



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Civil

## **EVALUACIÓN DE LA ESCORIA DE FERRONÍQUEL COMO AGREGADO FINO PARA CONCRETO**

**Luis Mariano Alvarez Muralles.**

Asesorado por: Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol

Guatemala, noviembre de 2009



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DE LA ESCORIA DE FERRÓNQUEL COMO  
AGREGADO FINO PARA CONCRETO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR:

**LUIS MARIANO ALVAREZ MURALLES**

ASESORADO POR: INGA. DILMA YANET MEJICANOS JOL

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE  
**INGENIERO CIVIL**

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2009



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

<b>DECANO</b>	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
<b>VOCAL I</b>	Inga. Glenda Patricia García Soria
<b>VOCAL II</b>	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
<b>VOCAL III</b>	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
<b>VOCAL IV</b>	Br. José Milton De León Bran
<b>VOCAL V</b>	Br. Isaac Sultán Mejía
<b>SECRETARIA</b>	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

<b>DECANO</b>	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
<b>EXAMINADOR</b>	Inga. Carmen Mérida Alva
<b>EXAMINADOR</b>	Ing. Jorge Lam Lan
<b>EXAMINADOR</b>	Ing. Yefri Rosales Juárez
<b>SECRETARIA</b>	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas



## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **EVALUACIÓN DE LA ESCORIA DE FERRÓNÍQUEL COMO AGREGADO FINO PARA CONCRETO,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, el 30 de abril de 2009.



---

**LUIS MARIANO ALVAREZ MURALLES**







CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Nº 009387

Guatemala, 13 de Octubre de 2 009

Ingeniero Sydney Alexander Samuels Milson  
Escuela de Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala  
DIRECTOR

Ingeniero Samuels

Me dirijo a usted para informarle, que he revisado el trabajo de graduación **EVALUACION DE LA ESCORIA DE FERRÓNQUEL COMO AGREGADO FINO PARA CONCRETO**, elaborado con el estudiante **Luis Mariano Alvarez Muralles**, quien conto con la asesoría de la suscrita.

Considerando que el trabajo desarrollado por el estudiante Alvarez Muralles satisface los requisitos exigidos en el reglamento de graduación, por lo cual recomiendo su aprobación.

Atentamente,

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"



Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol  
Col. 5947

ASESORA

Dilma Y. Mejicanos Jol  
Ingeniera CIVIL  
Col. 5947



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala, 21 de octubre de 2 009

Ingeniero  
Sydney Alexander Samuels Milson  
Director de la Escuela de Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería

Señor Director:

Tengo el agrado de dirigirme a usted para informarle que he revisado el trabajo de graduación **“Evaluación de la escoria de ferroníquel como agregado fino para concreto”**, realizado por el estudiante universitario **Luis Mariano Alvarez Muralles**, quien contó con la asesoría de la Ingeniera Dilma Yanet Mejicanos Jol.

Considero que el trabajo realizado por el estudiante **Alvarez Muralles**, cumple con los objetivos para los cuales fue planteado, por lo que recomiendo su aprobación.

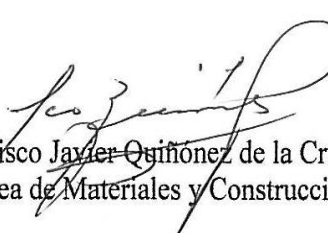
Agradezco a usted la atención que se sirva prestar a la presente.

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



FACULTAD DE INGENIERIA  
AREA DE MATERIALES Y  
CONSTRUCCIONES CIVILES  
USAC

  
Francisco Javier Quiñonez de la Cruz  
Coordinador Área de Materiales y Construcciones Civiles

Cc archivo

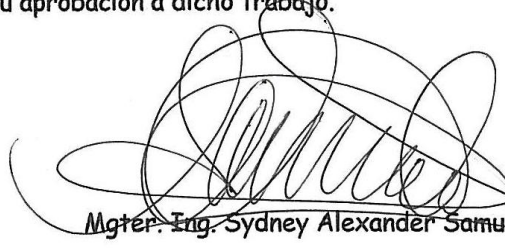


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol y Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles, Ing. Francisco Javier Quiñónez de la Cruz, al trabajo de graduación del estudiante Luis Mariano Álvarez Muralles, titulado EVALUACIÓN DE LA ESCORIA DE FERRONÍQUEL COMO AGREGADO FINO PARA CONCRETO, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

  
Mgter. Ing. Sydney Alexander Samuels Milson



Guatemala, octubre 2009

/bbdeb.



Universidad de San Carlos  
De Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Decanato

Ref. DTG.484.09

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **EVALUACIÓN DE LA ESCORIA DE FERRÓNQUEL COMO AGREGADO FINO PARA CONCRETO**, presentado por el estudiante universitario **Luis Mariano Alvarez Muralles**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
Decano



Guatemala, noviembre de 2009

/cc





## **AGRADECIMIENTOS A:**

### **Dios**

Por darme vida, y por brindarme entereza y sabiduría para actuar correctamente ante la vida, permitiéndome seguir mis sueños y anhelos..

### **Mis padres**

Victor Mariano Alvarez Chávez y Blanca Lidia del Rosario Muralles Roldán de Alvarez, por darme su apoyo incondicional y brindarme la oportunidad de recibir su afecto, cariño y consejos, lo que me ha permitido desarrollarme personalmente y lograr alcanzar una carrera profesional.

### **Mis hermanos**

Marco, Blanqui y Mariana, por ayudarme y apoyarme en cada instante de mi vida.

### **Mi cuñado y sobrinos**

Jorge Luis Vásquez, Diego y Nikole por la amistad y cariño que me han brindado.

### **Mis abuelos**

Victor Alvarez (D.E.P), María Chávez, Gregorio Muralles (D.E.P) y Luz Roldán (D.E.P), por darme todo su afecto y apoyo,



incluso aquellos que ya no se encuentran entre nosotros.

### **Mis familiares**

Por todos esos momentos de tristeza y alegría que hemos compartido y que seguiremos viviendo como una familia unida.

### **Mis amigos**

Por esos momentos de alegría y por todo el apoyo que me han brindado tanto personalmente como profesionalmente.

### **Inga. Dilma Mejicanos**

Por darme todo su apoyo incondicional en mi vida profesional, por creer en mí como persona y en mi capacidad laboral, por transmitirme sus conocimientos sin recelo, por su confianza y sobre todo por su amistad.

### **La Facultad de Ingeniería**

Por ser mi casa de estudios superiores, por transmitirme no solo conocimiento científico sino también por forjarme como una persona profesional y de bien.

### **Centro de investigaciones De Ingeniería (CII)**

Por permitirme iniciar mi desarrollo a nivel profesional en sus instalaciones, y mi especial agradecimiento para el personal laboral de las secciones de Concretos y Metales.



## ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....</b>	<b>VII</b>
<b>GLOSARIO.....</b>	<b>XIII</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>XVII</b>
<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>XIX</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>XXI</b>
<b>1. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>1</b>
1.1. Definición de agregados según Norma ASTM C 125-88.....	1
1.2. Análisis de las características físicas de los agregados finos ...	1
1.2.1. Descripción de la norma ASTM C 33 (Standard Specification for Concrete Aggregates). ....	2
1.2.1.1. Graduación.....	3
1.2.1.2. Sustancias perjudiciales. ....	4
1.2.1.3. Impurezas orgánicas .....	5
1.3. Características del agregado fino. ....	6
1.4. Efecto del agregado fino en el concreto.....	6
1.4.1. Manejabilidad.....	6
1.4.2. Segregación .....	8
1.4.3. Exudación.....	8
1.4.4. Temperatura. ....	9
1.4.5. Resistencia mecánica. ....	9
1.4.6. Permeabilidad.....	10
1.4.7. Durabilidad .....	11
1.4.8. Apariencia.....	11
1.5. Concreto .....	11
1.5.1. Definición .....	11
1.5.2. Composición .....	12

1.5.2.1. Cemento. ....	12
1.5.2.2. Agua. ....	14
1.5.2.3. Agregados. ....	15
1.5.2.4. Aire. ....	15
1.5.2.5. Diseño de mezcla. ....	15
<b>2. BANCOS DE ESCORIA DE MATA DE NÍQUEL</b> .....	<b>21</b>
2.1. Definición de la escoria de Mata de níquel. ....	21
2.1.1. Caracterización de la escoria de mata de níquel. ....	21
2.2. Proceso antiguo (1977 – 1980) de producción del subproducto residual denominado escoria de mata de níquel en la planta ubicada en el Estor, Izabal.....	22
2.2.1. Preparación del mineral.....	22
2.2.2. Reducción del mineral.....	26
2.3. Ubicación de los bancos de la escoria de mata de níquel del proyecto fénix. ....	29
<b>3. DESCRIPCIÓN DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO REALIZADOS AL AGREGADO FINO</b> .....	<b>31</b>
3.1. Ensayos aplicados a la escoria de mata de níquel, agregado fino. ....	31
3.1.1. Toma de muestra .....	31
3.1.2. Peso específico norma ASTM C 128-88 (Standard Test Method for Specific Gravity and Absorption of Fine Aggregate) .....	32
3.1.3. Granulometría norma ASTM C 33-90 (Standard Specification for Concrete Aggregates).....	33
3.1.4. Peso unitario norma ASTM C 29/C 29M-90 (Standard Test Method for Unit Weight and Voids in Aggregate).....	35
3.1.5. Porcentaje de vacíos norma ASTM C 138-81 y	

C 231-89 (Standard Test Method for Unit Weight, Yield and Air Content (Gravimetric) of Concrete). ....	37
3.1.6. Porcentaje de absorción norma ASTM C 127-88 (Test Method for Specific Gravity and Adsorption of Coarse Aggregate). ....	37
3.1.7. Tamiz 200 norma ASTM C 117-87 (Standard test Method for Materials Finer than 75- $\mu$ m (No. 200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing). ....	38
3.1.8. Materia orgánica norma ASTM C 33, C 87-83 y C 40-84 (Standard Specification for Concrete Aggregates). ....	39
3.1.9. Análisis químico. ....	39
3.1.9.1. Desgaste por sulfato de sodio o intemperismo acelerado norma ASTM C 88-83 (Standard test Method for Soundness of Aggregates by Use of Sodium or Magnesium Sulfate). ....	40
3.1.9.2. Reactividad potencial norma ASTM C 289 (Standard Test Method for Potential Alkali-Silice Reactivity of Aggregates). ....	42
3.1.9.3. Composición química de la escoria de mata de níquel. ....	43
3.1.9.4. Carbonatación. ....	43
3.2. Ensayos aplicados al concreto fresco y endurecido. ....	44
3.2.1. Prueba Slump del concreto fresco norma ASTM C 143 (Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete). ....	44
3.2.2. Método de ensayo estándar para contenido de aire en mezclas de concreto fresco norma ASTM C 231-78 (Standard Test Method for Air Content of Freshly	

Mixed Concrete by the Pressure Method).....	48
3.2.3. Peso unitario norma ASTM C 138 (Standard Test Method for Unit Weight, Yield and Air Content (Gravimetric) of Concrete).....	50
3.2.4. Método de ensayo estándar para el tiempo de fraguado de mezclas de concreto por la resistencia a la penetración norma ASTM C 403 (Standard Test Method for Time of Setting of Concrete Mixtures by Penetration Resistance).....	51
3.2.5. Práctica estándar para elaborar y curar especímenes de ensayo de concreto en laboratorio Norma ASTM C 192/C 192M (Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory). ....	53
3.2.6. Método estándar de ensayo de resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto norma ASTM C 39/C 39M (Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens).....	58
3.2.7. Método de ensayo estándar de resistencia a flexión del concreto norma ASTM C 293 (Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete). ....	62
<b>4. RESULTADOS Y ANALISIS DE LOS RESULTADOS.</b> ....	<b>65</b>
4.1. Escoria de mata de níquel como agregado fino.....	65
4.1.1. Análisis químico. ....	65
4.1.1.1. Desgaste por sulfato de sodio o intemperismo acelerado norma ASTM C 88-83 (Standard test Method for Soundness of Aggregates by Use of Sodium	



por Magnesium Sulfate).....	65
4.1.1.2. Reactividad potencial norma ASTM C 289 (Standard Test Method for Potential Alkali-Silice Reactivity of Aggregates).....	66
4.1.1.3. Composición química de la escoria de mata de níquel.....	68
4.1.1.4. Carbonatación.....	68
4.1.2. Peso específico norma ASTM C 128-88 Standard Test Method for Specific Gravity and Absorption of Fine Aggregate). ....	69
4.1.3. Granulometría norma ASTM C 33-90 (Standard Specification for Concrete Aggregates) .....	69
4.1.4. Peso unitario norma ASTM C 129/C 29M-90 (Standard Test Method for Unit Weight and Voids in Aggregate). ....	70
4.1.5. Porcentaje de vacíos norma ASTM C 138-81 y C 231-89 Standard Test Method for Unit Weight, Yield and Air Content (Gravimetric) of Concrete). ....	71
4.1.6. Porcentaje de absorción norma ASTM C 127-88 (Test Method for Specific Gravity and Adsorption of Coarse Aggregate). ....	71
4.1.7. Tamiz 200 norma ASTM C 117-87 Standard test Method for Materials Finer than 75- $\mu$ m (No. 200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing).....	72
4.1.8. Materia orgánica norma ASTM C 33, C 87-83 y C 40-84 (Standard Specification for Concrete Aggregates). ....	72
4.2. Concreto fresco. ....	72
4.2.1. Diseño de mezcla. ....	72

4.2.2. Asentamiento. ....	73
4.2.3. Contenido de aire. ....	74
4.2.4. Masa unitaria. ....	75
4.2.5. Velocidad de endurecimiento. ....	76
4.3. Concreto endurecido. ....	80
4.3.1. Resistencia a compresión. ....	80
4.3.2. Resistencia a flexión. ....	83
<b>5. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL USO DE LA ESCORIA DE MATA DE NÍQUEL</b> .....	<b>85</b>
5.1. Ventajas. ....	85
5.2. Desventaja. ....	86
<b>CONCLUSIONES.</b> .....	<b>87</b>
<b>RECOMENDACIONES.</b> .....	<b>89</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.</b> .....	<b>91</b>
<b>ANEXOS.</b> .....	<b>95</b>

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1	Efecto de la relación agua-cemento en la resistencia a la compresión y a la tensión por flexión a los 28 días.....	17
2	Pila de mineral húmedo al aire libre el Estor, Izabal .....	23
3	Vista actual del edificio de almacenamiento de mineral seco, El Estor, Izabal. ....	25
4	Vista actual del horno de reducción, CGN El Estor Izabal .....	27
5	Vista satelital de la planta de la CGN del proyecto Fénix (anteriormente INCO). ....	29
6	Ubicación en la planta del depósito de escoria de mata de níquel. ....	30
7	Equipo utilizado para el ensayo de peso específico. ....	33
8	Tamizadora y juego de tamices utilizadas para la granulometría de la escoria. ....	34
9	Equipo utilizado para la realización del ensayo de peso unitario, incluye: balanza, tara y apisonador de 5/8" lisa con punta redonda.....	36
10	Cono de Abrams utilizado en la prueba de asentamiento, colocación y forma de llenado . ....	46
11	Método de rasado final en el cono de Abrams. ....	47
12	Forma de medir el asentamiento. ....	47

<b>13</b>	Aparato tipo B (aparato tipo Washington) ASTM C 231-78). .....	49
<b>14</b>	Equipo utilizado en el ensayo de peso unitario de concreto, incluye: tara, martillo de goma y apisonador liso de 5/8" con punta redonda. ....	51
<b>15</b>	Equipo utilizado en la prueba de la velocidad de endurecimiento. ....	52
<b>16</b>	Forma de aplicación del ensayo de velocidad de endurecimiento. ....	53
<b>17</b>	Concreteira del Centro de investigaciones de Ingeniería en donde fue realizada la mezcla de concreto que contenía como agregado fino la escoria de mata de níquel. ....	55
<b>18</b>	Moldes para cilindros según norma ASTM C 192 (Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory). ....	56
<b>19</b>	Forma de colocación del concreto y apisonado dentro de los moldes cilíndricos normados. ....	56
<b>20</b>	Vista del Acabado final de los cilindros. ....	57
<b>21</b>	Moldes para vigas según norma ASTM C 192. ....	57
<b>22</b>	Acabado final de vigas. ....	57
<b>23</b>	Tanque de curado para cilindros y vigas de concreto. ....	58
<b>24</b>	Cilindros de concreto hechos con escoria de mata de níquel como agregado fino, bajo la norma ASTM C 39. ....	60
<b>25</b>	Preparación y colocación del mortero de azufre para la nivelación del cilindro. ....	60

<b>26</b>	Cilindros de concreto coronados con solución de azufre para su nivelación. ....	61
<b>27</b>	Colocación y centrado de testigos en la máquina de compresión. ....	61
<b>28</b>	Rotura y falla de cilindro. ....	62
<b>29</b>	División entre agregados inocuos y agregados nocivos en base a la prueba de la reducción de la alcalinidad. ....	67
<b>30</b>	Resultados según la prueba de color de fenolftaleína aplicada a vigas de concreto fracturadas a los 28 días, que contienen como agregado fino escoria de mata de níquel. ....	69
<b>31</b>	Curva granulométrica de la escoria de mata de níquel. ....	70
<b>32</b>	Grafica del comportamiento de la velocidad de endurecimiento de concreto de 3000psi. ....	77
<b>33</b>	Grafica del comportamiento de la velocidad de endurecimiento del concreto de 4000psi con correcciones en la proporción agua/cemento. ....	78
<b>34</b>	Grafica del comportamiento de la velocidad de endurecimiento del concreto de 4000psi. ....	79



## TABLAS

I.	Límites de la granulometría para agregado fino según especificaciones de la norma ASTM C 33.....	3
II.	Rangos de clasificación de la arena según el módulo de finura.....	4
III.	Limites para las sustancias nocivas en el agregado fino para concreto... ..	4
IV.	Límites permisibles según prueba colorimétrica para materia orgánica.....	5
V.	Datos para diseño de mezclas (Calculados para un metro cúbico de concreto fresco).....	19
VI.	Clasificación de las cápsulas para el ensayo de desgaste por sulfato de sodio o intemperismo acelerado.....	41
VII.	Tamices utilizados en el material después de la realización de los cinco ciclos del ensayo de desgaste por sulfato de sodio o intemperismo acelerado.....	42
VIII.	Asentamientos usuales para varios tipos de construcción.....	46
IX.	Porcentaje de desgaste según el ensayo de bondad o desgaste por sulfato de sodio.....	66
X.	Determinación de la Reactividad Potencial según Norma ASTM C 289.....	67
XI.	Determinación de Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , CaO y MgO.....	68
XII.	Proporciones de los concretos según diseños hechos en el Centro de Investigaciones de Ingeniería (CII). .....	73
XIII.	Asentamientos obtenidos para las diferentes resistencias	

	en los diseños de mezcla.....	74
XIV.	Contenido de aire en las mezclas de concreto.....	75
XV.	Peso unitario obtenido en los diseños de mezcla.....	75
XVI.	Velocidad de endurecimiento del concreto con escoria de mata de níquel como agregado .....	76
XVII.	Datos tabulados de la velocidad de endurecimiento concreto de 3000psi.....	77
XVIII.	Datos tabulados de la velocidad de endurecimiento, concreto de 4000psi con correcciones en la proporción agua/cemento.....	78
XIX.	Datos tabulados de la velocidad de endurecimiento concreto de 4000psi.....	79
XX.	Datos tabulados de los cilindros hechos en el laboratorio a las diferentes edades para el concreto de 3000psi. ....	80
XXI.	Datos tabulados de los cilindros hechos en el laboratorio a las diferentes edades para el concreto de 4000psi con correcciones de agua.....	81
XXII.	Datos tabulados de los cilindros hechos en el laboratorio a las diferentes edades para el concreto de 4000psi.....	82
XXIII.	Valor del modulo de ruptura, según ensayo de flexión en vigas de concreto norma ASTM C293.....	84



## **GLOSARIO**

<b>Agregado</b>	Son materiales sujetos a tratamientos de disgregación, tamizado, trituración o lavado, o materiales producidos por expansión, calcinación o fusión excipiente, que se mezclan con Cemento Pórtland y agua para formar concreto hidráulico.
<b>Alcalinidad</b>	Protección natural contra la corrosión del acero proporcionada por el concreto.
<b>Álcalis</b>	Hidróxidos formados cuando elementos alcalino entran en contacto con el agua. En el cemento Pórtland estos elementos alcalinos son el sodio y el potasio.
<b>Banco de material</b>	Depósito de acumulación natural o artificial de material utilizado en la construcción.
<b>Concreto</b>	Mezcla dosificada, compuesta de agregados (fino y grueso), cemento, agua y aditivos.
<b>Control de calidad</b>	Proceso que asegura el cumplimiento de las especificaciones, parámetros y normas aplicadas al agregado como al concreto.

