

**OBTENCIÓN, EVALUACIÓN Y APLICACIÓN DEL MORTERO
FERROMAGNÉTICO**

LILY JOHANNA JIMENEZ AYALA

CARLOS JAVIER RODRÍGUEZ APARICIO

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

2005

**OBTENCIÓN, EVALUACIÓN Y APLICACIÓN DEL MORTERO
FERROMAGNÉTICO**

LILY JOHANNA JIMENEZ AYALA

CARLOS JAVIER RODRÍGUEZ APARICIO

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

Director

RAMIRO SALAZAR LARROTA Ph.D.

Ingeniero Químico

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

A Dios porque ilumina y guía cada paso de mi vida.
A mi padre que está en el Cielo y nunca me abandona.
A mi madre por su apoyo incondicional y sacrificio.
A mis hermanos que siempre me apoyaron.

LILY JOHANNA JIMENEZ AYALA

Dedico este trabajo a Dios por ser la luz de mi vida

A mis padres por su apoyo incondicional

A mis hermanos

Y a todo aquel que hizo parte de este sueño.

CARLOS JAVIER RODRIGUEZ APARICIO

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a:

Dios, porque es la fortaleza y la guía en cada etapa de nuestras vidas.

Ramiro Salazar La Rotta, Ingeniero Químico, Ph. D. Director del proyecto, por aportarnos su gran experiencia y conocimiento.

Dirección de Investigaciones de la Facultad. Por su apoyo económico durante la realización del proyecto.

Ing. Luís Alejandro Salazar, Director de La Corporación Construir. Por su valiosa información brindada.

Fabio Blanco, Ingeniero Civil, Asesor técnico de Sika Colombia S.A, regional Bucaramanga. Por sus aportes para darle una dirección a este proyecto.

Andrés Felipe Pérez, Ingeniero Civil, Director Control de Calidad y Desarrollo, Planta de Concretos ING. JORGE LUIS VESGA. Por sus asesorías en la realización de ensayos.

Custodio Vásquez, Ingeniero Metalúrgico M.Sc., por sus acertadas y valiosas orientaciones, por el interés que mostró en la realización de este proyecto.

Jairo Hernández, Técnico Laboratorio de Hormigón, por su constante colaboración y asesoría en la realización de ensayos.

Mario Torres, Técnico Laboratorio de Rocas y Fluidos, por su colaboración y asesoría en la realización de ensayos.

Ambrosio Carrillo, Técnico Laboratorio de Corrosión, por su colaboración y asesoría en la realización de ensayos fisicoquímicos.

Dora Isabel Camacho, Ingeniera Química, por su apoyo y colaboración en la realización del proyecto.

Luís Eduardo Carreño, Técnico Laboratorio de Operaciones Unitarias, por su colaboración y asesoría en la realización en ensayos.

Wilson Eduardo Carreño, Técnico Laboratorio de Operaciones Unitarias, por su colaboración y asesoría en la realización en ensayos.

Guillermo Acero, Ingeniero Químico, por su colaboración y asesoría en la elaboración de pruebas de microscopía.

Lady Marcela Jiménez, por su apoyo y colaboración en la realización del proyecto.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	17
1. CONCEPTOS TEÓRICOS	20
1.1 MORTERO FERROMAGNÉTICO	20
1.1.1 Definición de Mortero	20
1.1.2 Generalidades de Mortero Ferromagnético	21
1.2 CORROSIÓN	22
1.2.1 Corrosión en Mezclas de Concretos y Morteros	22
1.2.2 Daños producidos por el Medio Ambiente	24
1.3 INHIBIDORES DE CORROSIÓN	26
1.3.1 Inhibidores Pasivadores	27
1.3.2 Inhibidores de Depósito	27
1.3.3 Inhibidores de Película Electrolítica	27
1.3.4 Inhibidores de Absorción	27
1.3.5 Inhibidores de Amino Alcoholes	27
2. DESARROLLO EXPERIMENTAL	29
2.1 DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES METODOLÓGICAS	29
2.2 MATERIALES	30
2.2.1 Cemento	30
2.2.2 Arena	30
2.2.3 Limadura de Acero	31
2.2.4 Agua	32
2.3 DISEÑO DE LA MEZCLA DE MORTERO	32
2.4 DESCRIPCIÓN DE ENSAYOS	33
2.4.1 Ensayo de Compresión	33
2.4.2 Ensayo de Tracción	34
2.4.3 Ensayo de Flexión	35
2.4.4 Ensayo de Porosidad	36
2.4.5 Ensayo de Adherencia Magnética	38
2.4.6 Ensayo de Absorción Capilar	39
2.4.7 Ensayo de Permeabilidad	41
2.4.8 Ensayo de Solidez bajo Acción de Sulfatos	42

2.4.9 Ensayo para determinar el Coeficiente de Difusión y Permeabilidad al Ión Cloruro	44
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	49
3.1 SELECCIÓN DEL INHIBIDOR	49
3.2 ENSAYO DE COMPRESIÓN	50
3.3 ENSAYO DE TRACCIÓN	52
3.4 ENSAYO DE FLEXIÓN	55
3.5 ENSAYO DE POROSIDAD	57
3.6 ENSAYO DE ADHERENCIA MAGNÉTICA	58
3.7 ENSAYO DE ABSORCIÓN CAPILAR	60
3.8 ENSAYO DE PERMEABILIDAD	62
3.9 ENSAYO DE SOLIDEZ BAJO LA ACCION DE SULFATOS	63
3.10 ENSAYO DE PERMEABILIDAD AL ION CLORURO	65
3.11 ANALISIS DE ACEPTACIÓN DEL PRODUCTO	68
3.12 COSTOS	69
3.13 APLICACIÓN DEL MORTERO FERROMAGNÉTICO	69
CONCLUSIONES	71
RECOMENDACIONES	72
BIBLIOGRAFÍA	73
ANEXOS	76

LISTA ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Fotos	76
Anexo B. Caracterización de los Materiales	83
Anexo C. Diseño de la Mezcla	97
Anexo D. Ensayo de Compresión	105
Anexo E. Ensayo de Tracción	108
Anexo F. Ensayo de Flexión	111
Anexo G. Ensayo de Porosidad	112
Anexo H. Ensayo de Adherencia Magnética	114
Anexo I. Ensayo de Absorción Capilar	117
Anexo J. Ensayo de Permeabilidad	118
Anexo K. Ensayo de Solidez bajo acción de Sulfatos	120
Anexo L. Ensayo para la determinac. Coeficiente Dif. Y Permeab. Ion Cloruro	121
Anexo M. Selección del Inhibidor	123
Anexo N. Análisis de la Encuesta	130
Anexo O. Costos	137
Anexo P. Aplicación	138

LISTA FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Resistencia a la Compresión vs Tiempo de Curado M-16	51
Figura 2 Resistencia a la Compresión vs Tiempo de Curado M-30	51
Figura 3 Resistencia a la Compresión vs Tiempo de Curado M-50	51
Figura 4 Resistencia a la Compresión vs % Agregado 28 días Curado	52
Figura 5 Resistencia a la Tracción vs Tiempo de Curado M-16	53
Figura 6 Resistencia a la Tracción vs Tiempo de Curado M-30	54
Figura 7 Resistencia a la Tracción vs Tiempo de Curado M-50	54
Figura 8 Resistencia a la Tracción vs % Agregado 28 días Curado	54
Figura 9 Resistencia a la Flexión vs % Agregado 28 días Curado	56
Figura 10 % Porosidad vs Tamaño de Partícula	57
Figura 11 Adherencia Magnética vs % Agregado Metálico. Imán 1	58
Figura 12 Adherencia Magnética vs % Agregado Metálico. Imán 2	59
Figura 13 Adherencia Magnética vs % Agregado Metálico. Imán 3	59
Figura 14 Resistencia a la Penetración del Agua	60
Figura 15 Absortividad para cada tipo de mortero	61
Figura 16 Coeficiente de Absorción Capilar para cada mortero	61
Figura 17 Permeabilidad a los diferentes tipos de mortero	62
Figura 18 Acción bajo la Solidez de Sulfato para los tipos de Mortero	64
Figura 19 Concentración vs Tiempo. 25% Limadura de Acero	65
Figura 20 Concentración vs Tiempo. 38% Limadura de Acero	66
Figura 21 Valores de Deff para los tipos de mortero	66
Figura 22 Corriente vs Tiempo de ensayo para las muestras de Mortero	66
Figura 23 Permeabilidad del Ion Cloruro para las muestras de Mortero	67

LISTA TABLAS

Tabla 1 Ensayos realizados durante la investigación	Pág. 33
---	------------

LISTA FOTOS

	Pág.
Foto 1 Probeta de Compresión fallada	50
Foto 2 Probeta de Tracción fallada	53
Foto 3 Probeta de Flexión fallada	55
Foto 4 Ataque de Sulfatos a la mezcla de mortero	63

TITULO*: OBTENCIÓN, EVALUACIÓN Y APLICACIÓN DEL MORTERO FERROMAGNÉTICO

**AUTOR(ES): LILY JOHANNA JIMENEZ AYALA
CARLOS JAVIER RODRIGUEZ APARICIO ****

PALABRAS CLAVES: Mortero
Ferromagnético
Limadura de acero
Corrosión
Inhibidor

DESCRIPCIÓN:

El mortero ferromagnético es un material de la construcción que permite facilitar la adherencia de objetos en las paredes o cielorrasos mediante imanes; con el fin de mejorar su desempeño y dar una alternativa en el uso de puntillas, adhesivos y cintas en las paredes, evitando su deterioro y el mal aspecto de las mismas.

El estudio revela que al adicionarle limadura de acero a la mezcla de mortero, este adquiere la propiedad ferromagnética; para evitar la corrosión se utilizó un inhibidor el cual aumenta el tiempo de vida del mortero. La reutilización de la limadura de acero (desecho industrial) como un aditivo del mortero proporciona una alternativa para contrarrestar el grave problema de contaminación ambiental que éste genera a nivel local y además le da mayor valor agregado.

Se evaluaron las propiedades físico-mecánicas (compresión, flexión, tracción) y se presentó una disminución gradual de las mismas a medida que se aumentaba el tamaño de la partícula y se incrementaba el contenido de la limadura de acero en la mezcla. En cuanto al comportamiento ante algunos fenómenos físico-químicos (porosidad, ferromagnetismo, permeabilidad, absorción capilar, desgaste bajo la acción de sulfatos y la permeabilidad al ion cloruro), la formulación con un bajo contenido de limadura y con partículas finas ofreció los mejores resultados comparados con los ofrecidos por el mortero normal (solo arena), sin afectar significativamente las propiedades físico-mecánicas.

*Proyecto de grado

** Facultad de Ingenierías Físico Químicas, Ingeniería Química, Salazar La Rotta Ramiro Augusto, Ph.D,

TITLE *: OBTAINING, EVALUATION AND APPLICATION OF THE MORTAR FERROMAGNETIC

AUTHOR (s): LILY JOHANNA JIMENEZ AYALA
CARLOS JAVIER RODRÍGUEZ APARICIO * *

KEY WORDS: Mortar
Ferromagnetic
Steel filing
Corrosion
Inhibitor

ABSTRACT:

The ferromagnetic mortar is a material of the building that allows to facilitate the adherence of objects in the walls or ceilings by imams; with the purpose of improve its acting and give an alternative in the use on tiptoe, adhesives and tapes on the walls, avoiding its deterioration and the bad aspect of the same one.

The study reveals that when adding steel filing to the mortar mixture, it acquires the ferromagnetic property; to avoid the corrosion, it was used an inhibitor which increases the time of life of the mortar. The reutilization of the steel filing (industrial remainder) as a preservative of the mortar,, it provides an alternative to counteract the serious problem of environmental contamination that it generates at local level and it also gives it bigger added value.

The physical-mechanical properties were evaluated (compression, flexion, traction) and a gradual decrease of the same ones was presented as you increased the size of the particle and the content of the steel filing was increased in the mixture. As for the behavior some physical-chemical phenomena (porosity, ferromagnetism, permeability, capillary absorption, wear away of the action of sulfates and the permeability to the ion chloride), the formulation with few contained of filing and with fine particles offered the best results compared with those offered by the normal mortar (only sand), without affecting the physical-mechanical properties significantly.

* Grade Project

* * Physique Chemical Engineering Faculty, Chemical Engineering, Salazar La Rotta Ramiro Augusto, Ph.D,

INTRODUCCION

Siendo el mortero un material utilizado en materia de construcción por su amplia aplicabilidad debido a las características que presenta en cuanto a su forma, función y economía, es importante seguir desarrollando experimentos con el fin de ampliar su campo de aplicación, por esta razón este proyecto se basa en adicionarle la propiedad ferromagnética (el material que la posee es atraído por un campo magnético) al incorporarle a la matriz del mortero limadura de acero, el cual es un material que en la actualidad es un desecho industrial que genera problemas ambientales debido a que es arrojado en los efluentes aumentando la dureza de las fuentes hídricas o mezclado en las basuras sin un debido tratamiento.

Como se puede observar, en la actualidad, se enfatiza el hecho de que la sociedad no consume materiales sino que solamente los usa y los retorna al medio ambiente de una manera degradada.

En las operaciones industriales de manufactura, como los procesos de mecanizado donde se obtiene la limadura de acero como residuo sólido no son totalmente eficientes y éstos no se reutilizan adecuadamente. La razón por la cual este material no es tratado apropiadamente es debido a la ausencia de altos hornos en la ciudad que permitan la fundición de este desecho ya que este proceso requiere de un alto consumo energético, a su vez son equipos de elevado costo de operación y no es justificable económicamente el transporte de la limadura a los altos hornos de otros municipios.

Dentro de la finalidad del proyecto se tiene la reutilización de la limadura de acero, como alternativa para disminuir el impacto ambiental.

Como impactos ambientales de éste desecho sólido se pueden mencionar los siguientes: Impactos sobre la salud pública, Contaminación del aire, Contaminación de las aguas superficiales.

Los impactos sobre la salud pública asociados a los desechos sólidos están ligados especialmente a la presencia de sustancias tóxicas cancerígenas de origen industrial, en este caso la limadura de acero, la cual contiene taladrinas o fluidos de corte, las cuales son sustancias que están clasificadas como un “residuo peligroso” debido a que durante los procesos en los que intervienen, sufren alteraciones en su composición, arrastrando aceites y metales pesados, biocidas, compuestos de boro, etc. todos ellos de un alto poder contaminante. Pese a su clasificación y peligrosidad, una gran cantidad de estas sustancias continúan siendo vertidas a los cauces y colectores de saneamiento con los problemas y riesgos para el medio ambiente que éstos implican.

Por esta razón uno de los objetivos de este proyecto es obtener un mortero con una fuerza cohesiva lograda por la adición de limadura de acero proporcionando de esta forma un valor agregado a dicho material y contribuir en parte a la solución del problema ambiental. En cuanto a la obtención del mortero, el uso de la limadura involucra la adición de inhibidores de corrosión y la evaluación de sus propiedades mecánicas.

En la etapa experimental se caracterizan los materiales y de acuerdo con los resultados obtenidos, el mortero ferromagnético presenta una disminución en sus propiedades mecánicas (compresión, tracción y flexión) con respecto al mortero sin limadura de acero, debido a la disminución de la adherencia del agregado con la matriz del mortero. En cuanto a la porosidad y permeabilidad de la mezcla se presenta un decrecimiento de dichas propiedades cuando se utilizan partículas finas y alargadas proporcionando una disminución de los espacios vacíos en la mezcla.

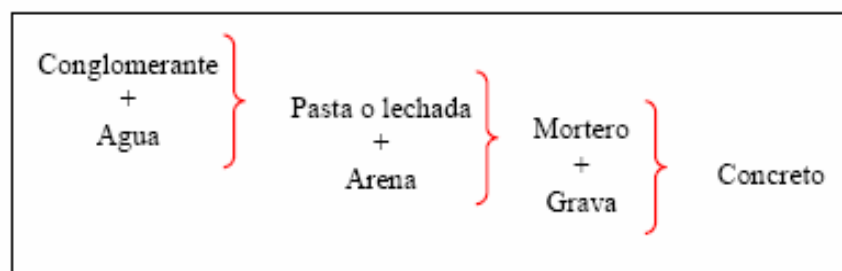
Con la obtención del mortero ferromagnético se logra una formulación a partir de un material reutilizable y al emplearlo como friso permite la adhesión de diferentes objetos usando imanes de neodimio.

1. CONCEPTOS TEORICOS

1.1 MORTERO FERROMAGNÉTICO

1.1.1 Definición de mortero. Se denomina pasta o lechada, según su mayor o menor fluidez, al material resultante de la mezcla de uno o varios conglomerantes con agua. Si a este material se le añade un agregado, se obtiene un mortero o un concreto, dependiendo que el agregado sea solamente arena, o una mezcla de arena y grava.

El mortero se define como el material obtenido por la mezcla de conglomerante, agua y arena, o como un concreto de agregado fino cuyo diámetro máximo es inferior a 5 mm. Los materiales básicos de los morteros son los diferentes conglomerantes, el agua y la arena. Los materiales complementarios son las adiciones. La mezcla de estos materiales genera un producto que fragua y endurece por procesos fisicoquímicos adquiriendo una consistencia pétreo. El conglomerante y el agua desempeñan el papel principal en estos fenómenos de fraguado y endurecimiento, en cambio la arena sirve únicamente como sustancia estabilizadora de volumen y como material de relleno.



El mortero es un material que debe adaptarse a los cambios dimensionales provocados por efectos térmicos (dilatación) o por secado (retracción). Para ello es preciso que desarrolle altas resistencias iniciales. Pero no es cierto que sólo

éstas influyan, pues una alta resistencia generalmente va unida a elevados valores de retracción de secado, por tener dosificaciones más ricas en conglomerante.¹ En general los morteros deben tener una buena estabilidad volumétrica. El mortero no se debe confundir con el concreto, pues sus propiedades y comportamiento son muy diferentes.

1.1.2 Generalidades Del Mortero Ferromagnético. El mortero ferromagnético se caracteriza por la incorporación de un material (limadura de acero) con propiedades ferromagnéticas en la mezcla convencional, permitiendo su adherencia con imanes y proporcionando un valor agregado al nuevo componente del mortero. En Canadá; el Instituto para la Investigación de la Construcción (IRC) realizó una mezcla similar con subproductos de la industria del acero y fibras de carbón para obtener un concreto conductivo y utilizarlo en épocas de invierno para descongelar las autopistas² Por otra parte, en Colombia, se han realizado concretos y morteros con adiciones de diversos materiales (caucho, vidrio, cascarilla de arroz, bagazo de caña, escoria siderúrgica y cenizas volantes, etc) con el fin de adicionar y mejorar algunas propiedades.³

En la actualidad, se ha trabajado en el ámbito de los materiales de la construcción, teniendo como línea común el diseño de productos de base cemento Pórtland, al emplear residuos sólidos industriales inorgánicos, constituyendo una alternativa para evitar el deterioro del medio ambiente. Por ello a estos materiales hoy en día se les denomina *Ecomateriales*.³

¹ Salazar, A., "Síntesis de la Tecnología del Concreto. Una manera de entender a los materiales compuestos". Corporación Construir, 4ª Edición, Septiembre 2002, Cali, Colombia.

² Concreto Conductivo Genera Gran Reacción. Notas de Hoy, Noticreto N° 44, Bogotá, 1999.

³ AUPEC, Agencia Universitaria de Periodismo Científico. Los Ecomateriales: Una Alternativa Ecológica para la Construcción., Universidad del Valle, Cali, 2005.

En la formulación del mortero ferromagnético es importante el uso de inhibidores de corrosión para evitar el deterioro del material por la oxidación de las partículas de limadura de acero.

La vida útil del mortero dependerá principalmente de su grado de permeabilidad; y esta dependerá esencialmente de la permeabilidad de la pasta de cemento (poros capilares), empaquetamiento de los agregados, de la proporción de pasta en relación con los agregados, los vacíos generados por una compactación o vibrado deficiente (macroporos) y de los capilares que son dejados por el agua de exudación.⁴

El curado es parte esencial para el desarrollo de las propiedades mecánicas y de durabilidad de los concretos y morteros. Los efectos de este proceso se hacen más relevantes, en particular en el aspecto de durabilidad cuando se incorporan materiales cementantes y algunas adiciones. Las formas de curado obedecen a una simulación de la aplicación convencional en el medio de la construcción comparada con la forma ideal recomendada para trabajos de laboratorio⁵.

1.2 CORROSIÓN

1.2.1 Corrosión en mezclas de concretos y morteros. Las estructuras del concreto y morteros en su vida útil están sometidas a diferentes agentes corrosivos, produciendo una disminución en su durabilidad. La corrosión en la mezcla de morteros se debe a acciones químicas, físicas y mecánicas, las cuales están relacionadas entre otras, con las características del mortero, proceso de

⁴ Díaz, Jorge C., Evaluación de Concretos Diseñados Por Durabilidad. Noticreto N° 71, Bogotá, 2004.

⁵ SALAZAR J., Alejandro. Estudio de la Durabilidad de Concretos Adicionados con Escoria Siderúrgica, con Diferentes Formas de Curado. Corporación Construir. Calí, 2004

elaboración, curado; y el medio ambiente al que será sometido. ⁶Se distinguen dos clases de corrosión:

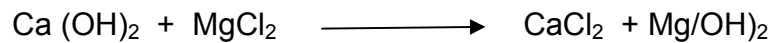
- **Corrosión Física en el mortero:** Es el desprendimiento del material por desgaste mecánico, en que el agente externo lame la superficie y gasta las capas superficiales del material, exponiendo a la acción química las partes que quedan al descubierto, fenómeno conocido como erosión.
- **Corrosión química del mortero:** Se presenta cuando la disolución agresiva ataca el material, intercambiando iones, dando unos y recibiendo otros procedentes del cemento; presentando una pérdida del material.

