



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

**EVALUACIÓN DE LA ESCORIA DE FERRONÍQUEL COMO AGREGADO
FINO PARA MORTEROS DE ALBAÑILERÍA Y ACABADOS**

Eber Otoniel Samayoa Teret

Asesorado por el Ing. Pablo Christian De León Rodríguez

Guatemala, octubre de 2009

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DE LA ESCORIA DE FERRÓNQUEL COMO AGREGADO
FINO PARA MORTEROS DE ALBAÑILERÍA Y ACABADOS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR:

EBER OTONIEL SAMAYOA TERET

ASESORADO POR EL ING. PABLO CHRISTIAN DE LEÓN RODRIGUEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2009

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

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

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Alfredo Beber Aceituno
EXAMINADOR	Ing. Renzo Ricardo Gracioso Sierra
EXAMINADOR	Inga. Evelyn Maribel Morales Ramírez
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne 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 FERRONÍQUEL COMO AGREGADO FINO PARA MORTEROS DE ALBAÑILERÍA Y ACABADOS,

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

EBER OTONIEL SAMAYOA TERET



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



Guatemala, Septiembre de 2009.

Ingeniero

Francisco Javier Quiñonez de la Cruz

Coordinador del Área de Materiales de Construcción Civiles

Escuela de Ingeniería Civil

Facultad de Ingeniería

Ingeniero Quiñonez

Luego de un breve saludo, sírvame la presente para informarle que el trabajo de graduación **“EVALUACION DE LA ESCORIA DE FERRONIQUEL PARA MORTEROS DE ALBAÑILERIA Y ACABADOS”**, elaborado por el alumno **Eber Otoniel Samayoa Teret**, con numero de **Carne 200511-767** a finalizado a satisfacción y revisado por mi persona.

Sin otro particular me suscribo

Atentamente,

Ing. Civil Pablo Christian De León Rodríguez

Colegiado 2851



Jefe Sección de Metales y Productos Manufacturados



El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Pablo Christian de León Rodríguez y del Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles, Ing. Francisco Javier Quiñónez de la Cruz, al trabajo de graduación del estudiante Eber Otoniel Samayoa Teret, titulado EVALUACIÓN DE LA ESCORIA DE FERRONÍQUEL COMO AGREGADO FINO PARA MORTEROS DE ALBAÑILERÍA Y ACABADOS, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

Mgter. Ing. Sydney Alexander Samuels Milson



Guatemala, octubre 2009

/bbdeb.



Guatemala, 5 de octubre de 2 009

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

Señor Director:

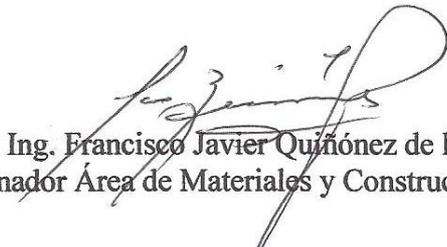
Tengo el agrado de dirigirme a usted para informarle que he revisado el trabajo de graduación **“Evaluación de la escoria de ferroníquel como agregado fino para morteros de albañilería y acabados”**, realizado por el estudiante universitario **Eber Otoniel Samayoa Teret**, quien contó con la asesoría del ingeniero Pablo Christian de León Rodríguez.

Considero que el trabajo realizado por el estudiante **Samayoa Teret** 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”


Ing. Francisco Javier Quiñón de la Cruz
Coordinador Área de Materiales y Construcciones Civiles



FACULTAD DE INGENIERIA
AREA DE MATERIALES Y
CONSTRUCCIONES CIVILES
USAC

Cc archivo

Universidad de San Carlos
De Guatemala

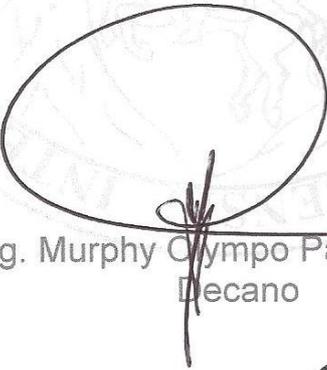


Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG.430.09

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 FORRONÍQUEL COMO AGREGADO FINO PARA MORTEROS DE ALBAÑILERÍA Y ACABADOS**, presentado por el estudiante universitario **Eber Otoniel Samayoa Teret**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, Octubre de 2009