<b>Curado</b>	Mantenimiento del concreto en condiciones óptimas de humedad y temperatura durante su proceso de fraguado, para que desarrolle la resistencia y no presente figuras por contracciones o dilataciones.
<b>Durabilidad</b>	Capacidad que posee el concreto para resistir las acciones del medio ambiente, el ataque químico, la abrasión o cualquier otro proceso que le pueda causar deterioro
<b>Escoria</b>	Residuo impuro formado fundamentalmente por calcio, hierro, aluminio y silicato de magnesio, que aparece en el proceso de producción de arrabio y acero y en la fundición de metales como el cobre, el plomo o el níquel.
<b>Fraguado</b>	Reacción química exotérmica que determina el paulatino endurecimiento de la mezcla.
<b>Fraguado inicial</b>	Estado en que la mezcla de concreto fresco pierde apreciablemente su plasticidad y se vuelve difícil de manejar.
<b>Fraguado final</b>	Estado en el cual la consistencia de la mezcla de concreto ha alcanzado un valor muy apreciable con respecto a f'c.

<b>f'c</b>	Resistencia a la compresión del concreto.
<b>Material pétreo</b>	Son aquellos materiales inorgánicos, naturales o procesados que derivan de la roca.
<b>Muestra</b>	Porción de material tomado de un banco de materiales que sirve para analizar y aportar información con respecto a las características que posea.
<b>Porosidad</b>	Capacidad de un material de absorber líquidos, dado al volumen de huecos que posea.



## RESUMEN

La escoria proveniente de la planta de la Compañía Guatemalteca del Níquel (CGN) en el Estor, Izabal, es un residuo impuro o desecho, que aparece en el proceso de producción de níquel y surge de la combinación de hierro y níquel, éste material posee características físicas similares a las de un agregado fino pétreo. En éste trabajo, debido a su similitud a la arena de río, el material fue tratado y ensayado como un agregado fino pétreo.

El desarrollo experimental se realizó con base a especificaciones y procedimientos indicados por las normas de la Sociedad Americana para el Ensayo de Materiales (por sus siglas en inglés ASTM), aplicables tanto para la grava como para la arena, haciendo énfasis en el agregado fino y caracterizando sus propiedades físicas, mecánicas y químicas. Dichos ensayos fueron realizados en el Centro de Investigaciones de Ingeniería (CII).

Los análisis de los resultados para el material determinaron según normas que la escoria es un material inocuo, y posee características físicas químicas y mecánicas comparables a las de un agregado fino pétreo. En tanto al análisis en el comportamiento de la escoria como agregado fino en el concreto, ésta no presentó alteraciones en un período de 28 días, en la alcalinidad del concreto, y su resistencia de diseño.



## **OBJETIVOS**

### **General**

Evaluar la escoria de mata de níquel en una mezcla de concreto, para identificar las ventajas y desventajas de su implementación en concretos estructurales.

### **Específicos:**

1. Verificar si la composición química de la escoria de mata de níquel es compatible en una mezcla de concreto.
2. Establecer una dosificación de concreto para una resistencia determinada implementando como agregado fino la escoria de mata de níquel.
3. Identificar las características físicas y mecánicas del concreto, que se ven afectadas por el uso de la escoria.
4. Evaluar el concreto tanto en su estado fresco como en su fraguado final, aplicando las normas ASTM.
5. Informar, según el proceso de caracterización, el uso adecuado de la escoria de mata de níquel en la industria de la construcción.





## INTRODUCCIÓN

En construcciones civiles es fundamental para obtener un buen concreto, tener buena calidad de agregados, una adecuada proporción en el diseño y tener un estricto control del mismo durante el mezclado, manejo, colocación y curado. Para esto, se deben seguir especificaciones de normas, que en este caso se utilizaron las normas internacionales ASTM.

El presente trabajo contiene el análisis de la escoria de mata de níquel como agregado fino que fue utilizado en la mezcla de concreto, el cual, sustituyó totalmente al agregado fino pétreo. El documento incluye, una breve descripción del proceso que conllevó el surgimiento de la escoria de mata de níquel en la planta de la Compañía Guatemalteca de Níquel (CGN) generada en los años de 1977 a 1980.

El análisis de la escoria de mata de níquel como agregado fino para concreto fue evaluado idóneamente como un material pétreo. La investigación describe, el equipo utilizado, los procedimientos en la preparación de los materiales y la realización de los ensayos según indicaciones de las normas ASTM. Abarca también los resultados y los análisis de los resultados del comportamiento de la escoria de mata de níquel como un compuesto individual y como un elemento en la mezcla de concreto.



# 1. MARCO TEÓRICO

## 1.1. Definición de agregados según Norma ASTM C 125-88.

Los agregados de acuerdo a su tamaño pueden clasificarse como gruesos o finos.

### **Agregado fino.**

Es el material que pasa a partir del tamiz # 4 hasta el tamiz # 100 y puede ser clasificada como arena natural, de canto rodado, manufacturada o una combinación,

### **Agregado grueso.**

También conocido como roca, pedrín, material granular o agregado mineral, es el material en el que sus partículas quedan retenidas en el tamiz # 4. Estos materiales no deben ser demasiado porosos ni de formas muy alargadas. Si existen formas planas o angulosas en el material, éste hace más complicado el amasado y la colocación del concreto, ya que no permite la existencia de una adherencia adecuada ni una uniformidad consistente. En cambio, si el agregado es triturado, si cumple con los requisitos, haciendo una mejor mezcla con partículas bien acomodadas y se logra una adherencia óptima del concreto.

## 1.2. Análisis de las características físicas de los agregados finos

Para realizar el análisis del agregado fino, se necesita conocer la densidad o peso específico para determinar al momento del diseño si se desea un

concreto de baja o alta densidad. Cuando un material es débil, poroso y de alta absorción, indica que dicho material posee una baja densidad y es necesario hacer correcciones en las dosificaciones del material.

Otro aspecto importante, es determinar la porosidad del agregado, que no es más que el espacio no ocupado por materia sólida en la partícula del elemento, ésta es una de las más importantes características físicas del agregado por su influencia en las otras propiedades de éste, puede influir en la estabilidad química, resistencia a la abrasión, resistencias mecánicas, propiedades elásticas, gravedad específica, absorción y permeabilidad.

El peso unitario representa el peso que ocupa el agregado fino por unidad de volumen conocido.

La medida de volumen expresado en porcentaje de los espacios entre las partículas del agregado, es llamado porcentaje de vacíos.

Y por último se requiere el conocimiento de la cantidad de agua superficial o humedad retenida por la partícula, ya que su influencia concierne en la mayor o menor cantidad de agua necesaria para la mezcla de un concreto.

### **1.2.1. Descripción de la norma ASTM C 33 (Standard Specification for Concrete Aggregates).**

Esta especificación define los requisitos para la clasificación y la calidad de agregado fino y grueso (que no sea ligero o un agregado muy pesado) para su uso en el concreto, por lo que se considera adecuada para determinar si el

material es satisfactorio y apto en la utilización como agregado de un concreto para obra civil.

#### 1.2.1.1. Graduación.

Según la norma ASTM C-33, el agregado fino se clasificará dentro de los límites siguientes:

**Tabla I. Límites de la granulometría para agregado fino según especificaciones de la norma ASTM C-33.**

<b>Tamiz (especificación E 11)</b>	<b>Porcentaje que pasa</b>
3/8" (9.5m)	100
No. 4 (4.75mm)	95 a 100
No. 8 (2.36mm)	80 a 100
No.16 (1.18mm)	50 a 85
No. 30 (600µm)	25 a 60
No. 50 (300µm)	10 a 30
No. 100 (150µm)	2 a 10

El tamaño de los tamices está establecido por la norma ASTM E -11.

El agregado fino no podrá tener más del 45% de material que pasa por cualquier tamiz y retenido en el tamiz consecutivo siguiente de las indicadas en la tabla I, y su módulo de finura no será inferior a 2.3 ni superior a 3.1, si existe una variación de más de 0.20 del valor asumido al seleccionar las proporciones del concreto deberá rechazarse a menos que se realicen ajustes adecuados para compensar la diferencia de graduación.

A continuación la tabla II muestra la clasificación de la arena, según su módulo de finura.

**Tabla II. Rangos de clasificación de la arena según el módulo de finura.**

<b>Clasificación de la arena</b>	<b>Módulo de finura</b>
Gruesa	2.9 – 3.2
Media	2.2 – 2.9
Fina	1.5 – 2.2
Muy fina	1.5

**1.2.1.2. Sustancias perjudiciales.**

La cantidad de sustancias nocivas en el agregado fino no excederá de los límites prescritos en la siguiente tabla.

**Tabla III. Límites para las sustancias nocivas en el agregado fino para concreto.**

<b>Substancia</b>	<b>Porcentaje máximo del peso total de la muestra</b>
Trozos de arcilla y partículas friables	3.0
Material más fino que el tamiz No. 200:	
Concreto sujeto a la abrasión	3.0 <sup>A</sup>
Cualquier otro tipo de concreto	5.0 <sup>A</sup>
Carbón y lignito:	
Cuando la apariencia del concreto es importante	0.5
Cualquier otro tipo de concreto	1.0

<sup>A</sup> En el caso de la arena manufacturada, si el material más fino que el tamiz No. 200 consiste en el polvo a causa de fractura, esencialmente libre de arcilla o de pizarra, estos límites podrán incrementarse un 5 y un 7% respectivamente.

### 1.2.1.3. Impurezas orgánicas

Las impurezas orgánicas se refieren a la cantidad o grado de contaminación que posea un material, ésta se determina por medio de la prueba colorimétrica, los materiales sujetos a esta prueba serán considerados satisfactorios si su límite no es mayor a 3 según la escala del colorímetro, de lo contrario, dicho material no es apto para ser utilizado como compuesto para el concreto, a menos que cumpla con alguna de las siguientes condiciones:

- Puede ser utilizado, si se comprueba que la decoloración que se produjo fue debido a la presencia de pequeñas cantidades de carbón, lignito o similares.
- Es satisfactoria si su utilización posee propiedades adecuadas para la fabricación de morteros y al mismo tiempo al momento de su ensayo presente una resistencia no menor del 95% de su resistencia a la compresión después de 7 días.

**Tabla IV. Límites permisibles según prueba colorimétrica para materia orgánica**

<b>Escala de colorímetro</b>	<b>Características</b>
0 – 1	Arena excelente
1 – 2	Arena que se puede utilizar en concretos de alta resistencia
2 – 3	Arena que se utiliza en concretos de mediana resistencia
3 – 4	Arena que no se puede utilizar en concreto
4 – 5	Arena muy mala

### **1.3. Características del agregado fino.**

Cuando se mencionan las características nos referimos a las propiedades físicas del agregado fino que influirán en:

Tipo de obra a construir: esto se refiere a los siguientes aspectos.

- Resistencia.
- Durabilidad.
- Economía.

Tipo de concreto a fabricar: dependiendo del elemento estructural se necesita controlar:

- Dureza
- Resistencia
- Graduación
- Durabilidad
- Limpieza
- Tenacidad

### **1.4. Efecto del agregado fino en el concreto.**

#### **1.4.1. Manejabilidad**

La manejabilidad o trabajabilidad es una capacidad del concreto fresco que precisa la adecuación que posee un concreto de ser colocado, compactado uniformemente y para ser finalizado sin segregación ni exudación; la



trabajabilidad se asocia con la plasticidad, ya que ésta le permite moldearse y adecuarse a la forma del encofrado.

Los factores que afectan al concreto en su manejabilidad según su agregado fino son los siguientes:

- La buena graduación: si tenemos un agregado fino con una granulometría adecuada la mezcla no presentará un exceso de vacíos, ya que esto, provoca que tales vacíos sean rellenados con pasta de cemento para lograr la trabajabilidad de la mezcla y no poseer porosidad. Se debe evitar la utilización de arenas muy finas para prevenir la segregación del concreto provocada por el exceso en la utilización de agua, si se utilizan arenas muy gruesas, se obtienen mezclas muy ásperas y poco cohesivas. Entonces, se recomienda que se utilicen arenas con un modulo de finura entre 2.3 – 3.1.
- La forma y textura del agregado grueso también influye en el agregado fino. Las partículas alargadas, aplanadas o de formas cúbicas y textura rugosa requieren una mayor cantidad de arena, agua y pasta en una mezcla, debido a la fricción que generan entre ellas, en comparación con los agregados de canto rodado y de textura lisa.
- Bajo contenido de arena con relación al contenido de pedrín determina una mezcla poco manejable, caso contrario, si el contenido de arena es elevado hay necesidad de agregar agua para que la mezcla sea manejable presentándose también segregación y exudación.

### **1.4.2. Segregación**

La segregación es la separación de los materiales que forman el compuesto heterogéneo denominado concreto, de tal forma que su distribución no es uniforme en toda la mezcla. Puede ser ocasionada por la diferencia de tamaños en la granulometría del agregado, provocando que las partículas de agregado grueso se asienten más que las partículas de agregado fino a causa de la gravedad, este efecto puede ocasionar una baja en la resistencia esperada e incitar a mayores contracciones del concreto. Normalmente ocurre en mezclas secas y poco plásticas.

### **1.4.3. Exudación**

La exudación es donde los sólidos de mayor densidad tienden a asentarse en un concreto recién colocado o cuando éste está en su proceso de fraguado, por lo cual disminuye la concentración de sólidos a medida que nos acercamos a la zona superficial; también es producida por la incapacidad de los materiales componentes del concreto para retener la totalidad de la masa de agua incorporada. Esto se puede observar cuando el concreto presenta un abrillantamiento superficial presentado por el agua. La exudación puede crear problemas en el concreto; cuando la velocidad de la evaporación es menor que la velocidad de la exudación, el agua, que es el material de menor densidad tiende a migrar a la superficie formando una película de agua que aumenta la relación agua cemento en la superficie y posteriormente esta zona queda porosa y de baja resistencia mecánica y al desgaste, provocando una debilidad superficial; pero si la velocidad de evaporación es mayor que la velocidad de la exudación se pueden producir grietas de contracción.

#### **1.4.4. Temperatura.**

La temperatura es un factor muy importante en el concreto, si el concreto es realizado en una época calurosa sus resistencias tienden a ser relativamente menores a concretos hechos en cualquier otra época del año.

En el momento de la hidratación del cemento, se forman en la superficie de sus granos cristales microscópicos que crecen entrelazándose y después se engranan como los “dientes” de un cierre. Mientras más dura la reacción, más cristales se forman. De allí resulta la pasta de cemento endurecida, la cual recubre los agregados. Cuanto más elevada es la temperatura durante este proceso de endurecimiento, más rápida es la formación de cristales, lo que, al principio es positivo para el desarrollo de la resistencia a la compresión. Pero debido a que los productos reaccionantes tienen una estructura poco ordenada, la pasta de cemento se vuelve más porosa y la resistencia a la compresión a 28 días se debilita cada vez más que con un concreto fresco, que se endurece a aproximadamente 20 °C. Es por eso que la pérdida de resistencia a 28 días es de más de 10 por ciento cuando la temperatura del concreto fresco y la temperatura de endurecimiento pasan de 20 °C a 30 °C. Por lo que Altas temperaturas provocan agrietamiento al concreto.

#### **1.4.5. Resistencia mecánica.**

Los agregados influyen según sus propiedades en la resistencia mecánica de un concreto, los aspectos que más afectan a éste son las siguientes:

- Una granulometría continua permite la máxima compacidad del concreto en estado fresco y por lo tanto, la máxima densidad en estado endurecido, obteniendo la máxima resistencia.
- La influencia de la forma y textura de los agregados es de suma importancia, ya que afecta la adherencia de la interface matriz-agregado, siendo preferible utilizar los de forma cúbica y rugosa, esto conlleva al aumento de la resistencia en relación si se utilizara agregado de canto rodado y liso.
- La resistencia y rigidez de las partículas del agregado también inciden en la resistencia del concreto, ya que es muy diferente la resistencia y módulo de elasticidad de un agregado de baja densidad y poroso, a la de un agregado de baja porosidad y denso.

#### **1.4.6. Permeabilidad.**

Permeabilidad se refiere a la capacidad del concreto de resistir la penetración de agua u otras sustancias. La permeabilidad total del concreto al agua es una función de la porosidad de la pasta, de la porosidad y granulometría del agregado, y de la proporción relativa de la pasta con respecto al agregado. La disminución de permeabilidad mejora la resistencia del concreto a la re saturación, al ataque de sulfatos y otros productos químicos y a la penetración del ion cloruro. La permeabilidad también afecta la capacidad de destrucción por congelamiento en condiciones de saturación. La permeabilidad de la pasta depende de la relación Agua – Cemento y del agregado, de la hidratación del cemento o duración del curado húmedo. Un concreto de baja

permeabilidad requiere de una relación Agua – Cemento baja y un período de curado húmedo adecuado.

#### **1.4.7. Durabilidad**

La durabilidad del concreto se define como la habilidad para resistir la acción del intemperismo, ataque químico, abrasión o cualquier otro proceso de deterioro. Y determina que el concreto durable debe mantener su forma original, calidad y características de servicio cuando es expuesto a este ambiente. Ésta no es un concepto absoluto que dependa solo del diseño de mezcla, sino que está en función del ambiente de exposición y las condiciones de trabajo a las cuales lo sometamos.

#### **1.4.8. Apariencia**

La apariencia del concreto depende de los agregados, debido a diversidad de tipos y tamaños, para el caso del agregado grueso que se deja expuesto para lograr una superficie conglomerada; en el caso de la escoria de mata de níquel que le provee al concreto un color gris oscuro por el color negro de éste material.

### **1.5. Concreto**

#### **1.5.1. Definición**

El concreto es un material semejante a una roca que se obtiene mediante una mezcla cuidadosamente proporcionada de arena, grava, piedra triturada u otros agregados unidos en una masa rocosa por medio de una pasta de

cemento denominada aglutinante y agua. En ocasiones, uno o más aditivos se agregan para cambiar ciertas características del concreto, tales como la ductilidad, la durabilidad y el tiempo de fraguado.

Al igual que la mayoría de materiales pétreos, el concreto tiene una alta resistencia a la compresión y una muy baja resistencia a la tensión.

## **1.5.2. Composición**

### **1.5.2.1. Cemento.**

El cemento posee propiedades adhesivas y cohesivas, dichas características le dan la capacidad de aglutinar los agregados para formar el concreto.

Los concreto hechos con cemento portland normal alcanzan sus resistencias de diseño después de 28 días y después continúan ganando resistencia a un menor ritmo.

Existen otros tipos especiales de cemento portland, esto es, porque el proceso químico que ocurre durante el fraguado del concreto genera calor ocasionando que el concreto se expanda durante su hidratación y al enfriarse se contraiga desarrollando con frecuencia un severo agrietamiento.

El concreto puede usarse en lugares en que queda expuesto a varios cloruros o sulfatos. Tales situaciones se presentan en las construcciones marinas.

La *American Society for Testing and Materials* (ASTM) clasifica los cementos Portland en cinco tipos:

- **Tipo I.** Es el cemento normal usado en la mayoría de las construcciones siendo éste de uso general.
- **Tipo II.** Cemento modificado que tiene menor calor de hidratación que el tipo I y que puede resistir alguna exposición al ataque de sulfatos.
- **Tipo III.** Un cemento de fraguado rápido que produce en las primeras horas un concreto con una resistencia aproximadamente doble a las del cemento tipo I. este cemento produce calor de hidratación muy alto.
- **Tipo IV.** Es un cemento de bajo calor que produce un concreto que disipa muy lentamente el calor. Se usa en estructuras de concreto de gran tamaño.
- **Tipo V.** usado para concretos que van a estar expuestos a altas concentraciones de sulfatos.

Si el cemento requerido no se encuentra entre los cinco tipos mencionados, existen alternativas con respecto a los aditivos que modifican las propiedades del cemento tipo I a las condiciones deseadas.

### **1.5.2.2. Agua.**

Los cementos por ser hidráulicos tienen la capacidad de fraguar y endurecer con el agua; el agua es el elemento que hidrata las partículas de cemento y lo vuelve un elemento aglutinante.

El agua empleada en el mezclado del concreto debe estar limpia y libre de cantidades perjudiciales de aceites, ácidos, álcalis, sales, materia orgánica u otras sustancias nocivas para el concreto.

Casi cualquier agua natural que sea potable y que no tiene un sabor ni olor marcado, se puede utilizar como agua de mezclado en la elaboración de concreto. Cuando las impurezas en el agua son excesivas, pueden afectar no sólo el tiempo de fraguado, la resistencia de concreto y la estabilidad volumétrica, sino que también pueden provocar eflorescencia o corrosión en el refuerzo cuando se trabaje con un concreto armado. Siempre que sea posible, debe evitarse el agua con altas concentraciones de sólidos disueltos.

Las sales u otras sustancias nocivas que provengan del agregado o de los aditivos, deben sumarse a la cantidad que puede contener el agua de mezclado. Estas cantidades adicionales deben tomarse en cuenta al hacer la evaluación respecto a la aceptabilidad del total de impurezas que pueda resultar nocivo para el concreto.



### **1.5.2.3. Agregados.**

Los agregados en el concreto ocupan aproximadamente  $\frac{3}{4}$  partes del volumen del concreto. Como el costo es menor que el del cemento, es deseable usar la mayor cantidad de ellos que sea posible. Se emplean tanto agregados finos como, arena, y agregados gruesos como, grava (usualmente triturada).

Los agregados son todos aquellos materiales que tienen una propia resistencia, no perturban ni afectan el proceso de endurecimiento del cemento hidráulico.