Dentro del concepto de corrosión química se diferencian la corrosión interna y externa, esta última comprende dos tipos clásicos de acción, presentados a continuación:

- **Corrosión por lixiviación.** Ocurre por acción de aguas poco carbonatadas, aguas que contengan cualquier tipo ácido o por contacto o lavado con aguas excesivamente blandas, cuando los concretos son muy porosos o permeables. En este caso, la velocidad de corrosión depende del pH del material, cuando este disminuye puede desarrollarse el proceso de lixiviación.
- **Corrosión por Cambio Iónico.** Debido a la reacción de cambio iónico entre los componentes de la pasta endurecida del cemento y las sustancias existentes en el agua agresiva se forman combinaciones fácilmente solubles que posteriormente son arrastradas en disolución por una corriente de agua.

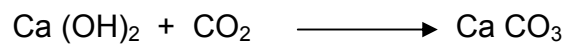
⁶ BICZOK, I. La corrosión del Hormigón y su protección. Bilbao: Urmod. 1968.

Este concepto se aprecia mejor por la corrosión causada por sales de magnesio, al formar una nueva sal de calcio e hidróxido de magnesio $Mg(OH)_2$, de poca solubilidad, a continuación se describe la reacción:



1.2.2 Daños Producidos Por el Medio Ambiente

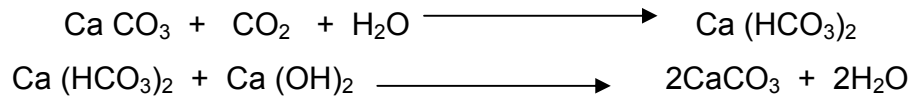
➤ **Carbonatación.** Ocurre a consecuencia de la inclusión del CO_2 atmosférico, tanto en medios urbanos como industriales y se ve acelerada en ambientes con humedad relativa moderada, es decir entre el 50 y 65%. Generalmente se produce al utilizar una alta relación a/c y curado insuficiente⁷. Su reacción envuelve la transformación de la Portlandita (CH) en carbonato de calcio:



La reducción de la alcalinidad de la pasta debida a la reacción anterior es consecuencia final de la despasivación y corrosión del acero en estructuras del hormigón armado. Cuando la carbonatación es solo de carácter superficial puede presentarse un fenómeno de sellado de los poros por formación de carbonato cálcico, el cual tendrá el efecto de reducir la permeabilidad e incrementar la resistencia de la capa carbonatada; pero si esta carbonatación continúa porque la fase líquida del hormigón se lo permite, da lugar a incrementos en la porosidad y permeabilidad del hormigón, debido a la transformación de los carbonatos en

⁷ Ortiz, Andrés. El Concreto Bajo Ataques Químicos y Biológicos Agresivos. Noticreto N° 59, Bogotá, 2001

bicarbonatos y su posterior disolución, esto se expresa en las siguientes ecuaciones:



Como consecuencia de lo anterior, un hormigón altamente carbonatado presenta menor resistencia y durabilidad frente a ataques físicos y químicos.

➤ **Ataque por sulfatos.** Se debe a la interacción fisicoquímica entre los minerales de la pasta de cemento hidratada y los iones sulfato del medio, en los que se consideran los aniones más agresivos para el concreto. Se manifiesta este ataque en forma de expansión, agrietamiento, pérdida de masa y/o desintegración. Estas dos primeras asociadas con la formación de “estringita” o “bacilo de cemento”, generalmente en pastas de cemento de elevado C₃A y en pastas de cemento con adiciones puzolánicas y/o escorias siderúrgicas.

Además, otros sulfatos como el magnésico, después de un ataque prolongado sobre el hidróxido de calcio (Portlandita) y los silicatos de calcio hidratados dan lugar a yeso, con la consecuente pérdida de cohesión y resistencia.

➤ **Ataque por cloruros.** Los cloruros pueden estar presentes en la mezcla fresca debido a agregados contaminados, aguas, cementos y aditivos; que al penetrar del exterior al concreto endurecido como consecuencia de atmósferas marinas, contacto directo con agua del mar, atmósferas industriales, gases de combustión de algunos productos plásticos como PVC y presencia de sales de deshielo.

El anión cloruro (Cl⁻) entra como ión, bien sea como un mecanismo de difusión puro o combinado con el transporte del agua en la forma de succión capilar o la

evaporación y se ubica en los poros interiores del mortero, parcial o totalmente llenos de agua, donde parte de estos iones son enlazados por los componentes del cemento mediante mecanismos químicos (reacción) y físicos (adsorción). A diferencia del proceso de carbonatación del concreto, en este caso no se produce un frente de reacción sino un perfil, ya que el contenido en anión cloruro es la corrosión de las armaduras metálicas del concreto, cuyo riesgo dependerá de la resistencia de éste a la penetración del anión cloruro y de su capacidad de enlace, puesto que solo aquellos iones libres serán los verdaderamente agresivos para dichas armaduras.

El contenido del anión cloruro y su profundidad de penetración son función entre otros, de los siguientes factores: Las condiciones micro climáticos de la superficie del material, el tipo de sal (catión), la temperatura, la relación a/c, el tipo de cemento Pórtland, la capacidad de enlaces por iones cloruros, el tiempo de curado y el espesor de recubrimiento del concreto.

La relación entre el aluminato tricálcico del cemento Pórtland y el anión cloruro, da lugar a la formación del compuesto conocido como “Sal de Friedel”, responsable principal de la formación de cloruros, la cual y a diferencia de la “estringita” no resulta ser expansiva.

1.3 INHIBIDORES DE CORROSIÓN

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

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

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

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

1.3.4 Inhibidores de Absorción. Constituye el grupo más grande de inhibidores y son sustancias que se depositan dando lugar a una capa muy delgada sobre el metal al cual se unen mediante diferentes tipos de enlace. Estos inhibidores impiden una o las dos reacciones de corrosión. Numerosos aditivos químicos tanto orgánicos como inorgánicos han sido sugeridos como inhibidores de corrosión; algunos de ellos causan cambios drásticos en el fraguado y endurecimiento del concreto, otros causan detrimento de las propiedades mecánicas resistentes. Este tipo de inhibidores son sensibles al lavado y su acción se disminuye paulatinamente.

1.3.5 Inhibidores con Amino Alcoholes. Este novedoso grupo de inhibidores forman una capa superficial continua sobre la superficie metálica, compuesta por la molécula central del amino alcohol y sus radicales asociados. Esta capa muestra un espesor típico de 10^{-8} m, lo que demuestra la formación de una película de muy alta integridad que proporciona una barrera efectiva contra

cualquier ión agresivo. Este tipo de inhibidor es efectivo a una concentración del 3% en relación al peso de cemento.⁸

Los inhibidores de corrosión forman en la superficie del metal una película protectora muy insoluble. La adición de cualquier tipo de inhibidor de corrosión esta establecido para un 1-3% (con relación al peso del cemento).

Los inhibidores químicos más estudiados son: Nitrito Sódico (NaNO_2), Benzoato Sódico ($\text{C}_6\text{H}_5\text{COONa}$), Cromato Potásico (K_2CrO_4), Molibdatos de Sodio o Potasio (Na_2MoO_4 , K_2MoO_4), fosfatos, Cloruro de Calcio (CaCl_2).⁹

⁸ BARRERA, Lisbeth y ARCILA, Carlos. Informaciones Técnicas SIKA. Inhibidores de corrosión para concreto reforzado. Bogotá.

⁹ VENUAT, Michel. Aditivos y Tratamiento de Morteros y Hormigones. Editores técnicos asociados S.A. Barcelona. 1967.

2. DESARROLLO EXPERIMENTAL

2.1 DESCRIPCION DE LAS ACTIVIDADES METODOLOGICAS

Se inicia con las pruebas preliminares al cemento (peso específico, consistencia normal y tiempo de fraguado); agregados finos (masa unitaria, peso específico, contenido de materia orgánica, absorción), tanto a la arena como a la limadura de acero. Posteriormente, se seleccionaron tres tamaños de partículas diferentes para la limadura de acero (1190 μm , 595 μm y 297 μm) con el fin de visualizar el comportamiento de cada tamaño en la matriz del mortero. Dentro de la formulación de la mezcla se escogieron cuatro porcentajes de adición de limadura de acero respecto al volumen de agregado con el objetivo de analizar sus propiedades mecánicas, adherencia entre superficie mortero/material magnético. Asimismo, en el proceso de selección de alternativas se estudió el uso de cinco inhibidores de corrosión, para contrarrestar las reacciones entre el material y los agentes corrosivos que se presentan (Cloruros, Sulfatos).

La selección del inhibidor fue a través de un análisis cualitativo y de resistencias a las probetas, (Ver Anexo M). Seguidamente se elaboraron trece tipos de mortero diferentes (incluido el mortero normal) con el inhibidor que proporcionó las mejores condiciones requeridas para la determinación de sus propiedades.

Finalmente se realizaron nueve pruebas que proporcionaron información para obtener y evaluar el mortero con la formulación adecuada.

2.2 MATERIALES

Los procedimientos y materiales empleados deben ser controlados por las normas técnicas colombianas vigentes del país (NTC) y algunas de interés internacional (ASTM), las principales normas utilizadas en la caracterización de los materiales están incluidas a continuación. La caracterización de los materiales se muestra en el Anexo B.

2.2.1 Cemento. El cemento utilizado es un cemento hidráulico, encargado de brindar la mayor parte de la resistencia al mortero y es considerado como el agente conglomerante de la mezcla. En cuanto a las pruebas preliminares del cemento se realizaron tres pruebas las cuales fueron:

- Determinación del peso específico del cemento (Norma NTC 221)
- Determinación de la consistencia normal del cemento (Norma NTC 110)
- Determinación del tiempo de fraguado mediante el aparato de Vicat (Norma 118) y por medio de las Agujas de Gillmore (Norma NTC 109)

2.2.2 Arena. La arena utilizada proviene de los depósitos de sedimentos en las riveras del río Chicamocha. Es un tipo de arena no activa frente al aire, hielo ni a los conglomerantes. La caracterización de la arena se hizo mediante los siguientes ensayos:

- Tamizado de materiales granulados (Norma NTC 77).
- Método para determinar la masa unitaria de los agregados (Norma NTC 92).
- Método para determinar el contenido aproximado de materia orgánica en arenas usadas en la preparación de morteros u hormigones (Norma NTC 127).

- Método para determinar el peso específico y la absorción de agregados finos (Norma NTC 237).

2.2.3 Limadura de Acero. Este material proviene de los procesos de mecanizado de los tornos de la ciudad de Bucaramanga, específicamente de los talleres de mecánica industrial situados en los barrios Girardot, Caldas y Gaitán. Para la utilización de la limadura en la mezcla se realiza:

- Lavado del material con Alcohol Industrial en un sistema provisto de un recipiente de acero inoxidable y en cuya parte inferior contiene una malla fina para evitar pérdidas de material, esto con el fin de retirar las impurezas y compuestos orgánicos (Taladrinas) procedentes del proceso de Torneado. El líquido filtrado se recogió para posterior recuperación del alcohol. Ver foto 2.1, Anexo A.
- Posteriormente se realizó un proceso de secado en un horno al vacío a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ durante seis horas, con el fin de eliminar la humedad y trazas de alcohol en el material. Ver foto 2.2, Anexo A.
- Luego del secado del material se tamizaron muestras de 1000 g durante 15 minutos para finalmente separar las partículas retenidas en las mallas (4, 8, 16, 30, 50, 100 y bandeja). Ver foto 2, Anexo B.
- Se escogió el material retenido en los tamices 16, 30 y 50 ya que presentaron mayores porcentajes de acumulado retenido en la distribución granulométrica. Ver Tabla 7, Anexo B.

El material seleccionado se almacenó en empaques de sello hermético para evitar su contaminación. Las pruebas realizadas a este material son:

- Tamizado de materiales granulados (Norma NTC 77)
- Método para determinar la masa unitaria de los agregados (Norma NTC 92)
- Método para determinar el peso específico y la absorción de agregados finos (Norma NTC 237)

Nota: A partir de una visualización en el microscopio de los tres tamaños de partículas escogidos (ver fotos 2.3 del Anexo A). Solo se observaron sus formas, y tamaños, puesto que es muy dispendioso separar las diferentes partículas de un mismo tamaño, para un estudio más detallado.

2.2.4 Agua. El agua utilizada es 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.

2.3 DISEÑO DE LA MEZCLA DE MORTERO

En Colombia y en muchos sitios de Latinoamérica se tiene la tendencia a dosificar los morteros por volumen, debido a la tecnología inexistente en las obras (sistemas rudimentarios de producción) y a los volúmenes de mezcla que se manejan a diario. Teniendo en cuenta esto se sigue un procedimiento de diseño así:

Paso 1: Determinación del Tipo de Arena

Paso 2. Determinación de la Relación Agua –Cemento

Paso 3: Selección de la Consistencia de la Mezcla de Mortero

Paso 4: *Determinación de los Factores que Influyen en el Contenido de Agua*

Paso 5: *Determinación de la Proporción 1:N*

Paso 6: *Calculo del Contenido de Cemento*

Paso 7: *Determinación del Contenido de Agua*

Paso 8: *Determinación del Contenido de Arena*

2.4 DESCRIPCIÓN DE ENSAYOS

El desarrollo de la fase experimental del proyecto comprende diversos ensayos (Tabla 1), los cuales nos permiten la caracterización de un mortero ferromagnético (Adición de Limadura de Acero) frente a su comportamiento mecánico y físico-químico.

Tabla 1. Ensayos realizados durante la investigación

ENSAYOS DE LABORATORIO
Compresión
Tracción
Flexión
Adherencia Magnética
Porosidad
Permeabilidad
Solidez bajo acción de Sulfatos
Difusión y Permeabilidad al Ión Cloruro
Absorción Capilar

2.4.1 Ensayo de compresión. Este ensayo mide el comportamiento del mortero de cemento hidráulico, bajo cargas de compresión. Se emplearon probetas en forma de cubos de 50 mm de lado, las cuales fueron falladas conforme a la norma NTC 220 (Determinación de la resistencia de morteros de cemento hidráulico usando cubos de 50 mm de lado). En los procedimientos de mezclado,

preparación y almacenamiento de las probetas se tuvo especial cuidado con los requerimientos de la norma. (Condiciones del ambiente, dimensiones, etc).

El procedimiento de ensayo de las probetas se realizó en la máquina universal de ensayos TREBEL. (Foto 2.4, Anexo A). La resistencia a la compresión de los morteros se evaluó para 7, 14 y 28 días, debido a la gran influencia que posee dentro de las diferentes propiedades del mortero y la gran importancia para la caracterización de una mezcla. A partir de la ecuación $\delta = F / A$ donde δ es el esfuerzo en el mortero, F es la fuerza aplicada y A es el área de la probeta en estudio ($A=25 \text{ cm}^2$), se determinan los resultados de este ensayo.

2.4.2 Ensayo de tracción. Esta prueba determina el comportamiento del mortero de cemento hidráulico, bajo cargas de tensión. Las probetas utilizadas en este ensayo se deben fallar conforme 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 de acuerdo con 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.

El procedimiento de ensayos de las probetas se realizó en la máquina universal de resistencia de briquetas (Foto 2.5, Anexo A), siguiendo las exigencias de la norma, cumpliendo con los rangos de velocidad y carga permitidos; en la evaluación de los resultados se tomaron en cuenta las indicaciones complementarias de la misma norma en cuanto al tratamiento de las probetas y su selección. Los resultados de este ensayo se expresan en unidades de esfuerzo (kg-f/cm^2) a partir de la ecuación $\delta = F / A$ donde δ es el esfuerzo en el

mortero, F es la fuerza aplicada y A es el área de la sección transversal de la probeta correspondiente a un valor de (6.25 cm²).

2.4.3 Ensayo de flexión. Esta prueba determina la resistencia a la flexión de un mortero de cemento hidráulico. Las probetas empleadas son de una longitud de 16 cm y una sección cuadrada de 4 cm, las cuales fueron falladas conforme a la norma NTC 120 (Método para determinar la resistencia a la flexión de morteros de cemento hidráulico), empleando los materiales correspondientes, tales como moldes, compactador, guías, etc.

El procedimiento de ensayo de las probetas se realizó en la Máquina Universal de Ensayos TREBEL (Foto 2.6, Anexo A), dentro de los rangos de velocidad y carga permitidos; en la evaluación de los resultados se tuvo en cuenta las indicaciones de la norma en lo que respecta a probetas defectuosas y sus correspondientes valores de aceptación.

Para esta prueba se realizaron probetas con un tiempo de curado de 28 días, debido a que después de este tiempo las propiedades del mismo no se modifican. Los resultados de este ensayo se expresan en unidades de esfuerzo (kg-f/cm²); el valor de resistencia responde al comportamiento de una viga apoyada con una carga central y su cálculo se debe a la siguiente ecuación:

$$\delta = \frac{3 * F * L}{2 * a^3} \quad (\text{Ec. 2.1})$$

donde: δ = Resistencia a la flexión (kg-f/cm²)

F= Fuerza aplicada al sistema (kg-f)

L= Longitud efectiva entre apoyos (12 cm)

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

2.4.4 Ensayo de porosidad. Esta prueba permite determinar la porosidad de muestras de mortero empleando el Porosímetro de campo Ruska (Foto 2.7, Anexo A).

➤ **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 y las muestras de mortero preparadas y reseñadas. (Foto 2.8. Anexo A)

El porosímetro de campo Ruska mide volúmenes del desplazamiento del pistón que corresponden al volumen de sólidos o granos en la muestra y el volumen total de la muestra; posteriormente estas medidas son convertidas a centímetros cúbicos usando curvas de calibración del equipo.

Después de convertir la lectura de R_{core} y R_{Hg} a centímetro cúbicos se aplica la siguiente ecuación para calcular el % de porosidad:

$$Porosidad = \left(1 - \frac{R_{core}}{R_{Hg}} \right) * 100$$

➤ **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 (no presente fugas) en el momento de colocar la 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 atrás de la posición de operación. Cada copa tiene su propia posición de inicio según sea: copa pequeña: 150, copa mediana: 250 y copa grande: 400.
- Llevar el mecanismo de pistón hacia adelante 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. 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 la muestra de mortero dentro de la copa correspondiente ajustando a cero y anclarla al bloque de manifold. Ver foto 2.9, Anexo A.
- Con la válvula de alivio llevar el pistón hacia delante hasta una 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 deben 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 obtener el R_{core} y se ajusta la copa al bloque del manifold.

- Se repiten los paso anteriores y se obtiene estimativo proporcional al volumen de mercurio en la copa, el volumen bruto de la muestra se designa como R_{Hg} .

Nota: El procedimiento descrito es el aconsejado por el Manual del equipo del laboratorio de Rocas y Fluidos.

2.4.5 Ensayo de Adherencia Magnética. Esta prueba consiste en determinar el peso que soporta cada una de las muestras de mortero, partiendo del principio de adherencia que ofrece los imanes (neodimio) con las superficies metálicas; en nuestro caso la limadura de acero que se encuentra contenida en las mezclas de mortero, posee una fuerza cohesiva con respecto al imán.

➤ **Procedimiento Experimental**

- Se seleccionan 3 probetas de 5 cm de lado para cada tipo de mortero.
- Se seleccionan 3 imanes de neodimio diferentes.
- Se registra el peso de los imanes y el área de contacto que tendrá con las probetas.
- Se coloca el imán sobre la probeta a ensayar y de él se hace suspender un recipiente al que se le agrega pesos paulatinamente; con el fin de determinar el peso en el cual se desprende el imán de la probeta.
- Se registra el peso soportado por el imán con dicha probeta.
- Se calcula el peso por unidad de área de contacto.

En la foto 2.10 del Anexo A se muestra el montaje para adherencia magnética.

2.4.6 Ensayo de Absorción Capilar. Este ensayo permite medir la cinética de absorción agua en morteros y hormigones. El proceso de absorción capilar se considera como la masa de agua por unidad de área que puede ser absorbida y transmitida por los poros capilares del hormigón cuando éste se encuentra en contacto con agua.

➤ **Principio del Método.** El método aplicado para evaluar las características de absorción en morteros ésta basado en la normativa Seca, mediante Fagerlound quien describe el proceso de absorción de agua en morteros y hormigones a través de dos coeficientes: m (resistencia a la penetración del agua), k (coeficiente de absorción capilar).

El ensayo se debe realizar sobre probetas de espesor menores a H=50 mm (valor comprendido entre 20-30 mm), después de un preacondicionamiento para reducir la humedad inicial.

Independientemente de la forma de succión capilar, horizontal o vertical, se define la relación entre la profundidad de penetración, z(m), y el tiempo t(seg.), como:

$$m = \frac{t}{z^2} (s / m^2) \quad (\text{Ec. 2.2})$$

donde m, representa la resistencia a la penetración del agua, s/m², El coeficiente m puede ser determinado calculando el tiempo requerido para que el agua ascienda a la cara superior de la prueba, es decir cuando z corresponde al espesor de la probeta.

La resistencia a la penetración del agua, m se considera que es función de la estructura del poro más no de la porosidad total. Por consiguiente para poros más finos, la penetración del agua es más lenta y (m) será mayor. Se calcula la

resistencia a la penetración del agua (m) según la (Ec. 2.2) el coeficiente de absorción capilar (k) según la (Ec. 2.3) dado por la pendiente de la fase 1 y la absorptividad (S) según la (Ec. 2.4).

El coeficiente de absorción capilar, k, en $\text{kg/m}^2 \cdot \text{s}^{1/2}$, esta dado por:

$$k = \frac{Q_n - Q_o}{A} * \frac{1}{\sqrt{t}} (\text{kg} / \text{m}^2 * \text{s}^{1/2}) \quad (\text{Ec. 2.3})$$

Con la información anterior la absorptividad (absorción capilar), S, se puede calcular como:

$$S = \frac{1}{\sqrt{m}} (\text{mm} / \text{h}^{1/2}) \quad (\text{Ec. 2.4})$$

➤ **Procedimiento Experimental.** Se realizaron probetas cilíndricas de 7.5 cm de diámetro y 15 cm de altura y se sometieron a un curado de 28 días. De cada cilindro se corto una probeta de espesor (3 cm), previo descarte de la parte superior e inferior de la probeta.

