a la norma, modificando el diseño escogido; de otra forma se alteraría la consistencia de las probetas, haciendo imposible el llenado de los moldes y su posterior compactación. Dicha cantidad de agua se selecciona a partir de las proporciones de cemento y arena utilizada, y el porcentaje de agua necesario para producir una pasta de cemento de consistencia normal.

Los procesos de mezclado, preparación y almacenamiento de las probetas requeridos en esta norma se realizaron cuidadosamente para atender a sus requerimientos.

El procedimiento de ensayo de las probetas se realizó en la máquina universal de ensayos TREBEL (Figura 9), siendo adaptada a las correspondientes exigencias de la norma NTC 119 cumpliendo los requerimientos necesarios para tal fin y dentro de los rangos de velocidad y carga permitidos; en la evaluación de los resultados se tomó en cuenta las indicaciones complementarias de la misma norma en cuanto al tratamiento de las probetas y su selección.

Esta propiedad de los morteros se evaluó para 7,14 y 28 días, siendo las edades más representativas para observar su comportamiento.

La figura 11 ilustra el montaje del ensayo de tracción.

**Figura 11. Montaje ensayo de tracción**



### **3.6 ENSAYO DE POROSIDAD**

Esta prueba permite determinar la porosidad de muestras de morteros empleando el porosímetro de campo Ruska (figura 12).

**Figura 12. Porosímetro de Campo Ruska**



**Principio del Método:** Esta práctica se basa en la ley de Boyle para determinar la porosidad. Las medidas obtenidas son valores de porosidad efectiva. La determinación de la porosidad consiste en la medida del volumen de sólidos o granos de la muestra seguida por una medida del volumen total de la muestra.

Los equipos, elementos y accesorios empleados fueron: Porosímetro de campo Ruska, frasco con mercurio, picnómetro y vasija metálica, guantes profilácticos y muestras de mortero previamente preparadas y reseñadas.

**Procedimiento Experimental:**

- Se fabricaron probetas cúbicas de 5 cm de lado y se sometieron a un curado de 28 días. De cada cubo se cortaron tres probetas cúbicas de 2 cm de lado, previo descarte de la parte superior e inferior de la probeta.
- Quitar la copa del manómetro y llenar el pozo con unas pocas gotas de mercurio triple destilado y ajustar nuevamente el manómetro.
- Chequear que el porosímetro esté en buenas condiciones de operación (que no haya fugas en el sistema al colocar presión).

- Seleccionar la copa más pequeña que pueda alojar la muestra y ajustarla vacía al porosímetro.
- Con la válvula de descarga abierta llevar el pistón un poco más atrás de la posición de operación. Cada copa tiene su propia posición de inicio según sea: copa pequeña: 150, copa media: 250, copa grande: 400.
- Llevar el mecanismo del pistón hacia delante hasta su posición de inicio y no retroceder para evitar el backlash.
- Cerrar la válvula de descarga y llevar el pistón hacia delante hasta que la lectura de la manga micrométrica sea cero (0). El nivel de mercurio alcanzado es tomado como referencia: lleve la marca del nivel hasta este punto.
- Abrir la válvula de alivio suavemente antes de llevar el pistón un poco más atrás de su respectiva posición de inicio.
- Colocar el corazón o muestra dentro de la copa ajustada a cero y anclarla al bloque del manifold.
- Con la válvula de alivio abierta llevar el pistón hacia delante hasta su posición de inicio correspondiente, sin retroceder. (Todas las lecturas durante la operación se deben hacer con el pistón moviéndose hacia delante para evitar el efecto backlash y el ajuste a cero debe repetirse para cada copa y ocasionalmente durante la operación del instrumento).
- Cerrar la válvula de alivio y llevar el pistón suavemente hacia delante hasta alcanzar el nivel de mercurio de referencia anterior, se debe registrar la

medida del micrómetro como  $R_{core}$  que es proporcional al volumen de sólidos de la muestra. Abrir la válvula de alivio y retirar la copa del manifold.

- Colocar el picnómetro dentro de la vasija y llenarlo de mercurio. Luego se introduce la muestra dentro del picnómetro y se mide el volumen bruto de la muestra. El volumen de mercurio recogido de la vasija (desalojado del picnómetro) se lleva a la respectiva copa usada para obtener el  $R_{core}$  y se ajusta la copa al bloque del manifold.
- Se repiten los pasos anteriores y se obtiene un estimativo proporcional al volumen de mercurio en la copa, el volumen bruto de la muestra se designa como  $R_{Hg}^1$

### 3.7 ENSAYO DE PERMEABILIDAD

Este ensayo permite determinar la permeabilidad de morteros, mediante la utilización del permeámetro de gas Ruska (figura 13)

**Figura 13. Permeámetro de Gas Ruska**



**Principio del Método:** La permeabilidad al gas de una muestra de mortero se determina con base en la ley de Darcy (flujo de fluidos), midiendo en un

---

<sup>1</sup> Manual de rocas y fluidos. Bucaramanga: Escuela de Ingeniería de Petróleos UIS.

rotámetro la tasa de flujo de un gas que se hace pasar a través de la muestra bajo un gradiente de presión. El gas a utilizar es de viscosidad conocida.

El valor de permeabilidad que se determina en este equipo es de permeabilidad absoluta. La permeabilidad se calcula utilizando el caudal de gas que pasa a través del núcleo, las dimensiones del mismo, el gradiente de presión y la viscosidad del gas.

Los equipos, elementos y accesorios empleados fueron: Permeámetro de gas Ruska con todos sus accesorios y muestras de mortero previamente preparadas y reseñadas.

#### **Procedimiento Experimental:**

- Se fabricaron 3 probetas cúbicas de 5 cm de lado y se sometieron a un curado de 28 días por cada tipo de mortero. De cada cubo se cortó una probeta cilíndricas de 1 1/2 pulgada de diámetro y de 1 1/2 pulgada de altura, previo descarte de la parte superior e inferior de la probeta (Foto 10).
- Colocar la muestra en el receptor de caucho adecuado (el más preciso), insertar en la copa y ajustar en el permeámetro.
- Se debe comenzar por probar la posición de “large” de la válvula selectora del flowmeter y fijar una presión de 0.25 atmósferas en el manómetro. Si el flotador se encuentra en el rango de lectura entre 20 y 140 divisiones, tomar la lectura estimando el centro del flotador suspendido; de lo contrario probar la posición “medium” y fijar una presión de 0.50 atmósferas, verificar si se puede tomar la lectura, de lo contrario probar la siguiente posición "small", fijando para esta una presión de 1 atmósfera y tomar la lectura.

- Cerrar la válvula reguladora y retirar la muestra<sup>2</sup> .

**Figura 14. Probetas utilizadas para los ensayos de permeabilidad y porosidad**



### **3.8 ENSAYO DE SOLIDEZ BAJO LA ACCIÓN DE SULFATOS**

Este ensayo permite determinar la resistencia a la desintegración de los agregados y la solidez ante cambios de temperatura, por la acción de soluciones saturadas de sulfatos (de sodio o de magnesio), simulando el probable desgaste al que pueden presentar las estructuras de morteros y hormigones en presencia de diferentes condiciones ambientales y ataques físico químicos. Norma INVÍAS 713, ASTM C88.

Los equipos, elementos y accesorios empleados fueron: Horno, balanza con aproximación de 0.1g., malla de material sintético, sulfato de sodio.

---

<sup>2</sup> Ibid.

### **Procedimiento Experimental:**

- Las probetas utilizadas fueron cubos de 5 cm de lado, curados durante un período de 28 días. Por cada tipo de mortero se tomaron dos especímenes, para un total de 20 probetas.
- La solución saturada de sulfato de sodio se prepara disolviendo 350 g. de sal anhidra por litro de agua y se deben añadir a intervalos de tiempo de tal manera que permitan diluir la cantidad de sulfato agregada al agua, sin quedar cristales en la solución. Se debe dejar en reposo por 48 horas.
- Las muestras se colocan sobre la malla, se marcan y se sumergen en la solución de sulfato de sodio, durante un período no menor de 16 horas ni mayor de 18 horas. El recipiente se debe cubrir para evitar la evaporación y la contaminación de sustancias externas.
- Después del período de inmersión se sacan las muestras de la solución, se dejan escurrir durante  $15 \pm 5$  minutos y se introducen en el horno a una temperatura de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$  hasta obtener peso constante.
- Se sumergen de nuevo las muestras en la solución y se repite el procedimiento durante 7 días. Al finalizar los ciclos se deben lavar las probetas para retirar los residuos de sulfatos y se deben llevar al horno hasta obtener peso constante.

**Figura 15. Montaje ensayo de solidez a sulfatos**



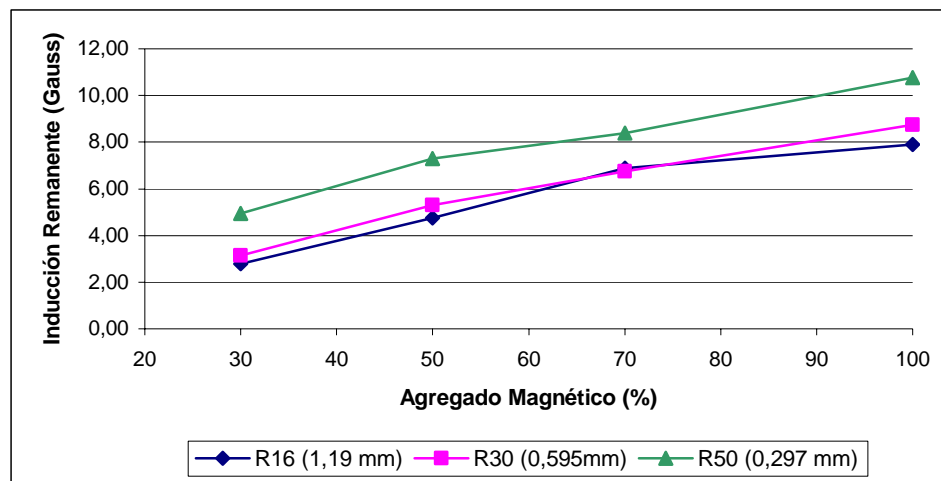
## 4. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 4.1 INDUCCIÓN REMANENTE

Para analizar la inducción remanente en morteros con agregado magnético, se usaron 3 muestras por cada tipo de mortero.

Los resultados de este ensayo se expresan en gauss (G), y se midieron en un gausímetro Yokogawa (anexo c).

**Figura 16. Variación de la inducción remanente con respecto a los diferentes tamaños e incremento en los porcentajes de agregado magnético**



Analizando la figura 16, se puede concluir que a medida que disminuye el tamaño de partícula y aumenta los porcentajes de agregado magnético

aumenta la inductancia. Presentando una mejor capacidad a dicha propiedad la mezcla de mortero R50/100.

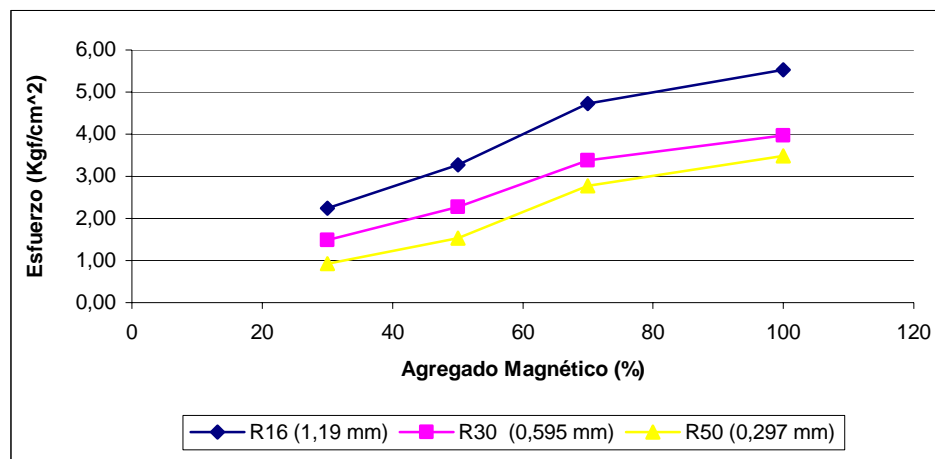
#### 4.2 ENSAYO DE ADHERENCIA

Se determinó cuanto peso soportaba un imán de neodimio en un área de contacto de mortero magnético.

Para analizar la adherencia en morteros con agregado magnético, se usaron 3 muestras por cada tipo de mortero (anexo d).

La figura 17 ilustra los esfuerzos requeridos para separar el imán del mortero en cada uno de los casos.

**Figura 17. Esfuerzo vs. porcentaje de agregado magnético**



En la figura 17 se observa que a medida que aumenta el tamaño y la proporción de agregado magnético el esfuerzo para separar el imán del área de contacto sobre el mortero se hace más grande, debido a que el campo magnético se hace más grande con las proporciones y tamaños, mostrando un mejor comportamiento la mezcla R16/100.

### 4.3 ENSAYO DE COMPRESIÓN

Para analizar la resistencia a compresión en morteros con adiciones de agregado magnético, se fabricaron 5 probetas por cada tipo de mezcla y para cada período de curado: 7, 14, y 28 días, para un total de 195 probetas ensayadas.

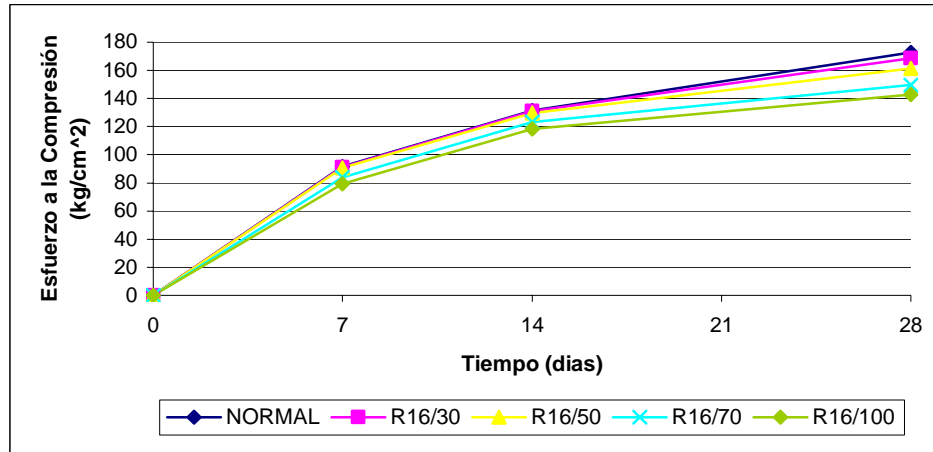
Los resultados de este ensayo (anexo e) se expresarán en unidades de esfuerzo ( $\text{Kg}/\text{cm}^2$ ), calculándolos de la ecuación  $\delta = F / A$ , donde,  $\delta$  es el esfuerzo en el mortero, F es la fuerza aplicada y A es el área de la probeta en estudio,  $25\text{ cm}^2$ , correspondiente a cubos de 5 cm de lado.

Las líneas de falla generadas en las probetas, se presentan a través de planos inclinados respecto del eje de aplicación de la carga (eje y); esta inclinación se debe a la restricción de movimiento en el sentido perpendicular a la carga (eje x), en las placas de apoyo.

**Figura 18. Probetas de compresión falladas**



**Figura 19. Resistencia a la compresión vs. tiempo de las mezclas de mortero para el tamaño 1,19 mm ( R16)**



**Figura 20. Resistencia a la compresión vs. tiempo para el tamaño 0,595 mm (R30)**

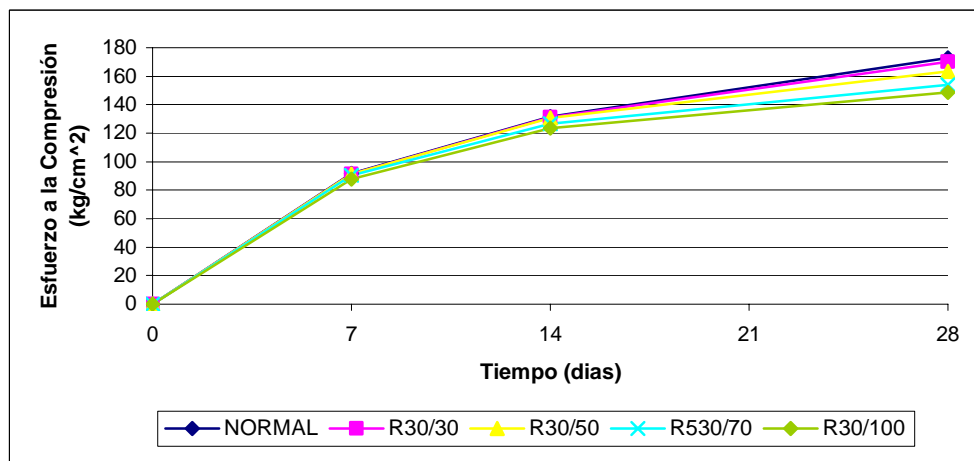


Figura 21. Resistencia a la compresión vs. tiempo para el tamaño 0,297 mm (R50)