Dichos materiales deben ser fuertes, durables y limpios. Si se encuentra en ellos polvo u otras partículas, pueden interferir en la adherencia entre la pasta de cemento y los agregados. La resistencia de los agregados tiene un efecto importante en la resistencia del concreto, y las propiedades de los agregados afectan considerablemente la durabilidad del mismo

### **1.5.2.4. Aire.**

El aire es un elemento de concreto que debe de tomarse en cuenta, ya que cuando el concreto se encuentra en el proceso de mezclado queda aire atrapado en la masa, éste aire es liberado de la pasta por medio de la compactación a que es sometida después de su colocación.

### **1.5.2.5. Diseño de mezcla.**

Una vez se tenga la certeza de que las propiedades químicas, físicas y mecánicas de los agregados son aceptables, se procede al diseño de la mezcla de concreto en función de éstas. Los componentes de una mezcla se dosifican

de manera que el concreto resultante tenga una resistencia adecuada, una manejabilidad adecuada para su vaciado y un bajo costo. Éste último factor obliga a la utilización mínima en la cantidad de cemento que asegure las propiedades adecuadas. Mientras mejor sea la graduación de los agregados, es decir, mientras menor sea el volumen de vacíos, menor será la pasta de cemento necesaria para llenar estos vacíos. Además se necesita adicionar agua para humedecer a los agregados, un concreto posee aproximadamente de un 7% a un 15% del volumen de la mezcla, de un 60% a 70% de agregados, agua entre un 14% a 18%, aire atrapado 1% a 3%, puede contener aire incluido intencionalmente de un 1% a 7% y aditivos. A medida que se adiciona agua, la plasticidad y la fluidez de la mezcla aumentan, pero su resistencia disminuye debido al mayor volumen de vacíos creados por el agua libre. Para reducir el agua libre y mantener la manejabilidad, es necesario agregar cemento; de esta manera, desde el punto de vista de la pasta de cemento, la relación agua – cemento es el factor principal que controla la resistencia del concreto. Para una relación agua – cemento dada se selecciona la mínima cantidad de cemento que asegure la manejabilidad deseada.

La figura 1 muestra la influencia decisiva de la relación agua – cemento en la resistencia a la compresión del concreto. Su influencia sobre la resistencia a la tensión, medida a través de la resistencia nominal a flexión o modulo de ruptura, es pronunciada pero menor que su efecto sobre la resistencia a la compresión. Esto al parecer es así porque, además de la relación de vacíos, la resistencia a la tensión depende en gran parte de la resistencia de adherencia entre el agregado grueso y el mortero de cemento.

**Figura 1. Efecto de la relación agua-cemento en la resistencia a la compresión y a la tensión por flexión a los 28 días.**

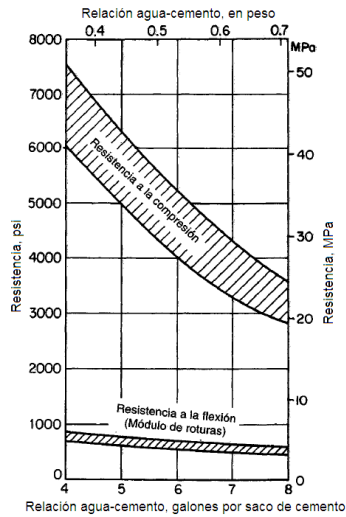


FIGURA 1. Efecto de la relación agua-cemento en la resistencia a la compresión y a la tensión por flexión a los 28 días.

Para obtener mezclas con las propiedades deseadas a partir de los cementos y agregados disponibles se utilizan varios métodos de dosificación. Uno de estos métodos es el llamado método de la mezcla tentativa. Seleccionando una relación agua – cemento a partir de la información de la figura 1. Se pueden producir varias mezclas tentativas con diferentes cantidades de agregados para obtener la resistencia, la consistencia otras propiedades requeridas con una cantidad mínima de pasta.

El llamado método de dosificación del ACI utiliza el asentamiento ( lump) simultáneamente con un conjunto de tablas para lograr un estimativo de las proporciones que resultan en las propiedades deseadas para diferentes condiciones. Estas proporciones seleccionadas preliminarmente se revisan y ajustan mediante mezclas de prueba para obtener al final el concreto con la calidad deseada. Las propiedades de resistencia de un concreto con proporciones definidas varían de una mezcla a otra. Por tanto es necesario seleccionar las proporciones que aseguren una resistencia promedio superior a

la resistencia especificada de diseño, para que incluso las mezclas accidentalmente débiles resulten de una calidad adecuada.

El método de proporcionamiento de mezclas de concreto del Centro de Investigaciones de Ingeniería consiste en que la resistencia y la durabilidad del concreto se relacionan principalmente con la relación agua – cemento de la pasta y con las propiedades de los agregados (granulometría y tipo de partículas). Se hace referencia que la trabajabilidad se ve afectada directamente por la relación agua – cemento y la proporción de los agregados.

Ya determinada la resistencia y la trabajabilidad (asentamiento), los datos de la relación agua cemento y la cantidad de agua aproximada a utilizar para lograr el asentamiento deseado, se toman de la tabla V, que dependerá también del tipo y tamaño del agregado.

Luego se calcula el cemento, los agregados; el porcentaje de agregado fino se obtiene de la tabla V y su factor depende del tamaño del agregado grueso y para el agregado grueso su condición repercute en su tamaño máximo. Por lo tanto, se calculan por volumen absoluto o volumen de sólidos las cantidades de material necesario. Dichos volúmenes se pasan a pesos, en este proceso es necesario conocer el peso específico de las materiales, con ello se tiene la proporción del diseño de mezcla.

Después de lo anterior se procede a fabricar la masada ya sea a mano o con una mezcladora y verificar si la mezcla tiene el asentamiento esperado, si el caso fuera negativo se deben realizar las correcciones necesarias y modificar las proporciones de diseño.

**Tabla V. Datos para diseño de mezclas (Calculados para un metro cúbico de concreto fresco).**

<b>Tipo de estructura</b>	<b>Asentamiento (cm).</b>				
Para cimientos, muros reforzados, vigas paredes reforzadas y columnas.	10				
Para pavimentos y losas.	8				
Concreto masivo de poca humedad	5				
<b>Asentamientos en cms.</b>					
	<b>Tamaño agregado grueso</b>				
	<b>3/8"</b>	<b>1/2"</b>	<b>3/4"</b>	<b>1"</b>	<b>1 1/2"</b>
	<b>Cantidad de agua lt / m<sup>3</sup></b>				
3 – 7	205	200	185	180	175
8 – 12	225	215	200	195	180
13 – 18	240	230	210	205	200
<b>Resistencia. Kg/cm<sup>2</sup> (psi)</b>					
	<b>Relación agua / cemento.</b>				
352 (5000)	0.47				
316 (4500)	0.50				
281 (4000)	0.54				
246 (3500)	0.57				
210 (3000)	0.60				
176 (2500)	0.64				
<b>Tamaño máximo del agregado grueso</b>					
	<b>% Arena sobre agregado total</b>				
3/8"	48				
1/2"	46				
3/4"	44				
1"	42				
1 1/2"	40				



## **2. BANCOS DE ESCORIA DE MATA DE NÍQUEL**

Los actuales bancos de escoria de mata de níquel fueron una producción de los años 1977 a 1980 por la antigua compañía EXMIBAL/INCO (EXMIBAL (Exploraciones y Explotaciones Mineras Izabal S.A.), cuya empresa matriz fue la International Nickel Co. Of Canada (INCO)), que en 1965, le fue otorgado una concesión minera para explotar en Alta Verapaz y en Izabal, níquel, cobalto, hierro y cromo. Pero en 1980 la afiliada EXMIBAL cerró operaciones a causa de la baja internacional en los precios del níquel en el mercado. Posteriormente, en el 2008, Hudbay Minerals, compra los derechos a Skye Resources, siendo la actual casa matriz de esta mina, y es administrada en Guatemala por la Compañía Guatemalteca de Níquel (CGN).

### **2.1. Definición de la escoria de Mata de níquel.**

La escoria es un residuo impuro, desecho, formado fundamentalmente por (serpentina, magnetita y goethita) hierro, magnesio, silicio, aluminio y magnesio, que aparece en el proceso de producción de la combinación de hierro y níquel y que al fundirse como metal desecha una escoria granulada.

#### **2.1.1. Caracterización de la escoria de mata de níquel.**

La escoria es un subproducto residual de mineral fundido para purificar metales. A altas temperaturas, las impurezas del mineral se separan del metal fundido y se remueve para formar una mezcla inerte de óxidos de metal. Las propiedades químicas y físicas de la escoria dependen de la mineralogía ultra máfica de mineral alimentado y del proceso de fundición. El mineral saprolita

que fue utilizado por Exmibal está compuesto de serpentina ( $Mg_6Si_4O_{19}(OH)_8$ ) magnetita ( $Fe_3O_4$ ) y goethita ( $\alpha-FeOOH$ ).

El subproducto de escoria se somete a una graduación por medio de inyectores de agua de alta presión, que sumergido bajo agua y eventualmente refinado es transferido al depósito de almacenamiento. Sin embargo, ya que la planta ubicada en el Estor no está operando en estos momentos, no se encuentra escoria generada recientemente para realizar una caracterización geoquímica.

## **2.2. Proceso antiguo (1977 – 1980) de producción del subproducto residual denominado escoria de mata de níquel en la planta ubicada en el Estor, Izabal**

### **2.2.1. Preparación del mineral**

En la sección de preparación del mineral de la Planta original, el mineral proveniente de la cantera era triturado, apilado, secado, tamizado, mezclado y almacenado bajo techo.

El mineral obtenido de las áreas de extracción que contenía aproximadamente 34 % de humedad y tiene un tamaño menor a 600 mm; se despachaba por medio de camiones de 32 toneladas y se vaciaba en la tolva de alimentación del triturador primario. Luego se alimentaba el mineral por medio de un alimentador horizontal al triturador primario de doble rodillo. El rodillo triturador se ajustaba para producir un tamaño menor de 100 mm el que se consideraba el tamaño óptimo para el secado.



El mineral húmedo, después de la trituración con rodillo, se alimentaba a la apiladora móvil de mineral húmedo con un remolque de descarga controlada. El apilador incrementaba una pila al aire libre con una capacidad máxima de 230,000 toneladas. El propósito principal de mantener este almacenamiento grande era de proveer suficiente capacidad ante variaciones en la disponibilidad de mineral, ya que la extracción de mineral se podía ver interrumpida en algún momento debido a condiciones climáticas adversas, fallas en los equipos, etc.

**Figura 2. Pila de mineral húmedo al aire libre el Estor, Izabal**



Fuente: **CGN, Compañía Guatemalteca del Níquel.**

La operación programada del triturador primario y del área de almacenamiento era de 250 días al año, con dos turnos diarios. La pila de almacenamiento de mineral era retirada por cargadores frontales los cuales se

descargaban a una tolva. El material era removido de la tolva por un alimentador de mandil controlado por una balanza y transportado por un transportador de banda hacia un secador rotativo de 3.6 m de diámetro, 45 m de largo. En el secador, el mineral se secaba parcialmente para producir un producto que contenía 25% de humedad y que era casi libre de polvo. El secador se encendía simultáneamente con búnker y utilizaba elevadores internos para un contacto máximo del material con los gases calientes. El mineral parcialmente seco se descargaba desde el secador a un tromel (tamiz en forma de cilindro) clasificador integral de dos etapas. En la primera etapa del tromel, se eliminaba el material menor a 40 mm. En la segunda etapa del tromel clasificador se eliminaba el material mayor a 40 mm y menor a 160 mm y se descargaba a un triturador de impacto para reducción secundaria a menos de 40 mm. El material mayor a 160 mm era rechazado. Ambas corrientes de descarga del producto del secador se recombinaban, se hacía un muestreo automático, y se transportaba a una apiladora móvil de mineral seco con un remolque de descarga controlada. La apiladora formaba cuatro pilas iguales de 9000 toneladas cada una de mineral parcialmente seco. La apiladora y las cuatro pilas estaban dentro de un edificio cubierto

**Figura 3. Vista actual del edificio de almacenamiento de mineral seco, El Estor, Izabal.**



**Fuente: CGN, Compañía Guatemalteca del Níquel.**

El objetivo principal a alcanzar por el método de apilado en seco era obtener una mezcla uniforme del material. La razón era que existían variaciones en la composición del mineral en el tiempo, las que ocurren de una frente de trabajo a otro e incluso a lo largo de un mismo frente. La apiladora estaba equipada con capacidad para desplazarse y para rotar (rotación de la pluma) para obtener la mezcla del mineral, lo que permitía formar cada pila como una secuencia de filas paralelas. Para una mezcla adicional, un cargador frontal extraía el material en dirección perpendicular a la que se depositaban las filas. En dos filas existía la capacidad suficiente para alimentar la Planta durante una semana.

El secado del mineral húmedo hasta una humedad de 20% tuvo un material que no generaba polvo en exceso en el secador o durante la manipulación posterior. La pequeña cantidad de polvo que se arrastraba con los gases de descarga se recuperaba en ciclones centrífugos de polvo, se mezclaba con agua, y se retornaba al almacenamiento de mineral seco. El programa de operación de la Planta desde la extracción del mineral hasta el apilado del mineral seco cubría 330 días al año, en tres turnos diarios.

Para la operación futura, la mayoría de estos equipos serán reutilizados después de su revisión y actualización acorde a las necesidades, con excepción del horno secador que será removido y reemplazado por uno de mayor capacidad.

### **2.2.2. Reducción del mineral**

En la sección de la Planta de reducción del mineral, el mineral parcialmente seco se terminaba de secar, se reducía y se le agregaba azufre. Un cargador frontal extraía el mineral parcialmente seco del área de almacenamiento de mineral seco y lo descargaba sobre una tolva, luego por medio de una banda transportadora se llevaba hacia la tolva alimentadora del horno de 250 toneladas. De esta tolva, el material se extraía por un alimentador de banda por peso y se transportaba al horno rotativo por medio de un transportador de bandas. El alimentador por peso regulaba la alimentación al horno.

En el horno, el mineral seco era tratado por un proceso de INCO que se conoce como Proceso de Reducción Selectivo para Lateritas. Este proceso involucra el precalentamiento, la reducción controlada y la adición de azufre a la

calcina. Como resultado de este proceso se reducía la energía que se requiere para la fundición del mineral dentro del fundidor eléctrico. El horno es de tipo rotativo de 5.5 m de diámetro y 100 m de largo, donde el flujo del material era quemado a contracorriente con los gases de combustión del búnker. El horno usado se podía dividir conceptualmente en tres secciones: en la primera sección o extremo de alimentación, el mineral parcialmente seco era totalmente secado, en la segunda sección el mineral seco era calentado y reducido parcialmente, en la tercera sección o extremo de descarga, el mineral era fuertemente reducido, se agregaba azufre y se calentaba adicionalmente. Los perfiles de reducción y de temperatura del extremo de alimentación al extremo de la descarga mostraban un incremento tanto en el potencial de reducción como en la temperatura. El material salía del horno con una temperatura de aproximadamente 875 °C.

**Figura 4. Vista actual del horno de reducción, CGN El Estor Izabal**



Fuente: **CGN, Compañía Guatemalteca del Níquel.**

El control de los perfiles de temperatura y de potencial de reducción a lo largo del horno se mantenía por medio de ocho equipos diferentes: el quemador principal en el extremo de la descarga, el rejón pulsante de inyección de búnker en el extremo de descarga, cuatro ventiladores de inyección de aire montados sobre el horno en la sección media de este, y dos quemadores de búnker montados sobre el horno cerca del extremo de alimentación. El quemador principal proporcionaba calor a la sección de descarga y se operaba para alcanzar una atmósfera ligeramente reductora en el extremo de descarga. Las fuertes condiciones reductoras se generaban en el extremo de descarga con el rejón pulsante de inyección de búnker. Cuando el búnker impactaba en la cama del material caliente, la reacción creaba una condición altamente reductora por la cual se convertían los óxidos de níquel y de hierro a estado metálico. La cantidad exacta de níquel y de hierro reducido se podía controlar y por lo tanto se podía mantener una relación constante de hierro a níquel para el fundidor eléctrico. No todo el búnker inyectado se utilizaba al final de la descarga del horno. Los hidrocarburos livianos que se producían del craqueo y de la destilación de volátiles al final de la descarga eran acarreados por los gases de combustión del quemador principal hacia la sección media del horno.

Además del secado del mineral y de la reducción de óxidos de níquel y de hierro el proceso del horno, también sulfuraba el mineral. La sulfurización convertía el níquel a sulfuros de níquel en el final de la descarga del horno al inyectar azufre derretido por la lanza inyectora de búnker en la campana de descarga dentro de la atmósfera reductora.

### **2.3. Ubicación de los bancos de la escoria de mata de níquel del proyecto fénix.**

Los bancos de escoria de mata de níquel se encuentran ubicados en la planta de la Compañía Guatemalteca del Níquel (CGN) localizada en el municipio del Estor Departamento de Izabal.

**Figura 5. Vista satelital de la planta de la CGN del proyecto Fénix (anteriormente INCO).**



**Fuente.** Google Earth

En el lugar se encuentran depositados aproximadamente 1, 191,008 toneladas de escoria de mata de níquel, que actualmente se encuentran sin utilización, esto producido en un período de tres años correspondientes de 1977-1980. La actual compañía CGN no se encuentra produciendo mata de níquel a causa de la actualización de sus instalaciones.

**Figura 6. Ubicación en la planta del depósito de escoria de mata de níquel.**



**Fuente.** Google Earth.



### **3. DESCRIPCIÓN DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO REALIZADOS AL AGREGADO FINO.**

#### **3.1. Ensayos aplicados a la escoria de mata de níquel, agregado fino.**

##### **3.1.1. Toma de muestra**

Para la toma de muestras, se visitó el depósito en donde se encuentra localizada la escoria de mata de níquel, planta de la CGN. Los bancos de material se encuentran ubicados a un costado de la planta (ver figura 6), para la realización del muestreo, y para que la muestra fuera representativa, se extrajeron muestras aleatoriamente del sector, a una distancia aproximada de 10 metros en acumulaciones de material de al menos 5 metros cúbicos. Las muestras se tomaron a profundidades que varían desde la superficie hasta una profundidad de un metro y medio.

Ya extraídas las muestras y empacadas en sacos, se trasladaron del sitio donde se depositaban al laboratorio del Centro de Investigaciones de Ingeniería (CII) de la Universidad de San Carlos de Guatemala, para la realización de los análisis.

### **3.1.2. Peso específico norma ASTM C 128-88 (Standard Test Method for Specific Gravity and Absorption of Fine Aggregate)**

Densidad aparente es la característica que generalmente se utiliza para el cálculo del volumen ocupado por el agregado de varias mezclas que contengan éste, incluyendo concreto hecho con Cemento Portland, concreto bituminoso y otras mezclas que son proporcionadas o analizadas sobre un volumen absoluto base.

Por lo que el peso específico de un material se define como al cociente entre su peso y el peso de un volumen equivalente de agua destilada a 20°C (condiciones de máxima densidad del agua), siendo así, un valor adimensional.

Este ensayo se realiza de la siguiente manera:

- Se le toma el peso por individual con una balanza de precisión a tres matraces aforados de 500ml de capacidad.
- Pesar los tres matraces con 200gr de material, escoria de mata de níquel en éste caso. El material debe estar en condición seco – saturado.
- Pesar con material y con 500ml de agua los tres matraces (el menisco inferior debe llegar a la línea de aforo), sacando las burbujas de aire, esto tiene como fin acomodar las partículas de agregado fino y evitar los vacíos.
- Por último se arroja el material dentro de los matraces y se lavan hasta retirarles todo el material que en ellos se encuentren y se procede a llenarlos de nuevo únicamente con agua hasta la línea de aforo y así obtener el peso de la probeta más agua.

El objetivo de tener tres matraces es de realizar tres ensayos para lograr un promedio y obtener datos más precisos.

**Figura 7. Equipo utilizado para el ensayo de peso específico.**



**Fuente.** Fotografía tomada por Luis Alvarez, CII, 2009.

### **3.1.3. Granulometría norma ASTM C 33-90 (Standard Specification for Concrete Aggregates).**

Según la norma ASTM C 33, la granulometría es la distribución de los tamaños de las partículas de un agregado, determinada por el análisis de tamices (norma ASTM C 136(Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates)). El tamaño de dichas partículas de agregado se determina por medio del retenido o lo que pasa del material en los tamices de malla de alambre con aberturas cuadradas. La batería estándar de tamices para agregado fino comprende siete elementos que varían desde la malla No. 100(150 micras) hasta la malla de 3/8" (9.52 mm).

La granulometría y el tamaño máximo de agregado afectan las proporciones relativas de los agregados así como los requisitos de agua y

cemento, la trabajabilidad, capacidad de bombeo, economía, porosidad, contracción y durabilidad del concreto.

Además, en este ensayo, se determina el modulo de finura. El módulo de finura es el valor correspondiente a la centésima parte de la suma de los porcentajes retenidos acumulados en los tamices. Cuanto mayor es el módulo de finura más grueso es el material (ver tabla II).

El procedimiento del ensayo se describe a continuación:

- Se homogeniza el material por medio de cuarteos el cual debe estar en condición seca.
- Se toma una muestra de 500gr de escoria mata de níquel.
- Se coloca el material en la batería estándar comprendida de los tamices #4, #8, #16, #30, #50, #100 y fondo.
- Se tamiza el material durante diez minutos.
- Pasados los diez minutos, se toman los pesos individuales de cada tamiz y luego los acumulados para determinar el porcentaje de retenido acumulado de cada malla.