- Cada probeta fue sometida a un preacondicionamiento inicial de secado a 105°C durante 6 horas, posteriormente se sellaron las caras laterales de cada probeta mediante la aplicación de un producto impermeabilizante; finalmente se secaron las muestras a 50°C durante 24 horas y se enfriaron en desecador, antes de registrar su peso inicial.
- El método de ensayo consiste en colocar las muestras sobre una esponja, de aproximadamente 5 mm de espesor, saturada de agua en un recipiente cubierto para evitar la evaporación. El nivel de agua deberá estar 3 mm por encima de la cara inferior de la probeta y se registró el peso a intervalos de

5, 10, 15, 30 (minutos), 1, 2, 3, 4, 6, 24, 48, 72, 144, 196 horas. Ver foto 2.11, Anexo A.

2.4.7 Ensayo de Permeabilidad. Este ensayo permite determinar la permeabilidad de mortero, mediante la utilización del permeámetro de gas Ruska (foto 2.12, Anexo A).

➤ **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 rotámetro la tasa de flujo de un gas que 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.

La viscosidad del gas obtenida a partir de la temperatura junto con la lectura del flujómetro y la escala de éste se obtienen los datos de la tasa promedio de flujo Q (cm/s) mediante gráficos de conversión; estos valores y junto con los datos de gradiente de presión, área de la sección transversal y longitud de la muestra se procede a calcular la permeabilidad en milidarcys utilizando la siguiente ecuación:

$$K = \frac{\mu * Q * L}{A * P} \quad (\text{Ec. 2.5})$$

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 ½ pulgadas de diámetro y de 1 ½ pulgada de altura, previo descarte de la parte superior e inferior de la probeta (Foto 2.13, Anexo A).
- Colocar la muestra en el receptor de caucho adecuado, insertar en la copa y ajustar en el Permeámetro. Ver foto 2.14, Anexo A.
- Se debe comenzar por probar la posición de largo de la válvula selectora del flujometro y se fija 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 “médium” 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.

Nota: El procedimiento descrito es el aconsejado por el Manual del equipo del laboratorio de Rocas y Fluidos.

2.4.8 Ensayo de Solidez bajo la acción de Sulfatos Mediante este método se puede obtener información útil para buscar la calidad de los materiales que han de ser sometidos a la acción de agentes atmosféricos como cambios de temperatura o exposición a soluciones de sulfatos.

El ataque de sulfatos puede manifestarse en expansiones, agrietamientos, pérdida de masa, desintegración, resquebrajamiento, desmenuzamiento o descascaramiento.

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 magnesio, simulando el probable desgaste que pueden presentar las estructuras de mortero y hormigones en presencia de diferentes condiciones ambientales y ataques físico-químicos. Dicho ensayo se describe en la norma NTC 126. Los equipos, elementos y accesorios empleados fueron: horno, balanza con aproximación de 0.1 g., malla, sulfato de sodio.

➤ **Procedimiento Experimental**

- Las probetas utilizadas fueron cubos de 5 cm de lado, curados durante un periodo de 28 días. Por cada tipo de mortero se tomaron dos muestras, para un total de 26 probetas.
- La solución saturada de sulfato de sodio se prepara disolviendo 350g 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 a agua, sin quedar cristales en la solución. Se deja en reposo por 48 horas.
- Las muestras de mortero se colocan sobre la malla, se marcan y se sumergen en la solución de sodio, durante un periodo no menor de 16 horas ni mayor de 18 horas. El recipiente se debe cubrir para evitar la evaporación y la contaminación con sustancias externas. (Foto 2.15, Anexo A).
- Después del periodo de inmersión se sacan las muestras de la solución, se dejan escurrir durante 15 a 20 minutos y se introducen en el horno a una temperatura de 115 ° C hasta obtener un 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.

2.4.9 Ensayo para determinar el Coeficiente de Difusión y Permeabilidad al Ion Cloruro. Esta prueba nos permite evaluar el coeficiente de difusión y la permeabilidad al anión cloruro en pastas de morteros y concretos}, parámetros que determinan la durabilidad de las estructuras que pueden estar sometidas a agentes corrosivos y que deben ser estudiados especialmente para el diseño y construcción de estas.

El método de ensayo en celda de difusión manual es considerado como el método más apropiado para estudiar a escala de laboratorio la velocidad de difusión del ión cloruro; pero presenta como desventaja el excesivo tiempo de ensayo, que puede tomar hasta años según el material estudiado.

Esta técnica consiste en colocar un disco del material que separa un sistema de doble celda, que contiene en los dos compartimientos una solución prueba (solución simulada en poro de concreto), recomendando la utilización de una solución saturada de hidróxido de calcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$; una de las semiceldas contiene además de la solución de prueba, la fuente de cloruros (NaCl).

➤ **Método del ensayo modificado de Permeación a Cloruros en Materiales Cementíticos.** En 1983 se adoptó como norma AASHTO-T277, el uso de voltaje para acelerar el transporte de los iones cloruro en la celda de difusión; posteriormente esta técnica fue aceptada como Norma ASTM C1202. La prueba rápida de permeación a cloruros, mediante la aplicación de un campo eléctrico externo, consiste en una pequeña celda de difusión a la que se suministra una diferencia de potencial constante de 12 voltios a través de un disco de mortero y se registra la corriente en función del tiempo, al igual que la concentración de cloruros mediante titulación química.

➤ **Determinación del Coeficiente de Difusión y Evaluación de la Permeabilidad del Ion Cloruro.** El transporte de los iones a través del concreto depende del tipo de mecanismo: difusión o conducción, según las bases de la electroquímica. La *difusión* se basa en un gradiente de concentración y se describe mediante las Leyes de Fick así:

A condición de estado estacionario la primera Ley de Fick:

$$J = -D \frac{dC}{dX} \quad (\text{Ec. 2.6})$$

donde:

J: Flujo iónico, moles/m²/s

D: difusividad del ión, m²/s

$\frac{dC}{dX}$: Gradiente de concentración, mol/m³m

Se considera el coeficiente de actividad igual a 1.0

A condición de estado no estacionario, tenemos la segunda Ley de Fick:

$$\frac{dC}{dt} = D \left(\frac{d^2C}{dX^2} \right) \quad (\text{Ec. 2.7})$$

donde, t es el tiempo en segundos. Esta segunda condición se ajusta en mayor grado a la práctica del concreto en obra. El segundo mecanismo es la conducción y se refiere a la movilidad de los iones bajo un campo eléctrico, en cuyo caso el flujo se determina por la siguiente expresión.

$$J = C * \mu * \Delta E \quad (\text{Ec. 2.8})$$

Siendo μ = movilidad del ión cloruro ($\text{m}^2/\text{V} \cdot \text{s}$)

ΔE = gradiente de voltaje (V/m)

La movilidad se expresa como:

$$\mu = \frac{z * F * D}{R * T} \quad (\text{Ec. 2.9})$$

donde:

z = carga del ión (-1) (eq/mol)

F = Constante de Faraday (23063 cal / V*eq)

R = constante de los gases (1.9872 cal/mol*K)

T = Temperatura (kelvin)

La ecuación de Nemst-Planck combina dos conceptos para calcular el flujo iónico como son: la acción del campo eléctrico y el gradiente de concentración y se expresa de la siguiente forma:

$$J = D * \frac{z * F * E(x) * C(x)}{R * T} = -D * \frac{dC}{dX} \quad (\text{Ec. 2.10})$$

donde:

$E(x)$ y $C(x)$ representan el potencia y la concentración respectivamente como una función de x (Longitud).

Un ensayo en celda manual de difusión, es decir sin aplicación de voltaje y con un espesor reducido se considera como una prueba en condición de estado estacionario. Al aplicar voltaje se incrementa la conducción, y si las probetas

tienen un espesor menor de 10 mm, el estado estacionario se alcanza muy rápido. En este caso podemos aplicar la ecuación anterior de Nemst-Planck asumiendo que la difusión es prácticamente despreciable; por lo tanto, el coeficiente de difusión (D_{eff}) se puede calcular como:

$$D_{eff} = \frac{JRTL}{zFC\Delta E\gamma} (m^2 / s) \quad (\text{Ec. 2.11})$$

La anterior ecuación expresa $\Delta E(x)$ como E/L , donde L representa el espesor de la muestra (cm) y el coeficiente de actividad (γ) se asume como 1. Para el desarrollo del ensayo, los equipos, elementos y accesorios empleados fueron: Fuente de Voltaje de 12 V, Multímetro digital, celda de Difusión de acrílico de dimensiones 20x20x17 cm, electrodos de acero inoxidable, cables y conexiones, solución saturada de Hidróxido de Calcio, Cloruro de Sodio, Dicromato de potasio y Nitrato de Plata.

➤ **Procedimiento Experimental**

- Se utilizaron probetas cilíndricas de 7.5 cm de diámetro y 15 cm de altura, se sometieron a un curado de 28 días. De cada cilindro se cortó una probeta de 1 cm de espesor, previo descarte de la parte inferior y superior de la probeta. Se sellaron con parafina las zonas no expuestas directamente a las disoluciones.
- Para el montaje de las celdas de difusión, se utilizaron disoluciones de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ con una densidad de 1.85 g/L de elevada alcalinidad, y $\text{Ca}(\text{OH})_2$ de igual concentración más NaCl al 3% en peso. Cada celda con un Volumen de 2000 ml; se montaron los electrodos de acero inoxidable y se aplicó una diferencia de potencial eléctrico constante de 12 V. Se mantuvo el sistema a una temperatura ambiente durante un período de 72 horas.

- Se registró la corriente a intervalos de 2 horas mediante el multímetro digital, al mismo tiempo se tomó una alícuota de 1 ml del compartimiento de Ca (OH)₂, para el análisis del contenido del anión cloruro, mediante titulación química con Nitrato de Plata (Normalidad=0.01) . Para el calculo de la concentración de iones cloruro , se utiliza la siguiente ecuación:

$$\frac{mgNaCl}{L} = \frac{(1000 * pesoequivalente * Nt * Vt)}{Vm} \quad (Ec 2.12)$$

donde:

mg NaCl/L=concentración de cloruros

Nt = Normalidad del agente titulante

Vt = Volumen gastado de titulante

Vm = Volumen de la muestra de estudio

- El volumen de la celda se mantiene constante mediante la reposición del volumen tomado para la titulación. Ver foto 2.16 y 2.17, Anexo A.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 SELECCIÓN DEL INHIBIDOR

El proceso de selección del inhibidor inició con la escogencia de cinco inhibidores de la literatura: cloruro de calcio, nitrito de sodio, molibdato de sodio, benzoato de sodio y un inhibidor comercial Ferrogard-901 de SIKA. Ver fotos 1,2 3, 4 y 5 del Anexo M. Posteriormente se realizaron probetas de 5x5x5 cm con un 60 % de limadura de acero (respecto al volumen de agregados) considerando la granulometría que ésta presentaba, se adicionaron cada uno de los inhibidores de corrosión y se dejaron al ambiente durante 28 días.

Después de este tiempo se observó su apariencia y su estudio se reporta en la tabla 1 del Anexo M. De acuerdo con las observaciones, los inhibidores de corrosión que ofrecieron los mejores resultados fueron: Molibdato de sodio y el Ferrogard- 901, en la cual las probetas presentaban buena protección ante los agentes corrosivos.

Por consiguiente fue indispensable realizar probetas con dos porcentajes de limadura de acero y una malla fina y adicionando por separado los dos inhibidores para someterlas finalmente a pruebas de resistencia mecánica, Ver figuras 1, 2, 3 del Anexo M. De este estudio se decidió el uso del Ferrogard-901, debido a que ofreció los mejores resultados en cuanto a resistencia a la compresión, flexión, tensión y protección a la oxidación.

De igual forma se comparó la resistencia ofrecida por el mortero ferromagnético con Ferrogard 901 y la ofrecida sin inhibidor, favoreciendo el uso del aditivo.

3.2 ENSAYO DE COMPRESION

Para el análisis de la resistencia a la compresión en morteros con adición de limadura de acero, se realizaron 3 probetas por cada tipo de muestra (reproducibilidad del ensayo) para períodos de curado de: 7, 14 y 28 días, para un total de 117 probetas falladas.

Los resultados de este ensayo se expresan en unidades de esfuerzo (kg/cm^2) de acuerdo a los requerimientos de la norma NTC 220 (Determinación de la resistencia de morteros de cemento hidráulico usando cubos de 50 mm de lado).

En la foto 1 se ilustra la probeta fallada en la máquina Universal del Ensayos Trebel. Los resultados del ensayo de compresión se encuentran en el Anexo D.

En las figuras 1, 2, 3 y 4 se ilustran los resultados de este ensayo.

Foto 1. Probeta de Compresión fallada



Figura 1. Resistencia a la Compresión vs Tiempo de Curado. Malla 16

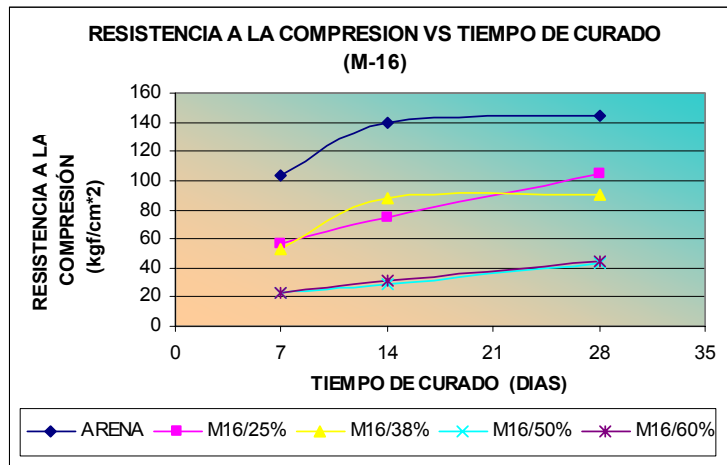


Figura 2. Resistencia a la Compresión vs Tiempo de Curado. Malla 30

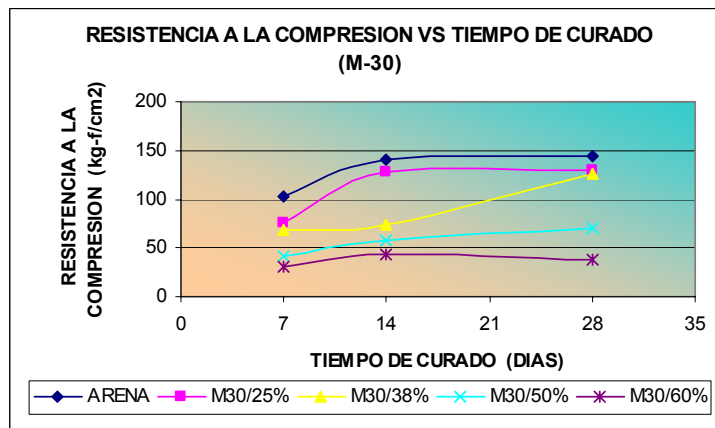


Figura 3. Resistencia a la Compresión vs Tiempo de Curado. Malla 50

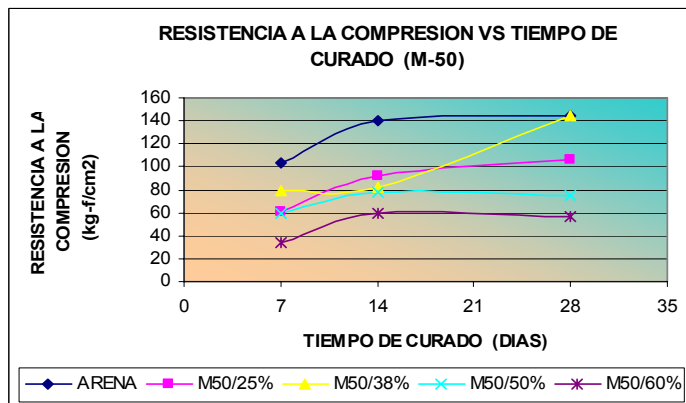
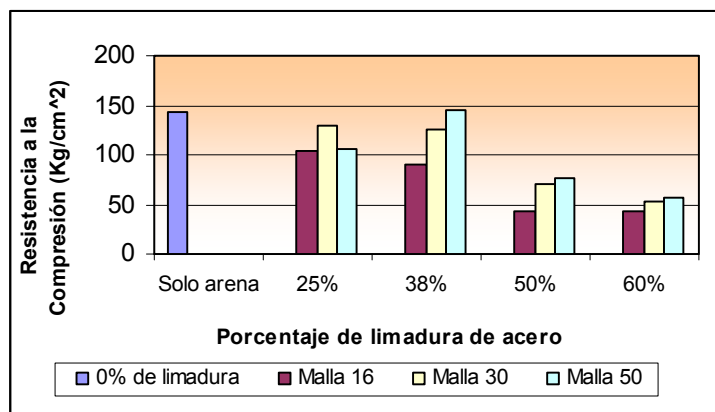


Figura 4. Resistencia a la Compresión vs % de Agregado (limadura de acero) a 28 días de curado



De acuerdo con las figuras 1, 2 y 3 se puede concluir que a medida que aumenta el contenido de Limadura de Acero en la mezcla de mortero la resistencia a la compresión disminuye ligeramente; por otra parte para porcentajes mayores del 38% de agregado metálico decrece la propiedad considerablemente en un 65% de la resistencia normal. Es notable que con un tamaño de partícula pequeña (malla 50) se observan las mejores resistencias a la compresión comparado con los demás tipos de mortero. Las partículas retenidas por los tamices 16 y 30 tienen forma irregular, esto podría disminuir la adherencia de estas partículas con el mortero, provocando un aumento en los poros naturales de la mezcla (ocasionando menor esfuerzo a la compresión). Este comportamiento se puede observar en la figura 4.

3.3 ENSAYO DE TENSION O TRACCIÓN

Para el análisis de la resistencia a la tracción en morteros con adiciones de limadura de acero, se realizaron 3 probetas por cada tipo de muestra y para períodos de curado de 7, 14, y 28 días, para un total de 117 probetas falladas. El tipo de falla generado es característico de un sistema sometido a esfuerzos de tensión donde se presenta una línea de falla perpendicular a la línea de aplicación

de la carga. En la foto 2 se observa la probeta fallada en el equipo de ensayo de Tensión según la norma NTC 119.

Foto 2. Probeta de Tracción fallada



Figura 5. Resistencia a la Tracción vs Tiempo de Curado M-16

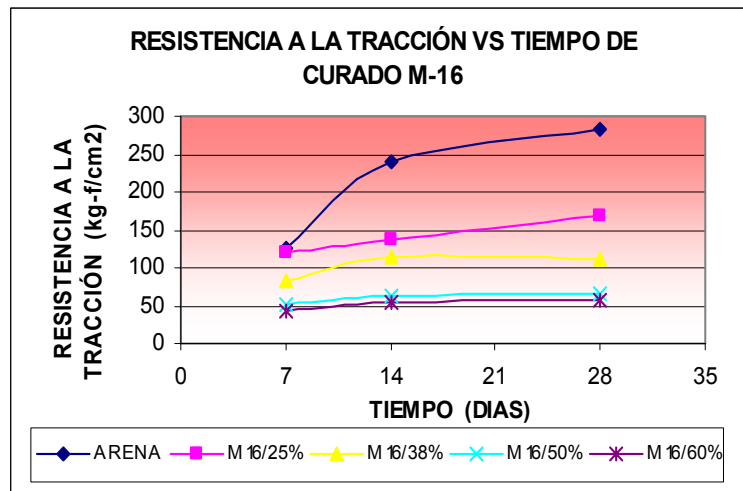


Figura 6. Resistencia a la Tracción vs Tiempo de Curado M-30

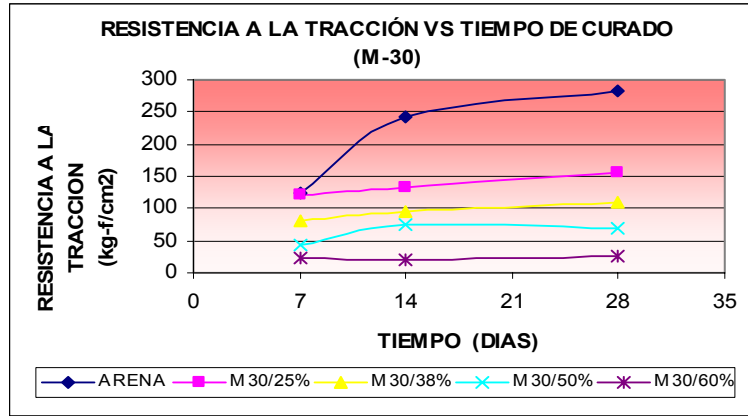


Figura 7. Resistencia a la Tracción vs Tiempo de Curado M-50

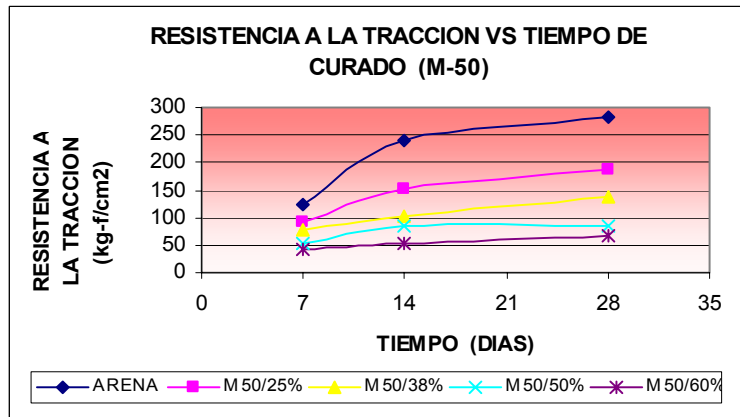
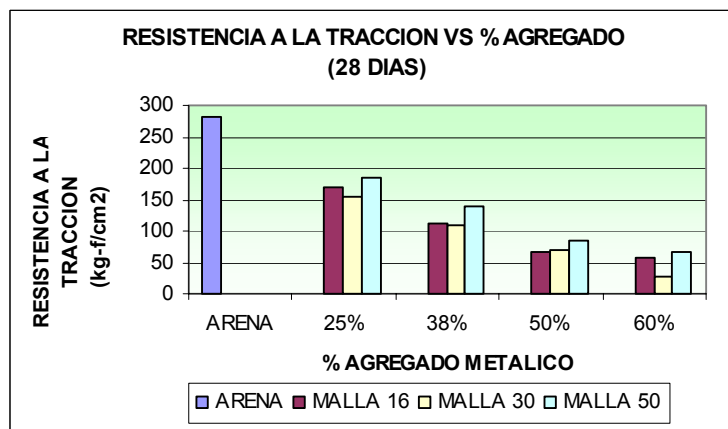


Figura 8. Resistencia a la Tracción vs % de Agregado (28 días)



De acuerdo con la figura 8 se puede concluir que al aumentar el contenido de limadura de acero en la mezcla de mortero, disminuye el esfuerzo a la tracción, presentando mayor resistencia las mezclas de mortero con adición de partículas metálicas retenidas en el tamiz # 50. Este comportamiento se puede explicar debido a que estas partículas tienden a ser fibras alargadas logrando reforzar el plano de falla del material, también al ser las partículas más pequeñas, la mezcla de mortero tiende a ser más homogénea. A partir de las figuras 5, 6 y 7 se observa que a medida que aumenta el porcentaje de limadura de acero, la resistencia a la tracción decae, provocando una mayor fragilidad en la matriz del mortero, esto se observa para un 25 % de agregado metálico, en donde la resistencia a la tracción es 34% menor que la resistencia ofrecida por el mortero normal (100% de arena). Ver resultados en el Anexo E.