/cc

ACTO QUE DEDICO A:

DIOS

Porque Él es bueno; para siempre es su misericordia, y su fidelidad por todas las generaciones.

MIS PADRES

Julio Enrique Samayoa Velásquez y Maria Teresa Teret Rodríguez de Samayoa, como un reconocimiento a sus múltiples esfuerzos y a su amor incondicional.

MI HERMANA

Meliza Alejandra Samayoa Teret, por su apoyo y cariño y que mi triunfo sea de motivación para alcanzar sus metas.

MIS ABUELOS

Isabel Samayoa Cardona (+), Victoria Velásquez de Samayoa y Dalila Rodríguez Natareno, por su cariño y apoyo ilimitado.

MIS TÍOS

Por su cariño y oraciones para alcanzar esta meta.

MIS PRIMOS

Que este sea un ejemplo y un motivo para seguir adelante y alcanzar sus metas trazadas.

AGRADECIMIENTOS A:

- DIOS** Porque bueno es Dios y para siempre su misericordia.
- ING. PABLO DE LEÓN** Por su amistad, apoyo y el tiempo dedicado al asesoramiento del presente trabajo.
- MIS AMIGOS** Ing. Luis Sandoval, Ing. Omar Medrano, Inga. Evelyn, Abner, Beatriz, Andrea, Claudia, Javier, Jairon, Emerson, Alberto, Manuel, Ronaldo, Fredy, Mariano, Carlos, por su cariño y apoyo para la realización este trabajo.
- CII/USAC** Por permitirme realizar ensayos para la elaboración de este trabajo.
- CGN** En especial a Ximena Leiva, quien contribuyó amablemente a la realización de este trabajo.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
GLOSARIO	XI
RESUMEN	XV
OBJETIVOS	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. ESCORIA SUBPRODUCTO RESIDUAL DE LA PRODUCCIÓN DEL NÍQUEL EN GUATEMALA	1
1.1 Proceso del subproducto residual de la escoria del Níquel	1
1.2 Producción de Mata de Níquel y Escoria.	2
1.2.1 Preparación del Mineral	2
1.2.2 Reducción del Mineral	5
1.3 Actualización de Planta	8
1.3.1 Fundición del Mineral	8
1.3.2 Conversión de la Mata de Níquel	13
1.3.3 Granulación del producto	16
1.4 Definición de escoria	20
1.5 Tipos	20
1.6 Caracterización de la escoria del Níquel	20
1.7 Aplicaciones de la escoria del Níquel	21

2. MORTEROS	23
2.1 Definición	23
2.2 Tipos y usos de morteros	24
2.2.1 Morteros de Cemento Pórtland y cal	24
2.2.2 Morteros de cemento	27
2.3 Propiedades de los morteros	29
2.3.1 Propiedades en estado plástico	29
2.3.1.1 Manejabilidad	29
2.3.1.2 Retención de agua	30
2.3.1.3 Velocidad de endurecimiento	31
2.3.2 Propiedades en estado endurecido	32
2.3.2.1 Adherencia	32
2.3.2.2 Resistencia a la compresión	33
2.3.2.3 Durabilidad	34
2.3.2.4 Resistencia a tensión	34
2.3.2.5 Permeabilidad	35
2.3.2.6 Resistencia a corte	35
2.3.2.7 Resistencia a flexión	36