**Figura 8. Tamizadora y juego de tamices utilizadas para la granulometría de la escoria.**



**Fuente.** Fotografía tomada por Luis Alvarez, CII, 2009.

#### **3.1.4. Peso unitario norma ASTM C 29/C 29M-90 (Standard Test Method for Unit Weight and Voids in Aggregate).**

Este método de ensayo se utiliza con frecuencia para determinar los valores del peso de la escoria de mata de níquel por unidad, que son necesarias para el cálculo de las proporciones para las mezclas de concreto.

El peso unitario se utiliza para determinar la relación masa/volumen. Sin embargo, la relación entre el grado de compactación de los agregados en un volumen determinado se desconoce, ya que depende directamente del material analizado.

Los agregados poseen masa y volumen, la misma masa tiende a ocupar distintos volúmenes tanto en un estado suelto como en un compactado. Cuanto mayor sea la densidad de un cuerpo, mayor será el peso que posea en un recipiente de volumen determinado. El peso unitario suelto, se utiliza para conversiones de peso a volumen, para conocer el consumo de agregados por metro cúbico de concreto. El peso unitario compactado, se utiliza para conocer el volumen de materiales apilados.

El procedimiento de este método de ensayo para la medición de peso unitario no tiene valores determinados, pues dichos valores se pueden definir sólo en términos del ensayo realizado.

Pasos para realizar el ensayo:

- Tomar el peso del recipiente o tara
- Tomar el peso de la tara más la escoria de mata de níquel; en este paso, se deben de realizar dos diferentes procedimientos, uno es tomar el peso de la tara con el material sin compactar, para obtener el peso unitario

suelto, y el otro procedimiento es tomar el peso de la tara con el material compactado, para obtener el peso unitario compactado. Esto es, colocar el material dentro del recipiente por tercios. Por cada tercio colocado, el material debe ser apisonado por medio de 25 golpes distribuidos, acumulando un total de 75 golpes por tara llena.

- Luego el peso unitario se obtiene dividiendo el peso del material dentro del volumen del recipiente.
- Se debe hacer este procedimiento tres veces para obtener un promedio y con ello, resultados más exactos.

**Figura 9. Equipo utilizado para la realización del ensayo de peso unitario, incluye: balanza, tara y apisonador de 5/8" lisa con punta redonda.**



**Fuente.** Fotografía tomada por Luis Alvarez, CII, 2009.

### **3.1.5. Porcentaje de vacíos norma ASTM C 138-81 y C 231-89 (Standard Test Method for Unit Weight, Yield and Air Content (Gravimetric) of Concrete).**

El porcentaje de vacíos es la relación del peso específico entre el peso unitario compactado y se calcula para determinar si las partículas de la escoria de mata de níquel se acomodan adecuadamente o crean espacios en el concreto.

### **3.1.6. Porcentaje de absorción norma ASTM C 0127-88 (Test Method for Specific Gravity and Adsorption of Coarse Aggregate).**

Los valores de absorción se utilizan para calcular el cambio en el peso de la escoria de mata de níquel (agregado) provocado por el agua absorbida después de 24 horas de inmersión en los espacios de poros de las partículas constituyentes, comparadas con la condición seca del material.

Procedimiento de ensayo:

- Se toma una muestra representativa de escoria la cual se sumerge durante 24 horas.
- Al día siguiente se expande la muestra sobre la superficie de un recipiente o bandeja la cual no es absorbente.
- Se deja secar el material de una manera uniforme hasta que los granos de la escoria de mata de níquel están sueltos.
- Luego se introduce la muestra en un molde cónico, se apisona unas 25 veces dejando caer el apisonador desde una altura aproximada de 1 cm, posteriormente se nivela y si al retirar el molde la muestra se desmorona

es porque no existe humedad libre, si es lo contrario se sigue secando y se repite el proceso hasta que cumpla con la condición. Cuando desmorona el agregado al retirar el molde cónico se ha alcanzado una condición del agregado seco saturado.

- Luego que el material se encuentra en estado seco saturado, se pesan 500gr de escoria de mata de níquel y luego se coloca en el horno por 24 horas a temperatura constante.
- Ya pasadas las 24 horas, se saca el material del horno y se pesa de nuevo después de haberse evaporado toda la humedad. Con esto se calcula el porcentaje de absorción.

### **3.1.7. Tamiz 200 norma ASTM C 117-87 (Standard test Method for Materials Finer than 75- $\mu$ m (No. 200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing).**

El material más fino que el tamiz de 75  $\mu$ m (No. 200) puede separarse de las partículas más grandes con mucha más eficacia y completamente por medio del tamizado húmedo que a través de la utilización del tamizado en seco. Generalmente la cantidad adicional de material más fino que el tamiz No. 200 por lavado, es mayor que la cantidad del tamizado en seco. El porcentaje permisible de material más fino que tamiz No. 200 se describe en el capítulo 1.2.1.2.

El ensayo del tamiz 200, consiste en pesar 500gr de material (escoria de mata de níquel) en condición seca, luego por decantación se lava pasándolo por los tamices #40 y #200, el material que queda retenido en el tamiz 200 se coloca en un recipiente y se coloca en el horno por 24 horas, para luego ser retirado y pesado en una balanza.



### **3.1.8. Materia orgánica norma ASTM C 33, C 87-83 y C 40-84 (Standard Specification for Concrete Aggregates).**

La prueba de materia orgánica se realiza para determinar el grado de contaminación que posee la escoria de mata de níquel, comparada con una escala de aceptabilidad del colorímetro (ver tabla IV), el procedimiento del ensayo es el siguiente:

- Se pesa material seco entre un mínimo de 130gr a un máximo de 150gr, idealmente se utilizaran 140gr y se colocan en una probeta plástica.
- Se prepara solución de 200ml de agua con 6gr de sosa caústica. Dicha solución debe poseer un 3% de pureza.
- Se le añade a la probeta con material la solución anteriormente mencionada hasta que humedezca el material y llegue a los 200ml de solución.
- Se deja 24 horas y al día siguiente se le retira la solución y se observa el color comparándolo con el colorímetro.
- Su interpretación se basa en la tabla IV.

### **3.1.9. Análisis químico.**

Previamente al análisis mecánico de la escoria de mata de níquel, es necesario realizarle las pruebas químicas a dicho material, esto con el propósito de determinar si el agregado fino no perjudica a la mezcla de concreto.

### **3.1.9.1. Desgaste por sulfato de sodio o intemperismo acelerado norma ASTM C 88-83 (Standard test Method for Soundness of Aggregates by Use of Sodium or Magnesium Sulfate).**

Este método es un ensayo químico bajo condiciones climáticas que, cubre la prueba de los agregados para estimar su solidez cuando se someten a la acción de meteorización en aplicaciones como el concreto o de otra índole. Esto se logra mediante la inmersión repetida en soluciones saturadas de sodio o el sulfato de magnesio seguido por el horno de secado para la deshidratación parcial o total de la sal precipitada en los espacios de poros permeables. La fuerza expansiva interna, derivada de la rehidratación de la sal con una re-inmersión, simula la expansión del agua en el estado de congelación. Esto proporciona información útil para juzgar la solidez de los agregados cuando la información no está disponible en los registros de servicio del material expuesto a las condiciones reales de la intemperie.

La norma ASTM C 33 nos especifica que, la prueba para agregado fino sometido a cinco ciclos de la prueba de la solidez tendrá una pérdida media ponderada no superior al 10% cuando se utiliza sulfato de sodio y de un 15% cuando se utiliza sulfato de magnesio.

Procedimiento de ensayo:

- Se realiza la granulometría al mata de níquel para obtener el porcentaje retenido, esto con el objetivo de establecer una graduación, se necesita tener más del 5% de retenido. Esto es lo requerido por la norma, para poder clasificar las cápsulas.
- Una vez clasificado el material, se pesa con un valor mayor del que necesita para ser lavado y secado en el horno durante 24 horas. El

propósito de que el material (mata de níquel) sea lavado es para, quitar las impurezas que actúan como polarizado y no dejan penetrar la solución.

- Las cápsulas se preparan en las siguientes cantidades y granulometrías, teniendo ya el material limpio y en condición seca.

**Tabla VI. Clasificación de las cápsulas para el ensayo de desgaste por sulfato de sodio o intemperismo acelerado.**

<b>Retenido de tamiz</b>	<b>Cantidad (gr)</b>	<b>Cápsula</b>
# 8	100	1
# 16	100	2
# 30	100	3
# 50	100	4
# 100	100	5

- Se debe hacer la solución 24 horas antes de ser utilizada. La solución se prepara disolviendo 240 gr. De sulfato de sodio en polvo por cada litro de agua, con esto, se logra una densidad de 1.15 a 1.17 gr/lt, la densidad debe de corroborarse cada dos días, pues los residuos del material que se esta desintegrando se depositan en la solución, y tiende a aumentar su densidad.
- El proceso de cinco ciclos requiere una estricta disciplina con el horario de colocación y retiro de la solución. La solución debe ser colocada en el material en recipientes que lo cubran al menos una pulgada sobre la superficie de éste durante 18 horas, pasado este tiempo se retira la solución y se pone al horno por 3 horas, al finalizar las tres horas se saca el material del horno y se deje enfriar a temperatura ambiente sumando así las 24 horas de proceso, completando un ciclo.

- Finalmente, cuando se completan los cinco ciclos, se lava el material y se deja 24 horas en el horno.
- Ya seco el material se tamiza y se pesa de acuerdo a cada cápsula, de la siguiente manera:

**Tabla VII. Tamices utilizados en el material después de la realización de los cinco ciclos del ensayo de desgaste por sulfato de sodio o intemperismo acelerado.**

<b>Cápsula</b>	<b>Tamiz</b>
1	# 8
2	# 16
3	# 30
4	# 50
5	# 100

- Con estos datos se calcula el desgaste total del material.

### **3.1.9.2. Reactividad potencial norma ASTM C 289 (Standard Test Method for Potential Alkali-Silice Reactivity of Aggregates).**

Este ensayo describe la reactividad potencial de un agregado con los álcalis (reacción álcali – sílice), en un concreto o mortero elaborado con cemento Portland de acuerdo con la magnitud de la reacción que ocurre durante 24 horas a 80°C, entre una solución de sodio de 1 N y de material que pasa por el tamiz # 50 y que queda retenido en el tamiz #100.

Esta prueba se realiza a materiales que pertenecerán a concretos y morteros que formarán parte de una estructura y estarán sujetos en forma

permanente o periódica en contacto con el agua y con suelos húmedos, o los cuales podrían reaccionar en forma dañina a la estructura provocando su destrucción.

Los agregados con alto contenido de sílice pueden producir reacciones perjudiciales con sustancias alcalinas en la combinación con el Cemento Portland.

Estas reacciones pueden ser lentas o tardías, y consisten en la generación de hidróxidos de elementos alcalinos cuando estos entran en contacto con el agua, posteriormente al combinarse con la sílice hidratada generan un gel silicato de sodio hidratado que conlleva a un aumento de volumen de hasta el 50%. Este cambio de volumen produce fisuras en los agregados, provocando mal desempeño en la función estructural de concreto y morteros.

### **3.1.9.3. Composición química de la escoria de mata de níquel.**

Este ensayo químico se realizó para determinar si hay componentes que puedan afectar el comportamiento del agregado como por ejemplo lo que es la sílice, el análisis químico se realizó en el Laboratorio de Química Industrial del Centro de Investigaciones de Ingeniería CII.

### **3.1.9.4. Carbonatación.**

Para estimar la profundidad de la carbonatación a través de la prueba de pH del concreto se puede utilizar la prueba de color de fenolftaleína (la

carbonatación reduce el pH). Éste ensayo consiste en aplicar la solución en la superficie recién fracturada o cortada del concreto a una edad mínima de 28 días, las áreas no carbonatadas se vuelven rojas o moradas mientras que las áreas carbonatadas no cambian de color. El pH de un buen concreto, no carbonatado y sin aditivos, normalmente posee un valor mayor a 12.5. Con esto también se realiza la determinación de la alcalinidad del concreto, ya que de esto dependerá la protección del acero de refuerzo al momento de ser utilizada la mezcla como un concreto estructural, esto se debe a que el acero no está debidamente protegido a la corrosión, si el pH desciende a 9.5.

### **3.2. Ensayos aplicados al concreto fresco y endurecido.**

#### **3.2.1. Prueba Slump del concreto fresco norma ASTM C 143 (Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete).**

La prueba Slump o de asentamiento, da un parámetro para determinar la resistencia del concreto estando en un estado plástico.

Para diferentes estructuras y condiciones de colocación del concreto existen diferentes asentamientos adecuados, estos se presentan a continuación:

**Tabla VIII. Asentamientos usuales para varios tipos de construcción.**

Tipos de construcción	Revenimiento (cm)	
	Máximo	Mínimo
Muros y zapatas de cimentación reforzados	12.5	5
Zapatas simples y muros para subestructura	10	2.5
Losas, vigas y muros reforzados	15	7.5
Columnas para edificios	15	7.5
Pavimentos	7.5	5
Construcciones masivas	7.5	2.5

Procedimiento de ensayo:

- La muestra de concreto debe de tomarse de una misma masada de la porción central del volumen de la descarga de la mezcladora y con un recipiente que abarque todo el chorro de la descarga.
- Se humedece el interior del cono de Abrams y la base sobre la cual se hará el ensayo, ésta base debe ser firme, plana, nivelada y no absorbente.
- Se sujeta firmemente el cono y se coloca concreto hasta 1/3 del volumen.
- Se apisona el tercio 25 veces con la varilla compactadora evitando que la misma toque la base en que se encuentra apoyado el cono.
- Se coloca una segunda capa de un tercio del volumen y se apisona 25 veces cuidando que la varilla penetre ligeramente la capa anterior.
- Se llena el molde colocando un poca más del concreto necesario y se golpea 25 veces penetrando ligeramente la capa anterior. Se aparta el concreto que haya caído ligeramente alrededor del molde.
- Se levanta el molde verticalmente de 5 a 10 segundos, sin impactarle movimiento lateral o de torsión.

- Se coloca el molde boca abajo al lado del concreto ensayado y se mide la distancia entre la varilla colocada sobre el cono y la cara superior del concreto, a esta distancia se le llama asentamiento.
- Si ocurre un derrumbamiento pronunciado o resquebrajamiento del concreto, hacia un lado, el ensayo debe repetirse desechando el concreto del ensayo anterior.

**Figura 10. Cono de Abrams utilizado en la prueba de asentamiento, colocación y forma de llenado.**



**Fuente.** Fotografía tomada por Luis Alvarez, CII, 2009.



**Figura 11. Método de rasado final en el cono de Abrams.**



**Fuente.** Fotografía tomada por Luis Alvarez, CII, 2009.

**Figura 12. Forma de medir el asentamiento.**



**Fuente.** Fotografía tomada por Luis Alvarez, CII, 2009.

**3.2.2. Método de ensayo estándar para contenido de aire en mezclas de concreto fresco norma ASTM C 231-78 (Standard Test Method for Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Pressure Method).**

Determina el contenido de aire del concreto fresco, este método se basa en la medición del cambio de volumen del concreto sometido a un cambio de presión.

El equipo que se especifica para este ensayo es el tipo B de la norma ASTM C 231-78, utilizando el aparato conocido como aparato tipo Washington, éste, está equipado con un dial que registra directamente el contenido de aire, en %, con respecto al volumen de concreto.

El procedimiento es aplicable a concreto fabricado con agregados de densidad normal y tamaño máximo no superior a 50 mm.

Método de ensayo:

- Se coloca el concreto dentro del recipiente por tercios, aplicando en cada tercio 25 apisonadas por capa, evitando tocar la capa anterior o en caso del primer tercio el fondo, acumulando así 75 apisonamientos en total.
- Después de apisonar, se golpean los costados del recipiente de 10 a 15 veces con un mazo de goma.
- Limpiar los bordes y en especial la goma de sello, colocar la tapa y ajustar herméticamente con las llaves.
- Cerrar las válvulas para aire y abrir las llaves para agua. Mediante una jeringa de goma introducir agua por una de las llaves de agua hasta que fluya por la otra llave. Golpear lateralmente con un mazo para expulsar burbujas de aire atrapadas en el agua introducida.

- Bombear aire a la cámara de presión hasta que la aguja del dial llegue a la marca de presión inicial. Reposar algunos segundos para enfriar el aire comprimido. Estabilizar la aguja, mediante bombeos, en la marca de presión inicial.
- Cerrar las dos llaves de agua y abrir la válvula de entrada de aire comprimido de la cámara de aire al recipiente. Golpear suavemente los costados del recipiente, como también la tapa del dial para estabilizar la lectura.
- Leer con aproximación a 0,1% el contenido de aire registrado en el dial. Antes de abrir la tapa, mantener cerradas las válvulas de aire y abrir las llaves de agua para liberar la presión de aire existente en el recipiente.

**Figura 13. Aparato tipo B (aparato tipo Washington) ASTM C 231-78.**



**Fuente.** Fotografía tomada por Luis Alvarez, CII, 2009

### **3.2.3. Peso unitario norma ASTM C 138 (Standard Test Method for Unit Weight, Yield and Air Content (Gravimetric) of Concrete).**

El peso unitario o la densidad del concreto es la masa por unidad de volumen y varían según la cantidad y densidad de los agregados, la cantidad de aire atrapado o arrastrado, y los contenidos de agua y cemento. Los concretos convencionales utilizados en estructuras, como los edificios y aceras, poseen un peso unitario en el rango de 2250 a 2500 kilogramos por metro cúbico ( $\text{kg/m}^3$ ). Para otros tipos de concreto, el peso unitario oscila entre 240  $\text{kg/m}^3$  de concreto ligero aislante a 6500  $\text{kg/m}^3$  para el concreto de alta resistencia.

El procedimiento de ensayo es el siguiente:

- Determinar la masa de la tara vacía.
- Colocar el concreto en tres capas de un volumen aproximadamente igual (para la consolidación de varilla).
- Apisone distribuidamente cada capa 25 veces, y cuando se tenga llena la tara con concreto aplique de 10 a 15 golpes a los costados del recipiente con un martillo de goma.
- Luego el peso unitario se obtiene dividiendo el peso del material dentro del volumen del recipiente.
- Se debe hacer este procedimiento tres veces para obtener un promedio y con ello, resultados más exactos.

**Figura 14. Equipo utilizado en el ensayo de peso unitario de concreto, incluye: tara, martillo de goma y apisonador liso de 5/8" con punta redonda.**



**Fuente.** Fotografía tomada por Luis Alvarez, CII, 2009.

**3.2.4. Método de ensayo estándar para el tiempo de fraguado de mezclas de concreto por la resistencia a la penetración norma ASTM C 403 (Standard Test Method for Time of Setting of Concrete Mixtures by Penetration Resistance).**

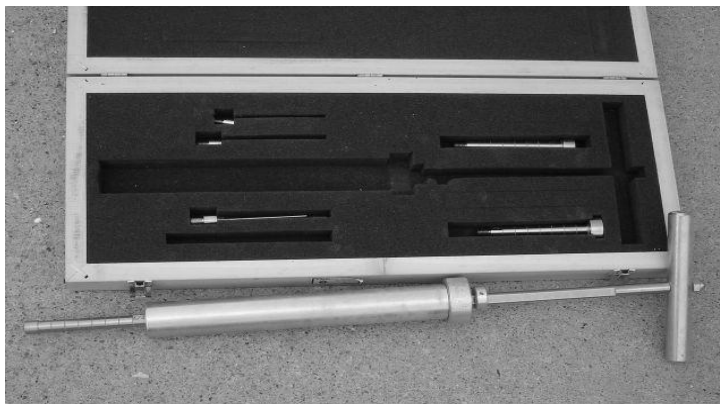
Este método de ensayo cubre la determinación del tiempo de fraguado del concreto, por medio de mediciones de resistencia a la penetración en el mortero tamizado de la mezcla de concreto. Puede ser utilizado para determinar los efectos de variables, como el contenido de agua, marca, tipo y cantidad de material de cemento, o mezclas, en el momento de la instalación de concreto. Este método también puede utilizarse para determinar el cumplimiento con el tiempo determinado de fijación.

Este método también puede aplicarse a los morteros preparados y lechadas. Sin embargo, cuando se desea el tiempo de fraguado del concreto, el ensayo se realizará con mortero tamizado de la mezcla de concreto y no con un mortero preparado con las proporciones destinadas a simular la fracción de mortero de cemento; ya que, los tiempos iniciales y finales de fraguado podrían incrementarse cuando se usa el mortero preparado.

Las características que presenta este ensayo son:

- Un fraguado inicial muy rápido puede entorpecer el manejo del concreto.
- Un fraguado final muy lento dificultaría el progreso de la obra.

**Figura 15. Equipo utilizado en la prueba de la velocidad de endurecimiento.**



**Fuente.** Fotografía tomada por Luis Alvarez, CII, 2009.

**Figura 16. Forma de aplicación del ensayo de velocidad de endurecimiento.**



**Fuente.** Fotografía tomada por Luis Alvarez, CII, 2009.

**3.2.5. Práctica estándar para elaborar y curar especímenes de ensayo de concreto en laboratorio Norma ASTM C 192/C 192M (Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory).**

Esta práctica trata sobre los procedimientos para preparar y curar especímenes de concreto para ensayo en laboratorio bajo un control preciso de materiales y condiciones de ensayo usando concreto que pueda ser consolidado por varillado o vibración.