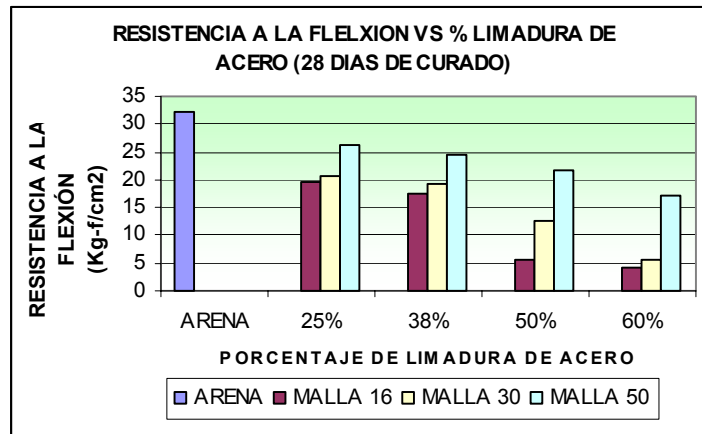
3.4 ENSAYO DE FLEXIÓN

Para el análisis de la resistencia a la flexión en morteros con adición de limadura de acero, se realizaron 3 probetas por cada tipo de muestra para un único período de curado de 28 días, para un total de 39 probetas ensayadas. La falla de este elemento se debe al sometimiento de la sección transversal del elemento generando una tracción en las fibras exteriores y opuestas a la aplicación de la carga, siguiendo la línea de falla provocada. En la foto 3 se muestra la probeta de flexión fallada según la norma NTC 120.

Foto 3. Probeta de Flexión fallada



Figura 9. Resistencia a la Flexión vs % de Agregado a 28 días de curado



En la figura 9 se puede observar que a medida que aumenta el contenido de limadura de acero en las mezclas de mortero, disminuye el esfuerzo a la flexión, presentando mayor resistencia aquellas mezclas con adición de partículas retenidas en el tamiz # 50 al igual que en las pruebas anteriores de resistencia a la compresión y a la tracción.

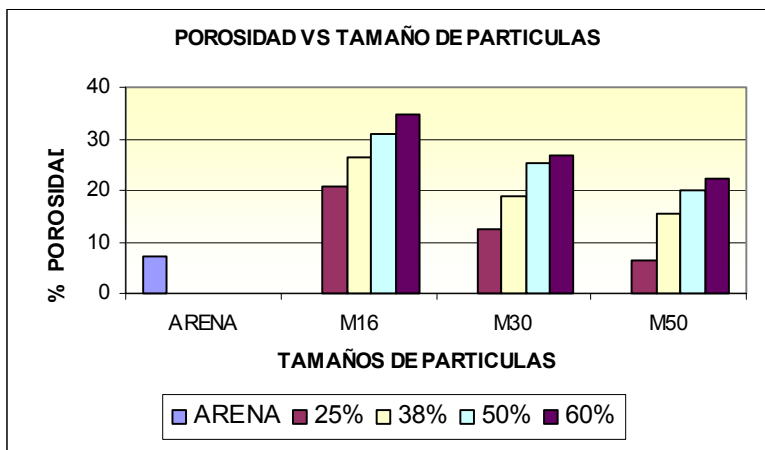
La mezcla de mortero aceptable (disminución del 20% en la propiedad) fue con un 25% de agregado metálico con un tamaño de partícula retenido en la malla # 50, dicho esfuerzo corresponde a 26.25 kg-f/cm² cuyo valor se encuentra en un 18.83% por debajo de la resistencia lograda por el mortero normal.

Las disminuciones en las propiedades mecánicas producidas por el agregado metálico podrían ser compensadas utilizando un cemento de mejor calidad (Cemento Tipo II o Tipo III en lugar de Tipo I). Ver resultados Anexo F.

3.5 ENSAYO DE POROSIDAD

Para este ensayo se realizaron 2 probetas por cada muestra para un total de 26 especímenes a ensayar, siguiendo las especificaciones del Manual del equipo. En el Anexo G se muestran los valores obtenidos por las diferentes muestras de mortero sometidas al ensayo de porosidad utilizando el Porosímetro de Campo Ruska. Ver foto 2.7 Anexo A.

Figura 10. Porcentaje de Porosidad vs Tamaños de Partículas para diferentes porcentajes de agregado metálico



La figura 10 muestra la dependencia del % de porosidad con el tamaño de partícula y cantidad de agregado metálico. A medida que aumenta el contenido de limadura de acero en la mezcla de mortero se presenta un aumento en la porosidad de la mezcla, esto es debido a que disminuye la adherencia con la matriz del mortero, formando espacios vacíos por la geometría irregular de las partículas. Para las mezclas de mortero con partículas metálicas retenidas en los tamices # 30 y 50 la porosidad disminuye al aumentar el contenido de agregado respecto a la malla 16. Este comportamiento es debido a que estas partículas al ser más uniformes y pequeñas permiten eliminar los poros naturales de la mezcla

en la estructura interna de la matriz del mortero, ocasionando mayor resistencia en las propiedades mecánicas.

El porcentaje de porosidad para la mezcla de mortero normal fue de 7.15%. Para la mezcla de mortero 25% M-50, la cual presentó el menor grado de porosidad con respecto a los demás tipos de mortero, fue de 6.60%, representando una disminución del 7.69% con respecto a la porosidad del mortero normal.

3.6 ENSAYO DE ADHERENCIA MAGNETICA

El ensayo de adherencia magnética se basó en la medición de la fuerza necesaria para retirar diferentes imanes de neodimio de pesos variables para un área determinada de mortero ferromagnético. La prueba se realizó colgando pesos al imán hasta lograr su separación. Ver resultados en el Anexo H.

Figura 11. Adherencia magnética vs Porcentaje agregado metálico. Imán 1

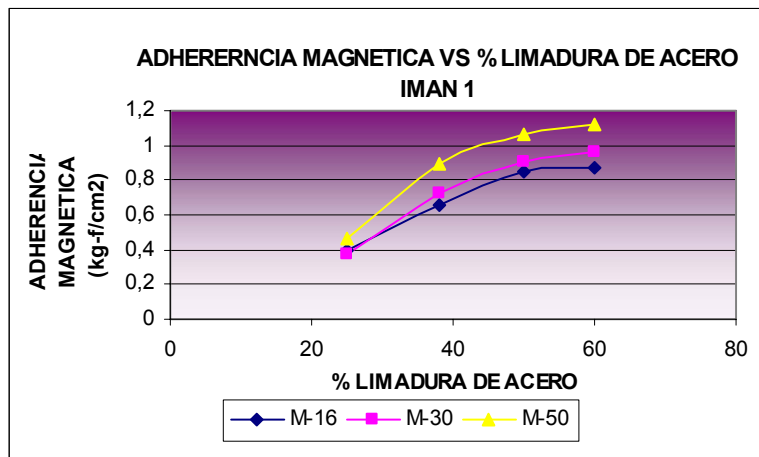


Figura 12. Adherencia magnética vs Porcentaje agregado metálico. Imán 2

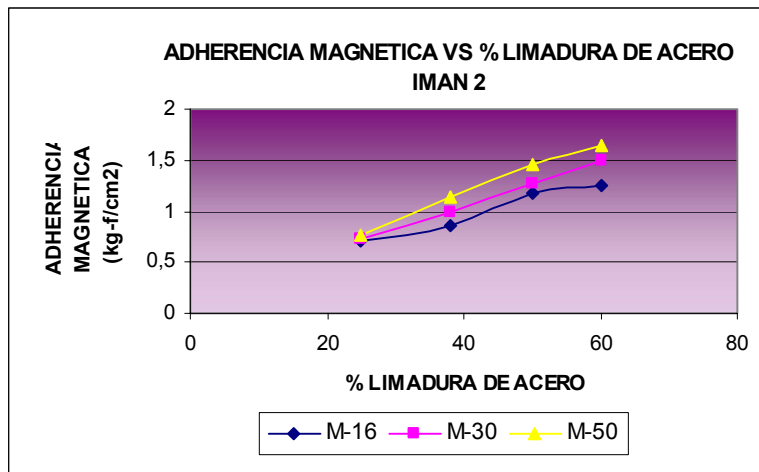
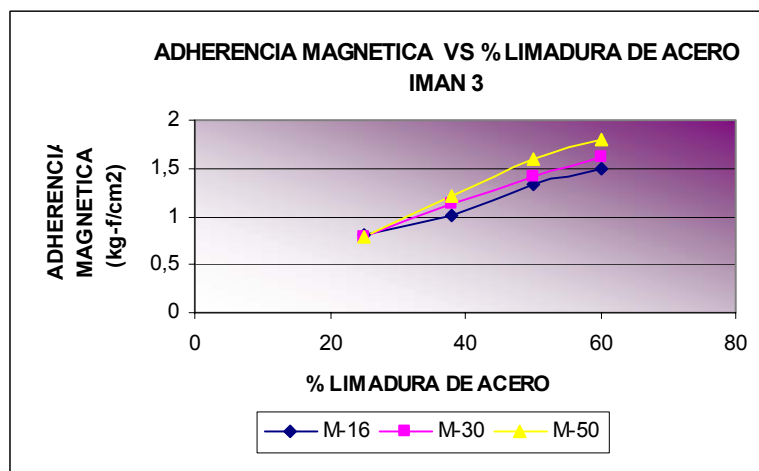


Figura 13. Resistencia magnética vs Porcentaje agregado metálico. Imán 3



A partir de las figuras 11, 12, 13 se puede observar que al aumentar el porcentaje de limadura de acero en la mezcla de mortero, aumenta la adherencia magnética, es decir el imán adherido soporta mayor peso, el cual es uno de los objetivos. De igual forma, al disminuir el tamaño de partícula en la mezcla de mortero, se hace más favorable la adherencia, ya que el mortero se vuelve más denso y por ende aumenta la atracción con el imán; este caso corresponde especialmente a las partículas retenidas en la malla N°50.

3.7 ENSAYO DE ABSORCION CAPILAR

Este ensayo permite interpretar el proceso de absorción de agua por los poros capilares del mortero a través del tiempo, analizando diversos parámetros como la resistencia a la penetración del agua y el coeficiente de absorción capilar. Para el análisis de los resultados, se realizaron las figuras 1, 2, 3 (ver Anexo I) a partir de los datos de peso de agua absorbida por unidad de área de cada muestra (44.8717 cm^2), respecto a la raíz cuadrada del tiempo. En éstas se pudieron apreciar dos fases: la fase 1, que corresponde al avance del frente de absorción representado por el llenado de los poros capilares y la fase 2, que corresponde a la saturación; es decir una vez que los poros capilares se han llenado, la saturación esta relacionada con los poros de aire o burbujas producidos durante el amasado o compactación, en la mayoría de los casos. Ver resultados Anexo I.

Figura 14. Resistencia a la Penetración del Agua (m)

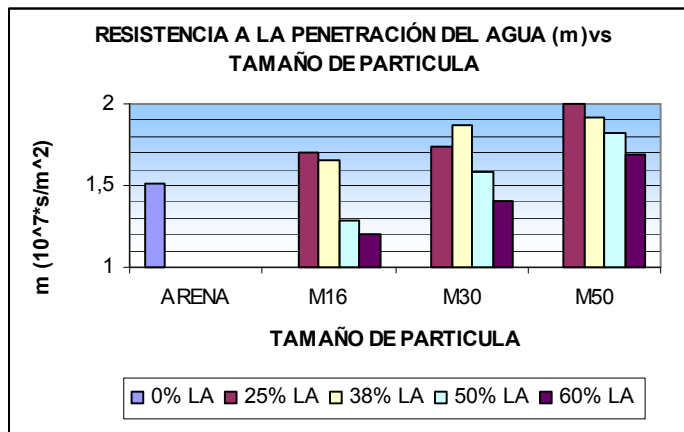


Figura 15. Absortividad para cada tipo de mortero

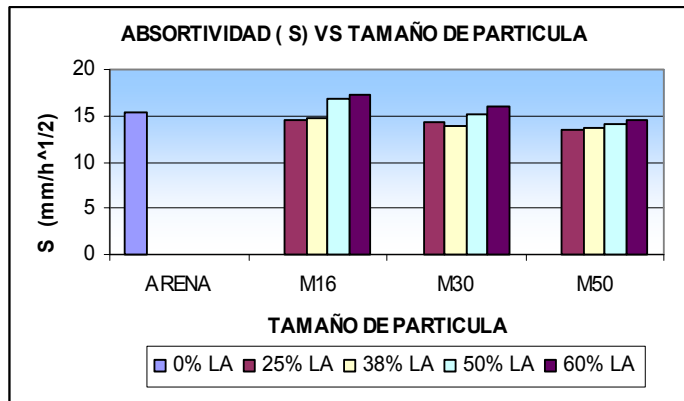
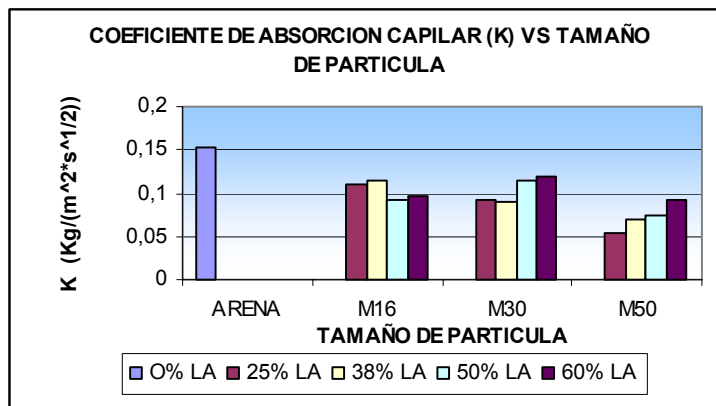


Figura 16. Coeficiente de absorción capilar k para cada tipo de mortero



Nota: En las figuras 14, 15 y 16 “LA” significa Limadura de Acero.

De las figuras 14, 15 y 16 se deduce que los morteros con 25% y 38% con partículas retenidas en el tamiz # 50 ofrecen una alta resistencia a la penetración del agua, una baja absorptividad y un menor coeficiente de absorción capilar respecto al mortero normal (Solo arena).

Esto se debe a que a medida que disminuye el tamaño de partícula en la mezcla de mortero la absorción capilar disminuye, es decir la penetración del agua es

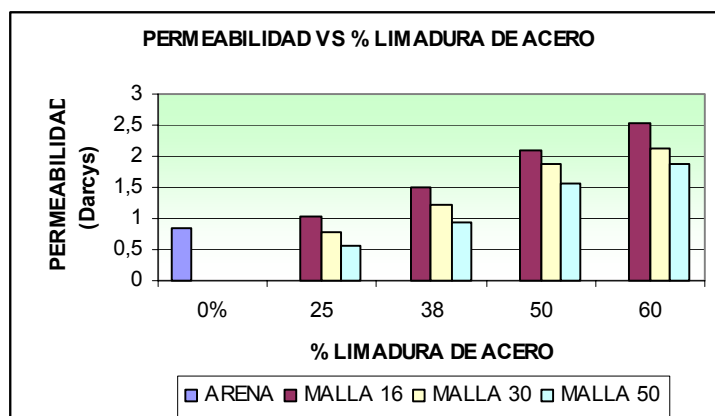
lenta, en el caso de las partículas más finas en la cual se puede ver que para todos los tipos de mortero con este tipo de partículas presentan absorción capilar menor que la ofrecida por el mortero normal (solo arena).

También se podría concluir que cuando se incrementa el porcentaje de agregado la adherencia con la matriz del mortero disminuye, produciendo un aumento en la porosidad, dando como resultado el incremento en la absorción capilar.

3.8 ENSAYO DE PERMEABILIDAD

La permeabilidad de cada una de las muestras de mortero obtenida a partir del Permeámetro de Gas Ruska se calcula 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. Los resultados de este ensayo se muestran en el Anexo J.

Figura 17. Permeabilidad de los diferentes tipos de mortero



De acuerdo con la figura, se observa lo siguiente: Al incrementarse el contenido de limadura de acero en la mezcla de mortero, se aumenta la permeabilidad en las mismas, debido a la presencia de poros que provocan el libre paso del gas. Además se observa que un mortero con partículas de tamaños retenidos en la

mallas 16 y 30 ofrecen una mayor permeabilidad que la ofrecida por el mortero con partículas metálicas (malla 50). De acuerdo a los resultados obtenidos, el mortero que ofrece la menor permeabilidad es el mortero con un porcentaje de limadura del 25% y con tamaño de partícula retenida en la malla N°50, cuyo valor se encuentra por debajo de la permeabilidad ofrecida por el mortero normal. Esto nos permite concluir que un mortero con estas condiciones es favorable para evitar el paso de fluidos a través de él y evitar en gran parte la oxidación que podría producirse.

3.9 ENSAYO DE SOLIDEZ BAJO LA ACCIÓN DE SULFATOS

En la siguiente foto se puede apreciar el ataque sufrido por las probetas de las diferentes muestras de mortero ante una solución de sulfato. Los resultados se muestran en el Anexo K.

Foto 4. Ataque de Sulfatos a las muestras de mortero

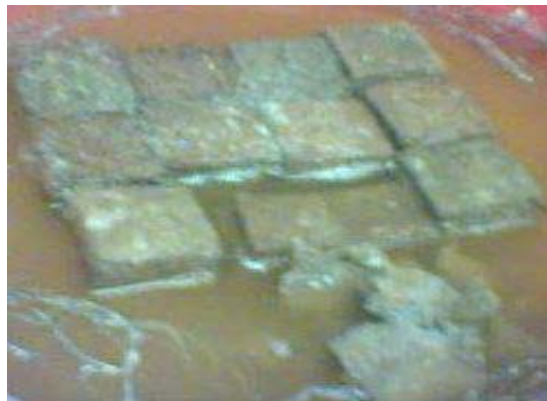
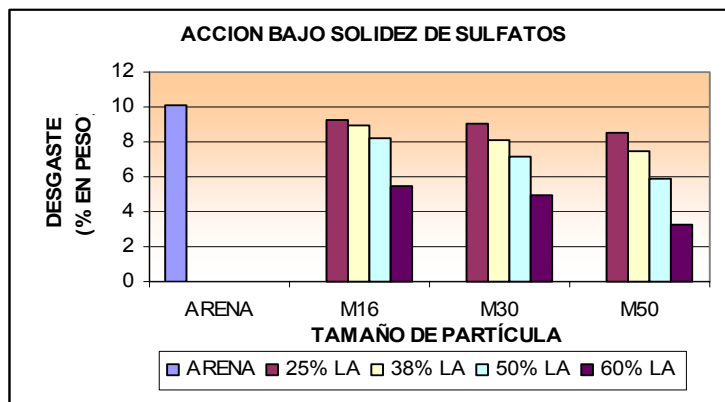


Figura 18. Acción bajo la solidez de sulfatos para los tipos de mortero



Al analizar los resultados obtenidos en las tablas del anexo K y la figura 18 se aprecia que un aumento en el tamaño de las partículas de limadura de acero en las diferentes muestras de mortero, el desgaste provocado por el ataque de sulfatos es mayor comparado con las muestras de mortero con partículas más pequeñas; esto se debe a que el mortero con partículas de menor diámetro es menos poroso y menos permeable, siendo menos afectado por el ataque de los sulfatos. Cualitativamente el mortero normal presentó el mayor deterioro de todas las muestras analizadas, representado en agrietamientos, descascaramiento total de la capa externa, expansiones y ensanchamientos.

De acuerdo con el análisis cualitativo las probetas con partículas metálicas (Malla 16) presentan medio grado de descascaramiento y pérdida de masa, debido a la formación de vacíos y es allí donde comienzan a actuar los sulfatos con la formación de estringita o bacilo del cemento (Capa blanca formada en la superficie de las probetas), produciendo tensiones internas, que al ser mayores que la fuerza de adhesión entre las partículas de limadura de acero y la matriz del mortero, provocan las expansiones y su posterior desintegración.

Por otra parte si el mortero contiene partículas muy finas (Malla 50) se disminuye el espacio de vacíos, de igual forma la capacidad de absorción capilar, aumenta la

adhesión entre las partículas, logrando obtener un material más impermeable y resistente a sulfatos; proporcionando mayor durabilidad (menos desgaste del mortero).

3.10 ENSAYO PARA DETERMINAR EL COEFICIENTE DE DIFUSION Y PERMEABILIDAD DEL ION CLORURO

En la figuras 19, 20, 21, 22 y 23 se presentan gráficamente los resultados obtenidos en el ensayo de cloruros, para 4 tipos de mortero con adicción de limadura de acero, y se comparan con el mortero normal (solo arena). Los cuatro morteros escogidos corresponden a los valores que han presentado los mejores resultados en las pruebas anteriores. Ver resultados en el Anexo L.