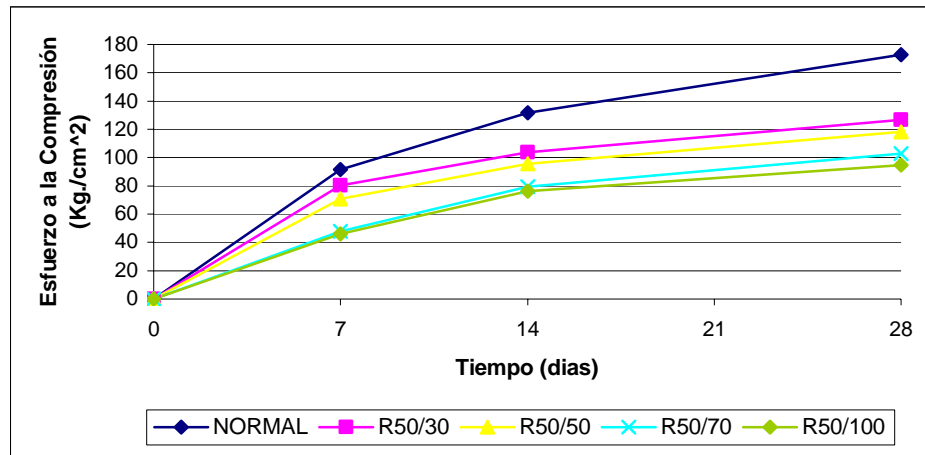
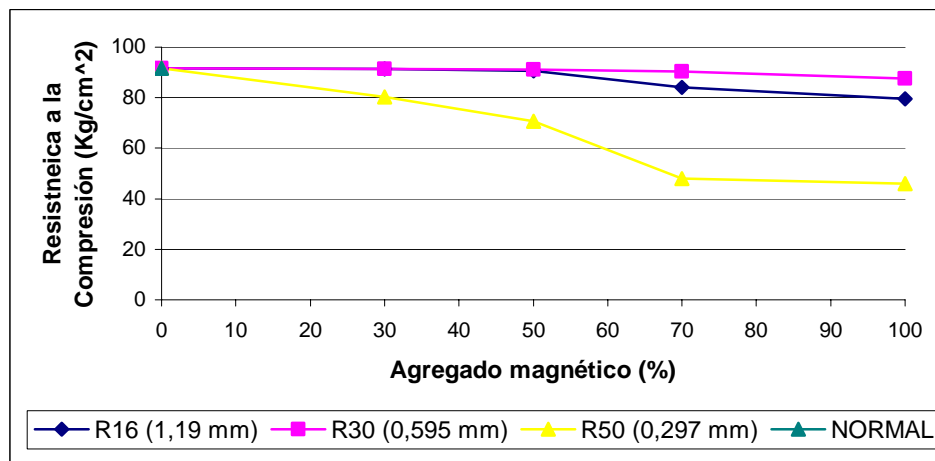
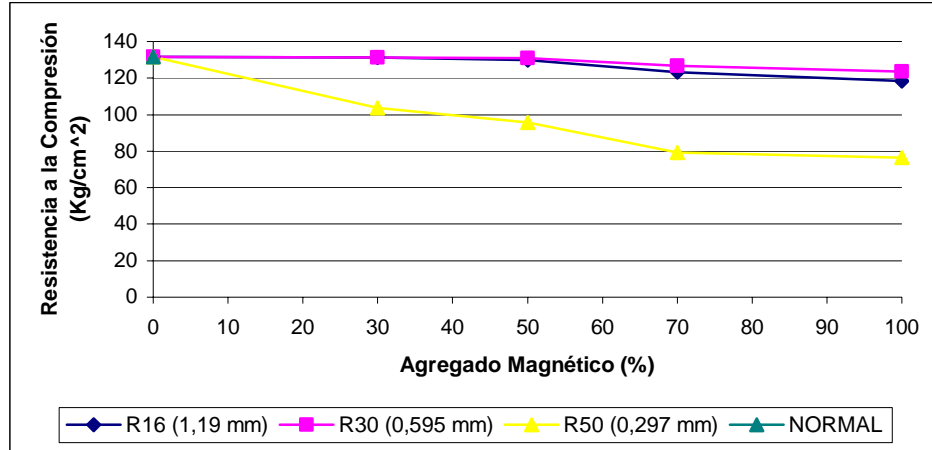


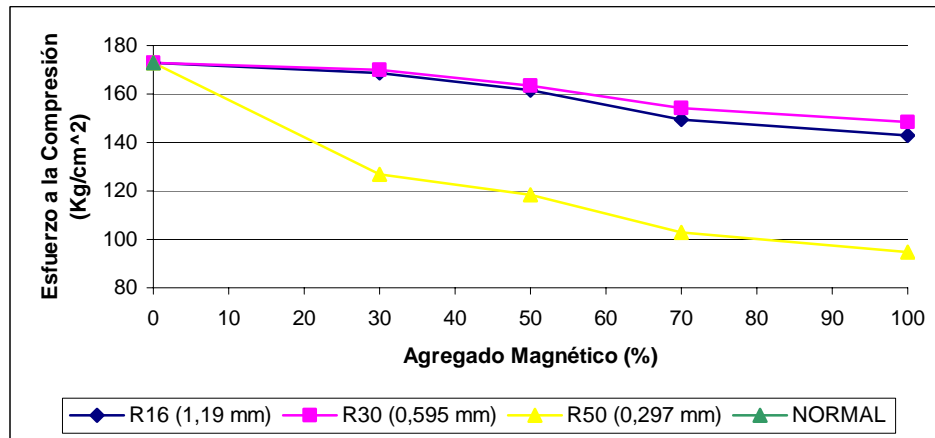
Figura 22. Resistencia a la compresión vs. contenido de agregado magnético a los 7 días



**Figura 23. Resistencia a la compresión vs. contenido de material magnético a los 14 días**



**Figura 24. Resistencia a la compresión vs. contenido de agregado magnético a los 28 días**

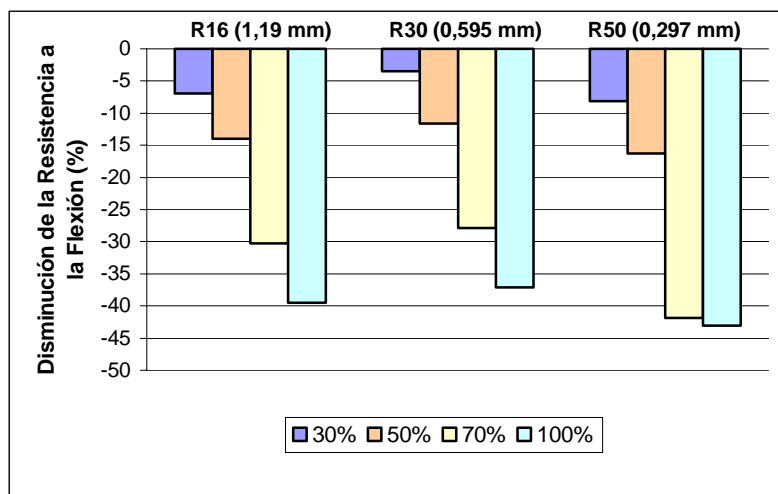


Analizando las gráficas 19 a 24, se puede concluir que para los tamaños de partícula retenidos en el tamiz No.16 y el tamiz No. R30 con contenido de agregado magnético 30% y 50% el comportamiento a la compresión es muy cercano a el de el mortero normal; para porcentajes del 70% y 100% la

disminución en esta propiedad se hace más notoria, comportándose las mezclas de mortero con partículas retenidas en el tamiz No. 30 ya que por su tamaño y forma redondeadas presentan una mejor distribución dentro de la matriz dejando menos espacios vacíos. En el tamaño de partícula retenida en el tamiz No.50 se observa un aumento considerable en la disminución a la compresión con relación a los anteriores tamaños ya que este tamaño ocasiona una mayor aglomeración de partículas en la matriz de mortero haciendo que esta se vuelva más frágil.

El esfuerzo a la compresión para la mezcla de mortero normal, sin adición de agregado magnético, a los 28 días fue de 172,96 kg/cm<sup>2</sup>; para la mezcla de mortero R30/30, la cual presentó el mayor esfuerzo a compresión con respecto a los demás tipos de mortero, fue de 170,08 kg/cm<sup>2</sup>, representando un 98,33% de la resistencia normal, es decir disminuyó un 1,67%. En la figura 25, se puede observar la disminución de la resistencia a la compresión para los diferentes tipos de mortero con adiciones de agregado magnético con respecto al mortero normal.

**Figura 25. Disminución de la resistencia a la compresión a los 28 días de los diferentes tipos de mortero con agregado magnético respecto al mortero normal.**



#### 4.4 ENSAYO DE FLEXIÓN

Para evaluar la resistencia a la flexión en morteros con adiciones de agregado magnético, se fabricaron 3 probetas por cada tipo de muestra y para un período de curado de 28 días (debido a la escasez de moldes), para un total de 39 probetas ensayadas.

Los resultados de este ensayo (anexo f) se expresarán en unidades de esfuerzo ( $\text{Kg}/\text{cm}^2$ ); el valor de resistencia responde al comportamiento de una viga simplemente apoyada con una carga central y se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\delta = (3 * F * L) / (2 * a^3)$$

donde:  $\delta$  : Resistencia a flexión ( $\text{Kg}/\text{cm}^2$ )

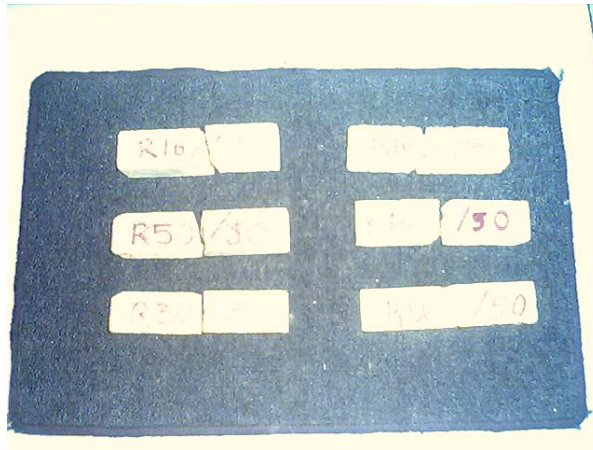
F: Fuerza aplicada al sistema ( Kg )

L: Longitud Efectiva entre apoyos ( 12 cm )

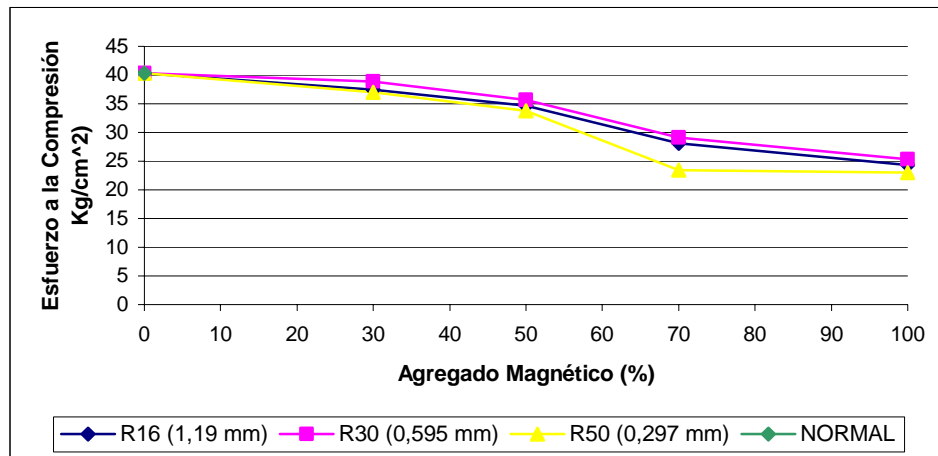
a: Longitud del lado de sección transversal de la viga ( 4 cm )

La falla de este elemento se realiza por el momento al que se somete la sección transversal del elemento generándose tracción en las fibras exteriores y opuestas a la aplicación de la carga, y su posterior rompimiento siguiendo la línea de falla que se muestra en la figura 26.

**Figura 26. Falla probetas a flexión**



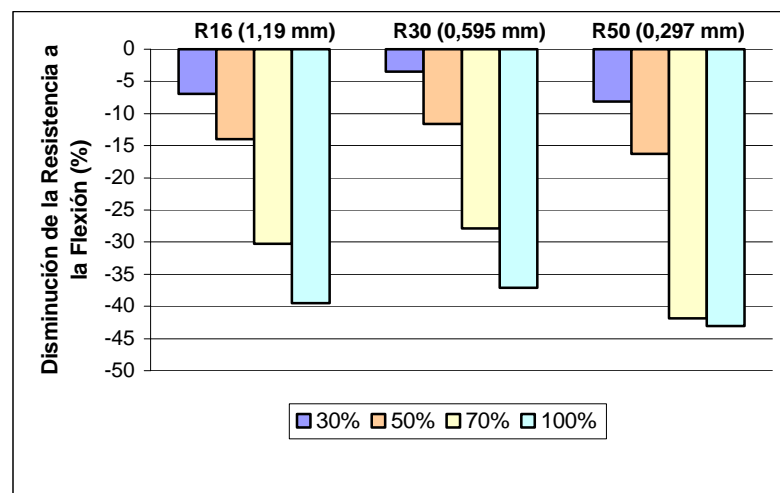
**Figura 27. Resistencia a la flexión a los 28 días para los diferentes tipos de motero**



Analizando la figura 27 se puede observar que a medida que aumenta el contenido de agregado magnético en las mezclas de morteros para los diferentes tamaños de partícula, disminuye el esfuerzo a la flexión, presentando la mayor resistencia las mezclas de mortero con adición de partículas de material magnético retenidas en el tamiz No.30.

El esfuerzo a la flexión para la mezcla de mortero normal, sin adición de agregado magnético, a los 28 días fue de 40,31 kg/cm<sup>2</sup>; para la mezcla de mortero R30/30, la cual presentó el mayor esfuerzo a flexión con respecto a los demás tipos de mortero, fue de 38,91 kg/cm<sup>2</sup>, representando un 96,53% de la resistencia del mortero normal, es decir una disminución del 3,47%. En la figura 28 se puede observar la disminución de la resistencia a la compresión para los diferentes tipos de mortero con adiciones de agregado magnético con respecto al mortero normal

**Figura 28. Disminución de la resistencia a la flexión a los 28 días**



#### 4.5 ENSAYO DE TRACCIÓN

Para evaluar la resistencia a la tracción en morteros con adiciones de agregado magnético, se fabricaron 5 probetas por cada tipo de muestra y para cada período de curado: 7, 14, y 28 días, para un total de 195 probetas ensayadas.

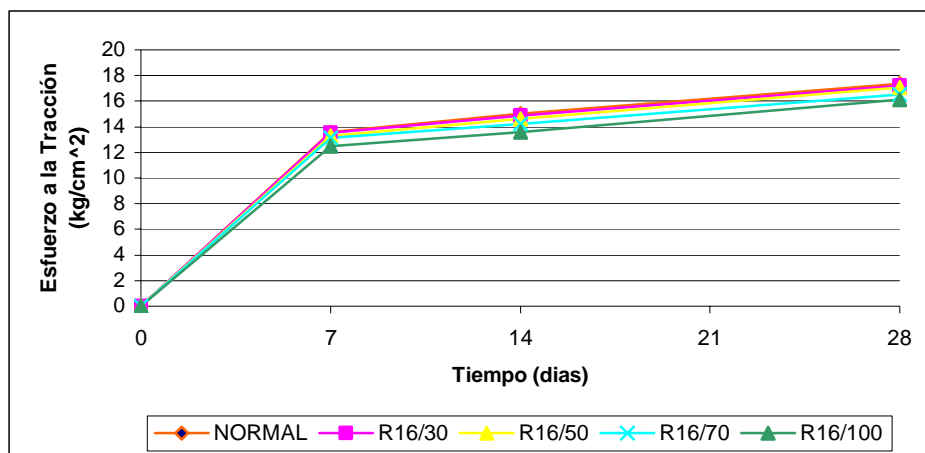
Los resultados de este ensayo (anexo g) se expresarán en unidades de esfuerzo ( $\text{Kg./ cm}^2$ ), calculándolos de la ecuación  $\delta = F / A$ , donde,  $\delta$  es el esfuerzo en el mortero, F es la fuerza aplicada y A es el área de la sección transversal de la probeta en estudio,  $6.25 \text{ cm}^2$ .

El tipo de falla generado es característico de un sistema sometido a esfuerzos de tracción, donde se presenta una línea de falla perpendicular a la línea de aplicación de la carga ( figura 29).

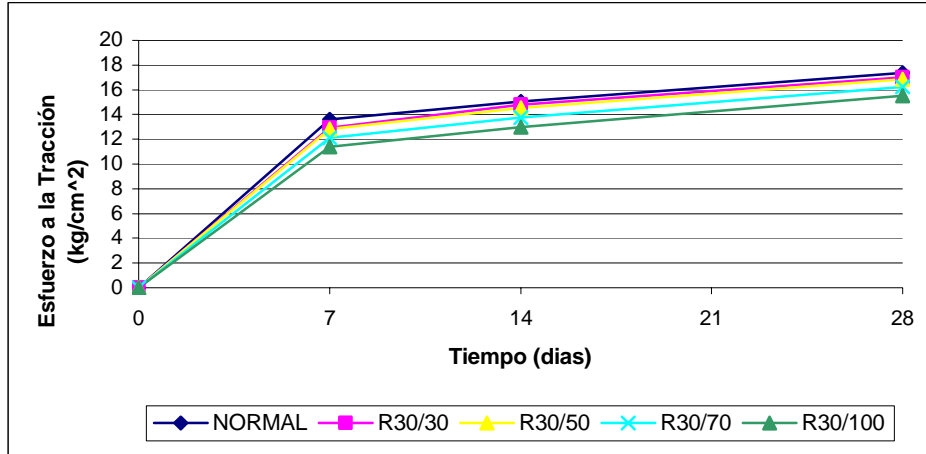
**Figura 29. Falla de las probetas de tracción**



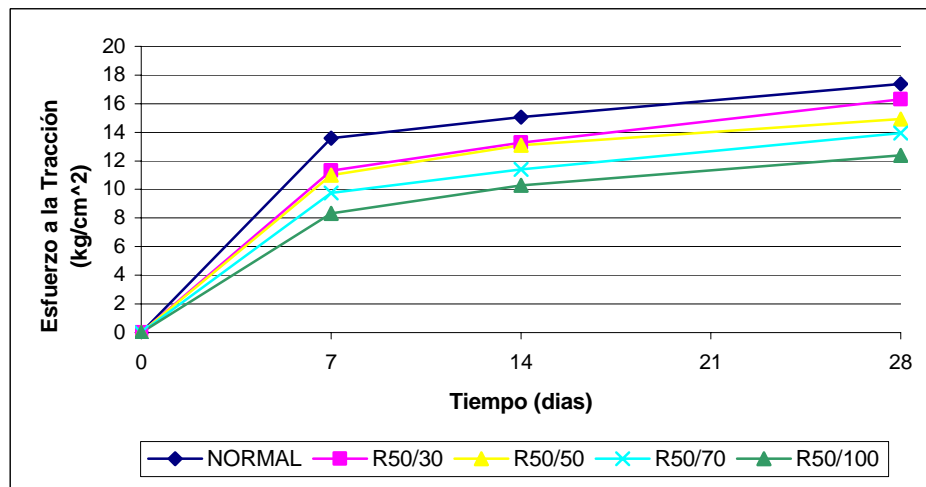
**Figura 30. Resistencia a la tracción vs. tiempo para el tamaño 1,19 mm (R16)**