3. DESARROLLO EXPERIMENTAL	37
3.1 Muestreo	37
3.2 Análisis Químico de la Escoria de ferroníquel	39
3.3 Caracterización física de la Escoria de ferroníquel	40
3.3.1 Peso específico norma ASTM C128	40
3.3.2 Granulometría norma ASTM C-136	41
3.3.3 Peso unitario norma ASTM C-129	41
3.3.4 Porcentaje vacíos norma ASTM C-138	43
3.3.5 Porcentaje de absorción norma ASTM C-127	44
3.3.6 Pasa tamiz 200 Norma ASTM C-117	45
3.3.7 Materia Orgánica norma ASTM C 87-83 y 40-84	46
3.3.8 Módulo de finura norma ASTM C-125	46
3.4 Realización de mortero utilizando escoria de níquel como agregado fino.	47
3.4.1 Propiedades en estado plástico	47
3.4.1.1 Manejabilidad	47
3.4.1.2 Retención de agua ASTM C-91 y C-110	49
3.4.1.3 Velocidad de endurecimiento ASTM C-403	50
3.4.1.4 Trabajabilidad ASTM C-270	51
3.4.2 Propiedades en estado endurecido	51

3.4.2.1 Resistencia a la compresión ASTM C-109	51
3.4.2.2 Durabilidad	53
3.4.2.3 Resistencia a Tensión ASTM C-190	53
3.5 Ensayo de prismas.	57
3.5.1 Resistencia a compresión, ASTM E-447	55
3.5.2 Resistencia a corte, ASTM E 519	56
3.5.3 La Adherencia	57
3.5.4 Permeabilidad	58
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	59
4.1 Parámetros físico-mecánicos de la escoria de ferroníquel.	59
4.2 Bondad de los agregados por el uso de sulfato de sodio, ASTM C-88	61
4.3 Determinación química de inocuidad de la escoria de ferroníquel.	62
4.3.1 Composición química de la escoria de Ferroníquel.	63
4.4 Dosificaciones de morteros con escorial de ferroníquel	64
4.4.1 Características físicas del mortero con escoria de ferroníquel en estado fresco.	64
4.4.2 Velocidad de endurecimiento de los 3 diseños.	65
4.5 Propiedades mecánicas del mortero en estado endurecido.	68
4.6 Características mecánicas de prismas con mortero de escoria	69

CONCLUSIONES	71
RECOMENDACIONES	73
BIBLIOGRAFÍA	75
ANEXOS	77

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1. Áreas donde se utiliza el ferroníquel.	1
2. Pila de mineral húmedo al aire libre el Estor, Izabal.	3
3. Vista actual del edificio de almacenamiento de mineral seco, El Estor, Izabal.	4
4. Vista actual del horno de reducción, CGN El Estor Izabal.	6
5. Vista actual del fundidor eléctrico.	9
6. Vista actual de la fosa para granulación de escoria.	11
7. Chimenea del fundidor y del horno reductor.	12
8. Vista actual de uno de los convertidores Pierce-Smith.	14
9. Vista actual del secador de producto.	17
10. Diagrama de flujo para el primer año de operación.	18
11. Diagrama de operación y producción del segundo año en adelante.	19
12. Vista aérea de la Compañía Guatemalteca del Níquel CGN, El Estor, Izabal.	37

13. Vista aérea del Banco de escoria ferroníquel de la Compañía Guatemalteca del Níquel CGN, El Estor, Izabal.	38
14. Fotografía del ensayo de peso unitario.	42
15. Fotografía del ensayo de peso unitario, tara+ material.	43
16. Fotografía del ensayo de Tamiz 200.	45
17. Fotografía del equipo a utilizar en el mezclado del mortero.	47
18. Fotografía del flow o manejabilidad del mortero.	48
19. Fotografía de la medición de flow del mortero.	48
20. Fotografía del equipo de retención de agua para morteros.	50
21. Fotografía del ensayo de velocidad de endurecimiento.	51
22. Fotografía de cubos de mortero con escoria de ferroníquel.	52
23. Fotografía del ensayo de cubos a compresión.	53
24. Fotografía de briquetas de mortero de escoria de ferroníquel.	54
25. Fotografía del ensayo de briquetas a tensión.	54
26. Fotografía de un prisma a compresión.	55
27. Fotografía de un prisma a corte.	56
28. Fotografía de un prisma en el ensayo de adherencia	57
29. Curva granulométrica de escoria de ferroníquel	60
30. Curva de división entre agregados inocuos y dañinos	62
31. Informe de la norma ASTM C-33-08 del agregado fino.	79