Figura 19. Gráfica de concentración vs tiempo. 25% de limadura de acero

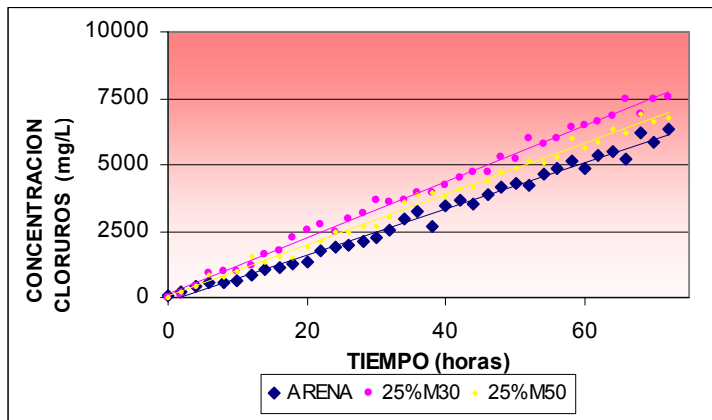


Figura 20. Concentración vs tiempo. 38% de limadura de acero

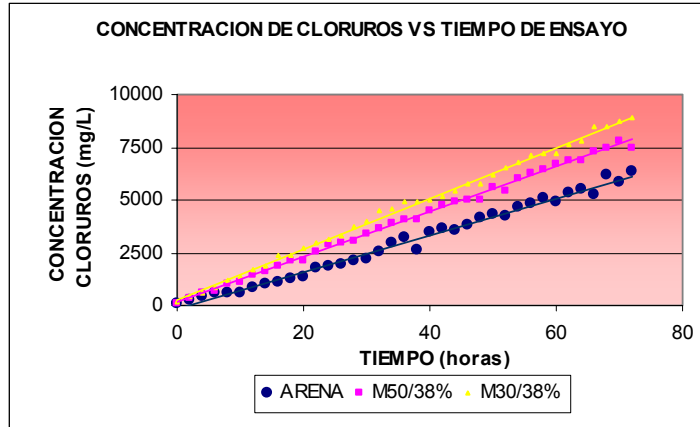


Figura 21. Valores de Deff para los tipos de mortero

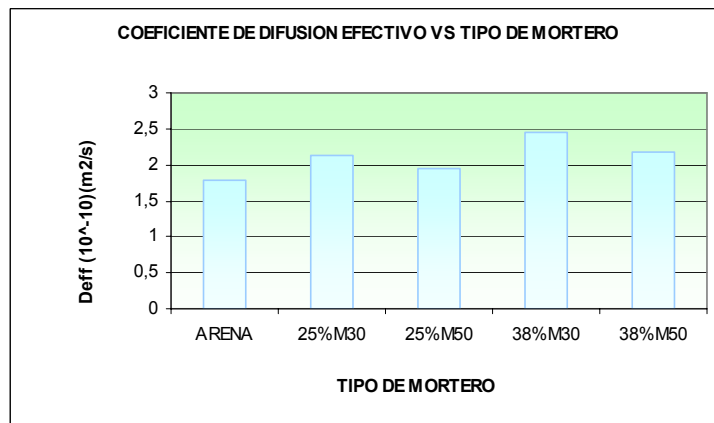


Figura 22. Corriente vs Tiempo de ensayo para las muestras de mortero

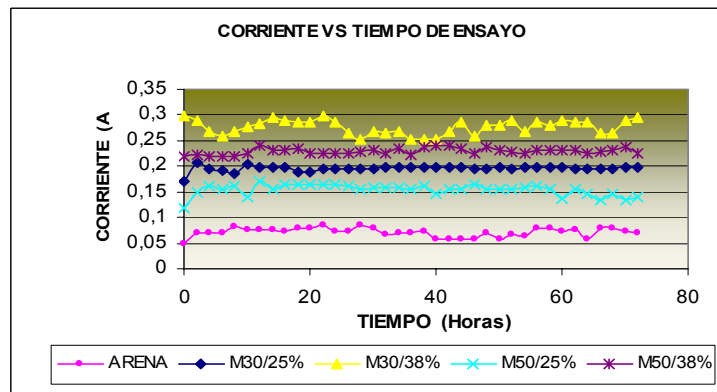
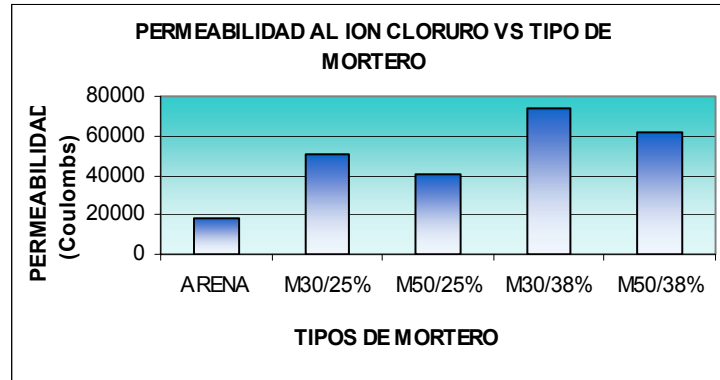


Figura 23. Permeabilidad al ion cloruro para las muestras de mortero



De acuerdo con las figura 19 y 20 se observa que todo mortero con adición de limadura de acero permite un contenido alto de concentración de cloruros en la solución de hidróxido de calcio (solución que simula el concreto); esto es debido al aumento de la porosidad de las mezclas de mortero que contienen dicho material metálico, además el hecho de poseer partículas metálicas expuestas a un ambiente salino, se genera la oxidación. Los morteros que ofrecen una baja concentración de cloruros, son aquellos con un bajo contenido de limadura de acero y cuyo tamaño de partículas sea el retenido en el tamiz N° 50.

Según la figura 21 el aumento del contenido de limadura y de su tamaño aumenta el coeficiente de difusión del ion cloruro en las probetas de mortero, debido a que se incrementa considerablemente la porosidad y la permeabilidad al ion cloruro. De acuerdo con la figura 22 y 23 se pudo apreciar que el mortero con el valor de permeabilidad (Área bajo la curva de corriente vs tiempo) más alto es M30/38%, lo cual esto es debido al aumento en los espacios vacíos de la mezcla de mortero; por lo tanto, el mortero que ofrece el menor valor de permeabilidad es M50/25%, debido al bajo contenido de limadura de acero y al menor tamaño de las partículas que provocan una disminución de la porosidad, indicando que es el valor más cercano a la permeabilidad ofrecida por el mortero normal (arena).

3.11 ANALISIS DE ACEPTACION DEL PRODUCTO

Estamos en un mundo global y competitivo, donde se busca cada día ofrecer una mejor calidad en los productos y servicios que se ofrecen al consumidor, definiendo calidad como un conjunto de cualidades que mejoran la vida con elementos que dan funcionalidad y comodidad a todos aquellos que lo necesitan; es por esta razón que se desea introducir al mercado un mortero o friso exterior con características ferromagnéticas que tenga un potencial de adherencia a superficies de materiales magnéticos, ofreciendo beneficios a constructores como al consumidor final. En esta sección se busca determinar el grado de aceptación del Mortero Ferromagnético en el sector de la Construcción.

De acuerdo con la encuesta realizada (Anexo N) a los potenciales consumidores se extrajo las siguientes opiniones:

- El mortero ferromagnético es un producto innovador que proporcionaría nuevos acabados y permitiría que las paredes permanecieran con la apariencia de nuevas por más tiempo.
- Permitiría el mejoramiento continuo para brindar un mejor desempeño en el uso de materiales.
- Es un producto que ofrece una forma de reutilizar un desecho industrial, proporcionando un beneficio ambiental.
- Este tipo de mortero no tiene ninguna relevancia a nivel estructural.
- El mortero disminuiría las propiedades mecánicas al incorporarle este nuevo material.
- Consideran que es un producto que puede oxidarse y no favorecería el acabado de las paredes.
- Se considera que el producto debe contener una baja adición de limadura de acero para que no se vean afectadas sus propiedades.

Analizando las opiniones de los encuestados, se puede decir que en general, el mortero Ferromagnético tendrá una buena aceptabilidad puesto que trata los inconvenientes o problemas que los consumidores piensan que puede tener el producto (Corrosión, Altos Costos, Disminución acentuada de las propiedades mecánicas). Por otro lado este mortero ofrece beneficios como la adherencia con materiales magnéticos y la reutilización de materiales de desecho industrial.

3.12 COSTOS

En la evaluación del mortero ferromagnético, es indispensable conocer el costo de producción de dicho material, y compararlo con el costo que ofrece el mortero normal (solo arena). En la Tabla 1 del Anexo O se presentan los costos de producción de 1 m³ de mortero ferromagnético con las dos formulaciones que proporcionaron los mejores resultados. Se realizó una comparación de los costos del producto sin inhibidor y usando el inhibidor Ferrogard 901.

El costo del mortero con adición de limadura de acero se eleva entre 2-4% comparado con el precio del mortero normal. Se observa también que el uso del aditivo aumenta el costo de producción del mortero ferromagnético en un 14-15 % respecto al valor del mortero normal.

El uso del inhibidor es favorable para la vida útil del mortero, por esta razón el aumento del precio es justificable.

3.13 APLICACIONES DEL MORTERO MAGNÉTICO

Como se ha demostrado en el desarrollo del proyecto, el mortero obtenido tiene la propiedad ferromagnética, es decir el mortero tiene la facilidad de permitir la adherencia con materiales magnéticos (Imanes). La aplicación del producto en

este trabajo es la utilización como material de construcción de paredes, fachadas, divisiones y otras unidades arquitectónicas en reemplazo de morteros convencionales. El mortero proporciona una opción para evitar los usos de puntillas, adhesivos y pegantes brindando a su vez la facilidad de cambiar los objetos que decoran dichas paredes. Ver Anexo P.

CONCLUSIONES

- ◆ Se obtuvo un material que proporciona una adherencia con materiales magnéticos a partir de sustituciones parciales de arena por limadura de acero.
- ◆ La limadura de acero que se adiciona al mortero es un elemento determinante en las propiedades del mismo, pues a medida que se aumenta su contenido en la mezcla, se van produciendo agrietamientos y fisuras por la disminución de la adherencia entre la limadura y la matriz del mortero que conllevan a una decrecimiento en las resistencias mecánicas (compresión, flexión y tracción); por otra parte, en cuanto al tamaño y forma de la partícula, si esta es muy pequeña y fina, se favorece la disminución de los espacios vacíos de la mezcla, obteniendo un mortero menos poroso, menos permeable y con una baja absorción capilar.
- ◆ El uso de la limadura de acero contribuyó en la búsqueda de alternativas de reutilización de materiales metálicos.

RECOMENDACIONES

- ◆ Debido al decrecimiento de las propiedades mecánicas que presenta el mortero ferromagnético se aconseja que para posteriores experimentos se utilice otro tipo de cemento de mejor calidad que asegure una buena resistencia.
- ◆ Una vez finalizada la vida útil del mortero se aconseja la molienda de éste y posteriormente la separación de la limadura de acero mediante el uso de imanes.
- ◆ Si el producto es expuesto a un ambiente corrosivo, es necesario la utilización de un impermeabilizante para que disminuya el tamaño de los poros.

BIBLIOGRAFIA

Salazar, A., "Síntesis de la Tecnología del Concreto. Una manera de entender a los materiales compuestos". Corporación Construir, 4º Edición, Septiembre 2002, Cali, Colombia.

Concreto Conductivo Genera Gran Reacción. Notas de Hoy, Noticreto N° 44, Bogotá, 1999.

AUPEC, Agencia Universitaria de Periodismo Científico. Los Ecomateriales: Una Alternativa Ecológica para la Construcción., Universidad del Valle, Calí, 2005.

Díaz, Jorge C., Evaluación de Concretos Diseñados Por Durabilidad. Noticreto N° 71, Bogotá, 2004.

SALAZAR J., Alejandro. Estudio de la Durabilidad de Concretos Adicionados con Escoria Siderúrgica, con Diferentes Formas de Curado. Corporación Construir. Calí, 2004.

BICZOK, I. La corrosión del Hormigón y su protección. Bilbao: Urmod. 1968.

Ortiz, Andrés. El Concreto Bajo Ataques Químicos y Biológicos Agresivos. Noticreto N° 59, Bogotá, 2001.

BARRERA, Lisbeth y ARCILA, Carlos. Informaciones Técnicas SIKA. Inhibidores de corrosión para concreto reforzado. Bogotá.

VENUAT, Michel. Aditivos y Tratamiento de Morteros y Hormigones. Editores técnicos asociados S.A. Barcelona. 1967.

BUITRAGO M., Carlos y ORTIZ R., Douglas. Metodología para evaluar la susceptibilidad del concreto expuesto a soluciones de sulfatos. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 2002.

VENUAT, Michel. Control y ensayos de Cementos, Morteros y Hormigones. Ediciones Urmo. Bilbao. 1966.

GUTIERREZ, Ruby de y GUTIERREZ, C. Ensayo modificado a permeación a Cloruros en Materiales cementíticos. Universidad del Valle. Rev: NACE INTERNATIONAL. Segunda Edición. NACE Latin American Región Corrosion Congreso. September, 1996.

SANCHEZ DE GUZMAN, Diego. Tecnología del concreto y del mortero. Editorial Impreandes Presencia S.A. Bogotá. 1986.

HOWLAND A, Juan José. Procesos en el Concreto. ABC del Cemento en el Concreto. Noticreto N° 69. Bogotá. 2003.

DIAZ O, Edgar y VIANCHE, Gustavo A. Adecuación de la fibra de vidrio tipo E como refuerzo en mortero para su utilización en la fabricación de elementos delgados. Universidad Industrial de Santander. 1996.

HERNANDEZ B, Rodolfo y SUAREZ V, Sandra J. Efecto del Ión cloruro en el acero de refuerzo expuesto a soluciones simuladas de concreto. Universidad Industrial de Santander. 1999.

JOISEL, Albert. Fisuras y Grietas en Morteros y Hormigones. Editores técnicos asociados S.A. Barcelona. 1975.

ARAGÓN T. Jesús Humberto. Los morteros Mejorados en la Construcción, Reunión del concreto, Cartagena, 1990.

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.

FAGERLOUND, G. "On the capilarity of concrete", Nordic Concrete Research, N°1, Oslo, Paper N°6, 1986.

MANUAL DE ROCAS Y FLUIDOS. Escuela de Ingeniería de Petróleos. UIS.

QUINTERO P., Francisco J. Corrosión del acero de refuerzo en Estructuras de Concreto. Empresa Colombiana De Petróleos. Instituto Colombiano del Petróleo. División de Tecnologías Complementarias. Piedecuesta. Santander. Noviembre, 1997.

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.sc.ehu.es/sbweb/fisica/elecmagnet/ferromagnetismo/ferromagnetismo

www.aupec.univalle.edu.co/informes/2003/febrero/ecomateriales.html

ANEXO A. FOTOS

Foto 2.1. Lavado de la Limadura de Acero



Foto 2.2 Horno de Secado de la Limadura de Acero



Foto 2.3a. Limadura de acero Malla 16 vista en el microscopio



Foto 2.3 b. Limadura de acero Malla 30 vista en el microscopio



Foto 2.3c. Limadura de acero Malla 50 vista en el microscopio

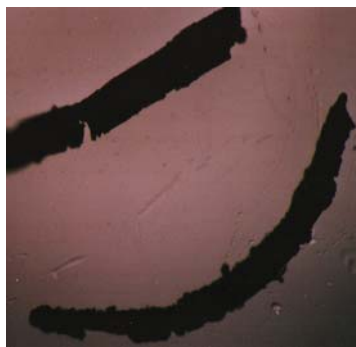


Foto 2.4 Máquina Universal de Ensayos TREBEL, con probeta de compresión



Foto 2.5 Máquina Universal de Resistencia de Briquetas (Tracción)



Foto 2.6 Máquina Universal de Ensayos TREBEL, con probeta de flexión



Foto 2.7 Porosímetro de Campo Ruska



Foto 2.8 Instrumentos para el ensayo de Porosidad



Foto 2.9 Copa grande: 400 y muestra de mortero

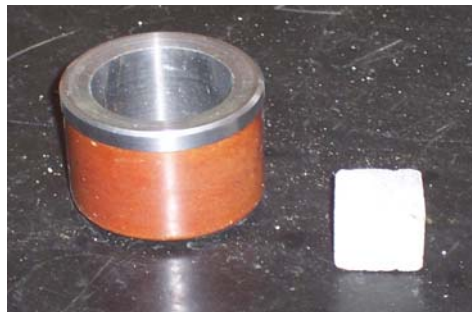


Foto 2.10. Montaje para ensayo de Adherencia Magnética



Foto 2.11 Ensayo de Absorción Capilar



Foto 2.12 Permeámetro de Gas Ruska



Foto 2.13 Probeta para Ensayo de Permeabilidad



Foto 2.14 Receptores de Caucho y Copas para ensayo de Permeabilidad



Foto 2.15 Ensayo de Solidez bajo la acción de Sulfatos



Foto 2.16 Montaje utilizado en el ensayo de Permeabilidad y Difusión del Ión Cloruro



Foto 2.17 Titulación Química



ANEXO B. CARACTERIZACION DE LOS MATERIALES

◆ PRUEBAS PRELIMINARES DEL CEMENTO PORTLAND (PAZ DEL RIO)

1. DETERMINACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO (NORMA NTC 221)

1.1 PRUEBA DE LECHATelier

El peso específico del cemento se encuentra comprendido entre 2.9 y 3.15 g/cm³.

A continuación se presenta una tabla con los resultados de la prueba de LeChatelier:

Tabla 1. Resultados prueba de Lechatelier

Tiempo (minutos)	Menisco 1 (mL)	Menisco 2 (mL)
0	0.9	1.0
3	0.8	0.8
6	0.78	0.8
9	0.75	0.78
12	0.75	0.7

Lectura inicial (frasco 1): 0.8 mL

Lectura inicial (frasco 2): 0.7 mL

Masa de cemento: 64 gramos (frasco1)
65 gramos (frasco 2)

Al adicionar 64 gramos, la lectura marca:

Tabla 2. Lecturas de los meniscos

Tiempo (minutos)	Menisco 1 (mL)	Menisco 2 (mL)
0	22.9	23.3
3	22.8	22.9
6	22.7	22.8
9	22.5	22.8
12	22.5	22.8
15	22.4	22.8
18	22.4	22.8

El volumen del frasco 1 corresponde a $(22.4 \text{ mL}) - (0.8 \text{ mL}) = 21.6 \text{ mL}$

El volumen del frasco 2 corresponde a $(22.8 \text{ mL}) - (0.7 \text{ mL}) = 22.1 \text{ mL}$.

Por tanto, el peso específico para el frasco 1:

$$\rho = \frac{64 \text{ gramos}}{21.6 \text{ mL}} = 2.963 \frac{\text{gramos}}{\text{mL}}$$

El peso específico para el frasco 2:

$$\rho = \frac{65 \text{ gramos}}{22.1 \text{ mL}} = 2.941 \frac{\text{gramos}}{\text{mL}}$$

Por lo tanto el peso específico promedio es:

$$\rho_{prom} = \frac{2.963 \frac{gr}{mL} + 2.941 \frac{gr}{mL}}{2} = 2.95 \frac{gr}{mL}$$

2. DETERMINACIÓN DE LA CONSISTENCIA NORMAL (NORMA 110)

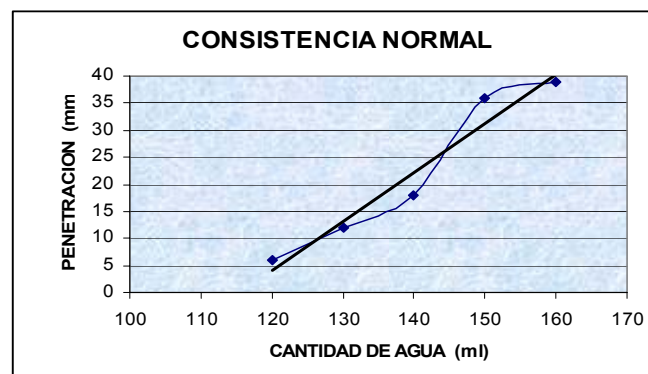
2.1 PRUEBA DE CONSISTENCIA NORMAL

Para determinar la consistencia normal de la mezcla, se deben realizar variaciones en la cantidad de cemento.

Tabla 3. Valores de la consistencia normal

Peso de cemento (g)	% de Cemento	Cantidad de agua (mL)	Penetración (mm)
500	32	160	39
500	30	150	36
500	28	140	18
500	26	130	12
500	24	120	6

Gráfica 1: Consistencia normal vs Contenido de agua



A partir de la gráfica 1; para una penetración de 10 mm, la cantidad de agua necesaria es de 126,4 ml, ya que la ecuación corresponde a una línea recta:

$$\text{Penetración} = 0.9 * (\text{Cantidad de Agua}) - 103.8$$

Interpolando los valores en la tabla 3 se encuentra un porcentaje de 25,28% de cemento.

3. DETERMINACION DEL TIEMPO DE FRAGUADO

3.1 PRUEBA CON APARATO DE VICAT (NORMA ICONTEC 118)

Tabla 4. Resultados de la Prueba de Vicat

TIEMPO (minutos)	PENETRACIÓN (mm)
30	41
45	39
60	39
75	39
90	38
105	36
120	31
135*	25
150	13
165	2
180**	0

*Tiempo inicial de fraguado: 135 minutos

**Tiempo final de fraguado: 180 minutos

3.2 PRUEBA DE AGUJAS DE GILLMORE (NORMA ICONTEC 109)

A continuación se presentan los resultados de la Prueba de las agujas de Gillmore.

Tabla 5. Resultados de la Prueba de Aguja de Gillmore

Tiempo (minutos)	Presencia de penetración
30	Si
45	Si
60	Si
75	Si
90	Si
105	Si
120*	No
135	Si
150	Si
165	Si
180	Si
195**	No

De la tabla se observa el tiempo que se debe mantener la mezcla de cemento para asegurar su fraguado.