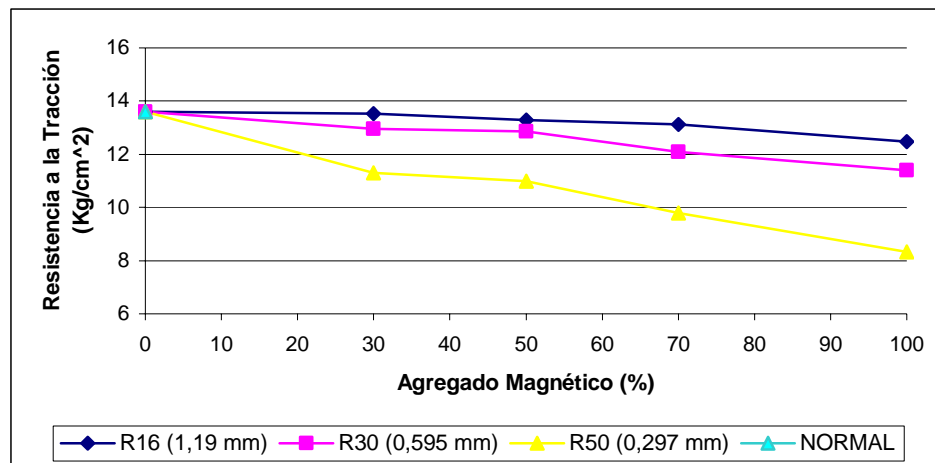
**Figura 31. Resistencia a la tracción vs. tiempo para el tamaño 0,595 mm (R30)**



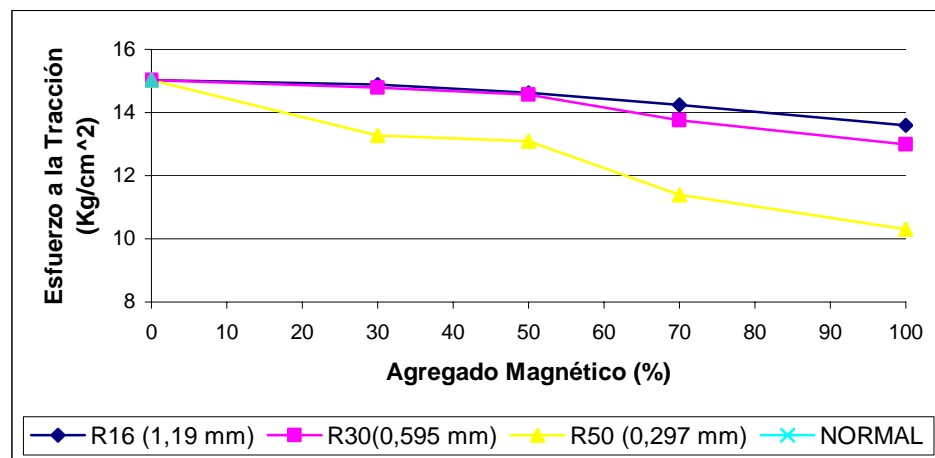
**Figura 32. Resistencia a la tracción vs. tiempo para el tamaño 0,297 mm (R50)**



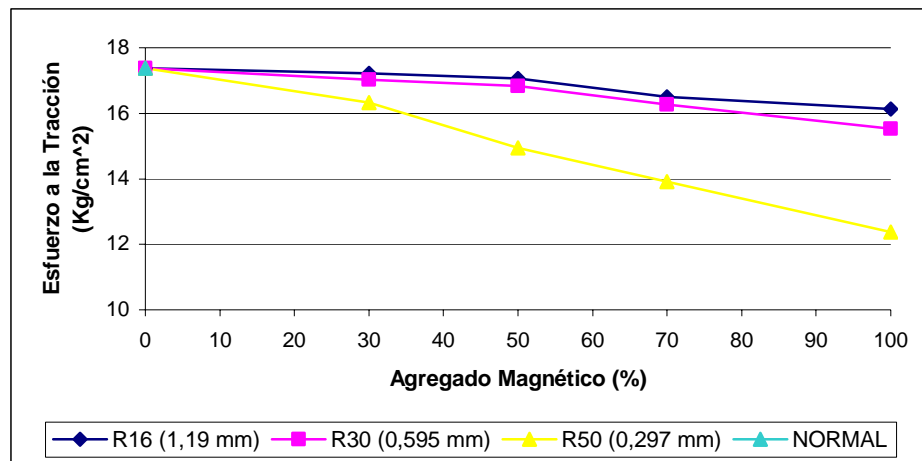
**Figura 33. Resistencia a la tracción a los 7 días vs. contenido de agregado magnético**



**Figura 34. Resistencia a la tracción a los 14 días vs. contenido de agregado magnético**



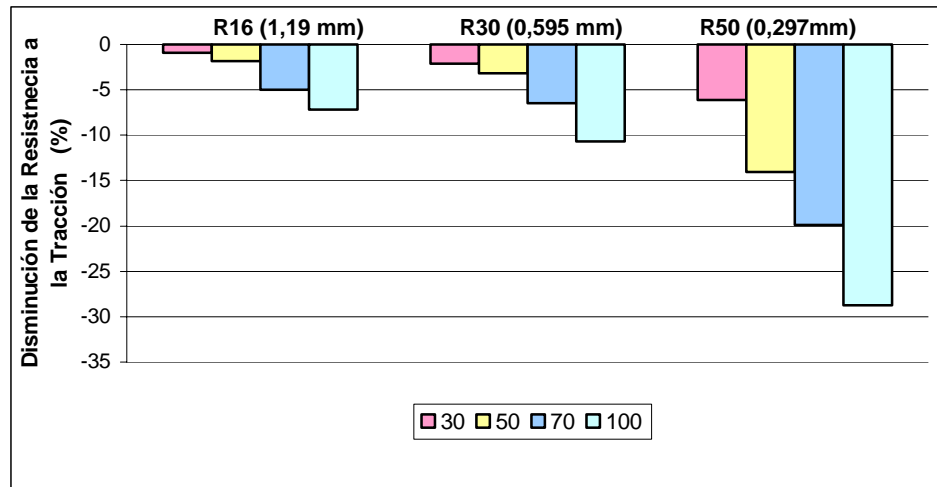
**Figura 35. Resistencia a la tracción a los 28 días vs. contenido de agregado magnético**



Analizando las figuras 30 a 32, se observa que presentan mejor comportamiento de la resistencia a la tracción los morteros con aditivo de agregado magnético, retenidos en los tamices No. 16 y No. 30, esto es debido a que las partículas retenidas en estos tamices tienden a ser fibras alargadas, logrando reforzar el plano de falla del material. En las figuras 33,34 y 35, se puede concluir que a medida que aumenta el contenido de agregado magnético en las mezclas de morteros, disminuye el esfuerzo a la tracción.

El esfuerzo a la tracción para la mezcla de mortero normal, sin adición de agregado magnético, a los 28 días fue de  $17.32 \text{ kg/cm}^2$ ; para la mezcla de mortero R16/30, la cual presentó el mayor esfuerzo a tracción con respecto a los demás tipos de mortero, fue de  $17.22 \text{ kg/cm}^2$ , representando un 99,08 % de la resistencia normal, es decir disminuyó en 0,92%. En la figura 36 se puede observar la disminución de la resistencia a la compresión para los diferentes tipos de mortero con adiciones de agregado magnético con respecto al mortero normal.

**Figura 36. Disminución de la resistencia a la tracción a los 28 días**



#### 4.6 ENSAYO DE POROSIDAD

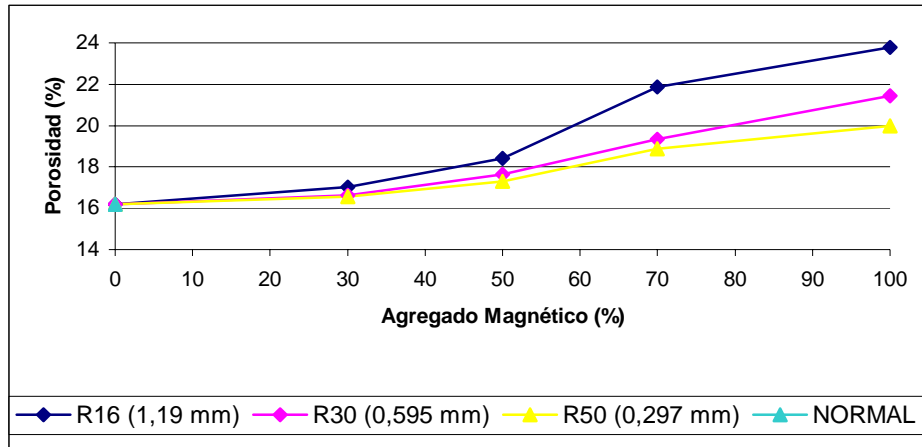
El Porosímetro de campo Ruska mide volúmenes del desplazamiento del pistón que corresponden al volumen de sólidos o granos de la muestra, y el volumen total de la muestra; posteriormente estas medidas son convertidas a  $\text{cm}^3$  usando curvas de calibración.

Después de convertir las lecturas de Rcore y RHg a  $\text{cm}^3$  (anexo h), se aplica la siguiente fórmula para calcular el porcentaje de porosidad de cada muestra:

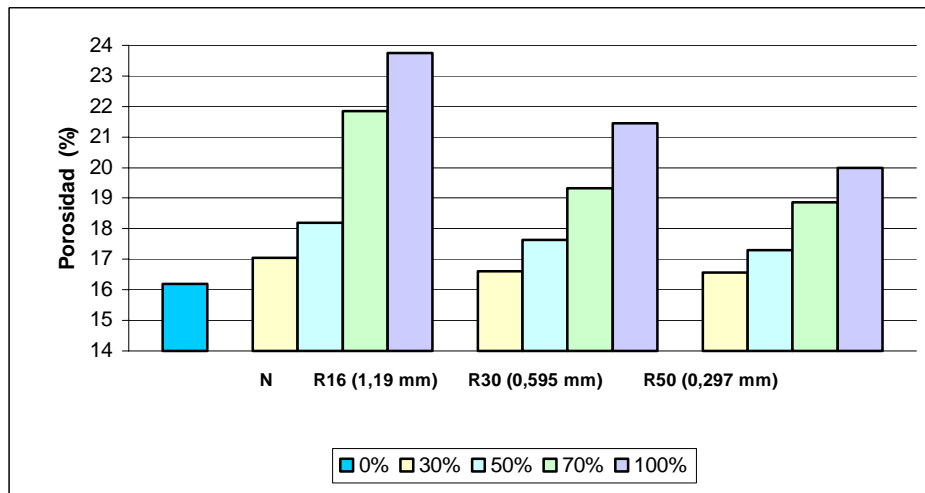
$$\text{Porosidad (\%)} = (1 - (\text{Rcore} / \text{RHg})) * 100$$

Se trazaron las figuras 37 y 38 para analizar el comportamiento de las mezclas ante este fenómeno.

**Figura 37. Valores de porosidad vs. porcentaje de agregado magnético**



**Figura 38. Valores de porosidad para cada uno de los tipos de mortero**

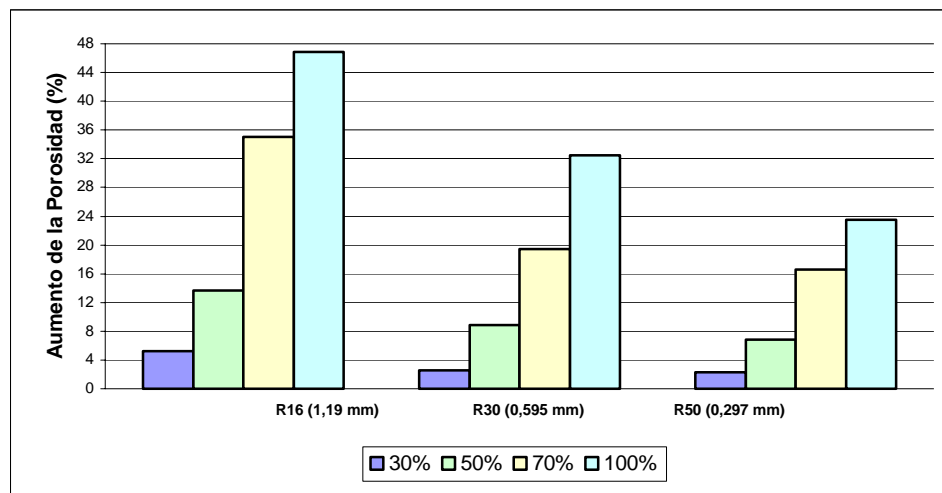


Al analizar las figuras 37 y 38 se puede concluir que a medida que aumenta el contenido de agregado magnético en las mezclas de morteros, aumenta la

porosidad. Se nota un especial aumento de la porosidad en la mezcla de mortero con agregado magnético retenida en el tamiz No. 16, esto es debido a que las partículas son más alargadas. El tamaño de partícula retenido en el tamiz No. 50 presenta un mejor comportamiento en esta propiedad en relación a los tamaños de partícula retenidos en los tamices No. 16 y No. 30.

El porcentaje de porosidad para la mezcla de mortero normal fue de 16,19%, para la mezcla de mortero R50/30, la cual presentó el menor grado de porosidad con respecto a los demás tipos de mortero, fue de 16.56%, representando un aumento del 2,28%. En la figura 39 se puede observar el aumento de la porosidad para los diferentes tipos de mortero con agregado magnético con respecto al mortero normal.

**Figura 39. Porcentaje de aumento de la porosidad de los morteros con agregado magnético en relación con el mortero normal**



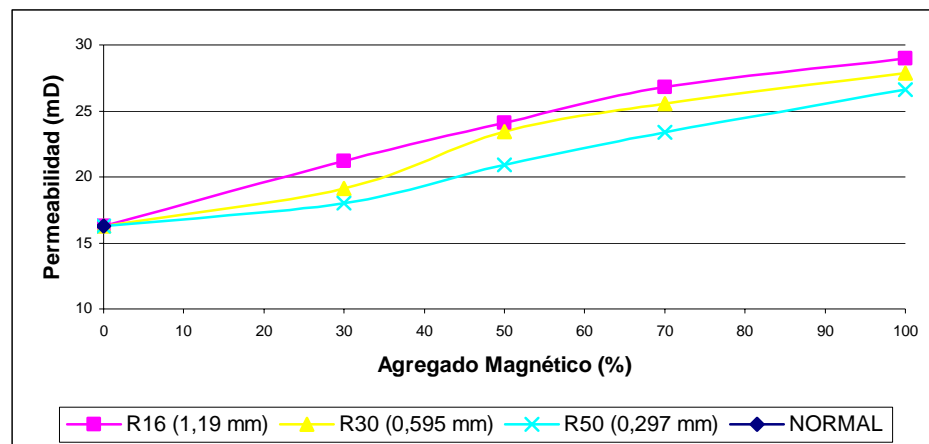
#### 4.7 ENSAYO DE PERMEABILIDAD

La permeabilidad obtenida mediante el Permeámetro de gas Ruska se calculó utilizando el caudal de gas que pasa a través del núcleo, el gradiente de presión, la viscosidad del gas y las dimensiones de la probeta (anexo i).

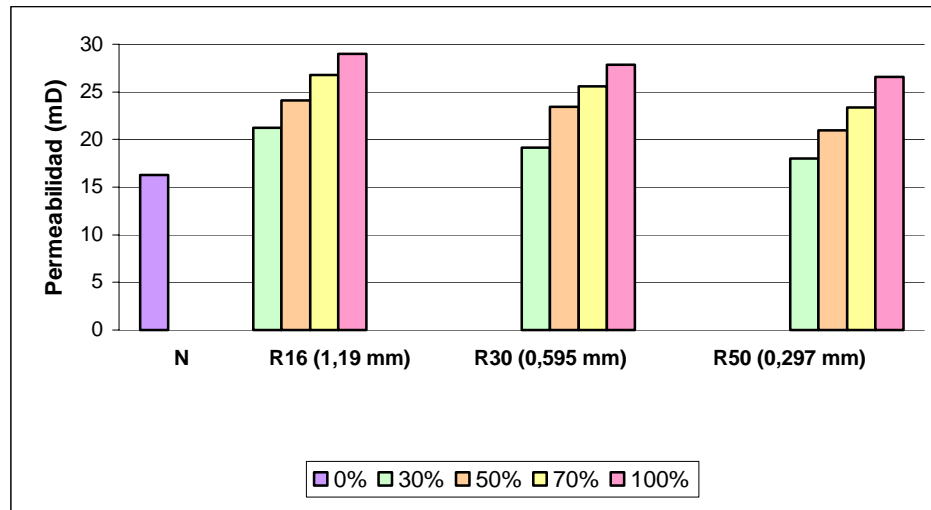
La viscosidad del gas (centipoises,  $\mu$ ) se obtiene a partir de la temperatura ambiente al momento de analizar la muestra. Con las lecturas flowmeter, Rf, y la escala de flowmeter (S, M, o L) se obtienen los datos de la Tasa promedio de flujo, Q (cm/seg), mediante gráficos de conversión; estos valores y junto con los datos de gradiente de presión P(atm), área de la sección transversal de la muestra, A (cm<sup>2</sup>), y longitud de la muestra, L (cm), procedemos a hallar la permeabilidad (milidarcys) utilizando la siguiente expresión:

$$K = \frac{\mu \times Q \times L}{A \times P} \text{ (mD)}$$

**Figura 40. Valores de permeabilidad vs. contenido de agregado magnético**



**Figura 41. Valores de permeabilidad de los diferentes tipos de mortero**



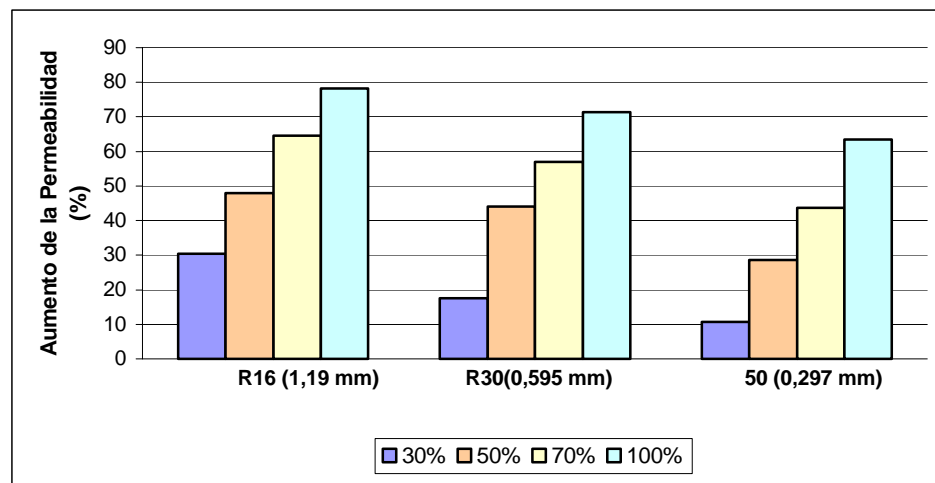
Al analizar las figuras 40 y 41 se encontró que de manera similar como en los ensayos de porosidad, a medida que aumenta el contenido de agregado magnético en las mezclas de morteros aumenta la permeabilidad, especialmente en la mezcla con tamaño retenido en el tamiz No.16 ya que el paso de fluidos a través del material es función de la porosidad total del mismo; además del diámetro de los poros, su distribución y su continuidad.