32. Informe de desgaste por sulfato ASTM C-88-05.	80
33. Informe de reactividad potencial ASTM C-289.	81
34. Reactividad potencial ASTM C-289.	82
35. Informe de determinación Fe ₂ O ₃ , Al ₂ O ₃ , CaO y MgO.	83
36. Informe diseño de mezcla de morteros y características.	84
37. Informe de ensayo de prismas a 28 días	85
38. Gráfica de velocidad de endurecimiento del diseño 1.	65
39. Gráfica de velocidad de endurecimiento del diseño 2.	66
40. Gráfica de velocidad de endurecimiento del diseño 3.	67

TABLAS

I. Especificaciones para proporciones de mortero, según Norma ASTM C270	25
II. Características mecánicas de los morteros, según Norma ASTM C-270	26
III. Usos de los morteros de cemento	28
IV. Características físicas de la escoria de ferroníquel	59

V. Granulometría de la escoria de ferroníquel	60
VI. Porcentaje de escoria de ferroníquel que pasa en cada tamiz	61
VII. Desgaste de la escoria de ferroníquel por ataque de sulfato	61
VIII. Determinación de Reactividad Potencial Norma ASTM C-289	62
IX. Determinación de Fe ₂ O ₃ , Al ₂ O ₃ , CaO y MgO.	63
X. Proporciones de diseños de morteros	64
XI. Proporciones en peso de los diseños de morteros	64
XII. Porcentaje de retención de agua para morteros	64
XIII. Masa unitaria de morteros	64
XIV. Velocidad de endurecimiento del diseño 1.	65
XV. Velocidad de endurecimiento del diseño 2.	66
XVI. Velocidad de endurecimiento del diseño 3.	67
XVII. Resumen de las características físicas del mortero con escoria de ferroníquel en estado fresco.	68
XVIII. Resultados de morteros a compresión y tensión	68
XIX. Esfuerzos de Prismas a 28 días.	69

GLOSARIO

- Agregado:** Material granular inerte tal como la arena natural, arena artificial, grava y roca triturada que se utilizan para elaborar concreto o mortero.
- Adherencia:** Adhesión y enlace entre los morteros de pega y de inyección con las unidades de mampostería, el refuerzo y los conectores. Es un indicativo de la capacidad de los morteros para atender esfuerzos normales y tangenciales a las superficies con las cuales se une.
- Aglomerante:** Cualquier material utilizado para elaborar mortero que no sea agua, agregado o aglomerante.
- ASTM:** Siglas en inglés de la Sociedad Americana para el ensayo e inspección de los materiales.
- Toma de muestra:** Lugar de donde se extraen los agregados, estos pueden ser: ríos, lagos, montañas y canteras.

- Densidad:** Relación entre el volumen bruto y la masa, -peso-, de una unidad o espécimen.
- Durabilidad:** Habilidad de un material para resistir la acción de la intemperie, el ataque químico, la abrasión y otras condiciones de servicio.
- Eflorescencia:** Depósito de sales solubles, generalmente blancas y comúnmente sulfato de calcio que se forma en la superficie de la mampostería al evaporarse la humedad.
- Ensayo:** Procedimiento al que se somete un espécimen para evaluar alguna característica de éste.
- Especimen:** Unidad, -o parte de esta-, o porción de mortero que hacen parte de la muestra y que se somete a ensayo.
- Flujo:** Propiedad de un mortero, medida en un laboratorio, que indica el porcentaje de incremento en el diámetro de la base de un cono truncado de mortero, cuando se coloca sobre una mesa de flujo, la cual se levanta mecánicamente y se deja caer un número de veces determinado, bajo condiciones específicas.