*Tiempo inicial de fraguado: 120 minutos

**Tiempo final de fraguado: 195 minutos

Comparando los resultados de las dos pruebas para la determinación del tiempo de fraguado, se registra una similitud en los tiempos.

◆ PRUEBAS PRELIMINARES A LOS AGREGADOS FINOS: ARENA

La arena utilizada proviene de los depósitos de sedimentos en las riveras del río Chicamocha. La caracterización de la arena se hizo mediante los siguientes ensayos:

- Tamizado de materiales granulados (Norma NTC 77)
- Método para determinar la masa unitaria de los agregados (Norma NTC 92)
- Método para determinar el contenido aproximado de materia orgánica en arenas usadas en la preparación de morteros u hormigones (Norma NTC 127)
- Método para determinar el peso específico y la absorción de agregados finos (Norma NTC 237)

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. En la foto 1 se observan los tamices utilizados en el proyecto para realizar el análisis granulométrico a la arena empleada.

Foto 1. Serie de tamices utilizados



1. TAMIZADO DE MATERIALES GRANULADOS (NORMA NTC 77)

Granulometría de la arena. Los tamices utilizados para realizar el análisis granulométrico de la arena, fueron los siguientes: No. 4, 8, 16, 30, 50, 100 cumpliendo con las indicaciones de la Norma NTC 77

Tabla 6. Granulometría de la Arena

ANALISIS GRANULOMETRICO					
Tamiz N°	Tamaño (mm)	Peso retenido (g)	% Retenido	%Retenido Acumulado	%Que pasa
4	4,76	0	0	0	100
8	2,38	10	1.0	1.0	99
16	1,19	30	3.0	4.0	96
30	0,595	174.7	17.47	21.47	78.53
50	0,297	407.5	40.75	62.22	37.78
100	0,149	261.8	26.18	88.4	11.6
Fondo		114.4	11.44		
Total		998.4			

Peso de la muestra: 1000 g

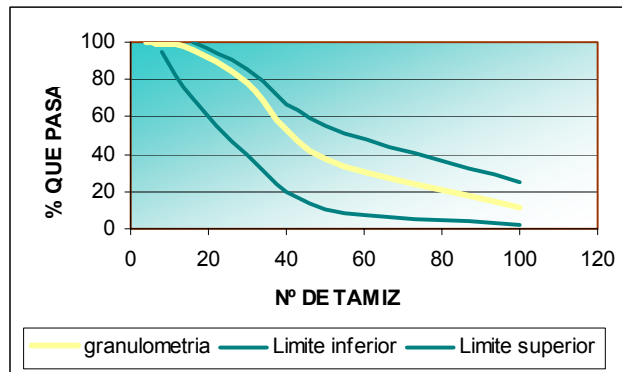
Modulo de finura: $\frac{\sum \% \text{Retenido acumulado}}{100} = 1.771$

Tamaño efectivo: 0.93 mm

Coefficiente de uniformidad: 0.1935

En la grafica 2 se ilustra la granulometría de la arena, la cual presenta una distribución granulométrica entre los límites establecidos por la Norma NTC 77.

Gráfica 2: Análisis Granulométrico del agregado fino (arena)



2. ENSAYO DE CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA (NORMA NTC 127)

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, descritos en la NTC 127.

Se colocó una cantidad de arena en un frasco y se le agregó una solución de hidróxido de sodio (3% peso), 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 tiene una coloración amarillenta comparada con la muestra de referencia, lo que indica un bajo contenido de materia orgánica.

Foto 2. Análisis del Contenido de Materia Orgánica en Agregados Finos



3. ENSAYO DE GRAVEDADES ESPECÍFICAS, PESO UNITARIO, ABSORCIÓN Y VACÍOS

Para realizar los ensayos se utilizaron las siguientes 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 1: Gravedades específicas del agregado fino (Arena)

GRAVEDADES ESPECÍFICAS (NORMA NTC 237)	
DATOS	
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...	981,5 gramos
D= Peso de la muestra secada al horno	493,5 gramos

CALCULOS:

$$\text{Gravedad especifica real} \dots\dots\dots \frac{D}{(A - C + D)} = \dots\dots\dots 2,71$$

$$\text{Gravedad especifica aparente} \dots\dots\dots \frac{D}{(A + B - C)} = \dots\dots\dots 2,61$$

$$\text{Gravedad especifica aparente S.S.S.} = \frac{B}{(A + B - C)} = \dots\dots\dots 2,65 \text{ (E) **}$$

Nota: SÓLIDO SECO SATURADO (S.S.S.)

Cuadro 2. Peso Unitario De Agregados Finos (Arena)**PESO UNITARIO (NORMA NTC 92)****CALIBRACION DEL MEDIDOR:**

$$P1 = \text{Peso del medidor + vidrio} \dots\dots\dots 3,035 \text{ kilogramos}$$

$$P2 = \text{Peso del medidor + vidrio + agua} \dots\dots\dots 5,872 \text{ kilogramos}$$

$$V = \text{Volumen del medidor} = \frac{(P_2 - P_1)}{1000} = \dots\dots\dots 2,838 \text{ dm}^3$$

DATOS:

$$Pm = \text{Peso del medidor vacío} \dots\dots\dots 2540 \text{ gramos}$$

$$Pc = \text{Peso del medidor + material S.S.S. compactado} \dots\dots\dots, 6885 \text{ gramos}$$

$$Ps = \text{Peso del medidor + material suelto S.S.S. suelto} \dots\dots\dots 6281 \text{ gramos}$$

$$\text{Peso unitario desagregado S.S.S. compactado} = \frac{(Pc - Pm)}{V} = \dots\dots\dots 1531 \text{ Kg/m}^3 \text{ (F)**}$$

$$\text{Peso unitario del agregado S.S.S. suelto} = \frac{(Ps - Pm)}{V} = \dots\dots\dots 1318 \text{ Kg/m}^3$$

Cuadro 3. Porcentaje de absorción y de Vacíos (Arena)

PORCENTAJE DE ABSORCION Y DE VACIOS (NORMA NTC 237)

% de absorción.....	$\frac{(B - D) * 100}{D} =$	1.32 %
% de vacíos.....	$\frac{(E * 1000 - F)}{(10 * E)} =$	42,27 %

◆ PRUEBAS PRELIMINARES A LOS AGREGADOS: LIMADURA DE ACERO

Las pruebas realizadas a este material son:

- Tamizado de materiales granulados (Norma NTC 77)
- Método para determinar la masa unitaria de los agregados (Norma NTC 92)
- Método para determinar el peso específico y la absorción de agregados finos (Norma NTC 237)

1. TAMIZADO DE MATERIALES GRANULADOS (NORMA NTC 77)

Granulometría de la limadura de acero. Los tamices utilizados para realizar el análisis granulométrico de la limadura de acero, fueron los siguientes: No. 4, 8, 16, 30, 50, 100 cumpliendo con las indicaciones de la Norma NTC 77

Tabla 7. Resultados de la Granulometría de la limadura de acero

ANALISIS GRANULOMETRICO (LIMADURA DE ACERO)					
Tamiz N°	Tamaño (mm)	Peso retenido (g)	% Retenido	%Retenido Acumulado	%Que pasa
4	4,76	1.5	0.15	0.15	99.85
8	2,38	57	5.7	5.85	94.15
16	1,19	561	56.1	61.95	38.05
30	0,595	224.4	22.44	84.39	15.61
50	0,297	103.4	10.34	94.73	5.27
100	0,149	33.4	3.34	98.07	1.93
Fondo		193	1.93		
Total		1000			

Peso de la muestra: 1000 g

$$\text{Modulo de finura: } \frac{\sum \% \text{Retenido acumulado}}{100} = 3.4514$$

Tamaño efectivo = 2.10

De la anterior tabla se observa que las mallas con gran porcentaje de material retenido son: Malla 16, Malla 30, Malla 50; por esta razón, se trabajo con las partículas retenidas en estos tamices.

2. ENSAYO DE GRAVEDADES ESPECÍFICAS, PESO UNITARIO, ABSORCIÓN Y VACÍOS

Para realizar los ensayos se utilizaron las siguientes 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 4: Gravedades específicas del agregado fino (Limadura de acero)

GRAVEDADES ESPECÍFICAS (NORMA NTC 237)

DATOS

A = Peso del frasco + Agua hasta la marca en el aire.....	653,3g
B = Peso de la muestra en condición S.S.S. en el aire.....	200g
C= Peso de la muestra, Frasco y Agua agregada hasta la marca, en el aire...	804.6g
D= Peso de la muestra secada al horno	216g

CALCULOS:

Gravedad especifica real.....	$\frac{D}{(A - C + D)}$	=.....	3,33
Gravedad especifica aparente.....	$\frac{D}{(A + B - C)}$	=.....	4,43
Gravedad especifica aparente S.S.S.=	$\frac{B}{(A + B - C)}$	=.....	4.10 (E) **

Cuadro 5. Peso Unitario de Agregados Finos (Limadura de acero)

PESO UNITARIO (NORMA NTC 92)

CALIBRACION DEL MEDIDOR:

P1 = Peso del medidor + vidrio	3,035kg		
P2 = Peso del medidor + vidrio + agua.....	5,872kg		
V= Volumen del medidor =	$\frac{(P_2 - P_1)}{1000}$	=.....	2,838 dm ³

DATOS:

Pm = Peso del medidor vacío.....	2540g
Pc = Peso del medidor + material S.S.S. compactado.....	5484,33g
Ps = Peso del medidor + material suelto S.S.S. suelto	4898g
Peso unitario desagregado S.S.S. compactado = $\frac{(Pc - Pm)}{V}$ =.....	1037,46 Kg/m ³ (F)**
Peso unitario del agregado S.S.S. suelto = $\frac{(Ps - Pm)}{V}$ =.....	830.86 Kg/m ³

Cuadro 6. Porcentaje de absorción y de Vacíos (Limadura de acero)

PORCENTAJE DE ABSORCION Y DE VACIOS (NORMA NTC 237)	
% de absorción.....	$\frac{(B - D) * 100}{D}$ =..... 3.88 %
% de vacíos.....	$\frac{(E * 1000 - F)}{(10 * E)}$ =..... 74.69 %

ANEXO C. DISEÑO DE LA MEZCLA

◆ DISEÑO DEL MORTERO DE CEMENTO PORTLAND

Tabla 1: Datos para el diseño del mortero

Resistencia deseada del mortero	212.18 kg/cm ²
Tipo de cemento	Pórtland
Peso específico del cemento	2.9 g/cm ³
Agregado fino	arena
Módulo de finura	1.771
Densidad aparente seca	2.65 g/cm ³
Consistencia requerida	Plástica
Base de calculo	1 m ³ de mortero

PASO 1: DETERMINACIÓN DEL TIPO DE ARENA

La arena seleccionada corresponde a una arena de granos redondos y lisos.

PASO 2. DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN AGUA –CEMENTO

Para un módulo de finura de 1,771 y una resistencia de 212.18 kg/cm², la relación agua-cemento (A/C) para la preparación del mortero es de 0.68.

PASO 3: SELECCIÓN DE LA CONSISTENCIA

Tabla 2: Consistencias de la mezclas de mortero

CONSISTENCIA	% DE FLUJO
Seca	90
Plástica	110
Fluida	130

El mortero se diseño para una consistencia plástica, con un porcentaje de flujo de 110%.

PASO 4: DETERMINACIÓN DE LOS FACTORES QUE INFLUYEN EN EL CONTENIDO DE AGUA

La cantidad de agua de mezclado por unidad de volumen de mortero requerida para producir una consistencia dada, depende básicamente del requerimiento de agua en cemento y del requerimiento de agua de la arena.

Se ha demostrado que entre mayor sea la finura del cemento, mayor es la cantidad de agua para obtener una pasta de cemento de consistencia normal.

En cuanto a la arena, el requerimiento de agua disminuye con la presencia de tamaños gruesos y aumenta con la de agregados finos, pero esta relación no es lineal. Se ha demostrado que el requerimiento de pasta de cemento (relación A/C) para una consistencia determinada se puede expresar matemáticamente por la siguiente ecuación.

$$\frac{A}{C} = K * e^{b*n} \quad (\text{Ec 3.1})$$

A/C= relación agua – cemento

n= proporción de la mezcla (Número de partes de arena por una parte de cemento en peso)

b= factor que relaciona la consistencia requerida, módulo de finura, forma y textura de la arena

K = relación agua-cemento para la consistencia requerida en términos de fluidez de la pasta de cemento.

El procedimiento para resolver la ecuación se limita a calcular el valor de A/C a partir del paso 2; para determinar el valor de K se confeccionan varias pastas con el cemento a utilizar, cada una con diferente contenido de agua, con el fin de establecer los porcentajes de flujo necesarios para construir una gráfica de porcentaje de flujo vs relación agua/cemento, cumpliendo con los requerimientos de mezclado para pasta de cemento (Norma ASTM C-305) y para el ensayo de fluidez (Norma ASTM C-230).

El factor b relaciona la consistencia requerida (Seca, plástica o fluida) con el módulo de finura de la arena, para diversas formas y textura de las partículas, las cuáles hasta el momento han sido imposibles de medir de manera cuantitativa. Para obtener una pasta plástica se requiere una relación de agua-cemento (k) de 0,225. De la tabla 3, para una consistencia plástica, una arena de grano redondo y liso y un módulo de finura de 1,771 el valor interpolado de b , corresponde a 0.3212.

Tabla 3: Valores de b para distintas consistencias y módulos de finura de arena

Consistencia	Modulo de finura	Arena de granos redondos y lisos	Arena de granos Angulares y rugosos
Seca (90%)	1.7	0.3293	0.3215
	2.2	0.3110	0.3028
	2.7	0.2772	0.2930
	3.2	0.2394	0.2494
Plástica (110%)	1.7	0.3242	0.3238
	2.2	0.3033	0.2947
	2.7	0.2734	0.2879
	3.2	0.2368	0.2477
Fluida (130%)	1.7	0.3172	0.3216
	2.2	0.2927	0.3003
	2.7	0.2687	0.2949
	3.2	0.2340	0.2629

PASO 5: DETERMINACION DE LA PROPORCIÓN 1:n

Una vez conocidos los valores de A/C, K y b, la única incógnita de la (Ec. 1) es el valor de n. Despejando y reemplazando los valores en la ecuación se obtiene:

$$n = \frac{\ln(A/C) - \ln(K)}{b} = \frac{\ln(0.68) - \ln(0.225)}{0.3212} = 3.4433$$

PASO 6: CALCULO DEL CONTENIDO DE CEMENTO

La cantidad de cemento por unidad de volumen se obtiene partiendo de los volúmenes que conforman un metro cúbico de mortero.

$$V_c + V_a + A = 1000 \text{litros} \quad (\text{Ec. 2})$$

V_c = Volumen del cemento

V_a = Volumen de arena

A = Peso o volumen de agua

Despejando la ecuación 2, se obtiene:

$$\frac{C}{G_c} + \frac{nC}{G_a} + C * K * e^{b*n} = 1000 \text{litros} \quad (\text{Ec. 3})$$

De donde:

C: Cemento en kg

a: Arena en kg

A: Agua en kg

G_c : Peso específico del cemento

G_a : Densidad aparente seca de la arena

Despejando el contenido de cemento (C)

$$C = \frac{1000 \text{litros}}{\frac{1}{Gc} + \frac{n}{Ga} + \frac{A}{C}} \quad (\text{Ec. 4})$$

Remplazando los valores de la ecuación 4, se obtiene:

$$C = \frac{1000 \text{litros}}{\frac{1}{2.9} + \frac{3.4433}{2.65} + 0.68} = 430.25 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

PASO 7: DETERMINACION DEL CONTENIDO DE AGUA

A partir de la relación

$$A = \left(\frac{A}{C} \right) * C \quad (\text{Ec. 3.5})$$

$$A = (0.689) * (430.25) = 292.57 \text{ litros de agua/m}^3 \text{ de mortero}$$

PASO 8: DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE ARENA

El contenido de arena se encuentra determinada por la siguiente expresión:

$$a = n * C \quad (\text{Ec. 3.6})$$

$$a = (3.44339) * (430.25 \text{ kg/ m}^3) = 1481.47 \text{ kg de arena/ m}^3 \text{ de mortero}$$

A continuación se representa una tabla con las cantidades de los materiales para producir 1 m³ de mortero normal.

Tabla 4: Análisis de cantidades de materiales del diseño del mortero.

MATERIAL	PESO SECO (Kg)	PESO ESPECIFICO (Kg/l)	VOLUMEN (Litros)
CEMENTO	430.25	2.9	148.36
ARENA	1481.47	2.65	559.04
AGUA	292.57	1	292.57
TOTAL	2204.29 (KG)		1000

Base de cálculo: 1000 litros de mortero

◆ PROPORCIONES PARA LAS MEZCLAS DE MORTERO FERROMAGNETICO

Para la obtención de las proporciones de la mezcla con agregado (Limadura de acero) se reemplazará parte del agregado fino por este aditivo, cuyo peso específico es 4.1 gramos / cm³.

Las proporciones a reemplazar son: 25, 38, 50 60 % del *volumen total de la arena* por partículas de limadura de acero retenidas en los tamices No. 16, 30, y 50.

En las tablas 5, 6, 7 y 8 se pueden observar las proporciones de las diferentes mezclas realizadas.

Tabla 5. Proporciones para la mezcla de mortero con un 25% (limadura de acero)

Material	Peso Seco (Kg)	Peso Especifico g/cc	Volumen (L)
Cemento	426,85	2,9	147,19
Arena	1102,32	2,65	415,97
Limadura de acero	568,46	4,1	138,65
Agua	290,26	1	290,26
Aditivo (Ferrogard 901)	8,01	1.01	7,93
TOTAL	2395,9		1000

Tabla 6. Proporciones para la mezcla de mortero con 38% de limadura de acero

Material	Peso Seco (Kg)	Peso Especifico g/cc	Volumen (L)
Cemento	426,85	2,9	147,19
Arena	911,27	2,65	343,87
Limadura de acero	864,11	4,1	210,76
Agua	290,26	1	290,26
Aditivo (Ferrogard 901)	8,01	1.01	7,93
TOTAL	2500,5		1000

Tabla 7. Proporciones para mezclas de mortero con 50% de limadura de acero

Material	Peso Seco (Kg)	Peso Especifico g/cc	Volumen (L)
Cemento	426,85	2,9	147,19
Arena	735,13	2,65	277,41
Limadura de acero	1137,38	4,1	277,41
Agua	290,26	1	290,26
Aditivo (Ferrogard 901)	8,01	1.01	7,93
TOTAL	2597,63		1000

Tabla 8. Proporciones para mezclas de mortero con 60% de limadura de acero

Material	Peso Seco (Kg)	Peso Especifico g/cc	Volumen (L)
Cemento	426,85	2,9	147,19
Arena	587,91	2,65	221,85
Limadura de acero	1364,39	4,1	332,77
Agua	290,26	1	290,26
Aditivo (Ferrogard 901)	8,01	1.01	7,93
TOTAL	2677,42		1000

Se realizaron 13 tipos diferentes de mezcla (con diferentes tamaños y porcentajes de agregado) las cuales se presentan con su respectiva nomenclatura en la tabla 9.

Tabla 9. Nomenclatura de las mezclas de mortero

Tamiz Retenido No.	Porcentaje Retenido	Nomenclatura
	0	NORMAL
16	25	M16/25%
	38	M16/38%
	50	M16/50%
	60	M16/60%
30	25	M30/25%
	38	M30/38%
	50	M30/50%
	60	M30/60%
50	25	M50/25%
	38	M50/38%
	50	M50/50%
	60	M50/60%

NORMAL: mezcla de cemento, arena y agua

MN°.: El tamiz donde se retuvo la partícula utilizada /No%: El porcentaje de limadura de acero con respecto al volumen de agregados

ANEXO D. ENSAYO DE COMPRESIÓN

Tabla 1. Resultados Ensayo de Compresión, 7 días de curado. Área transversal = 25cm²

MUESTRA	FUERZA (kg-f)	RESISTENCIA (kg-f/cm ²)	RESISTENCIA PROMEDIO (kg-f/cm ²)	DESVIACION ESTANDAR	COEFICIENTE DE VARIACION
ARENA	2500	100	103.06	3.00	2.91
	2650	106			
	2580	103.2			
M16/25%	1600	64	56	10.68	18.89
	1100	44			
	1500	60			
M30/25%	2200	88	75.33	17.00	22.58
	1400	56			
	2050	82			
M50/25%	1200	48	61.33	12.22	19.92
	1800	72			
	1600	64			
M16/38%	1250	50	53.33	7.57	14.19
	1200	48			
	1550	62			
M30/38%	2000	80	69.33	9.24	13.32
	1600	64			
	1600	64			
M50/38%	1800	72	78.66	6.11	7.77
	2100	84			
	2000	80			
M16/50%	600	24	22.66	2.30	10.19
	600	24			
	500	20			
M30/50%	1000	40	41.33	1.15	2.79
	1050	42			
	1050	42			
M50/50%	1500	60	60	4.0	6.66
	1600	64			
	1400	56			
M16/60%	680	27.2	23.06	3.72	16.11
	550	22			
	500	20			
M30/60%	730	29.2	30.4	1.44	4.74
	750	30			
	800	32			
M50/60%	900	36	34.66	2.31	6.66
	900	36			
	800	32			

Tabla 2. Resultados Ensayo de Compresión, 14 días de curado. Área transversal = 25cm²

MUESTRA	FUERZA (kg-f)	RESISTENCIA (kg-f/cm ²)	RESISTENCIA PROMEDIO (kg-f/cm ²)	DESVIACION ESTANDAR	COEFICIENTE DE VARIACION
ARENA	3600	144	140	10.58	7.56
	3700	148			
	3200	128			
M16/25%	1950	78	74	3.46	4.68
	1800	72			
	1800	72			
M30/25%	3300	132	128.66	3.05	2.37
	3150	126			
	3200	128			
M50/25%	2000	80	92	12	13.04
	2600	104			
	2300	92			
M16/38%	2150	86	88	3.46	3.94
	2300	92			
	2150	86			
M30/38%	1750	70	74	8.72	11.78
	1700	68			
	2100	84			
M50/38%	2200	88	82.67	9.24	11.17
	1800	72			
	2200	88			
M16/50%	600	24	28.66	4.16	14.52
	800	32			
	750	30			
M30/50%	1400	56	57.33	2.31	4.03
	1500	60			
	1400	56			
M50/50%	1900	76	77.33	10.06	13.02
	2200	88			
	1700	68			
M16/60%	700	28	31.33	4.16	13.28
	900	36			
	750	30			
M30/60%	1000	40	43.33	3.05	7.05
	1150	46			
	1100	44			
M50/60%	1200	48	53.33	6.11	11.46
	1500	60			
	1300	52			

Tabla 3. Resultados Ensayo de Compresión, 28 días de curado. Área transversal = 25cm²

MUESTRA	FUERZA (kg-f)	RESISTENCIA (kg-f/cm ²)	RESISTENCIA PROMEDIO (kg-f/cm ²)	DESVIACION ESTANDAR	COEFICIENTE DE VARIACION
ARENA	3800	152	144	21.17	14.70
	4000	160			
	3000	120			
M16/25%	2700	108	104.66	4.16	3.98
	2650	106			
	2500	100			
M30/25%	3400	136	130	8.72	6.70
	3000	120			
	3350	134			
M50/25%	2500	100	106	8.72	8.22
	2900	116			
	2550	102			
M16/38%	2350	94	90	3.46	3.85
	2200	88			
	2200	88			
M30/38%	2950	118	125.33	7.02	5.60
	3300	132			
	3150	126			
M50/38%	3575	143	145	1.73	1.19
	3650	146			
	3650	146			
M16/50%	1100	44	43.33	1.15	2.66
	1050	42			
	1100	44			
M30/50%	1700	68	70	3.46	4.95
	1700	68			
	1850	74			
M50/50%	1800	72	75.69	3.23	4.26
	1950	78			
	1927	77.08			
M16/60%	1100	44	44	4.0	9.09
	1200	48			
	1000	40			
M30/60%	1300	52	52.2	0.53	1.01
	1280	51.2			
	1320	52.8			
M50/60%	1400	56	57.33	2.31	4.02
	1500	60			
	1400	56			

ANEXO E. ENSAYO DE TRACCIÓN

Tabla 1. Resultados Ensayo de Tracción, 7 días de curado.