Se aprecia que al disminuir el tamaño del aditivo de agregado magnético al tamiz No. 50 el material se hace menos permeable en relación con los tamices No. 16 y No. 30. Este comportamiento es debido a que al disminuir el tamaño de las partículas de agregado magnético redondeadas y uniformes permiten eliminar los poros naturales de la mezcla en la estructura de la matriz del mortero ocasionando menor permeabilidad.

El porcentaje de permeabilidad para la mezcla de mortero normal fue de 16,28%, para la mezcla de mortero R50/30, la cual presentó el menor grado de permeabilidad con respecto a los demás tipos de mortero, fue de 18,02%,

representando un aumento del 10,7%. En la figura 42 se puede observar el aumento de la permeabilidad para los diferentes tipos de mortero con agregado magnético con respecto al mortero normal.

**Figura 42. Porcentaje de variación de la permeabilidad**



#### 4.8 ENSAYO DE SOLIDEZ BAJO LA ACCIÓN DE SULFATOS

Mediante este método se puede obtener información útil para juzgar la calidad de los materiales que han de estar sometidos a la acción de agentes atmosféricos, como cambios de temperatura o exposición a soluciones de sulfatos.

El ataque de sulfatos puede manifestarse en la forma de expansión, agrietamiento, pérdida de masa (anexo j), desintegración, resquebrajamiento, desmenuzamiento, formación de lajas y/o descascaramiento.

En las figuras 43 y 44 se puede apreciar el desgaste producido por los siete ciclos de exposición a sulfatos.

**Figura 43. Desgaste mortero normal**

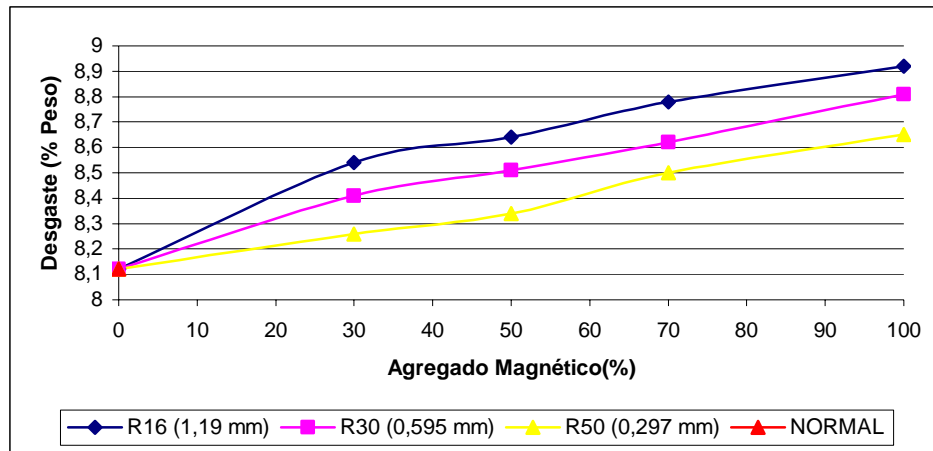


**Figura 44. Probetas con agregado magnético sometidas a desgaste por sulfatos**

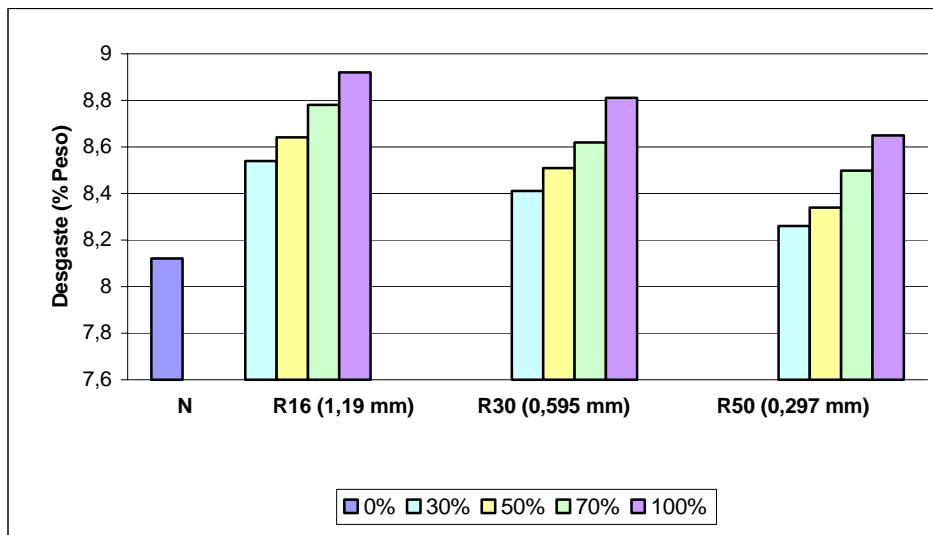


Para el análisis de los resultados se trazaron las figuras 45 y 46 que ilustran el comportamiento ante el ataque por sulfatos.

**Figura 45. Desgaste de los diferentes tipos de mortero**



**Figura 46. Desgaste por Sulfatos a los 7 ciclos de cada uno de los tipos de mortero**



Al analizar los resultados obtenidos las figuras 45 y 46, se puede apreciar que al disminuir el tamaño de las partículas y el porcentaje de agregado

magnético en los diferentes tipos de mortero, el desgaste es menor, presentándose entonces el mejor comportamiento en el mortero R50/30.

A partir de un análisis cualitativo, se observó que para el mortero normal, la pérdida de peso se vio representada a manera de agrietamiento y descascamiento total de la capa externa de las probetas, sin presentar expansiones o ensanchamientos.

Para las muestras con tamaño de partícula retenidas en el tamiz No.16, se observó:

- 30% de agregado magnético: se presentó un leve descascamiento, pocas grietas, no se presentaron expansiones.
- 50% de agregado magnético: mostró medio descascamiento, presentó grietas, no presento expansiones.
- 70% de agregado magnético: exhibió un alto grado de descascamiento, grietas .
- 100% de agregado magnético: mostró una mayor desintegración de su estructura, presentando grietas más profundas, no presentó expansiones.

Para las muestras con tamaño de partícula retenidas en el tamiz No.30, se observó:

- 30% de agregado magnético: leve descascamiento, no se presentaron grietas, no se presentó expansión.

- 50% de agregado magnético: poco descascaramiento, se presentaron pocas grietas no se presentó expansión.
- 70% de agregado magnético: hubo un incremento de descascaramiento, presentaron grietas no hubo expansiones.
- 100% de agregado magnético: presenta grietas más acentuadas, sin expansiones.

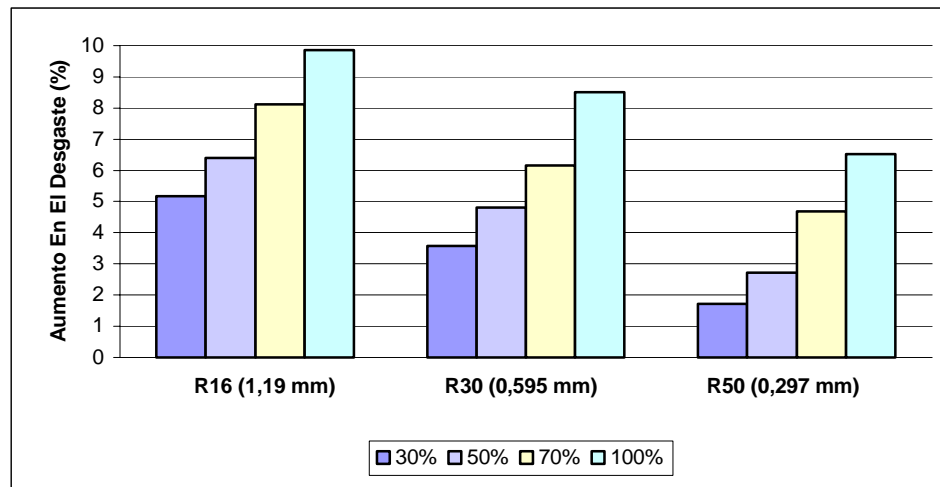
Para las muestras con tamaño de partícula retenidas en el tamiz No.50, se observó:

- 30% de agregado magnético: leve descascaramiento, no grietas, no expansión.
- 50% de agregado magnético: poco descascaramiento, no hubo expansiones ni grietas.
- 70% de agregado magnético: presentó descascaramiento, no hubo expansiones, pocas grietas.
- 100% de agregado magnético: aumento en el descascaramiento , grietas más profundas, no presentó expansiones.

Se ve entonces que el mejor comportamiento se presenta en el tamaño R50 ya que la partículas muy finas, disminuyen el espacio de vacíos, la capacidad de absorción capilar, aumenta la adhesión entre las partículas logrando obtener un material con mejor resistencia a los sulfatos, proporcionándole durabilidad.

En la figura 47 se observa la variación al desgaste por sulfatos para cada uno de los diferentes tipos de mortero.

**Figura 47. Porcentaje de variación del desgaste por sulfatos**



#### 4.9 COSTOS

**Cuadro 14. Costo del Mortero Magnético por m<sup>3</sup>**

Mortero	Materiales	Cantidad	Costo Por Unidad (\$)	Costo Total Cantidad (\$)	Costo Total (\$)	Aumento del Costo (%)
Normal	Cemento (Kg)	456	340	155.040	179.565	
	Arena (m3 )	1,09	22.500	24.525		
	Agua ( L )	296	10	2.960		
Con un 30% de Roca Magnética	Cemento (Kg)	456	340	155,040	191.828	6,8
	Arena (m3 )	0,763	22.500	17.168		
	Roca Magnética (m3)	0,327	60.000	19.620		
	Agua ( L )	296	10	2.960		
Con un 50% de Roca Magnética	Cemento (Kg)	456	340	155.040	200.003	11,4
	Arena (m3 )	0,545	22.500	12.263		
	Roca Magnética (m3)	0,545	60.000	32.700		
	Agua ( L )	296	10	2.960		
Con un 70% de Roca Magnética	Cemento (Kg)	456	340	155.040	208.177	15,9
	Arena (m3 )	0,327	22.500	7.357		
	Roca Magnética (m3)	0,763	60.000	45.780		
	Agua ( L )	296	10	2.960		
Con un 100% de Roca Magnética	Cemento (Kg)	456	340	155.040	215.040	19,8
	Roca Magnética (m3)	1,09	60.000	60.000		
	Agua ( L )	296	10	2.960		

#### **4.10 ANÁLISIS DE MERCADO PARA EL MORTERO MAGNÉTICO**

Estamos en un mundo global y competitivo, donde se busca cada día ofrecer una mejor calidad en los productos y servicios que ofrecemos a nuestros consumidores, definiendo calidad como un conjunto de cualidades que mejoran nuestra vida con elementos que dan funcionalidad y comodidad a todos aquellos que lo necesitan; es por esta razón que deseamos lanzar al mercado un mortero o friso exterior magnético, que posee un alto potencial de adherencia a superficies de materiales magnéticos, ofreciendo grandes beneficios a constructores como al consumidor final.

Con este estudio se busca determinar el grado de aceptación del Mortero Magnético en el sector de la Construcción.

Para el análisis de la muestra del mercado del Mortero Magnético, se escogió un muestreo no probabilística por conveniencia, permitiendo una muestra de elementos convenientes.

#### **Población**

Para llevar a cabo la Investigación de mercados del Mortero Magnético se realizó un análisis de la demanda constituida por el sector de la construcción, donde se incluyen Arquitectos Diseñadores, Arq. Constructores, Arq. Consultores, Constructoras, Ingenieros Civiles (Constructores, Consultores y Contratistas)

## **Población de la Demanda**

Este estudio se basa en fuentes secundarias, se consideran que sectores como la construcción que consumen o demandan la mayor cantidad de mortero.

Para el análisis de la demanda, se determinó un número de empresas del sector de la construcción, donde se incluyen Arquitectos, Ingenieros Civiles y Constructores, siendo los mayores consumidores y quienes pueden expresar las expectativas respecto a la innovación de la propiedad magnética en el mortero.

En el cuadro 15 se hace la descripción de la población:

### **Cuadro 15. Descripción población para el estudio realizado.**

SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN	UNIDADES POBLACIONALES	PARTICIPACIÓN PORCENTUAL
Arquitectos – Diseñadores	N1= 42	15%
Arquitectos – Constructores	N2= 21	7.5%
Arquitectos- Consultores	N3= 18	6.5%
Constructores	N4 = 59	21%
Ingenieros Civiles (Consultores, Constructores, Contratistas)	N= 140	50%
Total	280	100%

## **Muestra**

Muestra de usuarios

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

$$n = \frac{Z^2 * P * Q * N}{E^2 * (N-1) + P * Q * Z^2}$$

Donde:

Z= parámetro normal de Gauss, para el nivel de confiabilidad.

Para alcanzar resultados de buena verosimilitud, se tomo una confiabilidad del 95%, probabilidad para la cual le corresponde un parámetro de  $Z = 1.96$

E= Error de estimación, dado a criterio de los investigadores = 5% = 0.05

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

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

N= Población Objetivo = 280 unidades poblacionales

$$n = \frac{(1.96)^2 * (0.5) * (0.5) * (280)}{(0.05)^2 * (280 - 1) + (0.5) * (0.5) * (1.96)^2} = 100 \text{ consumidores}$$

El tipo de muestreo usado fue el no probabilístico por conveniencia y el criterio conceptual de selección de los 100 sujetos de investigación, estuvo

basado en una distribución proporcional al tamaño de la muestra, que se muestra en la cuadro 16.

**Cuadro 16. Distribución del tamaño de la muestra**

SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN	UNIDADES POBLACIONALES	PARTICIPACIÓN PORCENTUAL
Arquitectos – Diseñadores	N1= 8	7%
Arquitectos – Constructores	N2= 14	14%
Arquitectos- Consultores	N3= 13	7%
Constructores	N4 = 20	32%
Ingenieros Civiles (Consultores, Constructores, Contratistas)	N= 45	40%
Total	100	100%

### **Estrategias a Implementar**

Basados en los resultados (anexo k) obtenidos en la investigación de mercados para determinar la aceptación del mortero magnético dentro de los grandes consumidores de este producto, podemos implementar las siguientes estrategias:

- Promocionar a través de medios impresos los beneficios y el valor agregado que ofrece este producto tanto al sector industrial como al consumidor final.
- Ofrecer demostraciones a los clientes potenciales para que puedan verificar las características especiales que ofrece este producto.

- Crear un salón de exhibición, donde se utiliza este producto y a su vez se muestra con hechos reales lo que ofrece.
- Crear alianzas estratégicas con los productores de cemento, con el fin de ampliar los canales de distribución.

### **Notas Finales de la Investigación de Mercado**

- El tipo de investigación que se realizó fue una Investigación no probabilística por conveniencia, a una muestra de 100 personas del sector de la construcción, conformado por Arquitectos, Ingenieros Civiles y Constructores, con un margen de error del 5%.
- El friso o mortero magnético, genero expectativa en el sector de la construcción, debido a los beneficios que pueden ofrecer al consumidor final.
- Al utilizar este tipo de friso o mortero magnético, los consumidores finales pueden ahorrar en cuanto al resane y mantenimiento de las paredes en sus viviendas.
- Es un producto que tendrá buena acogida por el sector de la construcción ya genera valor para el consumidor final quien es el más interesado.
- Es necesario realizar alianzas estratégicas que puedan ayudar a mejorar el producto y poder competir también en costos.
- Fortalecimiento de los diferentes canales de distribución.

#### **4.11 APLICACIONES DEL MORTERO MAGNÉTICO**

Dada la propiedad magnética adquirida por este nuevo mortero, se puede utilizar como material para construcción de paredes, fachadas, divisiones y otras unidades arquitectónicas en reemplazo de morteros convencionales, puesto que como se mencionó antes, eliminaría el uso de puntillas, cintas, y otros objetos que al retirarlos dan mal aspecto a la pared; evitando el recubrimiento continuo de la misma.

En las figuras 48 a 51 se observa la aplicación antes mencionada.

**Figura 48. Simulación de una pared con recubrimiento de Mortero Magnético R30/70**



**Figura 49. Sistema de adhesión a la pared con recubrimiento magnético del objeto decorativo mediante un imán de neodimio**



**Figura 50. Pared con recubrimiento de mortero magnético R30/70 decorada mediante la utilización de imanes de neodimio (relación área imán respecto al cuadro: 1/100)**



**Figura 51. Cuadros de diferentes tamaños sostenidos en la pared con recubrimiento de mortero magnético R30/70 mediante imanes de neodimio (relación área imán respecto al cuadro: 1/100)**



## CONCLUSIONES

- Se obtuvo y se evaluó el mortero magnético a partir de la sustitución de un porcentaje de arena por agregado magnético en diferentes proporciones.
- Las propiedades magnéticas que presenta el nuevo mortero ofrecen satisfactoriamente la adhesión con otros materiales de naturaleza magnética.
- El mortero magnético cumple con los requerimientos necesarios para su aplicación en la construcción. La mezcla óptima encontrada es R30/70.
- El estudio de mercado revela que el mortero magnético, genera expectativa en el sector de la construcción, por lo que se espera gran acogida debido a los beneficios que pueden ofrecer al consumidor final.