Fraguado: Es el cambio del estado plástico al estado endurecido de una mezcla; la cual puede ser una pasta, mortero o concreto.

Granulometría: Es la distribución del tamaño de las partículas de una muestra de agregado, determinada por separación mediante una serie de tamices estandarizados.

Mampostería: Tipo de estructura que utiliza la combinación de resistencia entre bloque y mortero como parámetro fundamental de diseño.

Mortero: Es una mezcla consistente en material cementante, agregado fino, agua, con o sin admixturas; el cual es utilizado como recubrimiento, acabado o para unir bloques de mampostería.

Trabajabilidad: Característica de un mortero en cuanto a su facilidad para ser colocado o extendido.

Prisma de mampostería: Muestra representativa de la mampostería de un muro.

Volumen extraído

Es aquella porción de recurso medido que ya ha sido extraído, de acuerdo a un escenario productivo, medioambiental, económico y financiero, derivado de un plan minero.

RESUMEN

El ferroníquel es un metal ferromagnético, de alta dureza y de color blanco brillante, que puede ser fácilmente transformado en una diversidad de productos, es una materia prima vital en el proceso de producción de aceros especiales.

En la Compañía Guatemalteca del Níquel (**CGN**) en El Estor, departamento de Izabal se encuentra una cantidad aproximada de dos millones de toneladas de escoria de ferroníquel a la intemperie, a un costado del lago de Izabal, como un subproducto de la extracción del níquel, a la que no se le ha dado ningún aprovechamiento.

La compañía Guatemalteca del Níquel (**CGN**) tomó la iniciativa de avocarse al Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala para realizar un estudio sobre la reutilización de la escoria de ferroníquel, que desecha dicha planta.

Para lo cual se realizó una visita a la planta de la Compañía Guatemalteca de Níquel (**CGN**) ubicada en El Estor, departamento de Izabal, con el fin de tomar muestras de la escoria que se genera en la fundición del hierro con el níquel.

La escoria de níquel fue analizada física, química y mecánicamente, como agregado fino en el mortero, por medio de pruebas de laboratorio realizadas en el Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Para determinar las características de los morteros utilizando escoria de ferroníquel se evaluaron las propiedades del mortero en estado plástico y en estado endurecido por medio de ensayos según Normas ASTM.

Se concluyó que la escoria de ferroníquel cumple con las características físicas requeridas de un agregado fino para concreto y los ensayos de reactividad potencial muestran que el materia es inocuo. Sin embargo, se considera muy importante una investigación con mayor profundidad sobre sus componentes químicos y el efecto esperado en mezclas de mortero de cemento.

OBJETIVOS

GENERAL

Evaluar la escoria de ferroníquel para utilizarla como agregado fino en mortero de albañilería y acabados.

ESPECÍFICOS:

1. Conocer el proceso de producción de la escoria del níquel como subproducto de mineral fundido para metal.
2. Evaluar las características químicas de la escoria del níquel como un material natural.
3. Evaluar las características físicas de la escoria del níquel como agregado fino.
4. Evaluar las características físicas y propiedades mecánicas de los morteros utilizando escoria de ferroníquel como agregado fino.

INTRODUCCIÓN

El proceso de transformación de materia prima del níquel en el Estor, Izabal deriva de una generación de subproductos, que salvo pocas excepciones no se destinan a algún uso en particular. En esta investigación se evalúan las características físicas, químicas y propiedades mecánicas de la escoria para utilizarla como agregado fino en la elaboración de morteros de albañilería y acabados.

Actualmente en Guatemala no existe dato alguno, acerca de la reutilización de la escoria del ferroníquel en la construcción.