Si las muestras son hechas y curadas, según lo establecido por esta norma, los resultados obtenidos de los especímenes son capaces de ser utilizados para los siguientes fines:

- Poseer la aceptación de la resistencia del diseño.
- Comprobación de las proporciones de la mezcla para la fuerza.

- Control de calidad.

Si las muestras son hechas y curadas en campo, siguiendo lo establecido, los resultados obtenidos de los especímenes son capaces de ser utilizados para los siguientes fines:

- Determinar si una estructura es susceptible si se coloca el tipo de mezcla con la cuál fue elaborado el espécimen.
- Comparación de los resultados con elementos elaborados en laboratorio.
- Adecuar el curado y protección del concreto en la estructura.

Los especímenes de compresión, son cilindros de 6plg de diámetro por 12plg de alto (aprox. 15cm por 30cm).

Procedimiento para la hechura de cilindros:

- Coloque el concreto en los moldes cilíndricos, utilizando mano de cuchara o cucharón, en tres capas, cada una de aproximadamente un tercio del volumen del molde. Para la capa final, coloque suficiente concreto para llenar el molde justo después de la compactación.
- Apisone cada capa, 25 veces, con la correspondiente barra de apisonamiento de punta redonda. Apisone la capa inferior en toda su totalidad. Distribuir los trazos de manera uniforme en toda la sección transversal del molde. Apisone las capas superiores con la varilla permitiendo penetrar en la capa subyacente alrededor de 1 pulgada.
- Después que cada capa es apisonada, golpee en la parte exterior del molde ligeramente 15 veces con el mazo.
- Por último rase la parte superior del molde.

Procedimiento para hechura de vigas:



- Coloque el concreto en los moldes de la viga, utilizando una cuchara. Rellene utilizando la cuchara y la barra de apisonamiento para que el molde no se llene por más de la mitad de la altura.
- Ya lleno el molde se apisona distribuidamente y se golpea el exterior con un martillo de goma.
- Por último se rasa el molde y se alisa la parte superior.

Para el curado de los cilindros y vigas, éstos deben de colocarse en una pila con agua y ser cubiertos en su totalidad con el líquido, o usando cualquier otro método que permita que los especímenes permanezcan húmedos, estando en dicha situación hasta el momento del ensayo.

**Figura 17. Concretera del Centro de investigaciones de Ingeniería en donde fue realizada la mezcla de concreto que contenía como agregado fino la escoria de mata de níquel.**



**Fuente.** Fotografía tomada por Luis Alvarez, CII, 2009.

**Figura 18. Moldes para cilindros según norma ASTM C 192 (Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory).**



**Fuente.** Fotografía tomada por Luis Alvarez, CII, 2009.

**Figura 19. Forma de colocación del concreto y apisonado dentro de los moldes cilíndricos normados.**



**Fuente.** Fotografía tomada por Luis Alvarez, CII, 2009.

**Figura 20. Vista del acabado final de los cilindros.**



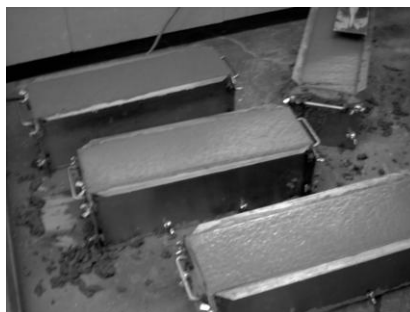
**Fuente.** Fotografía tomada por Luis Alvarez, CII, 2009.

**Figura 21. Moldes para vigas según norma ASTM C 192.**



**Fuente.** Fotografía tomada por Luis Alvarez, CII, 2009.

**Figura 22. Acabado final de vigas.**



**Fuente.** Fotografía tomada por Luis Alvarez, CII, 2009.

**Figura 23. Tanque de curado para cilindros y vigas de concreto.**



**Fuente.** Fotografía tomada por Luis Alvarez, CII, 2009.

**3.2.6. Método estándar de ensayo de resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto norma ASTM C 39/C 39M (Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens).**

Este método de ensayo trata sobre la determinación de la resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto, tales como cilindros moldeados y núcleos perforados. Se encuentra limitado al concreto que tiene un peso unitario mayor que 50 lb/ft<sup>3</sup> [800 kg/m<sup>3</sup>].

Consiste en aplicar una carga axial de compresión a los cilindros (moldeados o núcleos perforados) hasta que el fallo se produce. La resistencia a la compresión de la muestra se calcula dividiendo la carga máxima alcanzada durante la prueba por el área transversal del espécimen.

Procedimiento para la nivelación de cilindros:

- Preparar el mortero de azufre para la nivelación del testigo.
- Aplicar aceite al espécimen y al molde de nivelación.

- Añada el mortero de azufre fundido al molde y coloque el cilindro dentro, utilizando el dispositivo de guía de alineación de las barras, asegurando que el eje de la muestra es perpendicular a la placa. Las tapas de los extremos moldeados en la muestra deberá tener un espesor mínimo de  $1/8$  "(3 mm), pero menos de  $5/16$ " (8 mm).
- Después de que el mortero de azufre se ha fijado, sacar el cilindro de la placa del molde con un ligero movimiento de torsión.
- Repita este proceso, coronando ambos extremos de la muestra.
- Mantener la muestra en estado húmedo entre la terminación de la nivelación y el tiempo de la prueba.

Procedimiento para la aplicación de carga a compresión de probetas de concreto cilíndricos:

- Mantener la muestra en estado húmedo, hasta el momento de la prueba de compresión. Las pruebas de compresión se hacen tan pronto como sea posible después de la salida de almacén húmedo.
- Limpie las superficies de apoyo de la parte superior e inferior de la máquina de ensayo de compresión. También, limpie las tapas de extremo (hechas con azufre) de la muestra de ensayo.
- Centre la muestra en la parte inferior de la platina de la máquina de ensayo.
- Alinee con cuidado el eje de la muestra con el centro de empuje de la placa superior esférica.
- Aplicar la carga a una velocidad de 20 a 50 psi / s (140 a 350 libras / s) para cilindros de 3 "diámetro, de 250 a 630 libras / s para cilindros de 4" diámetro, 560 a 1400 kg / s para cilindros de 6 "de diámetro. El tiempo de la prueba hasta la ruptura para concretos de 3000 psi es de 1 a 2,5 minutos.

- Anotar la carga de ruptura.

Las pruebas deben de realizarse a cilindros a las edades de 3, 7 y 28 días. Los resultados de todos los datos generados se deben de representar en una gráfica, mostrando la resistencia a la compresión no confinada (eje Y) en función del tiempo en días (eje x). Para efectos de diseño de estructuras de concreto, la resistencia a 28 días nos da los resultados reales de esfuerzo de nuestra mezcla.

**Figura 24. Cilindros de concreto hechos con escoria de mata de níquel como agregado fino, bajo la norma ASTM C 39.**



**Fuente.** Fotografía tomada por Luis Alvarez, CII, 2009.

**Figura 25. Preparación y colocación del mortero de azufre para la nivelación del cilindro.**



**Fuente.** Fotografía tomada por Luis Alvarez, CII, 2009.

**Figura 26. Cilindros de concreto coronados con solución de azufre para su nivelación.**



**Fuente.** Fotografía tomada por Luis Alvarez, CII, 2009.

**Figura 27. Colocación y centrado de testigos en la máquina de compresión.**



**Fuente.** Fotografía tomada por Luis Alvarez, CII, 2009.

**Figura 28. Rotura de cilindro, la falla en el espécimen es el tipo cónica y transversal, presentada cuando las caras de aplicación de carga están ligeramente desviadas con respecto al eje de carga de la máquina.**



**Fuente.** Fotografía tomada por Luis Alvarez, CII, 2009.

### **3.2.7. Método de ensayo estándar de resistencia a flexión del concreto norma ASTM C 293 (Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete).**

Este método de prueba ASTM cubre la determinación de la resistencia a la flexión del concreto usando una viga simple con carga de tercer punto. Los resultados se calculan y con ellos se determina el módulo de ruptura. Se utiliza una viga normada de 15cm \* 15cm \* 50cm.

El procedimiento de ensayo es el siguiente:

- Colocar el espécimen en la máquina de ensayo sobre los apoyos.
- Centrar el espécimen en relación al punto de carga de la máquina que aplica la fuerza axial y con respecto a los apoyos.



- Tomar la medida de luz entre los apoyos.
- Aplicar la carga de manera continua a un ritmo que aumenta la tensión en la fibra extrema de 125 a 275 psi / minuto hasta que se produce la rotura.
- Calcular el módulo de ruptura, despreciando el peso de la viga.



## **4. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.**

La escoria de mata de níquel es un material pirometalúrgico fundido en altos hornos, sus características físicas son similares a las de un agregado fino pétreo, por esta razón, a la escoria se le realizaron ensayos de laboratorio que son sujetas a ensayos de agregados finos pétreos, con el fin de obtener parámetros de que si éste material según las normas ASTM aplicadas cumple con las especificaciones comparativas a un agregado fino pétreo, aclarando que la escoria de mata de níquel no es un material pétreo.

### **4.1. Escoria de mata de níquel como agregado fino.**

#### **4.1.1. Análisis químico.**

Según se describe a continuación, el agregado fino posee las siguientes características químicas

##### **4.1.1.1. Desgaste por sulfato de sodio o intemperismo acelerado norma ASTM C 88-83 (Standard test Method for Soundness of Aggregates by Use of Sodium or Magnesium Sulfate).**

Los resultados del ensayo (ver tabla IX), indica que la escoria de mata de níquel está expuesto a un desgaste referente a su graduación de un 5.74%, de un límite no mayor al 10% cuando se utiliza sulfato de sodio para el desgaste, en cualquier material pétreo, en este caso se realiza el ensayo comparativamente, pues no corresponde a la misma naturaleza que especifica la norma.

**Tabla IX. Porcentaje de desgaste según el ensayo de bondad o  
desgaste por sulfato de sodio.**

TAMAÑOS PASA                      RETENIDOS		Graduación por fracción	Antes de ensayo	Después de ensayo	% de Desgaste	Desgaste ref. a Graduación
No. 100 (149 mm)						
No. 50 (297 mm)	No. 100 (149 mm)	8.22	100.00	98.50	1.50	0.12
No. 30 (595 mm)	No. 50 (297 mm)	24.70	100.00	98.50	1.50	0.37
No. 16 (1.19 mm)	No. 30 (595 mm)	44.30	100.00	94.50	5.50	2.44
No. 8 (2.38 mm)	No. 16 (1.19 mm)	19.04	100.00	88.00	12.00	2.28
No. 4 (4.76 mm)	No. 8 (2.38 mm)	2.98	100.00	86.00	14.00	0.42
3/8" (9.52 mm)	No. 4 (4.76 mm)	0.76	-----	-----	14.00	0.11
TOTALES		100.00	500.00	-----	48.50	5.74

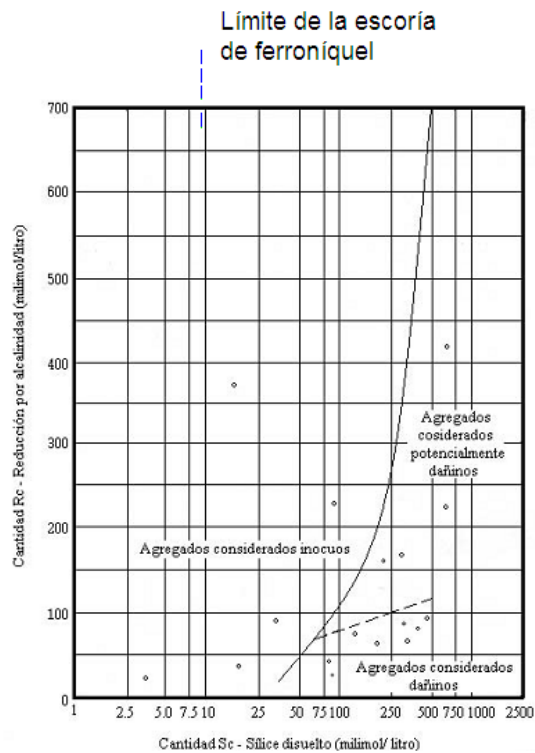
**4.1.1.2. Reactividad potencial norma ASTM C 289  
(Standard Test Method for Potential Alkali-Silica  
Reactivity of Aggregates).**

Este resultado se presenta en forma gráfica (figura 29), indicando la calidad del material. La escoria de mata de níquel resulta ser, según el análisis, un material inocuo (ver tabla X), es decir, un material que no posee minerales silícicos y no producirá reacciones dañinas con los álcalis del cemento portland, sin embargo, esta norma aclara que la información obtenida en este ensayo debe complementarse con un ensayo de composición química del material.

**Tabla X. Determinación de la Reactividad Potencial según Norma ASTM C 289.**

MUESTRA	Reduccion Alcalina (mmol/L)	Silice Disuelta (mmol/L)	RESULTADO
Escoria de Ferroniquel (Agregado Fino)	849,01±01	9,99	INOCUO

**Figura 29. División entre agregados inocuos y agregados nocivos en base a la prueba de la reducción de la alcalinidad.**



Fuente: Normas Americana para el ensayo de Materiales Vol.04.02 Pág. 164

#### 4.1.1.3. Composición química de la escoria de mata de níquel.

Este ensayo químico se realizó para determinar si hay componentes que puedan afectar el comportamiento del agregado en la mezcla de concreto, como por ejemplo lo que es el óxido de magnesio, el análisis químico se realizó en el Laboratorio de Química Industrial del Centro de Investigaciones de Ingeniería CII (ver anexo pág. 103).

**Tabla XI. Determinación de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO y MgO.**

MUESTRA	PARAMETRO ANALIZADO	RESULTADO %
Escoria de Ferroniquel	% Oxido de Hierro Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,85
	% Oxido de Aluminio Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<0,0024
	% Oxido de Calcio CaO	<0,001
	% Oxido de Magnesio MgO	<0,001

#### 4.1.1.4. Carbonatación.

La prueba de color de fenolftaleína aplicada a una pieza fracturada de viga de concreto a los 28 días, que contenía como agregado fino escoria de mata de níquel, presento un color morado (ver figura 30), estableciendo así según los parámetros que indica el ensayo, que el concreto no presenta carbonatación y por ende no reduce el pH manteniendo así, la alcalinidad del concreto y por supuesto la resistencia, clasificándolo como un buen concreto

**Figura 30. Resultados según la prueba de color de fenolftaleína aplicada a vigas de concreto fracturadas a los 28 días, que contienen como agregado fino escoria de mata de níquel.**



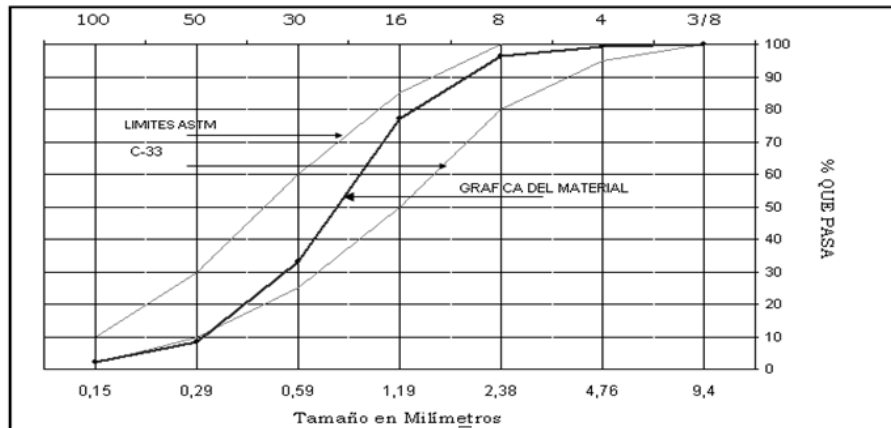
#### **4.1.2. Peso específico norma ASTM C 128-88.**

El peso específico es una característica propia de cada material, ésta sirve para la estimación de cantidad de material y en cálculos de proporcionamientos de mezcla. La escoria de mata de níquel presentó un peso específico (densidad) de 2.88 (ver anexo, pág. 100).

#### **4.1.3. Granulometría norma ASTM C 33-90 (Standard Specification for Concrete Aggregates).**

Según la norma ASTM C 33, los resultados de la granulometría de la escoria de mata de níquel (ver anexo, pág. 100) cumple en los tamices No. 4, No. 8, No. 16, No. 30 y No. 100, con respecto al tamiz No.50, este muestra un alto porcentaje de retenidos con respecto a los otros tamices, mostrando una presencia mayor de esta graduación, sin embargo no es significativo en los resultados (figura 31). Por lo tanto en general el agregado fino cumple con la característica de las especificaciones de la norma.

**Figura 31. Curva granulométrica de la escoria de mata de níquel.**



Además, se observa en el anexo (pág. 100), que el modulo de finura de la escoria de mata de níquel obtuvo un valor de 2.84, cumpliendo así, los límites inferior y superior de 2.3 y 3.1 respectivamente del material pétreo, colocándose dentro del rango y siendo clasificada como un agregado fino medio.

#### **4.1.4. Peso unitario norma ASTM C 129/C 29M-90 (Standard Test Method for Unit Weight and Voids in Aggregate).**

Los resultados de la prueba (ver anexo, pág. 100) indican que el peso unitario suelto de la escoria de mata de níquel es de  $1690.70 \text{ kg/m}^3$  y el peso unitario compactado es de  $1750.50 \text{ kg/m}^3$ , por lo que se clasifica como agregado fino de peso normal.



**4.1.5. Porcentaje de vacíos norma ASTM C 138-81 y C 231-89 (Standard Test Method for Unit Weight, Yield and Air Content (Gravimetric) of Concrete).**

El porcentaje de vacíos de la escoria de mata de níquel según el informe del anexo (pág. 100), está en un 39.21%, considerándose una cantidad aceptable ya que según especificaciones el porcentaje de vacíos de un agregado fino varía de un 40% a un 50%, ya que con un porcentaje mayor de vacíos aumenta la demanda de agua y de cemento.

**4.1.6. Porcentaje de absorción norma ASTM C 0127-88 (Test Method for Specific Gravity and Adsorption of Coarse Aggregate).**

La escoria de mata de níquel posee un porcentaje de absorción de aproximadamente 13.83% según lo establecido en el análisis de laboratorio (ver anexo, pág. 100). Los agregados finos tienen niveles de absorción que varían del 0.2% al 2%, teniendo como resultado que la escoria de mata de níquel posee un porcentaje alto de absorción. El agua que se añadirá para formar la pasta se ve afectada por el porcentaje de absorción y el contenido de humedad que posea el material al momento de ser utilizado, si un material se encuentra totalmente seco absorberá agua, disminuirá la relación agua/cemento y la trabajabilidad, en cambio sí, el material tiene humedad libre en su superficie aportará algo de esta agua a la pasta del concreto aumentando así la relación agua/cemento, la trabajabilidad y disminuyendo considerablemente la  $f'c$ .

**4.1.7. Tamiz 200 norma ASTM C 117-87 (Standard test Method for Materials Finer than 75- $\mu$ m (No. 200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing).**

El porcentaje de finos que pasa a través del tamiz 200 para la escoria de mata de níquel fue de 0.25 (ver anexo, pág. 100), por lo que cumple con los requisitos de la norma que especifica que los valores máximos oscilan entre un 2% o 3%.

**4.1.8. Materia orgánica norma ASTM C 33, C 87-83 y C 40-84 (Standard Specification for Concrete Aggregates).**

Los límites del contenido de materia orgánica se establecen en la tabla IV del capítulo 1, la escoria de mata de níquel presento según la escala del colorímetro una cantidad de materia orgánica de 0.0 (ver anexo, pág. 100), por lo que, se clasifica como una arena libre de contaminación orgánica, pues según norma el máximo permisible es el número 3.

**4.2. Concreto fresco.**

**4.2.1. Diseño de mezcla.**

Luego de realizar los análisis físicos, químicos y mecánicos, se pudo obtener la caracterización del material como agregado fino y con características estandarizadas que cumple con las propiedades de los agregados pétreos, para la elaboración de concretos, por lo que se realizo seguidamente los cálculos para dos diseños de concreto, con resistencias de; 3000 psi y de 4000 psi (ver

anexo, páginas 105, 107, 109 y 111). Dichas proporciones se encuentran a continuación:

**Tabla XII. Proporciones de los concretos según diseños hechos en el Centro de Investigaciones de Ingeniería (CII).**

<b>DISEÑOS DE LABORATORIO</b>			
<b>Ensayo</b>	<b>Diseño número 1 3000 psi</b>	<b>Diseño número 2 4000 psi con correcciones de agua</b>	<b>Diseño número 3 4000 psi</b>
Proporción (Cemento: Arena: pedrín: agua )	1:2.16:2.35:0.66	1:1.84:2:0.58	1:1.84:2:0.50

La tabla XII indica que se realizaron tres diseños de mezcla:

- Diseño número 1: concreto diseñado con un  $f'c$  de 3000 psi.
- Diseño número 2: concreto diseñado con un  $f'c$  de 4000 psi (con correcciones de agua).
- Diseño número 3: concreto diseñado con un  $f'c$  de 4000 psi.