## RECOMENDACIONES

- Es necesario que al realizar los diferentes ensayos (normas ICONTEC), se sigan las recomendaciones y sugerencias para obtener resultados satisfactorios que reflejen la realidad de las propiedades analizadas.
- Es importante realizar el mezclado en seco, para garantizar la homogeneidad de las partículas para cuando se realice la hidratación de mezcla, ésta presente mejor comportamiento.
- Realizar observaciones periódicas y ensayos de envejecimiento al comportamiento de los morteros con adiciones roca magnética.
- Seguir una línea de investigación en el estudio de las propiedades magnéticas utilizando otros tipos de materiales con dicha propiedad.

## BIBLIOGRAFÍA

- ASKELAND, Donald. La Ciencia e Ingeniería de los Materiales. Grupo Editorial Iberoamérica. México, 1987.
- ASTM C-1202, Standard Test method for electrical indication of Concrete's ability to resist chloride ion penetration, 1991.
- ASTM, Standard Test Method of Specific Gravity, Absorption, and Voids in Hardened Concrete.
- BERRY, L. G. Mineralogy. San Francisco, 1959.
- BOX, George y Hunter, Willian. Estadística Para Investigadores: Introducción al Diseño de Experimentos, Análisis de Datos y Construcción de Modelos. Editorial Reverté S.A. Barcelona, 1989.
- HERNANDEZ, Rodolfo y SUAREZ, Sandra, Efecto del Ion Cloruro en el Acero de Refuerzo Expuesto a Soluciones Simuladas de Concreto, UIS, 1999.
- KARCZ, Andres. Electrometría de Materiales Magnéticos. Ediciones Tecnicas Marcombo S.A. Barcelona, 1972.
- MALHOTRA, Narres. Investigación de Mercados. Prentice-hall. Bogotá, 1997.

- MANUAL DE ROCAS Y FLUIDOS. Escuela de Ingeniería de Petróleos, UIS.
- SÁNCHEZ DE GUZMÁN, Diego. Tecnología del Concreto y el Mortero, Pontificia Universidad Javeriana, Santafé de Bogotá, 1987.
- ORTUETA, Ramon. Materiales Magnéticos: Teoría, Metalurgia y Aplicaciones. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Madrid, 1955.
- WEINIG, Arthur J. Technical Methods of ore análisis, for chemists and colleges. New York, 1939
- [www.colciencias.gov.co/mercoyt/mertcoyt](http://www.colciencias.gov.co/mercoyt/mertcoyt). Proyectos ciencias Básicas y Aplicadas . Estudio comparativo comportamiento mecánico y caracterización de concretos reforzados con refuerzos no convencionales.2002.
- [www.magneticeast.com.co](http://www.magneticeast.com.co) /construct. Aplicacion of Magnetic Technologies in constrution industry.
- [www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/electromagnet/ferromagnetismo/ferromagnetismo](http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/electromagnet/ferromagnetismo/ferromagnetismo)
- [www.unicit.unam.mx/rmolina/Diplomado/Paleomagnetismo/magnetismo.html](http://www.unicit.unam.mx/rmolina/Diplomado/Paleomagnetismo/magnetismo.html)

## **ANEXOS**

### **Anexo a. Objetivos**

#### **Objetivo General:**

- Obtener mortero magnético

#### **Objetivos Específicos:**

- Obtener el mortero Magnético, mediante una formulación.
- Determinar las cantidades y tamaños de partículas para la mezcla.
- Determinar las propiedades físico-mecánicas (compresión, flexión y tensión) y físico-químicas (porosidad, permeabilidad, absorción capilar, difusión del ion cloruro y la solidez bajo la acción de sulfatos) del material compuesto para las diferentes dosificaciones.
- Evaluar las propiedades magnéticas del mortero magnético.
- Proponer posibles aplicaciones, de acuerdo a las propiedades encontradas.

## Anexo b. Análisis de Rayos X



# LABORATORIO DE DIFRACCIÓN DE RAYOS - X

INF-078-04

Bucaramanga, Septiembre 30 de 2004

Dr.  
**RAMIRO SALAZAR**  
Escuela de Ingeniería Química  
UIS/Presente

Ref: Informe de Resultados por DRX

Cordial saludo:

Por medio de la presente estoy enviando el resultado del análisis por Difracción de Rayos-X de una muestra de roca magnética correspondiente al proyecto de grado "Obtención, evaluación del concreto magnético y diseño de una planta para su elaboración a escala semi-industrial" elaborado por los estudiantes de Ingenierías Química, Sandra Liliana Gómez y Civil, Kelly Gómez.

### Preparación de las muestras

Para este proceso se maceró la muestra en un mortero de ágata y el espécimen seleccionado de la muestra fue montado en un portamuestra de aluminio mediante la técnica de llenado lateral.

### Condiciones de Medición de las Muestras

Voltaje	40(kV)
Corriente	20(mA)
Rendijas (Slits) DS	1.0°
RS	0.3mm
SS	1.0°
Velocidad de Barrido	3°/min
Muestreo	0.02°
Rango de Medición	2-70°
Radiación	CuK $\alpha$
Monocromador	Grafito
Difractómetro	Rigaku modelo D-MAX-III/B

Base de Datos cristalográfica:

Powder Diffraction File (PDF-2) del International Center for Diffraction Data (ICDD)

### Identificación cualitativa:

La identificación cualitativa de las fases presentes en las muestras, se realizó mediante comparación de las reflexiones del perfil observado con las reflexiones de los perfiles de difracción reportados en la base de datos Powder Diffraction File (PDF-2) del International Center for Diffraction Data (ICDD), utilizando el software respectivo. En el proceso de identificación se aplicó el método de Hanawalt.

Página 1 de 3

Universidad Industrial de Santander, Escuela de Química, Laboratorio de Posgrado III  
Edificio Camilo Torres, Bucaramanga, PBX 6344000 Ext. 22 26, TeleFax 6349069  
Apartado Aéreo N° 678, Email : rayosx@uis.edu.co NIT: 890.201.213-4

**Análisis cuantitativo:**

Para el análisis cuantitativo se mezcló con la muestra una cantidad conocida de un patrón interno (Corundum). La medición se hizo a pasos dejando 2 segundos para muestreo en cada paso. Las demás condiciones de medición fueron las mismas utilizadas para el análisis cualitativo.

Los resultados fueron los siguientes:

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE	% CUANTITATIVO
Cristalinos	SiO <sub>2</sub>	86-1629	Quartz	48.17%
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	79-7	Hematite	31.44%
	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	86-1339	Magnetite	9.51%
	FeO(OH)	3-251	Goethite	9.70%
Amorfos				1.18%

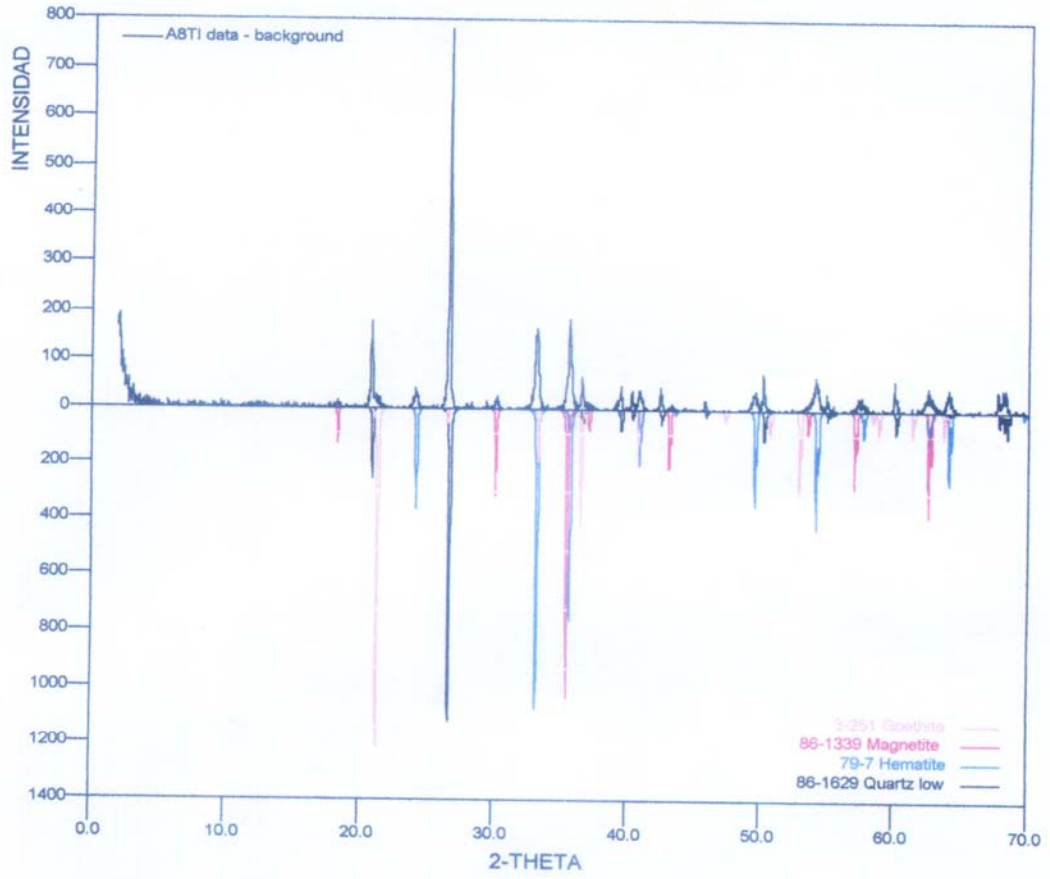
**Observación:**

- En el difractograma se observa bandas anchas de baja intensidad que indican la presencia de material amorfo y por tal razón dificulta la asignación de fases. Por tanto, las fases reportadas corresponden a aquellas cuyas reflexiones principales (máxima intensidad) se ajustan al centro de la banda.

**NOTA:** Los resultados se relacionan únicamente con las muestras analizadas.

Cordialmente,

**Dr. JOSE ANTONIO HENAO MARTINEZ**  
Director Laboratorio de Difracción de Rayos-X  
Escuela de Química  
E-mail: [jahena@uis.edu.co](mailto:jahena@uis.edu.co)



**Anexo c. Resultados Ensayo de Inducción Remanente para los diferentes tipos de mortero con agregado magnético.**

<b>Tipo de Mortero</b>	<b>Inducción Remanente Gauss</b>			<b>Promedio Inducción Remanente</b>
R16/30	2,7	3,0	2,7	2,8
R16/50	4,1	5,0	5,2	4,76
R16/70	6,5	6,6	7,8	6,9
R16/100	8,0	7,7	8,1	7,9
R30/30	3,1	2,9	3,4	3,13
R30/50	5,5	4,9	5,6	5,3
R30/70	6,8	6,4	7,1	6,76
R30/100	8,5	9,0	8,8	8,76
R50/30	4,2	5,1	5,6	4,96
R50/50	6,8	7,9	7,2	7,3
R50/70	8,4	8,9	8,0	8,4
R50/100	9,6	11	11,7	10,76

**Anexo d. Resultados Ensayo Adherencia para los diferentes tipos de mortero con agregado magnético.**

<b>Tipo de Mortero</b>	<b>Peso Sostenido (Kgf)</b>	<b>Esfuerzo (Kgf/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Media</b>
<b>R16/30</b>	0,185	0,0231	0,023
	0,176	0,0220	
	0,178	0,0223	
<b>R16/50</b>	0,258	0,0323	0,033
	0,262	0,0328	
	0,267	0,0334	
<b>R16/70</b>	0,378	0,0473	0,047
	0,375	0,0469	
	0,38	0,0475	
<b>R16/100</b>	0,439	0,0549	0,056
	0,441	0,0551	
	0,477	0,0596	
<b>R30/30</b>	0,119	0,0149	0,0148
	0,116	0,0145	
	0,121	0,0151	
<b>R30/50</b>	0,182	0,0228	0,0227
	0,179	0,0224	
	0,185	0,0231	
<b>R30/70</b>	0,274	0,0343	0,0338
	0,266	0,0333	
	0,271	0,0339	
<b>R30/100</b>	0,321	0,0401	0,0397
	0,318	0,0398	
	0,315	0,0394	
<b>R50/30</b>	0,078	0,0098	0,0093
	0,076	0,0095	
	0,068	0,0085	
<b>R50/50</b>	0,118	0,0148	0,0153
	0,124	0,0155	
	0,127	0,0159	
<b>R50/70</b>	0,22	0,0275	0,0278
	0,226	0,0283	
	0,221	0,0276	
<b>R50/100</b>	0,276	0,0345	0,0349
	0,28	0,0350	
	0,282	0,0353	

## Anexo e. Resultados Ensayos de Compresión

### Mortero Normal

Area: 25 cm<sup>2</sup>

Tiempo: 7 días

Muestra No.	Fuerza Kg	Resist. Kg/cm <sup>2</sup>	Media Kg/cm <sup>2</sup>
1	2300	92,0	91,76
2	2250	90,0	
3	2300	92,0	
4	2320	92,8	
5	2300	92,0	

Tiempo: 14 días

Muestra No.	Fuerza Kg	Resist. Kg/cm <sup>2</sup>	Media Kg/cm <sup>2</sup>
1	3250	130,0	131,60
2	3350	134,0	
3	3300	132,0	
4	3250	130,0	
5	3300	132,0	

Tiempo: 28 días

Muestra No.	Fuerza Kg	Resist. Kg/cm <sup>2</sup>	Media Kg/cm <sup>2</sup>
1	4320	172,8	172,96
2	4300	172,0	
3	4300	172,0	
4	4350	174,0	
5	4350	174,0	

### Mortero R16/30

Area: 25 cm<sup>2</sup>

Tiempo: 7 días

<b>Muestra No.</b>	<b>Fuerza Kg</b>	<b>Resist. Kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Media Kg/cm<sup>2</sup></b>
1	2260	90,4	91,36
2	2300	92,0	
3	2280	91,2	
4	2300	92,0	
5	2280	91,2	

Tiempo: 14 días

<b>Muestra No.</b>	<b>Fuerza Kg</b>	<b>Resist. Kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Media Kg/cm<sup>2</sup></b>
1	3300	132,0	131,20
2	3250	130,0	
3	3250	130,0	
4	3300	132,0	
5	3300	132,0	

Tiempo: 28 días

<b>Muestra No.</b>	<b>Fuerza Kg</b>	<b>Resist. Kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Media Kg/cm<sup>2</sup></b>
1	4200	168,0	168,96
2	4220	168,8	
3	4300	172,0	
4	4200	168,0	
5	4200	168,0	

### Mortero R16/50

Area : 25 cm<sup>2</sup>

Tiempo: 7 días

<b>Muestra No.</b>	<b>Fuerza Kg</b>	<b>Resist. Kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Media Kg/cm<sup>2</sup></b>
1	2240	89,6	90,72
2	2300	92,0	
3	2250	90,0	
4	2300	92,0	
5	2250	90,0	

Tiempo: 14 días

<b>Muestra No.</b>	<b>Fuerza Kg</b>	<b>Resist. Kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Media Kg/cm<sup>2</sup></b>
1	3250	130,0	129,84
2	3200	128,0	
3	3280	131,2	
4	3250	130,0	
5	3250	130,0	

Tiempo: 28 días

<b>Muestra No.</b>	<b>Fuerza Kg</b>	<b>Resist. Kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Media Kg/cm<sup>2</sup></b>
1	4100	164,0	161,60
2	4000	160,0	
3	4000	160,0	
4	4100	164,0	
5	4000	160,0	

**Mortero R16/70**Area: 25 cm<sup>2</sup>

Tiempo: 7 días

<b>Muestra No.</b>	<b>Fuerza Kg</b>	<b>Resist. Kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Media Kg/cm<sup>2</sup></b>
1	2100	84,0	84,00
2	2200	88,0	
3	2100	84,0	
4	2000	80,0	
5	2100	84,0	

Tiempo: 14 días

<b>Muestra No.</b>	<b>Fuerza Kg</b>	<b>Resist. Kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Media Kg/cm<sup>2</sup></b>
1	3100	124,0	123,20
2	3000	120,0	
3	3100	124,0	
4	3100	124,0	
5	3100	124,0	

Tiempo: 28 días

<b>Muestra No.</b>	<b>Fuerza Kg</b>	<b>Resist. Kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Media Kg/cm<sup>2</sup></b>
1	3800	152,0	149,60
2	3700	148,0	
3	3800	152,0	
4	3700	148,0	
5	3700	148,0	

**Mortero R16/100**

**Area: 25 cm<sup>2</sup>**

Tiempo: 7 días

<b>Muestra No.</b>	<b>Fuerza Kg</b>	<b>Resist. Kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Media Kg/cm<sup>2</sup></b>
1	2000	80,0	79,52
2	1900	76,0	
3	2040	81,6	
4	2000	80,0	
5	2000	80,0	

Tiempo: 14 días

<b>Muestra No.</b>	<b>Fuerza Kg</b>	<b>Resist. Kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Media Kg/cm<sup>2</sup></b>
1	3000	120,0	118,40
2	2900	116,0	
3	2900	116,0	
4	3000	120,0	
5	3000	120,0	

Tiempo: 28 días

<b>Muestra No.</b>	<b>Fuerza Kg</b>	<b>Resist. Kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Media Kg/cm<sup>2</sup></b>
1	3600	144,0	142,88
2	3560	142,4	
3	3600	144,0	
4	3600	144,0	
5	3500	140,0	

### Mortero R30/30

Area: 25 cm<sup>2</sup>

Tiempo: 7 días

Muestra No.	Fuerza Kg	Resist. Kg/cm <sup>2</sup>	Media Kg/cm <sup>2</sup>
1	2300	92,0	91,52
2	2250	90,0	
3	2340	93,6	
4	2200	88,0	
5	2350	94,0	

Tiempo: 14 días

Muestra No.	Fuerza Kg	Resist. Kg/cm <sup>2</sup>	Media Kg/cm <sup>2</sup>
1	3300	132,0	131,20
2	3300	132,0	
3	3200	128,0	
4	3300	132,0	
5	3300	132,0	

Tiempo: 28 días

Muestra No.	Fuerza Kg	Resist. Kg/cm <sup>2</sup>	Media Kg/cm <sup>2</sup>
1	4300	172,0	170,08
2	4200	168,0	
3	4200	168,0	
4	4260	170,4	
5	4300	172,0	