Área transversal = 6.25cm²

MUESTRA	FUERZA (kg-f)	RESISTENCIA (kg-f/cm ²)	RESISTENCIA PROMEDIO (kg-f/cm ²)	DESVIACION ESTANDAR	COEFICIENTE DE VARIACION
ARENA	801.22	128.196	124.63	12.84	10.30
	689.94	110.391			
	845.73	135.318			
M16/25%	993.5	128.96	120.14	11.73	9.76
	667.68	106.83			
	778.93	124.63			
M30/25%	823.44	131.75	121.54	10.71	8.81
	765.56	122.49			
	689.93	110.39			
M50/25%	467.38	74.78	90.21	14.39	15.95
	645.43	103.27			
	578.68	92.59			
M16/38%	489.63	78.34	84.27	16.83	19.97
	445.13	71.22			
	645.44	103.27			
M30/38%	489.63	78.34	81.19	4.93	6.07
	543.00	86.88			
	489.63	78.34			
M50/38%	467.38	74.78	77.15	7.41	9.60
	534.13	85.46			
	445.13	71.22			
M16/50%	333.82	53.41	51.04	4.11	8.05
	333.81	53.41			
	289.31	46.29			
M30/50%	267.06	42.73	43.92	5.44	12.38
	311.56	49.85			
	244.81	39.17			
M50/50%	267.06	42.73	52.22	8.22	15.74
	356.06	56.97			
	356.06	56.97			
M16/60%	267.06	42.73	43.92	2.05	4.68
	289.31	46.29			
	267.06	42.73			
M30/60%	133.56	21.37	22.55	2.05	9.11
	155.75	24.92			
	133.5	21.36			
M50/60%	267.06	42.73	43.92	2.05	4.68
	289.31	46.29			
	267.06	42.73			

Tabla 2. Resultados Ensayo de Tracción, 14 días de curado.

Área transversal = 6.25cm²

MUESTRA	FUERZA (kg-f)	RESISTENCIA (kg-f/cm ²)	RESISTENCIA PROMEDIO (kg-f/cm ²)	DESVIACION ESTANDAR	COEFICIENTE DE VARIACION
ARENA	1557.94	249.27	240.96	7.41	3.07
	1468.94	235.03			
	1491.13	238.58			
M16/25%	845.75	135.32	137.69	7.41	5.38
	823.50	131.76			
	912.50	146.0			
M30/25%	801.25	128.2	131.76	3.56	2.71
	823.5	131.76			
	845.75	135.32			
M50/25%	992.63	158.82	152.65	6.42	4.21
	957.00	153.12			
	912.5	146.0			
M16/38%	689.94	110.39	113.95	3.56	3.12
	734.44	117.51			
	712.19	113.95			
M30/38%	556.41	89.025	93.78	5.44	5.80
	623.19	99.71			
	578.69	92.59			
M50/38%	765.63	122.50	103.75	16.34	15.75
	600.94	96.15			
	578.69	92.59			
M16/50%	445.13	71.22	62.91	7.41	11.79
	378.38	60.54			
	356.06	56.97			
M30/50%	489.63	78.34	74.91	3.61	4.82
	467.38	74.78			
	445.13	71.22			
M50/50%	534.13	85.46	85.46	3.56	4.16
	511.88	81.90			
	556.38	89.02			
M16/60%	333.81	53.41	54.60	2.05	3.76
	333.81	53.41			
	356.06	56.97			
M30/60%	133.56	21.37	18.99	4.12	21.67
	133.56	21.37			
	89.00	14.24			
M50/60%	356.06	56.97	53.25	3.79	7.13
	308.66	49.385			
	333.81	53.41			

Tabla 3 Resultados Ensayo de Tracción, 28 días de curado.

Área transversal = 6.25cm²

MUESTRA	FUERZA (kg-f)	RESISTENCIA (kg-f/cm²)	RESISTENCIA PROMEDIO (kg-f/cm²)	DESVIACION ESTANDAR	COEFICIENTE DE VARIACION
ARENA	1833.93 1691.5 1820.75	293.43 270.64 281.32	281.80	11.40	4.05
M16/25%	1090.5 1090.5 1001.56	174.48 174.49 160.25	169.74	8.22	4.84
M30/25%	957 1046.1 912.5	153.12 167.37 146.00	155.50	10.88	6.99
M50/25%	1170.31 1152.1 1152.7	187.25 184.33 184.44	185.34	1.65	0.89
M16/38%	779 689.94 623.19	124.64 110.39 99.71	111.58	12.51	11.21
M30/38%	712.19 689.94 667.69	113.95 110.39 106.83	110.39	3.56	3.22
M50/38%	912.5 868 823.5	146.00 138.88 131.76	138.88	7.12	5.13
M16/50%	400.62 422.87 422.87	64.099 67.659 67.659	66.47	2.05	3.09
M30/50%	445.13 400.61 445.13	71.22 64.098 71.22	68.45	4.11	5.97
M50/50%	534.15 511.89 556.41	85.464 81.903 89.025	85.46	3.56	4.17
M16/60%	356.1 333.84 400.61	56.976 53.415 64.098	58.16	5.44	9.35
M30/60%	178.05 155.80 178.05	28.488 24.927 28.488	27.301	2.05	7.53
M50/60%	422.87 436.22 378.35	67.659 69.795 60.537	65.99	4.85	7.35

ANEXO F. ENSAYO DE FLEXIÓN

Tabla 1. Resultados ensayo de Resistencia a la Flexión. Curado de 28 días.

MUESTRA	FUERZA (kg-f)	RESISTENCIA (kg-f/cm ²)	RESISTENCIA PROMEDIO (kg-f/cm ²)	DESVIACION ESTANDAR	COEFICIENTE DE VARIACION
ARENA	105	29.53	32.34	2.44	7.53
	120	33.75			
	120	33.75			
M16/25%	70	19.7	19.7	0	0
	70	19.7			
	70	19.7			
M30/25%	80	22.5	20.63	2.14	10.36
	75	21.1			
	65	18.3			
M50/25%	90	25.31	26.25	1.63	6.20
	90	25.31			
	100	28.13			
M16/38%	80	22.5	21.56	1.62	7.52
	70	19.69			
	80	22.5			
M30/38%	59	16.5	17.54	0.91	5.22
	64	17.89			
	65	18.23			
M50/38%	89	25.00	24.35	0.78	3.21
	83	23.48			
	87	24.57			
M16/50%	20	5.625	5.625	0	0
	20	5.625			
	20	5.625			
M30/50%	50	14.06	12.66	1.40	11.10
	45	12.66			
	40	11.25			
M50/50%	78	21.94	21.84	0.70	3.25
	80	22.5			
	75	21.09			
M16/60%	10	2.813	4.219	1.406	33.32
	15	4.219			
	20	5.625			
M30/60%	20	5.625	5.625	0	0
	20	5.625			
	20	5.625			
M50/60%	60	16.875	17.062	0.325	1.91
	62	17.438			
	60	16.875			

ANEXO G. ENSAYO DE POROSIDAD

Tabla 1. Resultados Ensayo de Porosidad

TIPO MORTERO	MUESTRA 1				MUESTRA 2			
	R _{core}	Volumen (cm ³)	R _{Hg}	Volumen (cm ³)	R _{core}	Volumen (cm ³)	R _{Hg}	Volumen (cm ³)
ARENA	77.8	10.4	86.8	11.6	91	12.1	95	12.6
M16/25%	48.1	6.6	66	8.8	44.9	6.2	55	7.4
M30/25%	85	11.3	99.1	13.2	79	10.6	88.7	11.8
M50/25%	92.1	12.3	98	13	80.1	10.6	85.8	11.5
M16/38%	80.5	10.7	96.3	12.8	43.2	5.9	69.5	9.3
M30/38%	76	10.2	87	11.8	38	5.22	50.5	6.9
M50/38%	68.3	9.2	82	11	55.72	7.6	64.8	8.7
M16/50%	62	8.37	79	10.6	27	4.0	50.3	6.8
M30/50%	65	8.8	88	11.7	64.54	8.7	85.8	11.4
M50/50%	62	8.35	75	10	64.7	8.7	85.7	11.4
M16/60%	60	8.1	79	10.6	33.1	4.6	63.2	8.5
M30/60%	63.01	8.5	86.7	11.5	56.8	7.7	77	10.3
M50/60%	71.1	9.6	93	12.4	64.65	8.65	82	11

Tabla 2. Porosidad Promedio de las muestras de mortero

TIPO MORTERO	% POROSIDAD MUESTRA 1	% POROSIDAD MUESTRA 2	POROSIDAD PROMEDIO (%)
ARENA	10.34	3.96	7.15
M16/25%	25	16.21	20.61
M30/25%	14.39	10.17	12.27
M50/25%	5.38	7.83	6.60
M16/38%	16.4	36.56	26.48
M30/38%	13.56	24.35	18.95
M50/38%	16.71	14.01	15.36
M16/50%	21.04	41.17	31.10
M30/50%	26.14	24.78	25.46
M50/50%	16.5	23.68	20.09
M16/60%	23.58	45.88	34.73
M30/60%	27.32	26.24	26.78
M50/60%	23.55	21.15	22.35

ANEXO H. ENSAYO DE ADHERENCIA MAGNETICA

Tabla 1. Resultados de Ensayo de Adherencia Magnética. Imán 1 (25.3 g)

MUESTRA	PESO SOPORTABLE IMAN 1 (g)	PROMEDIO (g)	RESISTENCIA (kg-f /cm ²)
M16/25%	1240 1174.9 1193.1	1202.66	0.400
M30/25%	1077.1 1097.7 1227.3	1134.03	0.378
M50/25%	1378 1388 1411.1	1392.46	0.464
M16/38%	2004 1990 1878	1957.3	0.652
M30/38%	2180 1957 2350	2172.3	0.724
M50/38%	2715 2680 2615	2670	0.89
M16/50%	2537 2625 2527	2563	0.854
M30/50%	3028 2864 2247	2713	0.904
M50/50%	3088 3520 2941	3183	1.061
M16/60%	2525 2990 2297	2604	0.868
M30/60%	3004 2758 2878	2880	0.96
M50/60%	3500 3425 3155	3360	1.12

Tabla 2. Resultados de Ensayo de Adherencia Magnética. Imán 2 (57.2g)

MUESTRA	PESO SOPORTABLE IMAN 2(g)	PROMEDIO (g)	RESISTENCIA (kg-f /cm²)
M16/25%	1838 2485 2150	2157	0.719
M30/25%	1998 2297 2350	2215	0.738
M50/25%	2524 2092 2369	2320	0.773
M16/38%	2722 2461 2561	2581	0.860
M30/38%	2914 3131 2980	3008	1.00
M50/38%	3490 3381 3458	3443	1.148
M16/50%	3542 3430 3648	3540	1.18
M30/50%	3958 3700 3859	3839	1.279
M50/50%	4381 4400 4425	4402	1.467
M16/60%	3530 3915 3758	3734	1.244
M30/60%	4730 4130 4563	4474	1.491
M50/60%	5162 4742 4985	4963	1.654

Tabla 3. Resultados de Ensayo de Adherencia Magnética. Imán 3 (86.8 g)

MUESTRA	PESO SOPORTABLE IMAN 3(g)	PROMEDIO (g)	RESISTENCIA (kg-f /cm²)
M16/25%	2644 2120 2540	2435	0.812
M30/25%	2286 2371 2450	2369	0.789
M50/25%	2230 2346 2452	2342	0.781
M16/38%	2935 3215 2974	3041	1.013
M30/38%	3350 3392 3368	3370	1.123
M50/38%	3480 3758 3680	3612	1.204
M16/50%	3952 4123 3850	3975	1.325
M30/50%	4034 4532 4251	4272	1.424
M50/50%	4799 4855 4785	4803	1.601
M16/60%	4400 4321 4644	4455	1.485
M30/60%	5120 4595 4895	4870	1.623
M50/60%	5388 5420 5409	5406	1.802

ANEXO I. ENSAYO DE ABSORCIÓN CAPILAR

Figura 1. Masa Absorbida VS Tiempo $^{1/2}$. Malla 16

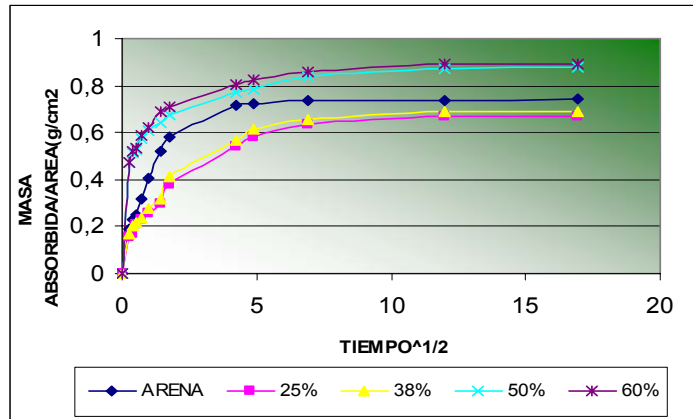


Figura 2 Masa Absorbida VS Tiempo $^{1/2}$. Malla 30

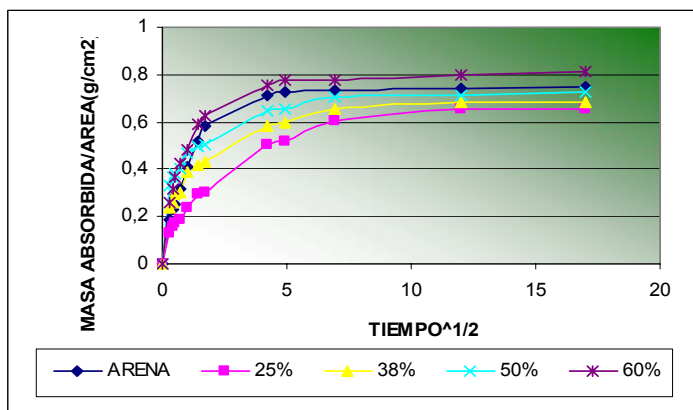
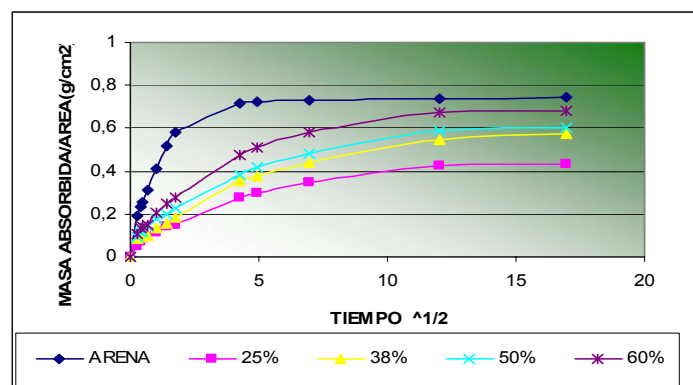


Figura 3. Masa Absorbida VS Tiempo $^{1/2}$. Malla 50



ANEXO J. ENSAYO DE PERMEABILIDAD

Tabla 1. Resultados de Permeabilidad en las muestras de mortero

TIPO DE MORTERO	LECTURA DEL FLUJOMETRO	POSICION DEL FLUJOMETRO	PRESION (atm)	TEMPERATURA (°C)
ARENA	3.3	L	0.45	25
	3.6	L	0.43	25
M16/25%	4.0	L	0.39	25
	4.1	L	0.38	25.5
M30/25%	2.1	L	0.21	25.5
	2.7	L	0.24	25.5
M50/25%	2.3	L	0.45	26
	3.4	L	0.41	26
M16/38%	4.0	L	0.28	26
	5.4	L	0.31	26
M30/38%	4.4	L	0.29	26.5
	4.2	L	0.33	26.5
M50/38%	3.3	L	0.27	26.5
	4.6	L	0.26	26.5
M16/50%	4.7	L	0.17	26.5
	4.2	L	0.13	26.5
M30/50%	2.8	L	0.11	26
	4.2	L	0.21	26
M50/50%	4.3	L	0.25	26
	4.1	L	0.23	26
M16/60%	6.1	L	0.19	26.5
	5.8	L	0.21	26.5
M30/60%	4.1	L	0.15	26.5
	4.0	L	0.10	26.5
M50/60%	4.3	L	0.21	26.5
	4.7	L	0.22	26.5

Large=L

Medium =M

Small= S

Tabla 2. Resultados de Permeabilidad en las muestras de mortero

TIPO DE MORTERO	VISCOSIDAD (cP)	CAUDAL (cm ³ /s)	AREA (cm ²)	LONGITUD (cm)	K (Darcys)	PROMEDIO
ARENA	0.1812	20.54	2.56	2.6	0.84	0.83
	0.01812	23.1	2.89	2.4	0.82	
M16/25%	0.01814	26.5	3.61	2.6	1.1	1.04
	0.01817	27	3.8	2.55	0.98	
M30/25%	0.01812	12.05	2.89	2.55	0.75	0.78
	0.01812	16	2.89	2.2	0.81	
M50/25%	0.01817	13.5	2.25	2.1	0.51	0.56
	0.01817	21.6	3.61	2.3	0.61	
M16/38%	0.01817	26.7	3.06	2.6	1.47	1.49
	0.01817	38.3	3.42	2.3	1.51	
M30/38%	0.01819	29.6	3.8	2.6	1.27	1.22
	0.01819	29.3	3.8	2.75	1.17	
M50/38%	0.01819	20.35	3.8	2.55	0.92	0.94
	0.01819	31	3.61	1.6	0.96	
M16/50%	0.01819	31.9	3.72	2.2	2.02	2.09
	0.01819	28.1	3.82	2.1	2.16	
M30/50%	0.01819	16.7	3.8	2.53	1.84	1.87
	0.01817	28.3	3.81	2.51	1.9	
M50/50%	0.01817	29	3.49	2.51	1.51	1.56
	0.01817	27	3.42	2.6	1.61	
M16/60%	0.01819	45	3.99	2.63	2.84	2.53
	0.01819	42.5	3.8	2.3	2.23	
M30/60%	0.01819	27.2	3.52	2.3	2.16	2.12
	0.01819	26.4	4.15	1.8	2.08	
M50/60%	0.01819	28.5	3.33	2.52	1.87	1.89
	0.01819	31.3	3.37	2.5	1.92	

ANEXO K. ENSAYO DE SOLIDEZ BAJO LA ACCION DE SULFATOS

Tabla 1. Desgaste Promedio de los diferentes tipos de mortero

TIPO DE MORTERO	PESO INICIAL (g)	PESO FINAL (g) 5 Ciclos	DESGASTE 5 Ciclos (% en peso)	PROMEDIO DESGASTE 5 Ciclos (% en peso)
ARENA	255	222.76	10.68	10.13
	268.2	242.50	9.58	
M16/25%	297.2	269.97	9.16	9.24
	307.3	278.65	9.32	
M30/25%	279	255.11	8.56	9.01
	280	253.5	9.46	
M50/25%	289.7	265.3	8.42	8.56
	288.8	263.67	8.7	
M16/38%	304.9	278.86	8.54	8.92
	297.2	269.56	9.3	
M30/38%	292.8	268.2	8.4	8.1
	294.6	271.62	7.8	
M50/38%	154.7	142.47	7.9	7.43
	153.4	142.76	6.93	
M16/50%	252.7	231.29	8.47	8.22
	246.7	227.03	7.97	
M30/50%	298.3	277.1	7.08	7.13
	311.1	288.76	7.17	
M50/50%	158.7	148.98	6.12	5.89
	172.6	162.83	5.66	
M16/60%	266.5	251.25	5.72	5.49
	258.4	244.80	5.26	
M30/60%	258.4	248.4	3.87	4.98
	270	253.5	6.11	
M50/60%	316.3	307.34	2.83	3.29
	291.3	280.37	3.75	