Los diseños número 1 y número 3, pertenecen a las proporciones obtenidas de cálculos teóricos en base a las propiedades de los agregados, en tanto, el diseño número 2 pertenece a una proporción teórica pero con correcciones de agua en laboratorio, dado que, al momento del ensayo de asentamiento no cumplió especificaciones.

#### **4.2.2. Asentamiento.**

Los asentamientos presentados en el diseño se muestran en la tabla XIII y en el informe de laboratorio del anexo (pág. 105).

**Tabla XIII. Asentamientos obtenidos para las diferentes resistencias en los diseños de mezcla.**

<b>DISEÑOS DE LABORATORIO</b>			
<b>Ensayo</b>	<b>Diseño número 1 3000 psi</b>	<b>Diseño número 2 4000 psi con correcciones de agua</b>	<b>Diseño número 3 4000 psi</b>
Proporción (Cemento: Arena: pedrín: agua )	1:2.16:2.35:0.66	1:1.84:2:0.58	1:1.84:2:0.50
Asentamiento (cm.)	8.0	10.0	9.0

Debido a que es un concreto estructural, éste se diseña con un fin de uso y de servicio, la prueba de asentamiento proporciona los parámetros para determinar la resistencia que tendrá el concreto. Según la tabla VIII de asentamientos usuales, los concretos diseñados tienen aplicación en casi la mayoría de tipos de construcción excepto para pavimentos y construcciones masivas.

#### **4.2.3. Contenido de aire.**

Los contenidos de aire que presentaron las mezclas según el informe de laboratorio (ver anexo, pág. 105) son los siguientes:

**Tabla XIV. Contenido de aire en las mezclas de concreto.**

<b>DISEÑOS DE LABORATORIO</b>			
<b>Ensayo</b>	<b>Diseño número 1 3000 psi</b>	<b>Diseño número 2 4000 psi con correcciones de agua</b>	<b>Diseño número 3 4000 psi</b>
Proporción (Cemento: Arena: pedrín: agua )	1:2.16:2.35:0.66	1:1.84:2:0.58	1:1.84:2:0.50
Porcentaje de Aire (%)	2.5	3.0	3.5

#### **4.2.4. Masa unitaria.**

El peso unitario de la mezcla de concreto con escoria de mata de níquel presenta para cada resistencia los siguientes resultados:

**Tabla XV. Peso unitario obtenido en los diseños de mezcla.**

<b>DISEÑOS DE LABORATORIO</b>			
<b>Ensayo</b>	<b>Diseño número 1 3000 psi</b>	<b>Diseño número 2 4000 psi con correcciones de agua</b>	<b>Diseño número 3 4000 psi</b>
Proporción (Cemento: Arena: pedrín: agua )	1:2.16:2.35:0.66	1:1.84:2:0.58	1:1.84:2:0.50
Peso Unitario (Kg./m <sup>3</sup> )	2335.7	2292.85	2307.14

Con los resultados obtenidos, los tres diseños demuestran que la mezcla de concreto con escoria de mata de níquel en su agregado fino posee la consistencia de un concreto normal, siendo caracterizado como tal.

#### 4.2.5. Velocidad de endurecimiento.

La velocidad de endurecimiento que presentaron las mezclas son las siguientes (ver informe en anexo, pág. 105):

**Tabla XVI. Velocidad de endurecimiento del concreto con escoria de mata de níquel como agregado fino.**

DISEÑOS DE LABORATORIO						
Ensayo	Diseño número 1 3000 psi		Diseño número 2 4000 psi con correcciones de agua		Diseño número 3 4000 psi	
Proporción (Cemento: Arena: pedrín: agua )	1:2.16:2.35:0.66		1:1.84:2:0.58		1:1.84:2:0.50	
Velocidad de Endurecimiento	Fraguado Inicial:	473.79 minutos	Fraguado Inicial:	202.38 minutos	Fraguado Inicial:	278.92 minutos
	Fraguado Final	> 8 hrs.	Fraguado Final	429.41 minutos	Fraguado Final	> 8 hrs

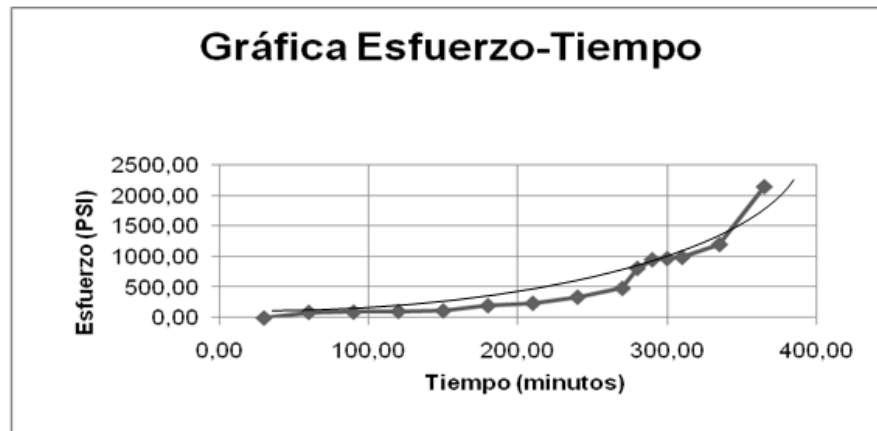
Estos resultados se obtienen de las siguientes tabulaciones de datos:

Diseño número 1, concreto de 3000 psi.

**Tabla XVII. Datos tabulados de la velocidad de endurecimiento  
concreto de 3000psi.**

HORA DE MEZCLADO				12:25
Hora	Minutos ac.	Area (Pulg <sup>2</sup> )	P (lb)	Esfuerzo (PSI)
12:55	30.00	0	0.00	0.00 PSI
13:25	60.00	1	85.00	85.00 PSI
13:55	90.00	1	106.00	106.00 PSI
14:25	120.00	1	120.00	120.00 PSI
14:55	150.00	1/2	90.00	180.00 PSI
15:25	180.00	1/2	100.00	200.00 PSI
15:55	210.00	1/2	120.00	240.00 PSI
16:25	240.00	1/4	87.00	348.00 PSI
16:40	255.00	1/4	100.00	400.00 PSI
16:55	270.00	1/4	105.00	420.00 PSI
17:10	285.00	1/4	110.00	440.00 PSI
17:25	300.00	1/4	124.00	496.00 PSI
17:35	310.00	1/4	132.00	528.00 PSI
17:50	325.00	1/10	93.00	930.00 PSI
18:10	345.00	1/10	101.00	1010.00 PSI
18:35	370.00	1/10	112.00	1120.00 PSI
18:55	390.00	1/10	116.00	1160.00 PSI

**Figura 32. Gráfica del comportamiento de la velocidad de  
endurecimiento de concreto de 3000psi.**



Diseño número 2. Concreto de 4000 psi, con correcciones en la proporción de agua/cemento.

**Tabla XVIII. Datos tabulados de la velocidad de endurecimiento, concreto de 4000psi con correcciones en la proporción agua/cemento.**

HORA DE MEZCLADO		12:00		
Hora	Minutos ac.	Área (Pulg <sup>2</sup> )	P (lb)	Esfuerzo (PSI)
12:30	30.00	1	0.00	0.00 PSI
13:00	60.00	1	0.00	0.00 PSI
13:45	105.00	1	14.00	14.00 PSI
14:15	135.00	1	45.00	45.00 PSI
14:45	165.00	1	60.00	60.00 PSI
15:15	195.00	1/2	70.00	140.00 PSI
15:45	225.00	1/4	73.00	292.00 PSI
16:15	255.00	1/10	63.00	630.00 PSI
16:45	285.00	1/10	78.00	780.00 PSI
17:15	315.00	1/10	98.00	980.00 PSI
17:45	345.00	1/20	98.00	1960.00 PSI
18:15	375.00	1/39	80.00	3143.80 PSI

**Figura 33. Gráfica del comportamiento de la velocidad de endurecimiento de concreto de 4000psi con correcciones en la proporción agua/cemento.**



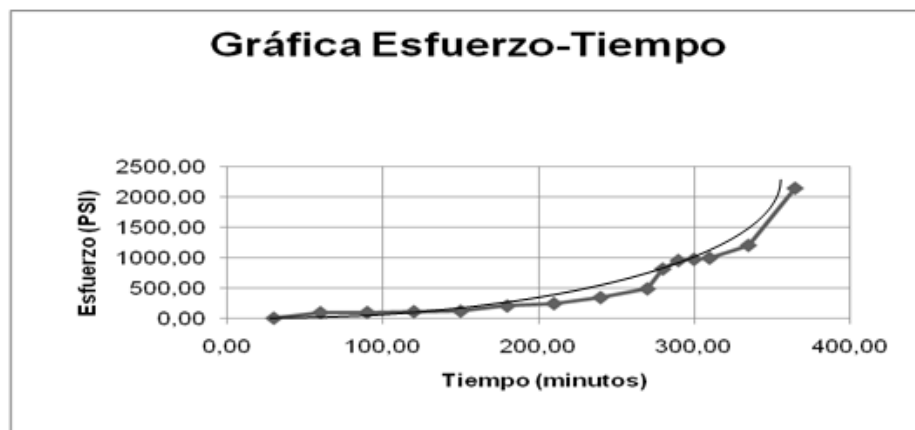


Diseño número 3. Concreto de 4000 psi.

**Tabla XIX. Datos tabulados de la velocidad de endurecimiento  
concreto de 4000psi**

HORA DE MEZCLADO		11:25		
Hora	Minutos ac.	Area (Pulg <sup>2</sup> )	P (lb)	Esfuerzo (PSI)
11:55	30.00	1	0.00	0.00 PSI
12:25	60.00	1	92.00	92.00 PSI
12:55	90.00	1	95.00	95.00 PSI
13:25	120.00	1	107.00	107.00 PSI
13:55	150.00	1	116.00	116.00 PSI
14:25	180.00	1/2	100.00	200.00 PSI
14:55	210.00	1/2	120.00	240.00 PSI
15:25	240.00	1/4	85.00	340.00 PSI
15:55	270.00	1/4	121.00	484.00 PSI
16:05	280.00	1/10	81.00	810.00 PSI
16:15	290.00	1/10	95.00	950.00 PSI
16:25	300.00	1/10	97.00	970.00 PSI
16:35	310.00	1/10	99.00	990.00 PSI
17:00	335.00	1/10	120.00	1200.00 PSI
17:30	365.00	1/20	107.00	2140.00 PSI

**Figura 34. Gráfica del comportamiento de la velocidad de endurecimiento de concreto de 4000psi.**



La importancia de la velocidad de endurecimiento tiene su principal enfoque en el control del fraguado en obra para el desencoframiento de elementos en un tiempo adecuado de fraguado.

### 4.3. Concreto endurecido.

#### 4.3.1. Resistencia a compresión.

El análisis del  $f'c$  del concreto se basa en el ensayo a compresión de tres cilindros normados, a las edades de 3, 7 y 28 días (ver anexo, páginas 108, 110 y 112). A continuación se presentan las tablas con los datos tabulados en laboratorio así como las resistencias respectivas.

**Tabla XX. Datos tabulados de los cilindros hechos en el laboratorio a las diferentes edades para el concreto de 3000psi.**

Cilindro de obra	Edad en días	Peso	Diámetro 1 (cm)	Diámetro 2 (cm)	Diámetro 3 (cm)	Carga compresiva (lb)	Diámetro promedio	Esfuerzo kg/cm <sup>2</sup>	Esfuerzo PSI	Promedio del esfuerzo PSI
1	3	13.393	15.140	15.130	15.050	37500	15.107	94.90	1349.81	1989.63
2	3	13.673	15.520	15.550	15.280	47500	15.450	114.93	1634.61	
3	3	13.467	15.110	15.170	15.200	47500	15.160	119.36	1697.75	
4	7	13.727	15.020	15.140	15.150	67500	15.103	170.90	2430.72	2636.21
5	7	13.275	15.160	15.220	15.270	80000	15.217	199.54	2838.11	
6	7	13.290	15.060	15.140	15.170	73500	15.123	185.60	2639.79	
7	28	13.260	15.070	15.140	15.170	95000	15.127	239.78	3410.47	3221.09
8	28	13.950	15.220	15.220	15.220	90000	15.220	224.38	3191.47	
9	28	13.400	15.100	15.140	15.200	85500	15.147	215.23	3061.33	

**Tabla XXI. Datos tabulados de los cilindros hechos en el laboratorio a las diferentes edades para el concreto de 4000psi con correcciones de agua.**

Cilindro de obra	Edad en días	Peso	Diámetro1 (cm)	Diámetro2 (cm)	Diámetro3 (cm)	Carga compresiva (lb)	Diámetro promedio	Esfuerzo kg/cm <sup>2</sup>	Esfuerzo PSI	Promedio del esfuerzo PSI
1	3	13.266	15.190	15.160	15.150	42500	15.167	106.71	1517.70	1843.48
2	3	13.342	15.160	15.180	15.100	55000	15.147	138.46	1969.27	
3	3	13.328	15.150	15.200	15.260	57500	15.203	143.67	2043.47	
4	7	13.457	15.230	15.260	15.270	65000	15.253	161.35	2294.89	2282.80
5	7	13.519	15.080	15.120	15.220	75000	15.140	188.97	2687.74	
6	7	13.373	15.180	15.210	15.220	52500	15.203	131.18	1865.78	
7	28	13.415	15.070	15.090	15.100	92500	15.087	234.71	3338.36	3484.45
8	28	13.340	15.100	15.100	15.100	98500	15.100	249.50	3548.62	
9	28	13.040	15.200	15.190	15.140	100000	15.177	250.74	3566.36	

**Tabla XXII. Datos tabulados de los cilindros hechos en el laboratorio a las diferentes edades para el concreto de 4000psi.**

Cilindro de obra	Edad en días	Peso	Diámetro1 (cm)	Diámetro2 (cm)	Diámetro3 (cm)	Carga compresiva (lb)	Diámetro promedio	Esfuerzo kg/cm <sup>2</sup>	Esfuerzo PSI	Promedio del esfuerzo PSI
1	3	13.230	15.150	15.090	15.150	59000	15.130	148.85	2117.15	2166.58
2	3	13.420	15.050	15.130	15.160	60000	15.113	151.71	2157.79	
3	3	13.330	15.110	15.180	15.100	62000	15.130	156.42	2224.80	
4	7	13.328	15.140	15.220	15.220	72500	15.193	181.39	2579.94	2555.92
5	7	13.410	15.100	15.190	15.090	72000	15.127	181.73	2584.78	
6	7	13.344	15.140	15.210	15.120	70000	15.157	175.98	2503.04	
7	29	13.420	15.270	15.230	15.290	117500	15.263	291.29	4143.02	4196.12
8	29	13.393	15.040	15.100	15.160	115000	15.100	291.29	4143.06	
9	29	13.340	15.160	15.130	15.120	120000	15.137	302.48	4302.28	

El código de construcción ACI 318 indica que la resistencia de un determinado concreto se considera satisfactoria si cumple con los siguientes requisitos:

- Cada promedio aritmético de tres ensayos de resistencia consecutivos a cilindros de concreto es igual o superior al  $f'_c$  de diseño.
- Ningún resultado individual del ensayo de resistencia (promedio dos cilindros) es menor que el esfuerzo de compresión  $f'_c$  por más de 35  $\text{kg/cm}^2$  (497.7psi) cuando el  $f'_c$  es de 350  $\text{kg/cm}^2$  (aprox. 5000 psi) o menor o por más de  $0.10f'_c$  cuando la  $f'_c$  es mayor a 350  $\text{kg/cm}^2$  (aprox. 5000 psi).

Con estas indicaciones se comparan los resultados de las resistencias a los 28 días de los testigos tabulados en las tablas XX, XXI y XXII, obteniendo que tanto el diseño número 1 y número 3 cumplen con los lineamientos del código ACI 318.

En cambio, el diseño número 2 no siguió los requerimientos que establece el código ACI, observando que a los 3 y 7 días de ensayo no cumplió con los porcentajes aproximados del 50% del  $f'_c$  y del 75% del  $f'_c$  respectivamente.

#### **4.3.2. Resistencia a flexión.**

El módulo de ruptura para el concreto con escoria de mata de níquel como agregado fino fue calculado para tres vigas a flexión con resistencias de 4000 psi (viga 1, del diseño de mezcla 3), y dos con resistencias de 3000 psi (viga 2 y viga 3, del diseño de mezcla 1). El diseño de mezcla 2 no fue utilizado para realizarle el ensayo a flexión ya que no cumplió con la resistencia de diseño según lo indicó su ensayo a compresión (ver anexo, pág. 107).

El módulo de ruptura es cerca del 10% al 20% del valor de la resistencia a compresión del concreto, todo esto depende del tipo, dimensiones y volumen del agregado grueso utilizado.

El código ACI, en base a cientos de pruebas proporciona un módulo de ruptura igual  $2\sqrt{f'c}$  con  $f'c$  en  $\text{kg/cm}^2$

La tabla XXIII muestra los resultados obtenidos en laboratorio para el modulo de ruptura del concreto con escoria de mata de níquel como agregado fino.

**Tabla XXIII. Valor del módulo de ruptura, según ensayo de flexión en vigas de concreto norma ASTM C293.**

Elemento	Edad (días)	Largo (cm) (promedio)	Base (cm) (promedio)	Altura (cm) (promedio)	Carga (Kg)	Modulo de ruptura ( $\text{kg/cm}^2$ )
Viga 1 (4000 psi)	28	53.83	15.33	15.3	3600	65.46
Viga 2 (3000 psi)	28	53.13	15.2	15.33	2600	47.49
Viga 3 (3000 psi)	28	53.27	15.37	15.43	2900	51.71

Según los resultados obtenidos y con la comparación de los parámetros que establece al ACI y el porcentaje aproximado del módulo de ruptura según el  $f'c$ , las tres vigas cumplen con las especificaciones de módulo de ruptura de concreto de peso normal, estando su valor un poco más arriba del límite inferior.

## **5. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL USO DE LA ESCORIA DE MATA DE NÍQUEL**

Las ventajas y desventajas en el uso de la escoria de mata de níquel son establecidas conforme a la experiencia obtenida en la manipulación del material en el laboratorio. Otro es dirigido a un enfoque en la preservación natural del lugar.

### **5.1. Ventajas.**

Las ventajas en el uso de la escoria de mata de níquel son las siguientes:

- Eliminar eventualmente el depósito de la escoria de mata de níquel, y con su utilización mitigar un excesivo almacenaje en el futuro, contribuyendo con la conservación del medio ambiente.
- Presento características similares a las de un agregado fino pétreo en un periodo de 28 días, no teniendo así datos para períodos mayores de tiempo. Su utilización podría mitigar la explotación exagerada de los recursos naturales, y evitar así, el desperdicio de un material alternativo en la construcción.
- Mecánicamente la escoria no presento en los ensayos realizados resultados distantes en comparación a un agregado fino pétreo, cumpliendo así con los requisitos necesarios de las normas aplicadas.
- Comparativamente con un material pétreo la escoria de mata de níquel según el análisis químico presenta características de ser un material inocuo, no posee un porcentaje alto de desgaste y en combinación con el concreto no altera la carbonatación del compuesto.
- El diseño de mezcla de un concreto con escoria de mata de níquel puede ser realizado de la misma manera como se diseña un concreto con

agregado fino pétreo, obteniendo en un periodo de 28 días la resistencia  $f'c$  requerida.

## **5.2. Desventajas.**

Las desventajas del uso de la escoria de mata de níquel se presentan a continuación:

- La ubicación del banco de material podría elevar los costos por el traslado a las diferentes regiones del país.
- El control del agua libre, en la mezcla debe ser estricto, debido a que es un material muy absorbente y podría llevar a la alteración de la relación agua-cemento del diseño.



## CONCLUSIONES

1. El análisis químico de la escoria de mata de níquel demostró la compatibilidad con el concreto siendo este un material inocuo, y que no posee reacciones álcali – sílice dañina al cemento, el desgaste a sulfato de sodio se encuentra dentro del rango permisible de aceptación, según el análisis del color de fenolftaleína aplicado a la edad mínima de 28 días, el concreto con escoria de mata de níquel no posee carbonatación, por lo cual, la alcalinidad es idónea ya que no reduce y mantiene el pH necesario para la protección del acero, cuando el concreto sea utilizado en un concreto estructural.
2. De acuerdo a la caracterización de la escoria de mata de níquel, se pudo obtener la dosificación de material en la fabricación de concreto estructural, considerándose como un material pétreo, regido por las normas ASTM.
3. La escoria de mata de níquel cumple con los requisitos establecidos (normas aplicadas a materiales pétreos) por la norma ASTM C 33, que indica la aceptación tanto en su graduación (granulometría), su módulo de finura la clasifica como un agregado de clase media, el contenido de materia orgánica presento resultados excelentes, bajo las condiciones de la norma ASTM C 129 también es clasificado como un agregado fino medio, posee un porcentaje mínimo de partículas finas según la norma ASTM C 117, por lo que posee las características aptas de ser un agregado fino.

4. El concreto fue diseñado para dos tipos de resistencias, una de 3000 psi y otra de 4000 psi, el asentamiento que se obtuvo en las pruebas para los tres ensayos en concreto fresco son aceptables para su utilización en elementos estructurales de una edificación, sin embargo son rechazados para su uso en pavimentos y construcciones masivas. El concreto es clasificado como un concreto de peso unitario normal. La utilización de la escoria de mata de níquel como agregado fino en el concreto tuvo los mismos resultados en el ensayo de compresión en comparación a un agregado pétreo, ya que, el  $f'_c$  de diseño se obtuvo con gran satisfacción, sin variantes en la resistencia.