### Mortero R30/50

Area: 25 cm<sup>2</sup>

Tiempo: 7 días

<b>Muestra No.</b>	<b>Fuerza Kg</b>	<b>Resist. Kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Media Kg/cm<sup>2</sup></b>
1	2300	92,0	91,20
2	2250	90,0	
3	2200	88,0	
4	2300	92,0	
5	2350	94,0	

Tiempo: 14 días

<b>Muestra No.</b>	<b>Fuerza Kg</b>	<b>Resist. Kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Media Kg/cm<sup>2</sup></b>
1	3300	132,0	130,96
2	3200	128,0	
3	3300	132,0	
4	3320	132,8	
5	3250	130,0	

Tiempo: 28 días

<b>Muestra No.</b>	<b>Fuerza Kg</b>	<b>Resist. Kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Media Kg/cm<sup>2</sup></b>
1	4100	164,0	163,52
2	4000	160,0	
3	4140	165,6	
4	4100	164,0	
5	4100	164,0	

### Mortero R30/70

Area: 25 cm<sup>2</sup>

Tiempo: 7 días

<b>Muestra No.</b>	<b>Fuerza Kg</b>	<b>Resist. Kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Media Kg/cm<sup>2</sup></b>
1	2300	92,0	90,40
2	2300	92,0	
3	2200	88,0	
4	2300	92,0	
5	2200	88,0	

Tiempo: 14 días

<b>Muestra No.</b>	<b>Fuerza Kg</b>	<b>Resist. Kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Media Kg/cm<sup>2</sup></b>
1	3120	124,8	126,56
2	3100	124,0	
3	3180	127,2	
4	3200	128,0	
5	3220	128,8	

Tiempo: 28 días

<b>Muestra No.</b>	<b>Fuerza Kg</b>	<b>Resist. Kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Media Kg/cm<sup>2</sup></b>
1	3800	152,0	154,08
2	3900	156,0	
3	3800	152,0	
4	3960	158,4	
5	3800	152,0	

### Mortero R30/100

Area: 25 cm<sup>2</sup>

Tiempo: 7 días

<b>Muestra No.</b>	<b>Fuerza Kg</b>	<b>Resist. Kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Media Kg/cm<sup>2</sup></b>
1	2250	90,0	87,60
2	2200	88,0	
3	2200	88,0	
4	2100	84,0	
5	2200	88,0	

Tiempo: 14 días

<b>Muestra No.</b>	<b>Fuerza Kg</b>	<b>Resist. Kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Media Kg/cm<sup>2</sup></b>
1	3000	120,0	123,68
2	3100	124,0	
3	3100	124,0	
4	3160	126,4	
5	3100	124,0	

Tiempo: 28 días

<b>Muestra No.</b>	<b>Fuerza Kg</b>	<b>Resist. Kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Media Kg/cm<sup>2</sup></b>
1	3700	148,0	148,48
2	3800	152,0	
3	3700	148,0	
4	3660	146,4	
5	3700	148,0	

### Mortero R50/30

Area: 25 cm<sup>2</sup>

Tiempo: 7 días

<b>Muestra No.</b>	<b>Fuerza Kg</b>	<b>Resist. Kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Media Kg/cm<sup>2</sup></b>
1	1950	78,0	80,40
2	2000	80,0	
3	2000	80,0	
4	2000	80,0	
5	2100	84,0	

Tiempo: 14 días

<b>Muestra No.</b>	<b>Fuerza Kg</b>	<b>Resist. Kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Media Kg/cm<sup>2</sup></b>
1	2650	106,0	103,60
2	2600	104,0	
3	2500	100,0	
4	2600	104,0	
5	2600	104,0	

Tiempo: 28 días

<b>Muestra No.</b>	<b>Fuerza Kg</b>	<b>Resist. Kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Media Kg/cm<sup>2</sup></b>
1	3200	128,0	126,80
2	3100	124,0	
3	3200	128,0	
4	3250	130,0	
5	3100	124,0	

### Mortero R50/50

Area: 25 cm<sup>2</sup>

Tiempo: 7 días

<b>Muestra No.</b>	<b>Fuerza Kg</b>	<b>Resist. Kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Media Kg/cm<sup>2</sup></b>
1	1800	72,0	70,80
2	1700	68,0	
3	1750	70,0	
4	1800	72,0	
5	1800	72,0	

Tiempo: 14 días

<b>Muestra No.</b>	<b>Fuerza Kg</b>	<b>Resist. Kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Media Kg/cm<sup>2</sup></b>
1	2350	94,0	95,60
2	2450	98,0	
3	2350	94,0	
4	2400	96,0	
5	2400	96,0	

Tiempo: 28 días

<b>Muestra No.</b>	<b>Fuerza Kg</b>	<b>Resist. Kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Media Kg/cm<sup>2</sup></b>
1	3000	120,0	118,40
2	2900	116,0	
3	3000	120,0	
4	2900	116,0	
5	3000	120,0	

### Mortero R50/70

Area: 25 cm<sup>2</sup>

Tiempo: 7 días

<b>Muestra No.</b>	<b>Fuerza Kg</b>	<b>Resist. Kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Media Kg/cm<sup>2</sup></b>
1	1200	48,0	47,92
2	1200	48,0	
3	1240	49,6	
4	1160	46,4	
5	1190	47,6	

Tiempo: 14 días

<b>Muestra No.</b>	<b>Fuerza Kg</b>	<b>Resist. Kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Media Kg/cm<sup>2</sup></b>
1	2000	80,0	79,20
2	2000	80,0	
3	2000	80,0	
4	1900	76,0	
5	2000	80,0	

Tiempo: 28 días

<b>Muestra No.</b>	<b>Fuerza Kg</b>	<b>Resist. Kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Media Kg/cm<sup>2</sup></b>
1	2600	104,0	102,80
2	2650	106,0	
3	2600	104,0	
4	2500	100,0	
5	2500	100,0	

### Mortero R50/100

Area: 25 cm<sup>2</sup>

Tiempo: 7 días

<b>Muestra No.</b>	<b>Fuerza Kg</b>	<b>Resist. Kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Media Kg/cm<sup>2</sup></b>
1	1200	48,0	46,00
2	1100	44,0	
3	1100	44,0	
4	1200	48,0	
5	1150	46,0	

Tiempo: 14 días

<b>Muestra No.</b>	<b>Fuerza Kg</b>	<b>Resist. Kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Media Kg/cm<sup>2</sup></b>
1	1850	74,0	76,40
2	1900	76,0	
3	1900	76,0	
4	1900	76,0	
5	2000	80,0	

Tiempo: 28 días

<b>Muestra No.</b>	<b>Fuerza Kg</b>	<b>Resist. Kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Media Kg/cm<sup>2</sup></b>
1	2400	96,0	94,80
2	2350	94,0	
3	2350	94,0	
4	2350	94,0	
5	2400	96,0	

## Anexo f. Resultados Ensayos de Flexión.

### Mortero Normal

<b>Muestra No.</b>	<b>Fuerza Kg</b>	<b>Resist. Kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Media Kg/cm<sup>2</sup></b>
1	145	40,78	40,31
2	145	40,78	
3	140	39,38	

### Mortero R16/30

<b>Muestra No.</b>	<b>Fuerza Kg</b>	<b>Resist. Kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Media Kg/cm<sup>2</sup></b>
1	130	36,56	37,50
2	140	39,38	
3	130	36,56	

### Mortero R16/50

<b>Muestra No.</b>	<b>Fuerza Kg</b>	<b>Resist. Kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Media Kg/cm<sup>2</sup></b>
1	130	36,56	34,69
2	120	33,75	
3	120	33,75	

**Mortero R16/70**

<b>Muestra No.</b>	<b>Fuerza Kg</b>	<b>Resist. Kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Media Kg/cm<sup>2</sup></b>
1	100	28,13	28,13
2	100	28,13	
3	100	28,13	

**Mortero R16/100**

<b>Muestra No.</b>	<b>Fuerza Kg</b>	<b>Resist. Kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Media Kg/cm<sup>2</sup></b>
1	80	22,50	24,38
2	90	25,31	
3	90	25,31	

**Mortero R30/30**

<b>Muestra No.</b>	<b>Fuerza Kg</b>	<b>Resist. Kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Media Kg/cm<sup>2</sup></b>
1	135	37,97	38,91
2	140	39,38	
3	140	39,38	

**Mortero R30/50**

<b>Muestra No.</b>	<b>Fuerza Kg</b>	<b>Resist. Kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Media Kg/cm<sup>2</sup></b>
1	125	35,16	35,63
2	125	35,16	
3	130	36,56	

**Mortero R30/70**

<b>Muestra No.</b>	<b>Fuerza Kg</b>	<b>Resist. Kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Media Kg/cm<sup>2</sup></b>
1	100	28,13	29,06
2	105	29,53	
3	105	29,53	

**Mortero R30/100**

<b>Muestra No.</b>	<b>Fuerza Kg</b>	<b>Resist. Kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Media Kg/cm<sup>2</sup></b>
1	90	25,31	25,31
2	90	25,31	
3	90	25,31	

**Mortero R50/30**

<b>Muestra No.</b>	<b>Fuerza Kg</b>	<b>Resist. Kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Media Kg/cm<sup>2</sup></b>
1	130	36,56	37,03
2	135	37,97	
3	130	36,56	

**Mortero R50/50**

<b>Muestra No.</b>	<b>Fuerza Kg</b>	<b>Resist. Kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Media Kg/cm<sup>2</sup></b>
1	120	33,75	33,75
2	120	33,75	
3	120	33,75	

**Mortero R50/70**

<b>Muestra No.</b>	<b>Fuerza Kg</b>	<b>Resist. Kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Media Kg/cm<sup>2</sup></b>
1	90	25,31	23,44
2	80	22,50	
3	80	22,50	

**Mortero R50/100**

<b>Muestra No.</b>	<b>Fuerza Kg</b>	<b>Resist. Kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Media Kg/cm<sup>2</sup></b>
1	75	21,09	22,97
2	85	23,91	
3	85	23,91	

### Anexo g. Resultado Ensayos de Tracción.

#### Mortero Normal

Area: 6,25 cm<sup>2</sup>

Tiempo: 7 días

Muestra No.	Fuerza Kg	Resist. Kg/cm <sup>2</sup>	Media Kg/cm <sup>2</sup>
1	80	12,8	13,60
2	85	13,6	
3	85	13,6	
4	90	14,4	
5	85	13,6	

Tiempo: 14 días

Muestra No.	Fuerza Kg	Resist. Kg/cm <sup>2</sup>	Media Kg/cm <sup>2</sup>
1	90	14,4	15,04
2	90	14,4	
3	95	15,2	
4	100	16	
5	95	15,2	

Tiempo: 28 días

Muestra No.	Fuerza Kg	Resist. Kg/cm <sup>2</sup>	Media Kg/cm <sup>2</sup>
1	110	17,6	17,38
2	105	16,8	
3	110	17,6	
4	108	17,28	
5	110	17,6	

### Mortero R16/30

Area: 6,25 cm<sup>2</sup>

Tiempo: 7 días

Muestra No.	Fuerza Kg	Resist. Kg/cm <sup>2</sup>	Media Kg/cm <sup>2</sup>
1	85	13,6	13,54
2	85	13,6	
3	88	14,08	
4	80	12,8	
5	85	13,6	

Tiempo: 14 días

Muestra No.	Fuerza Kg	Resist. Kg/cm <sup>2</sup>	Media Kg/cm <sup>2</sup>
1	90	14,4	14,88
2	95	15,2	
3	95	15,2	
4	95	15,2	
5	90	14,4	

Tiempo: 28 días

Muestra No.	Fuerza Kg	Resist. Kg/cm <sup>2</sup>	Media Kg/cm <sup>2</sup>
1	106	16,96	17,22
2	110	17,6	
3	108	17,28	
4	106	16,96	
5	108	17,28	

### Mortero R16/50

Area: 6,25 cm<sup>2</sup>

Tiempo: 7 días

<b>Muestra No.</b>	<b>Fuerza Kg</b>	<b>Resist. Kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Media Kg/cm<sup>2</sup></b>
1	83	13,3	13,28
2	85	13,6	
3	85	13,6	
4	82	13,1	
5	80	12,8	

Tiempo: 14 días

<b>Muestra No.</b>	<b>Fuerza Kg</b>	<b>Resist. Kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Media Kg/cm<sup>2</sup></b>
1	92	14,72	14,62
2	90	14,4	
3	90	14,4	
4	95	15,2	
5	90	14,4	

Tiempo: 28 días

<b>Muestra No.</b>	<b>Fuerza Kg</b>	<b>Resist. Kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Media Kg/cm<sup>2</sup></b>
1	108	17,28	17,06
2	106	16,96	
3	107	17,12	
4	105	16,8	
5	107	17,12	

### Mortero R16/70

Area: 6,25 cm<sup>2</sup>

Tiempo: 7 días

Muestra No.	Fuerza Kg	Resist. Kg/cm <sup>2</sup>	Media Kg/cm <sup>2</sup>
1	85	13,6	13,12
2	80	12,8	
3	85	13,6	
4	80	12,8	
5	80	12,8	

Tiempo: 14 días

Muestra No.	Fuerza Kg	Resist. Kg/cm <sup>2</sup>	Media Kg/cm <sup>2</sup>
1	90	14,4	14,24
2	90	14,4	
3	85	13,6	
4	85	13,6	
5	95	15,2	

Tiempo: 28 días

Muestra No.	Fuerza Kg	Resist. Kg/cm <sup>2</sup>	Media Kg/cm <sup>2</sup>
1	103	16,48	16,51
2	105	16,8	
3	103	16,48	
4	102	16,32	
5	103	16,48	

### Mortero R16/100

Area: 6,25 CM<sup>2</sup>

Tiempo: 7 días

Muestra No.	Fuerza Kg	Resist. Kg/cm <sup>2</sup>	Media Kg/cm <sup>2</sup>
1	80	12,8	12,48
2	80	12,8	
3	75	12	
4	75	12	
5	80	12,8	

Tiempo: 14 días

Muestra No.	Fuerza Kg	Resist. Kg/cm <sup>2</sup>	Media Kg/cm <sup>2</sup>
1	85	13,6	13,54
2	85	13,6	
3	80	12,8	
4	88	14,08	
5	85	13,6	

Tiempo: 28 días

TIEMPO: 28 DÍAS Muestra No.	Fuerza Kg	Resist. Kg/cm <sup>2</sup>	Media Kg/cm <sup>2</sup>
1	100	16	16,13
2	100	16	
3	102	16,32	
4	102	16,32	
5	100	16	

### Mortero R30/30

Area : 6,25 cm<sup>2</sup>

Tiempo: 7 días

<b>Muestra No.</b>	<b>Fuerza Kg</b>	<b>Resist. Kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Media Kg/cm<sup>2</sup></b>
1	83	13,28	12,96
2	80	12,8	
3	83	13,28	
4	80	12,8	
5	79	12,64	

Tiempo: 14 días

<b>Muestra No.</b>	<b>Fuerza Kg</b>	<b>Resist. Kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Media Kg/cm<sup>2</sup></b>
1	95	15,2	14,78
2	90	14,4	
3	90	14,4	
4	95	15,2	
5	92	14,72	

Tiempo: 28 días

<b>Muestra No.</b>	<b>Fuerza Kg</b>	<b>Resist. Kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Media Kg/cm<sup>2</sup></b>
1	108	17,28	17,02
2	105	16,8	
3	105	16,8	
4	106	16,96	
5	108	17,28	

### Mortero R30/50

Area: 6,25 cm<sup>2</sup>

Tiempo: 7 días

Muestra No.	Fuerza Kg	Resist. Kg/cm <sup>2</sup>	Media Kg/cm <sup>2</sup>
1	80	12,8	12,86
2	79	12,64	
3	80	12,8	
4	80	12,8	
5	83	13,28	

Tiempo: 14 días

Muestra No.	Fuerza Kg	Resist. Kg/cm <sup>2</sup>	Media Kg/cm <sup>2</sup>
1	89	14,24	14,56
2	93	14,88	
3	90	14,4	
4	93	14,88	
5	90	14,4	

Tiempo: 28 días

Muestra No.	Fuerza Kg	Resist. Kg/cm <sup>2</sup>	Media Kg/cm <sup>2</sup>
1	108	17,28	16,83
2	105	16,8	
3	104	16,64	
4	105	16,8	
5	104	16,64	

### Mortero R30/70

Area: 6,25 cm<sup>2</sup>

Tiempo: 7 días

Muestra No.	Fuerza Kg	Resist. Kg/cm <sup>2</sup>	Media Kg/cm <sup>2</sup>
1	80	12,8	12,10
2	75	12	
3	70	11,2	
4	78	12,48	
5	75	12	

Tiempo: 14 días

Muestra No.	Fuerza Kg	Resist. Kg/cm <sup>2</sup>	Media Kg/cm <sup>2</sup>
1	85	13,6	13,76
2	88	14,08	
3	85	13,6	
4	85	13,6	
5	87	13,92	

Tiempo: 28 días

Muestra No.	Fuerza Kg	Resist. Kg/cm <sup>2</sup>	Media Kg/cm <sup>2</sup>
1	105	16,8	16,26
2	100	16	
3	100	16	
4	100	16	
5	103	16,48	

**Mortero R30/100**Area: 6,25 cm<sup>2</sup>

Tiempo: 7 días

<b>Muestra No.</b>	<b>Fuerza Kg</b>	<b>Resist. Kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Media Kg/cm<sup>2</sup></b>
1	72	11,52	11,39
2	70	11,2	
3	70	11,2	
4	72	11,52	
5	72	11,52	

Tiempo: 14 días

<b>Muestra No.</b>	<b>Fuerza Kg</b>	<b>Resist. Kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Media Kg/cm<sup>2</sup></b>
1	81	12,96	12,99
2	80	12,8	
3	80	12,8	
4	80	12,8	
5	85	13,6	

Tiempo: 28 días

<b>Muestra No.</b>	<b>Fuerza Kg</b>	<b>Resist. Kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Media Kg/cm<sup>2</sup></b>
1	95	15,2	15,52
2	100	16	
3	95	15,2	
4	95	15,2	
5	100	16	

### Mortero R50/30

Area: 6,25 cm<sup>2</sup>

Tiempo: 7 días

Muestra No.	Fuerza Kg	Resist. Kg/cm <sup>2</sup>	Media Kg/cm <sup>2</sup>
1	70	11,2	11,30
2	73	11,68	
3	70	11,2	
4	70	11,2	
5	70	11,2	