La escoria de ferroníquel fue aprovechada en otros países en el medio de la construcción como por ejemplo, en morteros, adoquines, pavimentos, azulejos, tejas y otras aplicaciones, entonces es de vital importancia tener parámetros de la caracterización física y mecánica de este material para implementarlo en la construcción.

La escoria de níquel fue analizada física, química y mecánicamente, como agregado fino en el mortero, por medio de pruebas de laboratorio realizadas en el Centro de Investigaciones de Ingeniería.

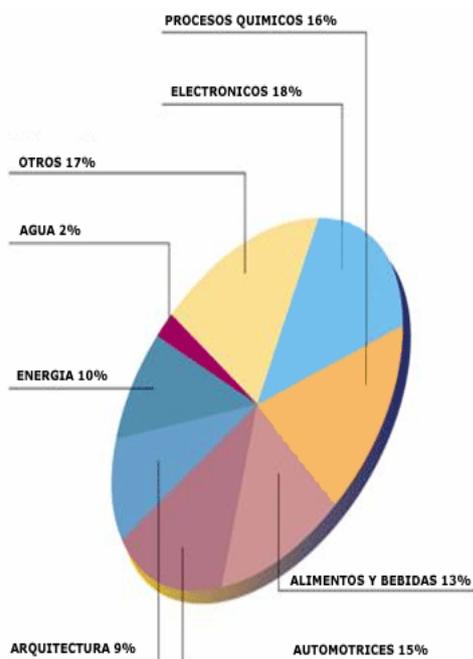
Esta investigación se realizó con el apoyo de la Compañía Guatemalteca de Níquel (**CGN**) y el Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, es un compromiso con la sociedad guatemalteca, a través del apoyo a la Investigación y reutilización de los desechos industriales.

1. ESCORIA SUBPRODUCTO RESIDUAL DE LA PRODUCCIÓN DEL NÍQUEL EN GUATEMALA

1.1 Proceso del subproducto residual de la escoria del Níquel

El ferroníquel es un metal ferromagnético, de alta dureza y de color blanco brillante, que puede ser fácilmente transformado en una diversidad de productos, es material muy utilizado en nuestra vida cotidiana, esto es, porque es una materia prima vital en el proceso de producción de aceros especiales. Debido a sus altas propiedades de resistencia, el ferroníquel es utilizado en la producción de aceros inoxidables para proporcionarles su propiedad anticorrosiva, como los utilizados para la elaboración de instrumental quirúrgico, equipos de cocina, refrigeración y marinos, también posee propiedades excelentes de revestimiento. Aquí se muestra en la gráfica que indica las distintas áreas en donde es utilizado el ferroníquel.

Figura 1. Áreas donde se utiliza el Ferroníquel



Fuente: CGN, Compañía Guatemalteca del Níquel.

1.2 Producción de Mata de Níquel y Escoria.

1.2.1 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 contiene aproximadamente 34 % de humedad y tiene un tamaño menor a 600 mm; se despacha por medio de camiones de 32 toneladas y se vacía en la tolva de alimentación del triturador primario. Luego se alimenta el mineral por medio de un alimentador horizontal al triturador primario de doble rodillo. El rodillo triturador se ajusta para producir un tamaño menor de 100 mm el que se considera el tamaño óptimo para el secado.