## RECOMENDACIONES

1. Realizar una extracción del material, en la parte profunda del banco, para determinar las condiciones de oxidación posible, debido a la permanencia y exposición a la intemperie.
2. Utilizar equipo de seguridad, como se utiliza en todo ensayo de laboratorio para la protección de las vías respiratorias y para la protección de los ojos en el momento de su manipulación.
3. Determinar los posibles efectos dañinos para la salud si en dado caso existiera, tanto en la manipulación como en la utilización a largo plazo de la escoria de mata de níquel.
4. Analizar las condiciones de la escoria de mata de níquel, en el uso, de las diferentes áreas y elementos de la construcción.
5. Evaluar el comportamiento de mezclas de concreto a través del tiempo, se considera importante hacer evaluaciones para edades de uso a tres años, principalmente para determinar aspectos deletéreos.



## BIBLIOGRAFÍA

1. **American Society for Testing and Materials. Annual Book of ASTM Standards.** Volumen 04.02. EEUU. 1990.
2. Mendoza Camey, Victor Gabriel Rolando. Evaluación de la calidad de agregados para concreto, en el departamento de Totonicapán. Trabajo de graduación Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2008.
3. Soto Solares, Ricardo Enrique. Evaluación y análisis de mezcla de concreto, elaboradas con agregados de origen pétreo (canto rodado y trituración) y escoria de acería. Trabajo de graduación Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2008.
4. Salguero Girón, Raúl Armando. Examen de calidad de agregados para concreto de dos bancos en la ciudad de Quetzaltenango. Trabajo de graduación Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2004.
5. García Makepeace, Ana Lucrecia. Evaluación de calidad de los agregados en el departamento de Huehuetenango para su utilización en la producción de concreto. Trabajo de graduación Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2006.
6. Luna Aroche, Julio Roberto; Salguero Girón, Raúl Armando. Estudios de calidad de agregados para concreto aplicando las

normas ASTM C-33, C-131, C-295 y C-289 (presentación de casos). Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2004.

7. Kosmatka, Steven H.; Kerkhoff, Beatrix; Panarese, William C.; y Tanesi, Jussara. **Diseño y Control de Mezclas de Concreto**. Portland Cement Association. Skokie, Illinois, EEUU, 2004.
8. Ordoñez, Gabriel; Ayala, Virgilio. **Materiales de Construcción**. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2006.
9. Ordoñez, Gabriel; Mejicanos, Dilma; Alvarado, Paulino. **Manual de Laboratorio del Curso de Materiales de Construcción**. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2002
10. American Concrete Institute. **Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural y Comentario (ACI 318S-05)**. Comité 318. EEUU, 2005.
11. McCormac, Jack C. **Diseño de Concreto Reforzado**, cuarta edición, Alfaomega. Clemson University, EEUU.
12. Revista Conmemorativa CESEM 25 Años, USAC 2008.
13. **Características del concreto**.  
<http://elconcreto.blogspot.com/2009/05/caracteristicas-del-concreto.html>, septiembre, 2009.

**14. Influencia de los agregado pétreos en las propiedades del concreto fresco.**

<http://www.ingenieria.uady.mx/revista/volumen7/influencia.pdf>,  
septiembre, 2009.

**15. Por qué se presenta la segregación.**

[http://www.gcc.com/opencms/opencms/portal/esp/productos\\_servicios/Preguntas\\_frecuentes/Pregunta\\_doce.html](http://www.gcc.com/opencms/opencms/portal/esp/productos_servicios/Preguntas_frecuentes/Pregunta_doce.html),  
septiembre, 2009.

**16. Debilidad superficial en losas de hormigón (exudación).**

<http://www.arqcon.com.ar/pprof/Lnegra/ppdebilidad.htm>,  
septiembre, 2009.

**17. Influencia del calor sobre la hidratación.**

<http://www.imcyc.com/revista/2001/abril2001/colado.htm>,  
septiembre 2009.

**18. Permeabilidad y hermeticidad del concreto.**

<http://www.arqhys.com/permeabilidad-concreto.html>,  
septiembre, 2009.

**19. Modulo de ruptura del concreto.**

[http://www.nrmca.org/aboutconcrete/cips/CIP\\_16\\_ES.pdf](http://www.nrmca.org/aboutconcrete/cips/CIP_16_ES.pdf),  
septiembre, 2009.

**20. Carbonatación del concreto.**

[http://misterfont.com/pat/index2.php?option=com\\_content&do\\_pdf=1&id=98](http://misterfont.com/pat/index2.php?option=com_content&do_pdf=1&id=98);visitado, septiembre, 2009.





## **ANEXOS.**

Informes originales de los análisis realizados en el Centro de Investigaciones de Ingeniería (CII), a los agregados, al concreto fresco y al concreto endurecido.



# REACTIVIDAD POTENCIAL (ESCORIA Y AGREGADO GRUESO)



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



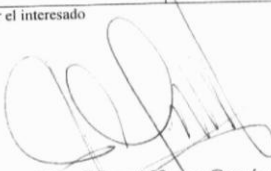
O.T. No 25114  
No. Informe Lab. 25-09

Interesado: Luis Mariano Álvarez Muralles  
Muestra: 2 muestras de agregado un fino y un grueso  
Fecha: Guatemala, 3 de junio de 2009

Determinación de la Reactividad Potencial de agregados según la norma ASTM C-289.

Muestra*	Reducción Alcalina (mmol/L)	Sílice Disuelta (mmol/L)	RESULTADO
Agregado de 3/8'' (Agregado Grueso)	824.76 ±0.11	6.66	INOCUO
Escoria de Ferróniquel (Agregado Fino)	849.01±01	9.99	INOCUO

\* Muestra proporcionada por el interesado

  
 Ing. César Alfonso García Guerra  
 Jefe  
 Sección Química Industrial -CII-



  
 Vo.Bo. Inga. Telma Maricela Cano Morales  
 Directora  
 Centro de Investigaciones de Ingeniería CII/USAC



# REACTIVIDAD POTENCIAL GRÁFICA.



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
 FACULTAD DE INGENIERIA  
 UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

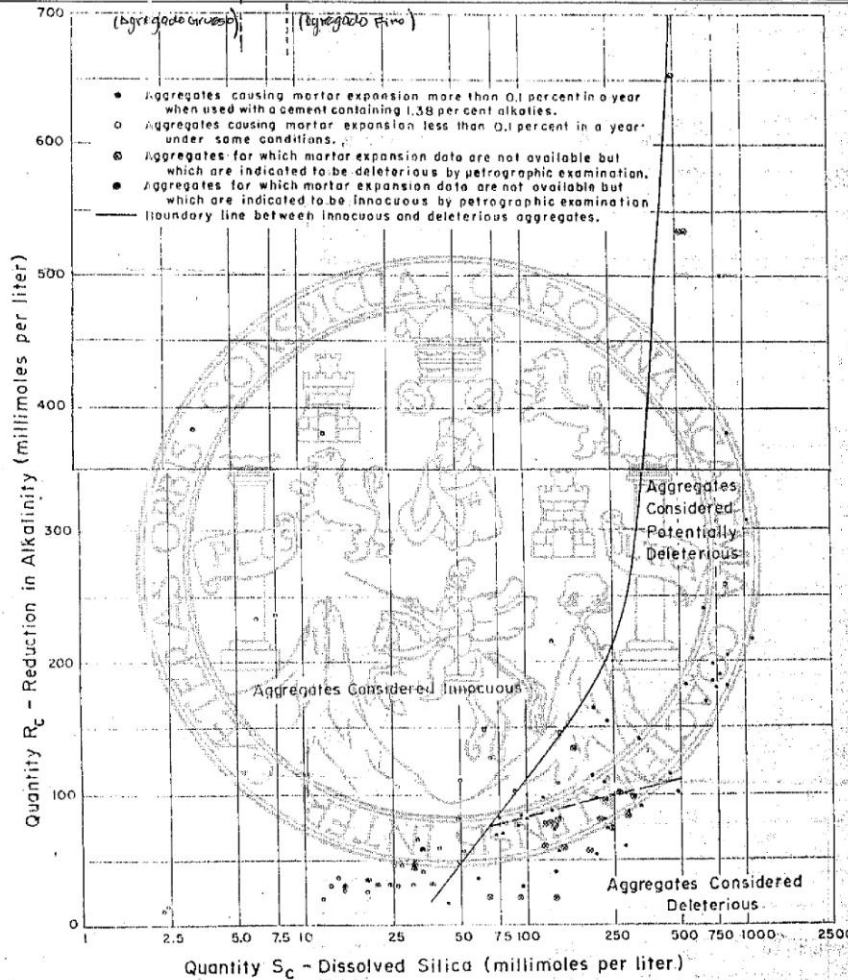


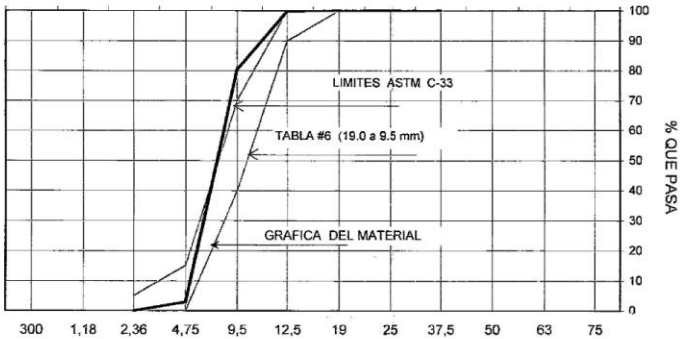


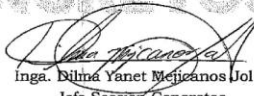




FIG. 2 Illustration of Division Between Innocuous and Deleterious Aggregates on Basis of Reduction in Alkalinity Test



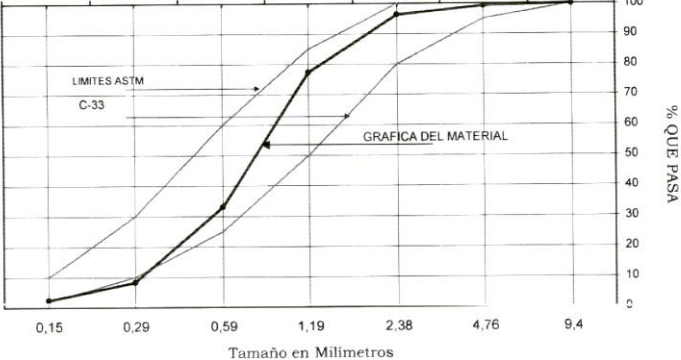

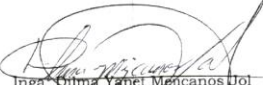


FACULTAD DE INGENIERIA -USAC  
 Edificio T-S, Ciudad Universitaria zona 12  
 Teléfono directo 2476-3992. Planta 2443-9500 Ext. 1502. FAX: 2476-3993  
 Página web: <http://ci.usac.edu.gt>

# ANÁLISIS COMPLETO

## AGREGADO GRUESO

<b>AGREGADO GRUESO PARA CONCRETO</b>		 <b>UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA</b> CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA																					
<b>INTERESADO:</b>		<b>INFORME No.</b>		<b>PROYECTO:</b>																			
Luis Mariano Alvarez Murrallas Carnè No. 200412467		S.C. -425		Trabajo de Graduación "Evaluación de escoria de ferroniquel como agregado fino para concreto"																			
		<b>Muestra:</b>	<b>Fecha:</b>	<b>O.T. No.</b>	<b>Lab.</b>																		
		Agregado Grueso	18/05/2009	25115	Concretos																		
<b>CARACTERISTICAS FISICAS:</b>		<table border="1"> <tr> <td>Peso Especifico</td> <td>2,69</td> </tr> <tr> <td>Peso Unitario (kg/m<sup>3</sup>)</td> <td>1506,33</td> </tr> <tr> <td>Peso Unitario Suelto (kg/m<sup>3</sup>)</td> <td>1415,29</td> </tr> <tr> <td>Porcentaje de Vacios</td> <td>44,03</td> </tr> <tr> <td>Porcentaje de Absorcion</td> <td>1,21</td> </tr> <tr> <td>% tamiz 200</td> <td>0,54</td> </tr> <tr> <td>% Desgaste por Sulfato de Sodio</td> <td>-----</td> </tr> <tr> <td>% Desgaste por Abrasión</td> <td>-----</td> </tr> <tr> <td>% Particulas Planas y alargadas</td> <td>-----</td> </tr> </table>				Peso Especifico	2,69	Peso Unitario (kg/m <sup>3</sup> )	1506,33	Peso Unitario Suelto (kg/m <sup>3</sup> )	1415,29	Porcentaje de Vacios	44,03	Porcentaje de Absorcion	1,21	% tamiz 200	0,54	% Desgaste por Sulfato de Sodio	-----	% Desgaste por Abrasión	-----	% Particulas Planas y alargadas	-----
Peso Especifico	2,69																						
Peso Unitario (kg/m <sup>3</sup> )	1506,33																						
Peso Unitario Suelto (kg/m <sup>3</sup> )	1415,29																						
Porcentaje de Vacios	44,03																						
Porcentaje de Absorcion	1,21																						
% tamiz 200	0,54																						
% Desgaste por Sulfato de Sodio	-----																						
% Desgaste por Abrasión	-----																						
% Particulas Planas y alargadas	-----																						
		<table border="1"> <tr> <td>No.50</td> <td>No.16</td> <td>No. 8</td> <td>No.4</td> <td>3/8"</td> <td>1/2"</td> <td>3/4"</td> <td>1"</td> <td>1 1/2"</td> <td>2"</td> <td>2 1/2"</td> <td>3"</td> </tr> </table>				No.50	No.16	No. 8	No.4	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"						
No.50	No.16	No. 8	No.4	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"												
																							
<b>OBSERVACIONES:</b>		<table border="1"> <tr> <td>Tamiz No.</td> <td>1"</td> <td>3/4"</td> <td>1/2"</td> <td>3/8"</td> <td>No.4</td> <td>No.8</td> <td>No.16</td> </tr> <tr> <td>% Que pasa</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>99,79</td> <td>80,26</td> <td>2,80</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> </tr> </table>				Tamiz No.	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No.4	No.8	No.16	% Que pasa	100,00	100,00	99,79	80,26	2,80	0,00	0,00		
Tamiz No.	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No.4	No.8	No.16																
% Que pasa	100,00	100,00	99,79	80,26	2,80	0,00	0,00																
*Muestra proporcionada por el Interesado.																							
Vo.Bo.  Inga. Teima Marcela Cano Morales DIRECTORA CII/USAC				 Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol Jefa Sección Concretos																			
																							
																							

# AGREGADO FINO

AGREGADO FINO PARA CONCRETO		 <b>UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA</b> <b>CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA</b>																			
INTERESADO:		INFORME No.		PROYECTO:																	
Luis Mariano Alvarez Murrallas Carné No 200412467		S.C. - 426		Trabajo de Graduación " Evaluación de escoria de ferroniquel como agregado fino para concreto"																	
		MUESTRA:	FECHA:	O.T. No.	LAB.:																
		Agregado Fino	18/05/2009	25115	Concretos																
CARACTERISTICAS FISICAS:		<table border="1"> <tr> <td>100</td> <td>50</td> <td>30</td> <td>16</td> <td>8</td> <td>4</td> <td>3/8</td> </tr> </table>				100	50	30	16	8	4	3/8									
100	50	30	16	8	4	3/8															
Peso Especifico	2,88																				
Peso Unitario (kg/m <sup>3</sup> )	1750,50																				
Peso Unitario Suelto (kg/m <sup>3</sup> )	1690,70																				
Porcentaje de Vacíos	39,21																				
Porcentaje de Absorción	13,83																				
Contenido de Materia Orgánica	0,00																				
% Retenido en Tamiz 6.35	0,88																				
% que pasa Tamiz 200	0,25																				
Modulo de Finura	2,84	<table border="1"> <tr> <td>Tamiz No.</td> <td>9,40</td> <td>4,76</td> <td>2,38</td> <td>1,19</td> <td>0,59</td> <td>0,29</td> <td>0,15</td> </tr> <tr> <td>% Que pasa</td> <td>100,00</td> <td>99,24</td> <td>96,26</td> <td>77,22</td> <td>32,92</td> <td>8,22</td> <td>2,33</td> </tr> </table>				Tamiz No.	9,40	4,76	2,38	1,19	0,59	0,29	0,15	% Que pasa	100,00	99,24	96,26	77,22	32,92	8,22	2,33
Tamiz No.	9,40	4,76	2,38	1,19	0,59	0,29	0,15														
% Que pasa	100,00	99,24	96,26	77,22	32,92	8,22	2,33														
OBSERVACIONES:																					
a) Muestra proporcionada por el interesado.																					
b) Muestra procedente, El Estor Izabal CGN																					
c) Contenido de Material Organico permisible No.3																					
Vo.Bo.		 Inga. Telma Maricela Cano Morales DIRECTORA CII/USAC		 Inga. Dilma Yanel Mejicanos Jol Jefa Sección de Concretos																	
																					

# ENSAYO DE BONDAD

## AGREGADO GRUESO



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Nº 006964

INFORME No. SC - 478

O.T. No. 25116

**INTERESADO:** Luis Mariano Alvarez Muralles Carne No. 200412467

**ASUNTO:** Ensayo de bondad en agregado fino

Material: Agregado Grueso

Proyecto: Trabajo de Graduación "Evaluación de la Escoria de ferroniquel como agregado fino para Concreto"

Procedencia: El Estor, Izabal (CGN)

Solución utilizada: Sulfato de Sodio

**FECHA:** 3 de junio de 2009

PASA	TAMAÑOS RETENIDOS	Graduación por fracción	Antes de ensayo	Después de ensayo	% de Desgaste	Desgaste ref. a Graduación
2 1/2" (63.5 mm)	1 1/2" (38.1 mm)	0,00	-----	-----	-----	-----
1 1/2" (38.1 mm)	3/4" (19.05 mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3/4" (19.05 mm)	3/8" (9.52 mm)	19,74	0,00	0,00	0,00	0,00
3/8" (9.52 mm)	No. 4 (4.76 mm)	77,46	300,00	291,70	2,77	2,14
	Fondo	2,80	-----	-----	2,77	0,08
TOTALES		100,00	300,00	-----	5,53	2,22

OBSERVACIONES:


a) Muestra proporcionada por el interesado

ATENTAMENTE,

  
Inga Dilma Yáñez Mejicanos Jol  
Jefa Sección de Concretos



Vo.Bo.

  
Inga Telma Maricela Canc Morales  
Directora CIUSAC



FACULTAD DE INGENIERIA -USAC  
Edificio I-5, Ciudad Universitaria zona 12  
Teléfono directorio 2476-3992, Planta 2443-9500 Ext. 1502. FAX: 2476-3993  
Página web: <http://ci.usac.edu.gt>

# AGREGADO FINO



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Nº 006963

INFORME No. SC-477

O.T. No. 25116

**INTERESADO:** Luis Mariano Alvarez Muralles Carne No. 200412467

**ASUNTO:** Ensayo de bondad en agregado fino

**Material:** Agregado Fino

**Proyecto:** Trabajo de Graduacion "Evaluación de la Escoria de ferronquel como agregado fino para Concreto"

**Procedencia:** El Estor, Izabal (CGN)

**Solución utilizada:** Sulfato de Sodio

**FECHA:** 3 de junio de 2005

PASA	TAMAÑOS RETENIDOS	Graduación por fracción	Antes de ensayo	Después de ensayo	% de Desgaste	Desgaste ref. a Graduación
No. 100 (149 mm)						
No. 50 (297 mm)	No. 100 (149 mm)	8,22	100,00	98,50	1,50	0,12
No. 30 (595 mm)	No. 50 (297 mm)	24,70	100,00	98,50	1,50	0,37
No. 16 (1.19 mm)	No. 30 (595 mm)	44,30	100,00	94,50	5,50	2,44
No. 8 (2.38 mm)	No. 16 (1.19 mm)	19,04	100,00	88,00	12,00	2,28
No. 4 (4.76 mm)	No. 8 (2.38 mm)	2,98	100,00	86,00	14,00	0,42
3/8" (9.52 mm)	No. 4 (4.76 mm)	0,76	-----	-----	14,00	0,11
<b>TOTALES</b>		<b>100,00</b>	<b>500,00</b>	<b>-----</b>	<b>48,50</b>	<b>5,74</b>

OBSERVACIONES:

a) Muestra proporcionada por el interesado

ATENTAMENTE,

  
Inga. Dilma Yahet Mejicanos Jol  
Jefa Sección de Concretos

Vo Bo

Inga. Telma Maricela Cano Morales  
Directora CII/USAC



E S



# COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA ESCORIA



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Nº 004548

O.T. No 25374

No. Informe Lab. 34-009

Interesado: Luis Mariano Álvarez Muralles  
Proyecto: Evaluación de escoria de ferroniquel como agregado fino para concreto  
Muestra: Muestra Agregado Fino  
Fecha: Guatemala, 14 de julio de 2009

Determinación del porcentaje de Oxido de Hierro, Oxido de Aluminio, Oxido de Calcio y Oxido de Magnesio por medio de métodos volumétricos y gravimétricos.