Tiempo: 14 días

Muestra No.	Fuerza Kg	Resist. Kg/cm <sup>2</sup>	Media Kg/cm <sup>2</sup>
1	85	13,6	13,28
2	80	12,8	
3	80	12,8	
4	85	13,6	
5	85	13,6	

Tiempo: 28 días

Muestra No.	Fuerza Kg	Resist. Kg/cm <sup>2</sup>	Media Kg/cm <sup>2</sup>
1	104	16,64	16,32
2	104	16,64	
3	100	16	
4	98	15,68	
5	104	16,64	

### Mortero R50/50

Area: 6,25 cm<sup>2</sup>

Tiempo: 7 días

<b>Muestra No.</b>	<b>Fuerza Kg</b>	<b>Resist. Kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Media Kg/cm<sup>2</sup></b>
1	65	10,4	10,98
2	68	10,88	
3	70	11,2	
4	70	11,2	
5	70	11,2	

Tiempo: 14 días

<b>Muestra No.</b>	<b>Fuerza Kg</b>	<b>Resist. Kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Media Kg/cm<sup>2</sup></b>
1	83	13,28	13,09
2	80	12,8	
3	80	12,8	
4	85	13,6	
5	81	12,96	

Tiempo: 28 días

<b>Muestra No.</b>	<b>Fuerza Kg</b>	<b>Resist. Kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Media Kg/cm<sup>2</sup></b>
1	95	15,2	14,94
2	90	14,4	
3	95	15,2	
4	92	14,72	
5	95	15,2	

### Mortero R50/70

Area: 6,25 cm<sup>2</sup>

Tiempo: 7 días

<b>Muestra No.</b>	<b>Fuerza Kg</b>	<b>Resist. Kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Media Kg/cm<sup>2</sup></b>
1	60	9,6	9,79
2	60	9,6	
3	63	10,08	
4	60	9,6	
5	63	10,08	

Tiempo: 7 días

<b>Muestra No.</b>	<b>Fuerza Kg</b>	<b>Resist. Kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Media Kg/cm<sup>2</sup></b>
1	75	12	11,39
2	70	11,2	
3	71	11,36	
4	70	11,2	
5	70	11,2	

Tiempo: 7 días

<b>Muestra No.</b>	<b>Fuerza Kg</b>	<b>Resist. Kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Media Kg/cm<sup>2</sup></b>
1	90	14,4	13,92
2	85	13,6	
3	85	13,6	
4	90	14,4	
5	85	13,6	

### Mortero R50/100

Area: 6,25 cm<sup>2</sup>

Tiempo: 7 días

Muestra No.	Fuerza Kg	Resist. Kg/cm <sup>2</sup>	Media Kg/cm <sup>2</sup>
1	55	8,8	8,32
2	50	8	
3	50	8	
4	51	8,16	
5	54	8,64	

Tiempo: 14 días

Muestra No.	Fuerza Kg	Resist. Kg/cm <sup>2</sup>	Media Kg/cm <sup>2</sup>
1	65	10,4	10,30
2	60	9,6	
3	65	10,4	
4	67	10,72	
5	65	10,4	

Tiempo: 28 días

Muestra No.	Fuerza Kg	Resist. Kg/cm <sup>2</sup>	Media Kg/cm <sup>2</sup>
1	75	12	12,38
2	75	12	
3	77	12,32	
4	80	12,8	
5	80	12,8	

**Anexo h. Resultado Ensayos de Porosidad. Método Porosímetro de Campo Ruska .**

**Valores de Porosidad de Mortero Normal**

Muestra No.	Rcore		RHg		Porosidad (%)	Media
	Lectura	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Lectura	Volumen (cm <sup>3</sup> )		
1	98	13	117	15,5	16,13	16,19
2	100	13,4	122	16	16,25	
3	99	13,2	119,5	15,75	16,19	

**Valores de Porosidad de Mortero R16/30**

Muestra No.	Rcore		RHg		Porosidad (%)	Media
	Lectura	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Lectura	Volumen (cm <sup>3</sup> )		
1	98	13	118,5	15,65	16,93	17,04
2	97,5	12,95	118	15,6	16,98	
3	98	13	118,5	15,65		

**Valores de Porosidad de Mortero R16/50**

Muestra No.	Rcore		RHg		Porosidad (%)	Media
	Lectura	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Lectura	Volumen (cm <sup>3</sup> )		
1	97	12,9	120	15,8	18,35	18,40
2	99	13,2	123	16,2	18,51	
3	97	12,9	120	15,8	18,35	

**Valores de Porosidad de Mortero R16/70**

Muestra No.	Rcore		RHg		Porosidad (%)	Media
	Lectura	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Lectura	Volumen (cm <sup>3</sup> )		
1	93	12,2	117	15,5	21,29	21,86
2	99	13,2	126	16,8	21,42	
3	96	12,8	125	16,6	22,89	

**Valores de Porosidad de Mortero R16/100**

Muestra No.	Rcore		RHg		Porosidad (%)	Media
	Lectura	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Lectura	Volumen (cm <sup>3</sup> )		
1	95	12,55	124	16,4	23,47	23,78
2	98	13	128	17,2	24,91	
3	99,5	13,25	128	17,2	22,96	

**Valores de Porosidad de Mortero R30/30**

Muestra No.	Rcore		RHg		Porosidad (%)	Media
	Lectura	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Lectura	Volumen (cm <sup>3</sup> )		
1	98	13	118	15,6	16,66	16,61
2	98	13	118	15,6	16,66	
3	100	13,4	122,5	16,05	16,51	

**Valores de Porosidad de Mortero R30/50**

Muestra No.	Rcore		RHg		Porosidad (%)	Media
	Lectura	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Lectura	Volumen (cm <sup>3</sup> )		
1	102	13,5	124	16,4	17,68	17,63
2	99	13,2	122	16	17,50	
3	98	13	120	15,8	17,72	

**Valores de Porosidad de Mortero R30/70**

Muestra No.	Rcore		RHg		Porosidad (%)	Media
	Lectura	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Lectura	Volumen (cm <sup>3</sup> )		
1	98	13	123	16,3	19,75	19,33
2	99	13,2	124	16,4	19,51	
3	98	13	122	16	18,75	

**Valores de Porosidad de Mortero R30/100**

Muestra No.	Rcore		RHg		Porosidad (%)	Media
	Lectura	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Lectura	Volumen (cm <sup>3</sup> )		
1	97	12,9	124	16,4	21,34	21,45
2	97	12,9	125	16,5	22,28	
3	98	13	124	16,4	20,73	

**Valores de Porosidad de Mortero R50/30**

Muestra No.	Rcore		RHg		Porosidad (%)	Media
	Lectura	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Lectura	Volumen (cm <sup>3</sup> )		
1	100	13,4	122	16	16,25	16,56
2	99	13,2	120	15,8	16,46	
3	101	13,45	123	16,2	16,48	

**Valores de Porosidad de Mortero R50/50**

Muestra No.	Rcore		RHg		Porosidad (%)	Media
	Lectura	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Lectura	Volumen (cm <sup>3</sup> )		
1	97	12,9	118	15,6	17,31	17,30
2	100	13,4	122,5	16,2	17,28	
3	97	12,9	118	15,6	17,31	

**Valores de Porosidad de Mortero R50/70**

Muestra No.	Rcore		RHg		Porosidad (%)	Media
	Lectura	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Lectura	Volumen (cm <sup>3</sup> )		
1	96	12,8	119	15,7	18,47	18,87
2	99	13,2	123,5	16,25	18,77	
3	97	12,9	122	16	19,37	

**Valores de Porosidad de Mortero R50/100**

Muestra No.	Rcore		RHg		Porosidad (%)	Media
	Lectura	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Lectura	Volumen (cm <sup>3</sup> )		
1	96	12,8	123	16,2	20,98	20,00
2	100	13,4	125	16,6	19,27	
3	99	13,2	124	16,4	19,75	

**Anexo i. Resultado Ensayos de Permeabilidad. Método Permeámetro de Gas Ruska**

**Valores de Permeabilidad de Mortero Normal**

<b>Datos</b>	<b>MUESTRA 1</b>	<b>MUESTRA 2</b>	<b>MUESTRA 3</b>
Área Sección Transversal, A (cm <sup>2</sup> )	5,29	4,41	4,84
Longitud Muestra, L (cm)	2,3	2,3	2,5
Temperatura (°C)	24	24	24
Viscosidad del Gas, $\mu$ (cp)	0,0181	0,0181	0,0181
Flowmeter (S, M, L)	M	M	M
Gradiente de Presión, P (atm)	0,5	0,5	0,5
Lectura Flowmeter	2,8	2,4	2,4
Tasa Prom. Flujo, Q (cm/seg)	1,05	0,86	0,86
Permeabilidad, K (mD)	16,53	16,24	16,08
<b>Permeabilidad Promedio 16,28</b>			

**Valores de Permeabilidad de Mortero R16/30**

<b>Datos</b>	<b>MUESTRA 1</b>	<b>MUESTRA 2</b>	<b>MUESTRA 3</b>
Área Sección Transversal, A (cm <sup>2</sup> )	5,29	4,84	<b>4,84</b>
Longitud Muestra, L (cm)	2,4	2,3	2,3
Temperatura (°C)	25	25	25
Viscosidad del Gas, $\mu$ (cp)	0,01815	0,01815	0,01815
Flowmeter (S, M, L)	M	M	M
Gradiente de Presión, P (atm)	0,5	0,5	0,5
Lectura Flowmeter	3,2	3	3,2
Tasa Prom. Flujo, Q (cm/seg)	1,31	1,19	1,31
<b>Permeabilidad, K (mD)</b>	21,57	20,52	21,61
<b>Permeabilidad Promedio 21,23</b>			

### Valores de Permeabilidad de Mortero R16/50

<b>Datos</b>	<b>MUESTRA 1</b>	<b>MUESTRA 2</b>	<b>MUESTRA 3</b>
Área Sección Transversal, A (cm <sup>2</sup> )	5,29	5,29	5,29
Longitud Muestra, L (cm)	2,4	2,2	2,2
Temperatura (°C)	24	24	24
Viscosidad del Gas, $\mu$ (cp)	0,0181	0,0181	0,0181
Flowmeter (S, M, L)	M	M	M
Gradiente de Presión , P (atm)	0,5	0,5	0,5
Lectura Flowmeter	3,4	3,6	<b>3,6</b>
Tasa Prom. Flujo, Q (cm/seg)	1,47	1,6	1,6
Permeabilidad, K (mD)	24,14	24,08	24,08
<b>Permeabilidad Promedio 24,1</b>			

### Valores de Permeabilidad de Mortero R16/70

<b>Datos</b>	<b>MUESTRA 1</b>	<b>MUESTRA 2</b>	<b>MUESTRA 3</b>
Área Sección Transversal, A (cm <sup>2</sup> )	4,41	4,84	4,84
Longitud Muestra, L (cm)	2,3	2,2	2,2
Temperatura (°C)	24	24	24
Viscosidad del Gas, $\mu$ (cp)	0,0181	0,0181	0,0181
Flowmeter (S, M, L)	M	M	M
Gradiente de Presión , P (atm)	0,5	0,5	0,5
Lectura Flowmeter	3,4	3,6	3,6
Tasa Prom. Flujo, Q (cm/seg)	1,47	1,6	1,6
Permeabilidad, K (mD)	27,75	26,33	26,33
<b>Permeabilidad Promedio 26,80</b>			

### Valores de Permeabilidad de Mortero R16/100

DATOS	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
Área Sección Transversal, A (cm <sup>2</sup> )	4,84	4,84	4,84
Longitud Muestra, L (cm)	2,2	2,2	2,3
Temperatura (°C)	25	25	25
Viscosidad del Gas, $\mu$ (cp)	0,01815	0,01815	0,01815
Flowmeter (S, M, L)	M	M	M
Gradiente de Presión , P (atm)	0,5	0,5	0,5
Lectura Flowmeter	4	4	3,6
Tasa Prom. Flujo, Q (cm/seg)	1,8	1,8	1,8
Permeabilidad, K (mD)	29,7	29,7	27,6
<b>Permeabilidad Promedio 29,00</b>			

### Valores de Permeabilidad de Mortero R30/30

Datos	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
Área Sección Transversal, A (cm <sup>2</sup> )	4,84	5,29	4,84
Longitud Muestra, L (cm)	2,4	2,5	2,2
Temperatura (°C)	25	25	25
Viscosidad del Gas, $\mu$ (cp)	0,01815	0,01815	0,01815
Flowmeter (S, M, L)	M	M	M
Gradiente de Presión , P (atm)	0,5	0,5	0,5
Lectura Flowmeter	2,8	2,85	3
Tasa Prom. Flujo, Q (cm/seg)	1,05	1,1	1,19
Permeabilidad, K (mD)	18,9	18,87	19,63
<b>Permeabilidad Promedio 19,13</b>			

### Valores de Permeabilidad de Mortero R30/50

<b>Datos</b>	<b>MUESTRA 1</b>	<b>MUESTRA 2</b>	<b>MUESTRA 3</b>
Área Sección Transversal, A (cm <sup>2</sup> )	4,84	5,29	5,76
Longitud Muestra, L (cm)	2,3	2,3	2,5
Temperatura (°C)	24	24	24
Viscosidad del Gas, $\mu$ (cp)	0,0181	0,0181	0,0181
Flowmeter (S, M, L)	M	M	M
Gradiente de Presión , P (atm)	0,5	0,5	0,5
Lectura Flowmeter	3,15	3,3	3,35
Tasa Prom. Flujo, Q (cm/seg)	1,3	1,5	1,55
Permeabilidad, K (mD)	22,39	23,61	24,35
<b>Permeabilidad Promedio 23,45</b>			

### Valores de Permeabilidad de Mortero R30/70

<b>Datos</b>	<b>MUESTRA 1</b>	<b>MUESTRA 2</b>	<b>MUESTRA 3</b>
Área Sección Transversal, A (cm <sup>2</sup> )	5,29	4,84	4,84
Longitud Muestra, L (cm)	2,5	2,5	2,3
Temperatura (°C)	24	24	24
Viscosidad del Gas, $\mu$ (cp)	0,0181	0,0181	0,181
Flowmeter (S, M, L)	M	M	M
Gradiente de Presión , P (atm)	0,5	0,5	0,5
Lectura Flowmeter	3,5	3,3	3,5
Tasa Prom. Flujo, Q (cm/seg)	1,5	1,35	1,5
Permeabilidad, K (mD)	25,66	25,24	25,80
<b>Permeabilidad Promedio 25,57</b>			

### Valores de Permeabilidad de Mortero R30/100

<b>Datos</b>	<b>MUESTRA 1</b>	<b>MUESTRA 2</b>	<b>MUESTRA 3</b>
Área Sección Transversal, A (cm <sup>2</sup> )	4,84	4,41	4,41
Longitud Muestra, L (cm)	2,5	2,5	2,5
Temperatura (°C)	25	25	25
<b>Viscosidad del Gas, <math>\mu</math> (cp)</b>	0,01815	0,01815	0,01815
Flowmeter (S, M, L)	M	M	M
Gradiente de Presión , P (atm)	0,5	0,5	0,5
Lectura Flowmeter	3,5	3,3	3,3
Tasa Prom. Flujo, Q (cm/seg)	1,5	1,35	1,35
Permeabilidad, K (mD)	28,12	27,78	27,78
<b>Permeabilidad Promedio 27,89</b>			

### Valores de Permeabilidad de Mortero R50/30

<b>Datos</b>	<b>MUESTRA 1</b>	<b>MUESTRA 2</b>	<b>MUESTRA 3</b>
Área Sección Transversal, A (cm <sup>2</sup> )	4,84	4,84	4,84
Longitud Muestra, L (cm)	2,5	2,3	2,3
Temperatura (°C)	24	24	24
<b>Viscosidad del Gas, <math>\mu</math> (cp)</b>	0,0181	0,0181	0,0181
Flowmeter (S, M, L)	M	M	M
Gradiente de Presión , P (atm)	0,5	0,5	0,5
Lectura Flowmeter	2,6	2,8	2,8
Tasa Prom. Flujo, Q (cm/seg)	0,96	1,05	1,05
Permeabilidad, K (mD)	17,95	18,06	18,06
<b>Permeabilidad Promedio 18,02</b>			

### Valores de Permeabilidad de Mortero R50/50

<b>Datos</b>	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
Área Sección Transversal, A (cm <sup>2</sup> )	4,84	4,84	4,84
Longitud Muestra, L (cm)	2,3	2,3	2,4
Temperatura (°C)	25	25	25
<b>Viscosidad del Gas, <math>\mu</math> (cp)</b>	0,01815	0,01815	0,01815
Flowmeter (S, M, L)	M	M	M
Gradiente de Presión , P (atm)	0,5	0,5	0,5
Lectura Flowmeter	3	3,1	2,9
Tasa Prom. Flujo, Q (cm/seg)	1,19	1,25	1,15
Permeabilidad, K (mD)	20,52	21,56	20,7
<b>Permeabilidad Promedio 20,93</b>			

### Valores de Permeabilidad de Mortero R50/70

<b>Datos</b>	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
Área Sección Transversal, A (cm <sup>2</sup> )	4,84	5,29	4,84
Longitud Muestra, L (cm)	2,5	2,3	<b>2,3</b>
Temperatura (°C)	24	24	24
Viscosidad del Gas, $\mu$ (cp)	0,0181	0,0181	0,0181
Flowmeter (S, M, L)	M	M	M
Gradiente de Presión , P (atm)	0,5	0,5	0,5
Lectura Flowmeter	3,1	3,5	3,3
Tasa Prom. Flujo, Q (cm/seg)	1,25	1,5	1,35
Permeabilidad, K (mD)	23,37	23,61	23,33
<b>Permeabilidad Promedio 23,40</b>			

### Valores de Permeabilidad de Mortero R50/100

<b>Datos</b>	<b>MUESTRA 1</b>	<b>MUESTRA 2</b>	<b>MUESTRA 3</b>
Área Sección Transversal, A (cm <sup>2</sup> )	4,00	4,84	4,84
Longitud Muestra, L (cm)	2,4	2,4	2,5
Temperatura (°C)	25	25	25
Viscosidad del Gas, $\mu$ (cp)	0,01815	0,01815	0,01815
Flowmeter (S, M, L)	M	M	M
Gradiente de Presión , P (atm)	0,5	0,5	0,5
Lectura Flowmeter	3	3,5	3,5
Tasa Prom. Flujo, Q (cm/seg)	1,19	1,5	1,5
Permeabilidad, K (mD)	25,85	26,93	27,00
<b>Permeabilidad Promedio 26,60</b>			