ANEXO L. ENSAYO PARA LA DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE DIFUSION Y PERMEABILIDAD AL ION CLORURO

Tabla 1. Concentración de cloruros en las Muestras Seleccionadas

Tiempo (horas)	Concentración de cloruros (mg/L)				
	Arena	M30/25%	M50/25%	M30/38%	M50/38%
0	56.445	8.750	12,74	183,64	79,62
2	227.16	97.01	200,8	401,25	315,4
4	397.88	403.79	388,9	572,65	598,8
6	568.60	895.36	854,2	808,32	680,1
8	589.96	999.25	765,1	1225,3	985,63
10	617.01	996.35	953,2	1350,2	1120,3
12	865.14	1193.8	1580,	1658,6	1468,7
14	1024.2	1589.3	1329,4	1874.1	1568,7
16	1124.3	1788.2	1517,5	2358,6	1903,7
18	1254.0	2254.1	1458,9	2398,5	2121,1
20	1358.1	2510.2	1893,4	2687,5	2145.5
22	1754.0	2754.3	2081,8	2965.0	2556,1
24	1874.1	2487.1	2489,9	3175.0	2897,3
26	1947.0	2975.4	2458,0	3325.1	2991,1
28	2136.2	3145.2	2646,1	3758.2	3021.4
30	2236.0	3688.1	2698,5	4002.8	3426,0
32	2524.1	3569.2	3022,3	4469.7	3643,5
34	2958.2	3687.1	3569,2	4569,8	3861,0
36	3254.1	3974.5	3854,2	4875,3	4078,5
38	2641.5	3961.2	3952,1	4899,2	4025,9
40	3470.8	4259.2	3774,7	5021.1	4513,4
42	3641.5	4489.3	4100,2	5146,3	4730,9
44	35.42.1	4751.2	4150,9	5382,4	4948,4
46	3854.1	4751.5	4339,0	5725.2	5010.2
48	4153.7	5298.0	4687,2	5755,6	5021.0
50	4324.4	5246.3	4890,3	6197,8	5600,8
52	4258.2	6001.1	5120,3	6528,7	5458,2
54	4665.4	5741.2	5091,4	6765,9	6035,8
56	4836.6	5986.4	5279,5	7158,2	6253,3
58	5125.3	6387.3	5985,3	7170,6	6470,7
60	4875.5	5457.1	5655,7	7174,7	6688,2
62	5348.7	6587.0	5843,4	7611,2	6905,4
64	5519.4	6825.1	6354,8	7758,6	6875.4
66	5246.2	7454.2	6220,0	8450,6	7321,8
68	6214.3	6424.4	6890,2	8459,7	7421,5
70	5831.6	7456.0	6596,2	8754,2	7775,6
72	6324.1	7525.2	6784,3	8865,7	7435,2

Tabla 2. Valores de Flujo Iónico y Coeficiente de Difusión

MUESTRA	PENDIENTE	FLUJO IÓNICO (eq/L*s)	COEFICIENTE DE DIFUSIÓN (m²/s)
ARENA	87,559	4,16E-07	-1,78E-10
M30/25%	105,29	5,00E-07	-2,13E-10
M50/25%	95,72	4,55E-07	-1,94E-10
M30/38%	120,43	5,72E-07	-2,44E-10
M50/38%	107,3	5,10E-07	-2,18E-10

Tabla 3. Permeabilidad al ion cloruro en las muestras de mortero seleccionadas

MUESTRA	PERMEABILIDAD AL ION CLORURO (Coulombs)
ARENA	18144.3
M30/25%	51062.4
M50/25%	40176.1
M30/38%	74390.4
M50/38%	61689.6

ANEXO M. SELECCIÓN DEL INHIBIDOR

1. ESTUDIO CUALITATIVO DE LOS INHIBIDORES

Tabla 1. Resultados Cualitativos de la selección del inhibidor

TIPO DE INHIBIDOR	OBSERVACIONES
Cloruro de calcio	<ul style="list-style-type: none">• Presentó elevada corrosión al cabo de los primeros 7 días de ensayo.• El aspecto proporcionado se detalla en la foto 1
Nitrito de sodio	<ul style="list-style-type: none">• Leve protección a la corrosión, presentó manchas a los 14 días de ensayo• Baja resistencia en la probeta
Molibdato de sodio	<ul style="list-style-type: none">• Buena protección a la corrosión• Se observó un buen aspecto de la probeta.• Presentó un bajo grado de desintegración
Benzoato de sodio	<ul style="list-style-type: none">• Presentó manchas blancas en gran parte externa de la probeta.• Se observó presencia de herrumbre en el interior de la muestra.• Leve grado de desintegración
Ferrogard- 901	<ul style="list-style-type: none">• Presentó buena protección a la corrosión• Se observó capa protectora en las partículas de limadura del mortero.• Bajo grado de desintegración

Foto 1. Mortero ferromagnético (M30/70%) con cloruro de calcio (28 días)



Foto 2. Mortero ferromagnético (M30/70%) con Nitrito sódico (28 días)



Foto 3. Mortero ferromagnético (M30/70%) con Molibdato de sodio (28 días)



Foto 4. Mortero ferromagnético (M30/70%) con Benzoato de Sodio (28 días)



Foto 5. Mortero ferromagnético (M30/70%) con Ferrogard 901 (SIKA) (28 días)



2. SELECCIÓN DEL INHIBIDOR POR ANALISIS DE RESISTENCIAS MECANICAS

La selección del inhibidor se llevo a cabo de un estudio de sus resistencias mecánicas (compresión, tracción y flexión).

Figura 1. Resistencia a la compresión para varios tipos de mortero con o sin inhibidor

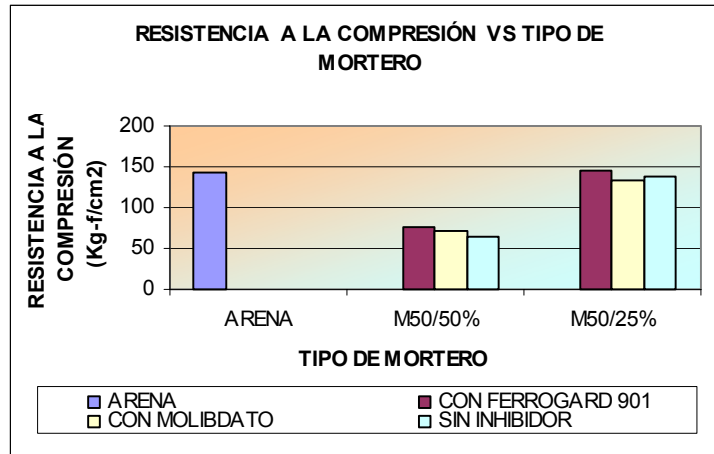


Figura 2. Resistencia a la tracción para varios tipos de mortero con o sin inhibidor

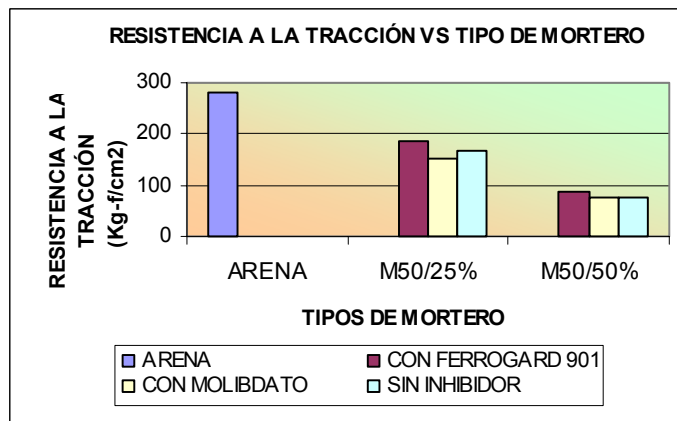
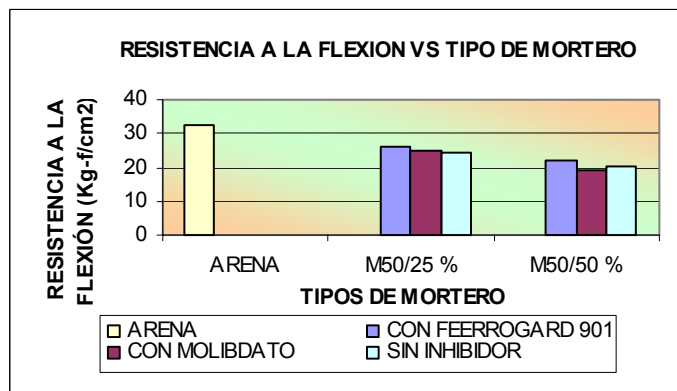


Figura 3. Resistencia a la flexión para varios tipos de mortero con o sin inhibidor



3. FICHA TECNICA DEL FERROGARD-901

ADITIVO INHIBIDOR DE LA CORROSIÓN DE ARMADURAS EN EL HORMIGÓN

DEFINICIÓN

General Sika® Ferrogard® 901 es aditivo inhibidor de la corrosión de las armaduras de acero insertas en el hormigón. Mediante su acción se aumenta considerablemente la vida útil de los elementos de construcción de hormigón armado. **Sika® Ferrogard® 901** es una combinación de inhibidores orgánicos e inorgánicos.

USOS

Sika® Ferrogard® 901 es especialmente indicado para hormigones expuestos a ambientes propicios para la corrosión de armaduras del hormigón, tales como: puertos, muelles, viaductos, puentes, túneles, construcciones bajo tierra, construcción en suelos salinos, etc.

VENTAJAS

- **Sika® Ferrogard® 901** tiene la doble función de protección anódica y también catódica. El aditivo actúa formando una película protectora sobre la superficie del acero e impide la disolución del metal.
- Protege especialmente contra la corrosión causada por cloruros.
- No tiene efectos negativos sobre la trabajabilidad y resistencia del hormigón.

- No afecta el tiempo de fraguado ni la homogeneidad del hormigón.
- **Normas Sika® Ferrogard® 901** está certificado por el Instituto de Salud Pública de Chile como producto no tóxico.

DATOS BÁSICOS

Color. Líquido color verde.

Almacenamiento. Mantener en su envase original cerrado, protegido de la acción directa del sol y del congelamiento. Duración mínima 12 meses entre 1°C y 35°C. Si el producto se ha congelado es posible emplearlo después de descongelar lentamente y remezclarlo.

Presentación: Tambor 180 kg.

DATOS TÉCNICOS

Densidad: 1,05 kg/dm³

Aplicación Consumo: 3 kg. de **Sika® Ferrogard® 901** por cada 100 kg. de cemento.

Método de aplicación: **Sika® Ferrogard® 901** se utiliza en dosis de 3% del peso del cemento. Se puede agregar al mezclador junto con el agua de amasado o directamente en la obra al camión mixer, remezclando 1 minuto por cada m³ de hormigón. Conjuntamente con el empleo de **Sika® Ferrogard® 901** deben considerarse las reglas generales para una buena preparación, colocación y curado del hormigón.

INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD

Precauciones de Manipulación: Evite el contacto directo con los ojos, piel y vías respiratorias. Protéjase utilizando guantes de goma natural o sintética, anteojos de

seguridad. En caso de contacto con los ojos, lavar inmediatamente con abundante agua. En general, en caso de emergencia contacte al CITUC, FONONO: 6353800.

Ecología. No disponer el producto en el suelo o cursos de agua, sino conforme a las regulaciones locales y previa neutralización. Para mayor información, solicite la hoja de seguridad del producto.

ANEXO N. ANALISIS DE ENCUESTA

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

1. CARACTERISITCA DE LA POBLACION

Para llevar a cabo la Investigación, se realizó un análisis de los consumidores reunidos básicamente en el sector de la construcción, donde se incluyen Arquitectos Diseñadores, Arq. Constructores, Arq. Consultores, Constructoras, Ingenieros Civiles (Constructores, Consultores y Contratistas)

1.1 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 llevar a cabo el análisis, se determinó un número de empresas del sector de la construcción, donde se incluyen Arquitectos, Ingenieros Civiles, siendo los mayores consumidores y quienes pueden expresar las expectativas respecto a la innovación del mortero ferromagnético En la tabla 1 se hace la descripción de la población:

Tabla 1. Descripción población para el estudio realizado

SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN	UNIDAD POBLACIONAL	PARTICIPACIÓN PORCENTUAL (%)
Arquitectos (Diseño)	N ₁ = 20	13.34
Arquitectos (Construcción)	N ₂ = 10	6.66
Arquitectos (Consultores)	N ₃ = 15	10
Ingenieros Civiles (Diseñadores, Consultores, Contratistas)	N ₄ = 95	63.33
Constructores en general	N ₅ = 10	6.67
Total	150	100

2. MUESTRA

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

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

Donde:

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

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

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

Q= 1 – P = 0.5, corresponde a la probabilidad de fracaso del experimento

N= Población Objetivo = 150 unidades poblacionales

$$n = \frac{(1.96 * 0.5 * 0.5 * 150)}{((150 - 1)(0.05^2)) + (0.5 * 0.5 * 1.96)} = 85$$

El tipo de muestreo utilizado fue el No Probabilístico por conveniencia y el criterio conceptual de selección de los 85 sujetos de investigación, estuvo basado en una distribución proporcional al tamaño de la muestra, que se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 2. Distribución del tamaño de la muestra

SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN	UNIDAD POBLACIONAL	PARTICIPACIÓN PORCENTUAL
Arquitectos – Diseñadores	N ₁ = 14	17%
Arquitectos – Constructores	N ₂ = 12	14%
Arquitectos- Consultores	N ₃ = 6	7%
Constructores	N ₄ = 23	27%
Ingenieros Civiles (Consultores, Constructores, Contratistas)	N ₅ = 30	35%
TOTAL	85	100%

ENCUESTA

NOMBRE: _____
PROFESION: _____
EMPRESA: _____
TELEFONO: _____

- 1. CONSIDERA QUE ES NECESARIO ADICIONAR UN NUEVO MATERIAL AL MORTERO PARA INCORPORARLE NUEVAS PROPIEDADES?**

SI _____ NO _____
PORQUÉ? _____

- 2. COMO CONSIDERA USTED LA ADICIÓN DE PARTICULAS METÁLICAS (LIMADURA DE ACERO) A LA MEZCLA DE MORTEROS?**

EXCELENTE _____ BUENA _____ REGULAR _____ MALA _____
PORQUÉ? _____

- 3. USARÍA UN MORTERO FERROMAGNÉTICO EL CUAL LE BRINDE LA POSIBILIDAD DE NO USAR PUNTILLAS, CINTAS, PEGANTES, ADHESIVOS, ETC EN LAS PAREDES?**

SI _____ NO _____
PORQUÉ? _____

- 4. DEBIDO A LOS PROBLEMAS AMBIENTALES QUE GENERA LA LIMADURA DE ACERO, ¿CÓMO CONSIDERA LA UTILIZACIÓN DE ÉSTA EN LA MEZCLA DE MORTERO?**

EXCELENTE _____ BUENA _____ REGULAR _____ MALA _____
PORQUÉ? _____

- 5. SI SE OFRECE EN EL MERCADO UN MORTERO FERROMAGNÉTICO, ¿ CUAL SERIA EL VALOR QUE PAGARÍA POR ÉL?**

____ 10% POR DEBAJOR DEL PRECIO DEL MORTERO NORMAL
____ EL VALOR CORRESPONDIENTE AL MORTERO NORMAL
____ 10-20% POR ENCIMA DEL PRECIO DEL MORTERO NORMAL
____ 20-30% POR ENCIMA DEL PRECIO DEL MORTERO NORMAL

- 6. ¿EN QUE SITIOS COMPRARÍA ESTE NUEVO PRODUCTO?**

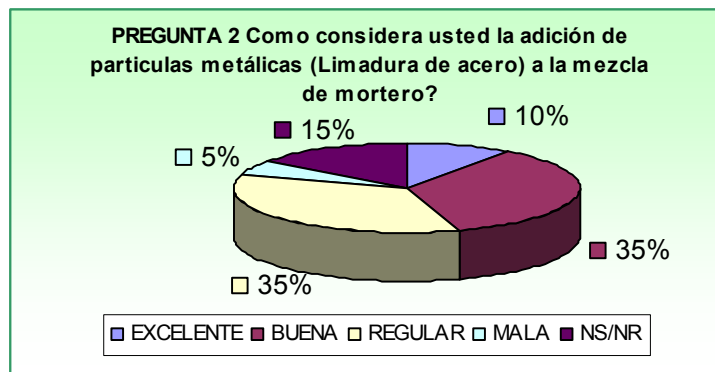
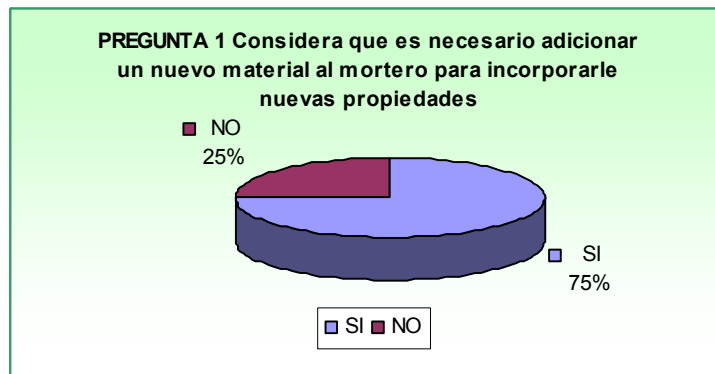
____ Plantas Concreteras

___ Grandes Distribuidores
___ Ferreterías

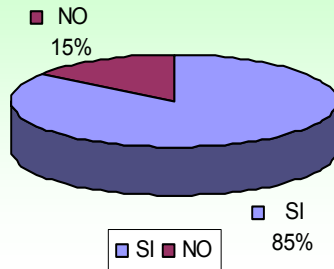
7. ¿COMO CONSIDERA LA ADICIÓN DE INHIBIDORES DE CORROSIÓN EN LA MEZCLA DE MORTEROS?

EXCELENTE___ BUENA___ REGULAR___ MALA___
PORQUÉ? _____

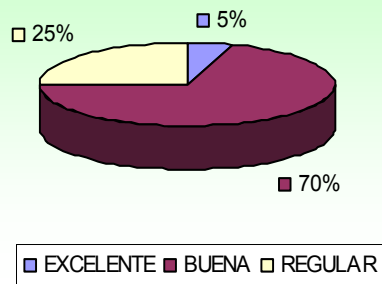
Resultados de la Encuesta



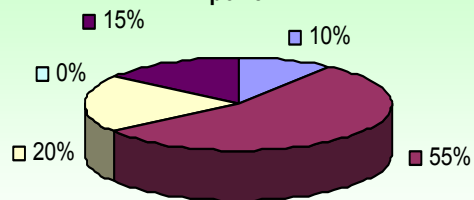
PREGUNTA 3. Usaría un mortero el cual brinde la posibilidad de no usar puntillas, cintas, pegantes, adhesivos en las paredes



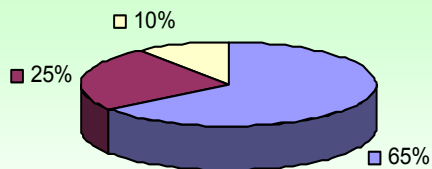
PREGUNTA 4. ¿Cómo considera la utilización de limadura de acero en la mezcla de mortero?



PREGUNTA 5. Si se ofrece en le mercado un mortero ferromagnetico ¿Cuánto estaría dispuesto a pagar por el ?

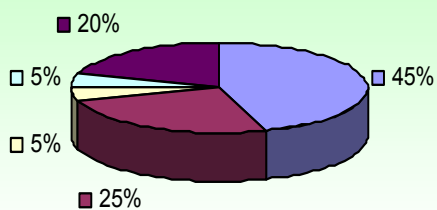


PREGUNTA 6 ¿En que sitios compraria este nuevo producto?



■ PLANTAS CONCRETERAS ■ GRANDES DISTRIBUIDORES
□ FERRETERIAS

PREGUNTA 7. ¿Como considera la adición de Inhibidores de Corrosión en la mezcla de morteros?



■ EXCELENTE ■ BUENA □ REGULAR □ MALA ■ NS/NR

ANEXO O. COSTOS

Tabla 1. Costos del mortero ferromagnético por m³

TIPO DE MORTERO	MATERIALES	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (\$)	COSTO TOTAL (\$)	COSTO (\$) DE 1M ³ DE MORTERO
MORTERO NORMAL	Arena (m3)	0,55904	22 000	12 298,88	144 884
	Cemento (Kg)	430,25	300	129 075	
	Agua (L)	292,57	12	3 510,84	
M50/25% CON INHIBIDOR	Arena (m3)	0,41928	22 000	9 224,16	165 275
	Cemento (Kg)	430,25	300	129 075	
	Agua (L)	292,57	12	510,84	
	Limadura de Acero (m3)	0,139	45 000	6 255	
	Ferrogard-901 (L)	8,605	2 000	17 210	
M50/38% CON INHIBIDOR	Arena (m3)	0,346	22 000	7 612	166 947
	Cemento (Kg)	430,25	300	129 075	
	Agua (L)	292,57	12	3 510,84	
	Limadura de Acero (m3)	0,212	45 000	9 540	
	Ferrogard-901 (L)	8,605	2 000	17 210	
M50/25% SIN INHIBIDOR	Arena (m3)	0,41928	22 000	9 224,16	148 065
	Cemento (Kg)	430,25	300	129 075	
	Agua (L)	292,57	12	3 510,84	
	Limadura de Acero (m3)	0,139	45 000	6 255	
M50/38% SIN INHIBIDOR	Arena (m3)	0,346	22 000	7 612	149 737
	Cemento (Kg)	430,25	300	129 075	
	Agua (L)	292,57	12	3 510,84	
	Limadura de Acero (m3)	0,212	45 000	9 540	

NOTA: Los costos se presentan en Pesos Colombianos

ANEXO P. APLICACIÓN

Fotos. Aplicaciones del Mortero Ferromagnético