MUESTRA*	PARÁMETRO ANALIZADO	RESULTADO
Muestra Agregado Fino	% Oxido de Hierro ( $Fe_2O_3$ )	3.85
	% Oxido de Aluminio ( $Al_2O_3$ )	< 0.0024
	% Oxido de Calcio (CaO)	< 0.001
	% Oxido de Magnesio (MgO)	< 0.001

\* Muestra proporcionada por el interesado

Ing. César Alfonso García Guerra  
Jefe  
Sección Química Industrial - CHI

Vo.Bo. Inga. Telma Marcela Cano Morales  
Directora  
Centro de Investigaciones de Ingeniería CH/USAC

Nuevos Teléfonos:  
Centro de Investigaciones de Ingeniería  
Tels. (502) 2418-8000 ext. 86221 y 86209  
Directos: (502) 2418-9115 - 2418-9121

FACULTAD DE INGENIERIA -USAC  
Edificio I-S, Ciudad Universitaria zona 12  
Teléfono direc o 2476-3992. Planta 2443-9500 Ext. 1502. FAX: 2476-3993  
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>



# RESULTADOS DEL CONCRETO FRESCO



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Nº 009361

Informe No. S.C. - 1067

O.T. No. 25118

**INTERESADO:** Luis Mariano Álvarez Muralles Carné No. 200412467

**PROYECTO:** Trabajo de Graduación "Evaluación de la escoria de ferróniquel como agregado fino para concreto"

**ASUNTO:** Ensayos de concreto en estado fresco:

- Peso Unitario
- Velocidad de endurecimiento
- Porcentaje de Aire
- Asentamiento

**FECHA:** 08 de Octubre de 2009

## I. RESULTADOS:

DISEÑOS DE LABORATORIO						
Ensayo	Diseño No. 1		Diseño No. 2		Diseño No. 3	
Proporción (Cemento: Arena: pedrín: agua)	1:2.16:2.35:0.66		1:1.84:2:0.58		1:1.84:2:0.50	
Porcentaje de Aire (%)	2.5		3.0		3.5	
Asentamiento (cm.)	8.0		10.0		9.0	
Peso Unitario (Kg./m <sup>3</sup> )	2335.7		2292.85		2307.14	
Velocidad de Endurecimiento (min)	Inicial:	473.79	Inicial:	202.38	Inicial:	276.92
	Final	> 8 hrs.	Final	429.41	Final	> 8 hrs

## II. OBSERVACIONES:

- Diseños realizados por laboratoristas de la Sección de Concretos CII/USAC
- Cemento Utilizado: UGC
- Agregado fino utilizado: Escoria de ferróniquel

Atentamente,

Vo. Bo.

Inga. Telma Maricela Cano  
Directora CII/USAC

Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol  
Jefa Sección Aglomerantes y Morteros



E.S.

Facultad de Ingeniería - USAC  
Edificio de la Facultad Universitaria zona 12  
Teléfono directo 2476-3992. Planta 2443-9500 Ext. 1502. FAX: 2476-3993  
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>



# RESULTADOS DEL DISEÑO DE MEZCLA Y ENSAYO DE COMPRESIÓN CONCRETO CON $f'_c$ 4000 PSI Y CON CORRECCIONES DE AGUA.

## DISEÑO DE MEZCLA



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Nº 009356

O.T. No.25117

INFORME No. S.C. 1077

INTERESADO Luis Mariano Alvarez Muralles carné No. 200412467  
PROYECTO: Trabajo de graduación "Evaluación de la escoria de ferroniquel como agregado fino para concreto"  
DIRECCION: Ciudad  
ASUNTO: Diseño Teórico de Mezcla de Concreto.  
FECHA: 9 de Octubre de 2009

### 2. GENERALIDADES

1.1 El interesado proporciono el material y solicito a este Centro de Investigaciones, el análisis completo para agregado fino y grueso, para realizar un diseño teórico de mezcla para concreto de 3 000 psi (210 kg/cm<sup>2</sup>), con Cemento Gris tipo Portland.

### 2. CARACTERISTICAS DE LOS AGREGADOS

2.1 Análisis granulométrico de agregado fino. INFORME No. S.C. - 426  
2.2 Análisis granulométrico de agregado grueso. INFORME No. S.C. - 425

### 3. DISEÑO DE MEZCLA

1.1 Resistencia Nominal 280 kg/cm<sup>2</sup>  
1.2 Resistencia Promedio Requerida 316 kg/cm<sup>2</sup>  
1.3 Relación Agua/Cemento 0,58  
1.4 Datos de la Mezcla:

CONCRETO NORMAL $f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$			
MATERIALES	PROPORCION EN FESO	PROPORCION EN VOLUMEN (LITROS)	PROPORCION EN VOLUMEN (kg/m <sup>3</sup> )
CEMENTO	1	1 SACO	450,00
ARENA (Ferroniquel)	1,84	46,25	828,00
PIEDRIN / GRAVA	2,00	60,06	897,00
AGUIJA LIBRE	0,58	21,25	225,0

### 4. RECOMENDACIONES

4.2 Evaluar en obra el diseño propuesto y obtener 6 cilindros, para su control de resistencia, con el ensayo a compresión, el cual se realiza en el CI/USAC.  
4.2 El diseño de mezcla esta propuesto para agregados en condición seco-saturados, debido a las condiciones de obra, se deberá corregir por humedad.  
4.3 Llevar un sistema de control de calidad según lo establece el A.C.I.

Vo.Bo.  
Inga. Telma Maricela Cano Morales  
DIRECTORA CI/USAC



Atentamente,  
Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol  
Jefa Sección de Concretos

FACULTAD DE INGENIERIA -USAC  
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12  
Teléfono directo 2476-3992. Planta 2443-9500 Ext. 1502. FAX: 2476-3993  
Página web: <http://ci.usac.edu.gt>

# RESULTADO DE COMPRESION EN CILINDROS



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Nº 009360

## RESISTENCIA DE CILINDROS DE CONCRETO NORMA ASTM C-39

INFORME No. S.C. - 803  
HOJA 1/1

O.T. No. 25117

**INTERESADO:** Luis Mariano Alvarez Muralles Carné: 200412467  
**ASUNTO:** Diseño Practico de Mezcla, con ensayo a compresión de Cilindros de Concreto  
**PROYECTO:** Trabajo de Graduacion "Evaluacion de escoria de Ferroniquel como Agregado Fino"  
**DIRECCION:** Ciudad  
**FECHA:** 6 de Agosto de 2009

Nº. CILINDRO OBRA	Nº. CILINDRO LABORATORIO	FECHA DE HECHURA	EDAD EN DIAS	CILINDRO REPRESENTATIVO DE LA FUNDICION	PESO EN kg	DIAMETRO EN cm	RESISTENCIA kg/cm <sup>2</sup>	RESISTENCIA lb/plg <sup>2</sup>
1	192-6	01/06/2009	3	Diseño de Mezcla	12.861	15.167	106.71	1517.70
2	193-6	01/06/2009	3	Diseño de Mezcla	12.785	15.147	138.46	1969.27
3	194-6	01/06/2009	3	Diseño de Mezcla	13.005	15.203	143.67	2043.47
4	195-6	01/06/2009	7	Diseño de Mezcla	12.857	15.247	161.49	2296.90
5	196-6	01/06/2009	7	Diseño de Mezcla	12.864	15.140	188.97	2687.74
6	197-6	01/06/2009	7	Diseño de Mezcla	13.017	15.203	131.18	1865.78
7	198-6	01/06/2009	28	Diseño de Mezcla	12.822	15.087	234.7	3338.36
8	199-6	01/06/2009	28	Diseño de Mezcla	12.800	15.100	249.50	3548.62
9	200-6	01/06/2009	28	Diseño de Mezcla	12.951	15.177	250.74	3566.36

- OBSERVACIONES :
- Mezcla realizada bajo condiciones de laboratorio
  - Diseño teórico de mezcla: INFORME S.C. 1077 CII/USAC
  - El asentamiento obtenido fue de 10 cm
  - Resistencia del concreto  $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$

ATENTAMENTE,

Inga Dilma Yañef Melicandis Jol  
Jefa Sección de Concretos

Vo.Bo.

Inga. Teima Maricela Cano Morales  
Directora CII/USAC



ES

FACULTAD DE INGENIERIA -USAC  
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12  
Telefono directo 2476-3992. Planta 2443-9500 Ext. 1502. FAX: 2476-3993  
Pagina web: <http://cii.usac.edu.gt>

# RESULTADOS DEL DISEÑO DE MEZCLA Y ENSAYO DE COMPRESIÓN CONCRETO CON $f'_c$ 4000 PSI

## DISEÑO DE MEZCLA



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Nº 007978

O.T. No.25117

INFORME No. S.C. 802

INTERESADO: Luis Mariano Alvarez Muralles carné No. 200412467  
PROYECTO: Trabajo de graduación "Evaluación de la escoria de ferróniquel como agregado fino para concreto"  
DIRECCION: Ciudad  
ASUNTO: Diseño Teórico de Mezcla de Concreto.  
FECHA: 06 de Agosto de 2009

### 1. GENERALIDADES

1.1 El interesado proporciono el material y solicito a este Centro de Investigaciones, el análisis completo para agregado fino y grueso, para realizar un diseño teórico de mezcla para concreto de 4 000 psi (280 kg/cm<sup>2</sup>), con Cemento Gris tipo Portland.

### 2. CARACTERISTICAS DE LOS AGREGADOS

2.1 Análisis granulométrico de agregado fino. INFORME No. S.C. – 426  
2.2 Análisis granulométrico de agregado grueso. INFORME No. S.C. – 425

### 3. DISEÑO DE MEZCLA

3.1 Resistencia Nominal 280 kg/cm<sup>2</sup>  
3.2 Resistencia Promedio Requerida 316 kg/cm<sup>2</sup>  
3.3 Relación Agua/Cemento 0,50  
3.4 Datos de la Mezcla:

CONCRETO NORMAL $f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$			
MATERIALES	PROPORCION EN FESO	PROPORCION EN VOLUMEN (LITROS)	PROPORCION EN VOLUMEN (kg/m <sup>3</sup> )
CEMENTO	1	1 SACO	450,00
ARI NA (Ferróniquel)	1,84	46,25	828,00
PIEDRIN / GRAVA	2,00	60,06	897,00
AGÜJA LIBRE	0,50	21,25	225,0

### 4. RECOMENDACIONES

4.1 Evaluar en obra el diseño propuesto y obtener 6 cilindros, para su control de resistencia, con el ensayo a compresión, el cual se realiza en el CI/USAC.  
4.2 El diseño de mezcla esta propuesto para agregados en condición seco-saturados, debido a las condiciones de obra, se deberá corregir por humedad.  
4.3 Llevar un sistema de control de calidad según lo establece el A.C.I.

Vo.Bo.

Inga. Telma Varicela Cantón  
DIRECTORA CI/USAC



FACULTAD DE INGENIERIA -USAC  
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12  
Teléfono directo 2476-3992. Planta 2443-9500 Ext. 1502. FAX: 2476-3993  
Página web: <http://ci.usac.edu.gt>

# RESULTADO DE COMPRESION EN CILINDROS



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Nº 009358

## RESISTENCIA DE CILINDROS DE CONCRETO

NORMA ASTM C-39

INFORME No. S.C. - 1070

O.T. No. 25117

HOJA 1/1

INTERESADO: Luis Mariano Alvarez Muralles Carne No.2004-12467

ASUNTO: ENSAYO A COMPRESION

Trabajo de Graduacion "Evaluacion de la escoria de ferroniquel como agregado fino para

PROYECTO: concreto"

DIRECCION: Ciudad

FECHA: 3 de octubre de 2009

No. CILINDRO OBRA	No. CILINDRO LABORATORIO	FECHA DE HECHURA	EDAD EN DIAS	CILINDRO REPRESENTATIVO DE LA FUNDICION	PESO EN kg	DIAMETRO EN cm	RESISTENCIA kg/cm <sup>2</sup>	RESISTENCIA lb/pig <sup>2</sup>
1	54-10	18/08/2009	3	Control de Calidad	13.230	15.130	148.85	2117.15
2	55-10	18/08/2009	3	Control de Calidad	13.420	15.113	151.71	2157.79
3	56-10	18/08/2009	3	Control de Calidad	13.330	15.130	156.42	2224.80
4	57-10	18/08/2009	7	Control de Calidad	13.328	15.193	181.39	2579.94
5	58-10	18/08/2009	7	Control de Calidad	13.410	15.127	181.73	2584.78
6	59-10	18/08/2009	7	Control de Calidad	13.344	15.157	175.98	2503.04
7	60-10	18/08/2009	29	Control de Calidad	13.420	15.263	291.29	4143.02
8	61-10	18/08/2009	29	Control de Calidad	13.393	15.100	291.29	4143.06
9	62-10	18/08/2009	29	Control de Calidad	13.340	15.137	302.48	4302.28

OBSERVACIONES :

- Mezcla realizada bajo condiciones de laboratorio
- Diseño teórico de mezcla: INFORME S.C. 802 CII/USAC
- El asentamiento obtenido fue de 9 cm
- Resistencia del concreto  $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$

ATENTAMENTE,

Vo.Bo.

Inga. Telma Maricela Cano Morales  
Directora CII/USAC

Inga. Digna Yanet Mejicanos Jol  
Jefa Sección de Concretos



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA - USAC  
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12  
Teléfono directo 2476-3992, Planta 2443-9500 Ext. 1502, FAX: 2476-3993  
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>



# RESULTADOS DEL DISEÑO DE MEZCLA Y ENSAYO DE COMPRESIÓN CONCRETO CON $f'_c$ 3000 PSI

## DISEÑO DE MEZCLA



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Nº 007977

O.T. No.25117

INFORME No. S.C. 801

INTERESADO: Luis Mariano Álvarez Muralles carné No. 200412467  
PROYECTO: Trabajo de graduación "Evaluación de la escoria de ferroniquel como agregado fino para concreto"  
DIRECCION: Ciudad  
ASUNTO: Diseño Teórico de Mezcla de Concreto.  
FECHA: 06 de Agosto de 2009

### 1. GENERALIDADES

1.1 El interesado proporcione el material y solicito a este Centro de Investigaciones, el análisis completo para agregado fino y grueso, para realizar un diseño teórico de mezcla para concreto de 3 000 psi ( $210 \text{ kg/cm}^2$ ), con Cemento Gris tipo Portland.

### 2. CARACTERISTICAS DE LOS AGREGADOS

2.1 Análisis granulométrico de agregado fino. INFORME No. S.C. - 426  
2.2 Análisis granulométrico de agregado grueso. INFORME No. S.C. - 425

### 3. DISEÑO DE MEZCLA

3.1 Resistencia Nominal  $210 \text{ kg/cm}^2$   
3.2 Resistencia Promedio Requerida  $246 \text{ kg/cm}^2$   
3.3 Relación Agua/Cemento 0,57  
3.4 Datos de la Mezcla:

CONCRETO NORMAL $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$			
MATERIALES	PROPORCION EN FESO	PROPORCION EN VOLUMEN (LITROS)	PROPORCION EN VOLUMEN ( $\text{kg/m}^3$ )
CEMENTO	1	1 SACO	394,74
ARI NA (Ferroniquel)	2,16	54,30	854,52
PIEDRIN / GRAVA	2,35	70,57	925,74
AGUA LIBRE	0,57	24,23	225,0

### 4. RECOMENDACIONES

4.1 Evaluar en obra el diseño propuesto y obtener 6 cilindros, para su control de resistencia, con el ensayo a compresión, el cual se realiza en el CII/USAC.  
4.2 El diseño de mezcla esta propuesto para agregados en condición seco-saturados, debido a las condiciones de obra, se deberá corregir por humedad.  
4.3 Llevar un sistema de control de calidad según lo establece el A.C.I.

Atentamente,  
Vo.Bo. Inga. Telma Varicela Camacho  
DIRECTORA CII/USAC



Inga. Diana Yanet Mejicanos Tol  
Jefa, Sección de Concretos



FACULTAD DE INGENIERIA -USAC  
Edificio 1-5, Ciudad Universitaria zona 12  
Teléfono directo 2476-3992, Planta 2443-9500 Ext. 1502, FAX: 2476-3993  
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

# RESULTADO DE COMPRESION EN CILINDROS



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Nº 009337

## RESISTENCIA DE CILINDROS DE CONCRETO NORMA ASTM C-39

INFORME No. S.C. - 1068  
HOJA 1/1

O.T. No. 25117

INTERESADO: Luis Mariano Alvare: Muralles Carne No.2004-12467

ASUNTO: ENSAYO A COMPRESION

Trabajo de Graduacion "Evaluacion de la escoria de ferroniquel como agregado fino para

proyecto de concreto"

DIRECCION: Ciudad

FECHA: 13 de octubre de 2003

No. CILINDRO OBRA	No. CILINDRO LABORATORIO	FECHA DE HECHURA	EDAD EN DIAS	CILINDRO REPRESENTATIVO DE LA FUNDICION	PESO EN kg	DIAMETRO EN cm	RESISTENCIA kg/cm <sup>2</sup>	RESISTENCIA lb/plg <sup>2</sup>
1	45-10	01/06/2009	3	Control de Calidad	13.393	15.107	94.90	1349.81
2	46-10	01/06/2009	3	Control de Calidad	13.673	15.450	114.93	1634.61
3	47-10	01/06/2009	3	Control de Calidad	13.467	15.160	119.36	1697.75
4	48-10	01/06/2009	7	Control de Calidad	13.727	15.103	170.90	2430.72
5	49-10	01/06/2009	7	Control de Calidad	13.275	15.217	199.54	2838.11
6	50-10	01/06/2009	7	Control de Calidad	13.290	15.123	185.60	2639.79
7	51-10	01/06/2009	28	Control de Calidad	13.260	15.127	239.78	3410.47
8	52-10	01/06/2009	28	Control de Calidad	13.950	15.220	224.38	3191.47
9	53-10	01/06/2009	28	Control de Calidad	13.400	15.147	213.98	3043.42

- OBSERVACIONES:
- Mezcla realizada bajo condiciones de laboratorio
  - Diseño teórico de mezcla: INFORME S.C. 801 CII/USAC
  - El asentamiento obtenido fue de 8 cm
  - Resistencia del concreto  $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$

ATENTAMENTE,

Vo.Bo.

Inga. Telma Mardones  
Directora CII/DE INGENIERIA



Inga. Dilma Vanet Mejicanos Jol  
Jefa Sección de Concretos



ES

FACULTAD DE INGENIERIA -USAC  
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12  
Teléfono directo 2476-3992. Planta 2443-9500 Ext. 1502. FAX: 2476-3993  
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

# RESULTADOS DEL ENSAYO A FLEXION EN VIGAS DE CONCRETO.



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Nº 011079

## VIGAS

INFORME No. 1128-M

O.T.No. 26015

INTERESADO: LUIS MARIANO ALVAREZ MURALLES CARNE No. 200412467  
PROYECTO: TRABAJO DE GRADUACION "EVALUACION DE LA ESCORIA DE FERRONIQUEL COMO AGREGADO FINO PARA CONCRETO".  
PROVEEDOR: \*\*\*\*\*  
ASUNTO: ENSAYO DE FLEXION EN VIGAS DE CONCRETO.  
FECHA: GUATEMALA 09 DE OCTUBRE DE 2009.

### 1. ANTECEDENTES

El estudiante Luis Mariano Álvarez Muralles con numero de carne 200412467 solicito a este Centro de Investigaciones de Ingeniería que se realizara ensayo de flexión a 03 vigas de concreto. Los ensayos en cuestión son parte de su trabajo de graduación "EVALUACION DE LA ESCORIA DE FERRONIQUEL COMO AGREGADO FINO PARA CONCRETO"

### 2. RESULTADOS DE ENSAYO

Ensayo a Flexión de Vigas de Concreto

Elemento	Edad (días)	L1 (cm)	L2 (cm)	L3 (cm)	Largo (cm) (promedio)	B1 (cm)	B2 (cm)	B3 (cm)	Base (cm) (promedio)	A1 (cm)	A2 (cm)	A3 (cm)	Altura (cm) (promedio)	Luz entre apoyos (cm)	Carga (Kg)	Modulo de ruptura (kg/cm <sup>2</sup> )
Viga 1 (4000 psi)	28	53.4	53.8	53.8	53.83	15.3	15.4	15.3	15.33	15.3	15.3	15.3	15.3	43.5	3600	65.46
Viga 2 (3000 psi)	28	53.2	53.1	53.1	53.13	15.2	15.2	15.2	15.2	15.4	15.3	15.3	15.33	43.5	2600	47.49
Viga 3 (3000 psi)	28	53.3	53.2	53.3	53.27	15.2	15.4	15.5	15.37	15.5	15.4	15.4	15.43	43.5	2900	51.71

- El concreto utilizado lleva como agregado fino escoria de mata de níquel.

Observaciones: muestras proporcionadas por el interesado.

Atentamente,

Ing. Pablo Christian De León Rodríguez, C.I.I.  
Jefe de Metales y Productos Manufacturados

Inga. Telma Maricela Cano Morales  
DIRECTORA C.I.I.

/cbr

FACULTAD DE INGENIERIA -USAC  
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12  
Teléfono directo 2476-3992. Planta 2443-9500 Ext. 1502. FAX: 2476-3993  
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>