## Anexo j. Resultados Ensayo Solidez Bajo la Acción de Sulfatos.

### Valores de Desgaste bajo la acción de Sulfatos Mortero Normal

Muestra No.	Peso Inicial (g)	Peso Final (g)	Desgaste (% en peso g)	Prom. Desgaste (% en peso g)
1	280,41	257,24	8,26	8,12
2	282,13	259,61	7,98	

### Valores de Desgaste bajo la acción de Sulfatos Mortero R16/30

Muestra No.	Peso Inicial (g)	Peso Final (g)	Desgaste (% en peso g)	Prom. Desgaste (% en peso g)
1	289,56	264,77	8,56	8,54
2	288,30	263,76	8,51	

### Valores de Desgaste bajo la acción de Sulfatos Mortero R16/50

Muestra No.	Peso Inicial (g)	Peso Final (g)	Desgaste (% en peso g)	Prom. Desgaste (% en peso g)
1	301,12	275,19	8,61	8,63
2	298,83	273,01	8,64	

### Valores de Desgaste bajo la acción de Sulfatos Mortero R16/70

Muestra No.	Peso Inicial (g)	Peso Final (g)	Desgaste (% en peso g)	Prom. Desgaste (% en peso g)
1	312,59	285,18	8,77	8,78
2	312,11	284,67	8,79	

**Valores de Desgaste bajo la acción de Sulfatos Mortero R16/100**

Muestra No.	Peso Inicial (g)	Peso Final (g)	Desgaste (% en peso g)	Prom. Desgaste (% en peso g)
1	317,14	288,91	8,90	8,92
2	317,65	289,28	8,93	

**Valores de Desgaste bajo la acción de Sulfatos Mortero R30/30**

Muestra No.	Peso Inicial (g)	Peso Final (g)	Desgaste (% en peso g)	Prom. Desgaste (% en peso g)
1	287,14	262,97	8,43	8,41
2	290,00	265,67	8,39	

**Valores de Desgaste bajo la acción de Sulfatos Mortero R30/50**

Muestra No.	Peso Inicial (g)	Peso Final (g)	Desgaste (% en peso g)	Prom. Desgaste (% en peso g)
1	300,4	274,78	8,52	8,51
2	299,10	273,68	8,49	

**Valores de Desgaste bajo la acción de Sulfatos Mortero R30/70**

Muestra No.	Peso Inicial (g)	Peso Final (g)	Desgaste (% en peso g)	Prom. Desgaste (% en peso g)
1	311,43	284,58	8,62	8,62
2	312,12	285,21	8,62	

**Valores de Desgaste bajo la acción de Sulfatos Mortero R30/100**

Muestra No.	Peso Inicial (g)	Peso Final (g)	Desgaste (% en peso g)	Prom. Desgaste (% en peso g)
1	317,46	289,43	8,83	8,81
2	316,81	289,53	8,78	

### Valores de Desgaste bajo la acción de Sulfatos Mortero R50/30

Muestra No.	Peso Inicial (g)	Peso Final (g)	Desgaste (% en peso g)	Prom. Desgaste (% en peso g)
1	286,0	262,33	8,28	8,26
2	288,10	264,39	8,23	

### Valores de Desgaste bajo la acción de Sulfatos Mortero R50/50

Muestra No.	Peso Inicial (g)	Peso Final (g)	Desgaste (% en peso g)	Prom. Desgaste (% en peso g)
1	300,3	275,19	8,36	8,34
2	301,84	276,70	8,32	

### Valores de Desgaste bajo la acción de Sulfatos Mortero R50/70

Muestra No.	Peso Inicial (g)	Peso Final (g)	Desgaste (% en peso g)	Prom. Desgaste (% en peso g)
1	311,88	285,34	8,51	8,50
2	313,45	286,87	8,48	

### Valores de Desgaste bajo la acción de Sulfatos Mortero R50/100

Muestra No.	Peso Inicial (g)	Peso Final (g)	Desgaste (% en peso g)	Prom. Desgaste (% en peso g)
1	317,83	290,37	8,64	8,65
2	316,40	289	8,66	

## Anexo k. Encuesta

### Medir el grado de aceptación del Mortero Magnético

Estimado (Arq. Ing.) el objetivo de esta encuesta es determinar el grado de aceptación de un mortero magnético que se quiere lanzar al mercado y es importante para nosotros conocer su opinión.

NOMBRE: \_\_\_\_\_  
EMPRESA: \_\_\_\_\_  
PROFESIÓN: \_\_\_\_\_  
TELÉFONO: \_\_\_\_\_

1. ¿Actualmente que tipo de terminado o cubrimiento para construcción a la vista, esta utilizando, para las paredes?

- Friso \_\_\_\_\_
  - Estuco directamente \_\_\_\_\_
  - Estuco plástico \_\_\_\_\_
  - Ladrillo a la vista \_\_\_\_\_
  - Otro \_\_\_\_\_
- ¿Cuál? \_\_\_\_\_

2. ¿Usted donde compra actualmente esos productos?

- Ferreterías \_\_\_\_\_
  - Supermercados de grandes superficies \_\_\_\_\_
  - Cooperativas \_\_\_\_\_
  - Grandes distribuidores \_\_\_\_\_
  - Otro \_\_\_\_\_
- ¿Cuál? \_\_\_\_\_

3. ¿Si le ofreciera un producto sustituto a los anteriormente mencionados y con un costo similar, lo aceptaría?

SI \_\_\_\_\_ (continua pregunta No. 4)

NO \_\_\_\_\_ (fin encuesta)

¿Por que? \_\_\_\_\_

4. ¿Usted utilizaría un friso magnético, el cual le brinda la opción de no utilizar puntillas, cintas, etc?

SI \_\_\_\_\_ (continua pregunta No. 5)

NO \_\_\_\_\_ (fin encuesta)

¿Por que? \_\_\_\_\_

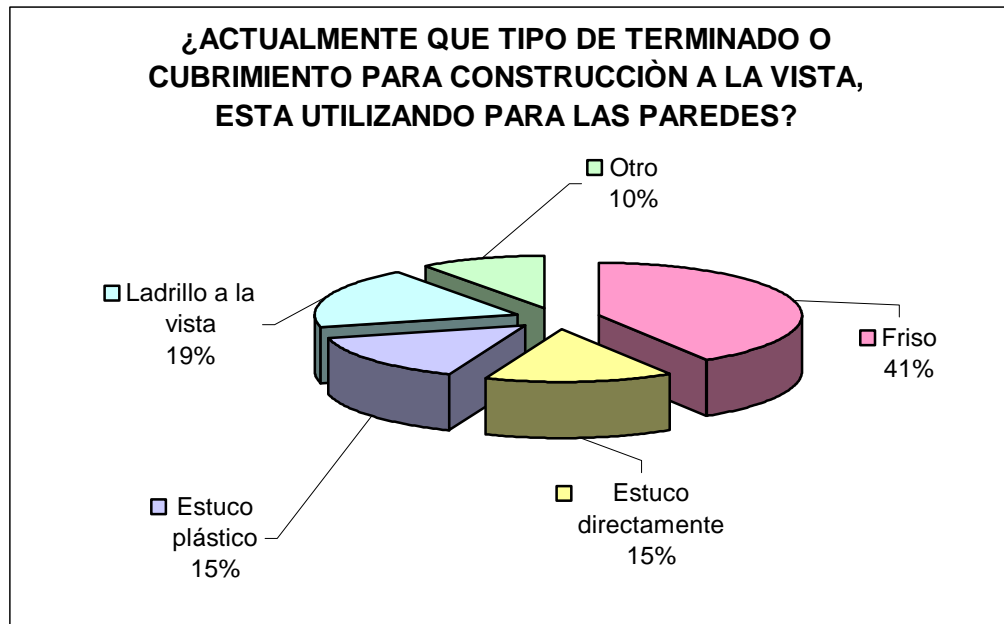
5. ¿Cuánto estaría dispuesto a pagar por el friso magnético?

- El costo que paga actualmente por uno similar \_\_\_\_\_
- El costo menor por uno similar \_\_\_\_\_
- El Costo mayor por uno similar \_\_\_\_\_

MUCHAS GRACIAS POR SU TIEMPO

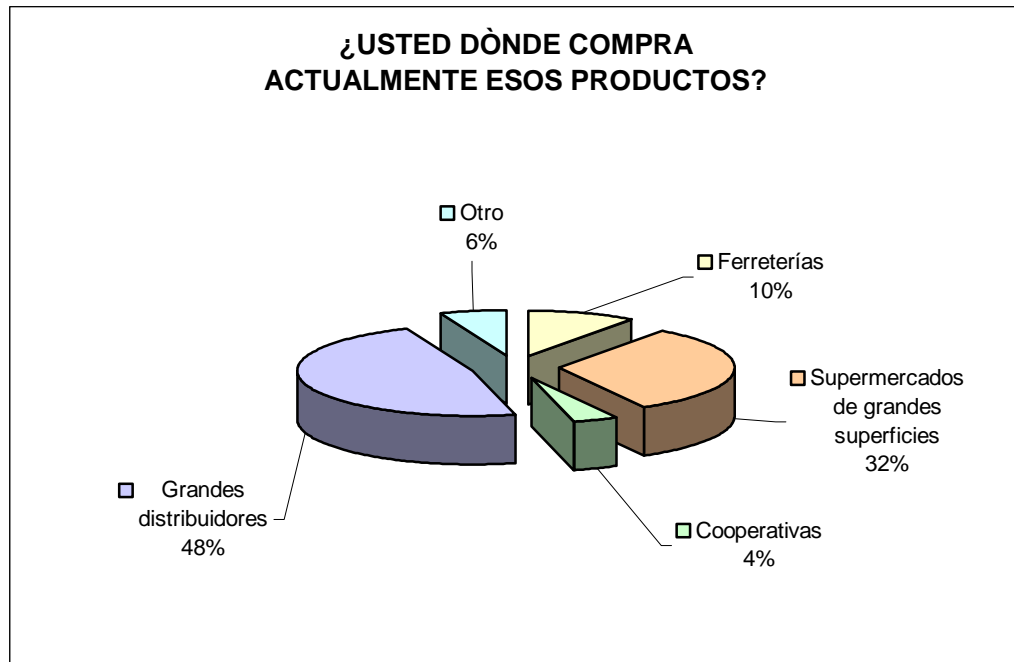
## Análisis de la Encuesta

### Pregunta 1.



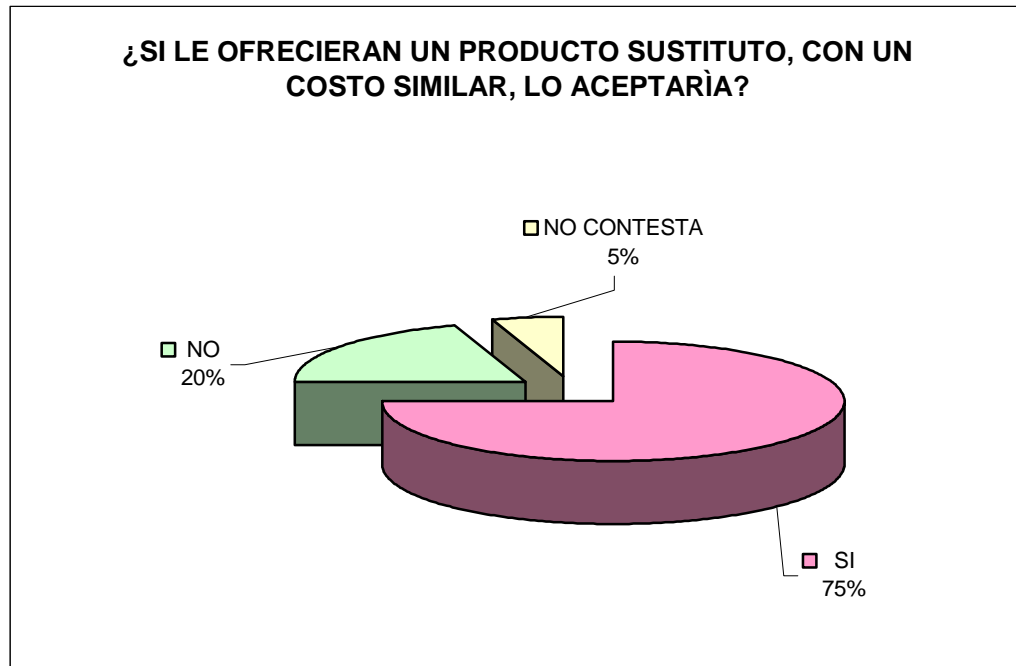
El 41% de las personas encuestadas manifestaron que el terminado que utilizan es el friso, seguido por un 19% que utiliza ladrillo a la vista, un 15% utilizan estuco plástico y otro 15% estuco directo, quedando un 10% otros materiales.

## Pregunta 2.



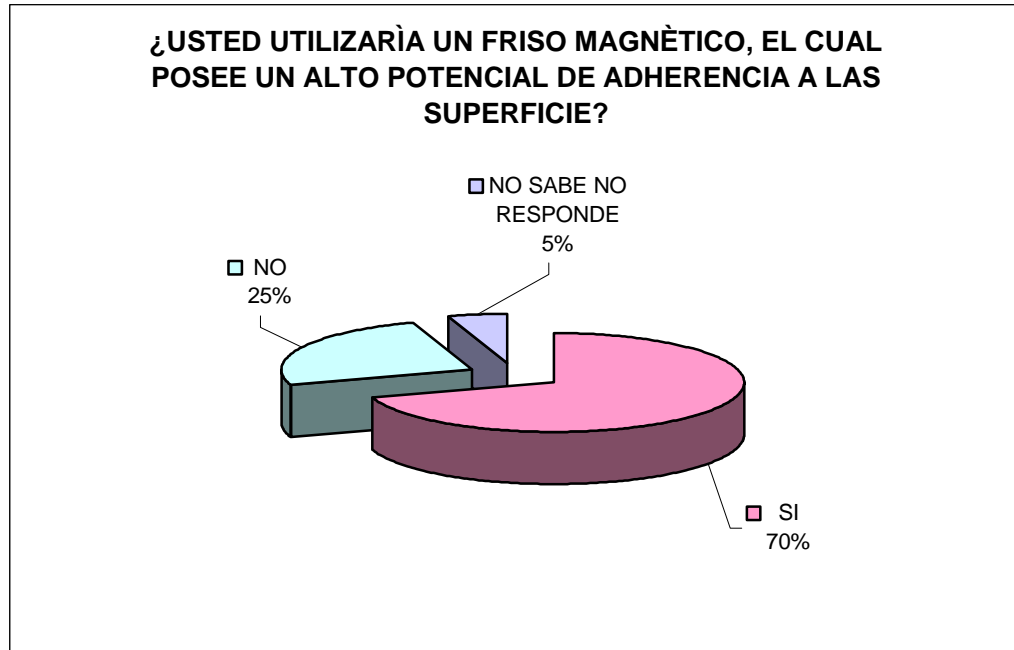
El 48% de los encuestados compran sus productos a los grandes distribuidores, seguido por un 32% que lo compran en supermercados de grandes superficies, un 10% en ferreterías, un 4% en cooperativas y un 6% otros canales de distribución.

### Pregunta 3.



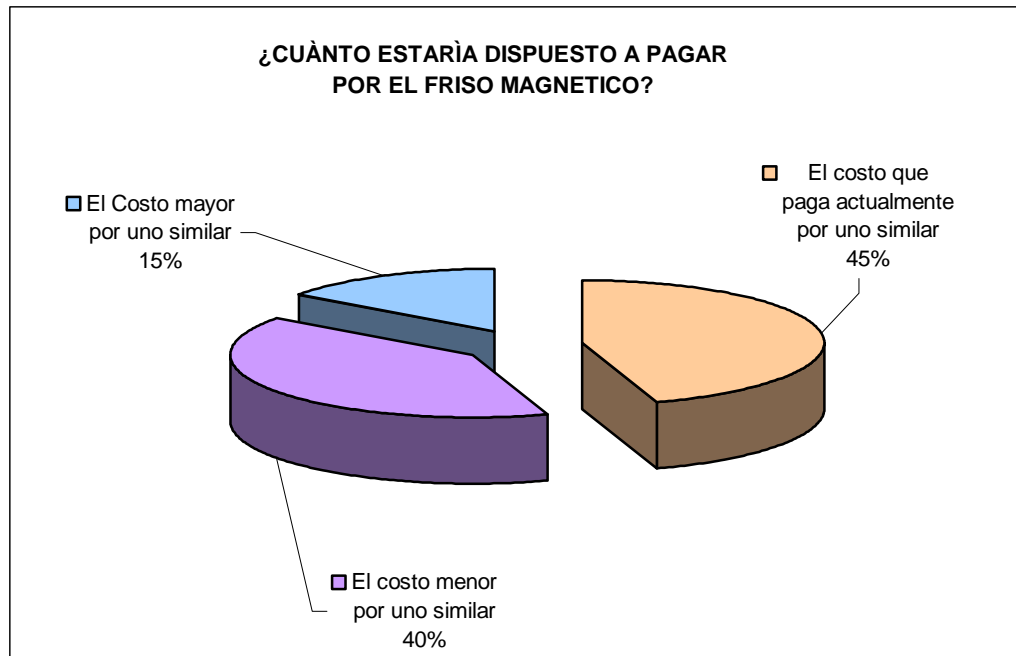
El 75% de los encuestados manifiestan que si están dispuestos a utilizar un sustituto, contra un 20% que manifiestan no estar dispuesto a aceptar otros productos, debido a que llevan mucho tiempo trabajando con esos productos y un 5% no contesta no responde.

**Pregunta 4.**



El 70% de los encuestados manifiestan estar interesados en utilizar un friso magnético, debido a los beneficios que daría a sus construcciones contra un 25% que no le interesa, y un 5% no sabe no responde

### Pregunta 5.



El 45% de los encuestados manifestaron que están dispuestos a pagar un valor similar al que actualmente están pagando, seguido de un 40% que pagarían un valor menor al que pagan actualmente y un 15% pagarían un mayor valor.