El mineral húmedo, después de la trituración con rodillo, se alimenta a la apiladora móvil de mineral húmedo con un remolque de descarga controlada. El apilador va incrementando una pila al aire libre con una capacidad máxima de 230,000 toneladas. El propósito principal de mantener este almacenamiento grande es de proveer suficiente capacidad ante variaciones en la disponibilidad de mineral, ya que la extracción de mineral se puede 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 es de 250 días al año, con dos turnos diarios. La pila de almacenamiento de mineral es retirada por cargadores frontales los cuales se descarga a una tolva. El material es 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 seca parcialmente para producir un producto que contiene 25% de humedad y que es casi libre de polvo. El secador se enciende simultáneamente con búnker y utiliza elevadores internos para un contacto máximo del material con los gases calientes. El mineral parcialmente seco se descarga desde el secador a un tromel (tamiz en forma de cilindro) clasificador integral de dos etapas. En la primera etapa del tromel, se elimina el material menor a 40 mm. En la segunda etapa del tromel clasificador se elimina el material mayor a 40 mm y menor a 160 mm

y se descarga a un triturador de impacto para reducción secundaria a menos de 40 mm. El material mayor a 160 mm es rechazado. Ambas corrientes de descarga del producto del secador se recombinan, se muestrea con un muestreador automático, y se transporta a una apiladora móvil de mineral seco con un remolque de descarga controlada. La apiladora forma cuatro pilas iguales de 9000 toneladas cada una de mineral parcialmente seco. La apiladora y las cuatro pilas están 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 es obtener una mezcla uniforme del material. La razón es que existan 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 está equipada con capacidad para desplazarse y para rotar (rotación de la pluma) para poder obtener la mezcla del mineral, lo que

permita formar cada pila como una secuencia de filas paralelas. Para una mezcla adicional, un cargador frontal extraerá el material en dirección perpendicular a la que se depositaban las filas. En dos filas existe la capacidad suficiente para alimentar la Planta durante una semana.

El secado del mineral húmedo hasta una humedad de 20% tiene un material que no genera polvo en exceso en el secador o durante la manipulación posterior. La pequeña cantidad de polvo que se arrastra con los gases de descarga se recupera en ciclones centrífugos de polvo, se mezcla con agua, y se retorna al almacenamiento de mineral seco. El programa de operación de la Planta desde la extracción del mineral hasta el apilado del mineral seco cubrirá 330 días al año, en tres turnos diarios.

1.2.2 Reducción del Mineral

En la sección de la Planta de reducción del mineral, el mineral parcialmente seco se termina de secar, se reduce y se le agrega azufre. Un cargador frontal extraerá el mineral parcialmente seco del área de almacenamiento de mineral seco y lo descarga sobre una tolva, luego por medio de una banda transportadora se lleva hacia la tolva alimentadora del horno de 250 toneladas (el horno se observa en la Figura 4). De esta tolva, el material se extraerá por un alimentador de banda por peso y se transporta al horno rotativo por medio de un transportador de bandas. El alimentador por peso regula la alimentación al horno.

En el horno, el mineral seco es 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 reduce 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 es quemado a contracorriente con los gases de combustión del búnker. El horno usado se divide conceptualmente en tres secciones: en la primera sección o extremo de alimentación, el mineral parcialmente seco es totalmente secado, en la segunda sección el mineral seco es calentado y reducido parcialmente, en la tercera sección o extremo de descarga, el mineral es fuertemente reducido, se agrega azufre y se calienta adicionalmente. Los perfiles de reducción y de temperatura del extremo de alimentación al extremo de la descarga muestran un incremento tanto en el potencial de reducción como en la temperatura. El material sale 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 mantiene 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 proporciona calor a la sección de descarga y se opera para alcanzar una atmósfera ligeramente reductora en el extremo de descarga. Las fuertes condiciones reductoras se genera en el extremo de descarga con el rejón pulsante de inyección de búnker. Cuando el búnker impacta en la cama del material caliente, la reacción crea una condición altamente reductora por la cual se convierten los óxidos de níquel y de hierro a estado metálico. La cantidad exacta de níquel y de hierro reducido se puede controlar y por lo tanto se puede mantener una relación constante de hierro a níquel para el fundidor eléctrico. No todo el búnker inyectado se utiliza al final de la descarga del horno. Los hidrocarburos livianos que se producen del craqueo y de la destilación de volátiles al final de la descarga son acarreados por los gases de combustión del quemador principal hacia la sección media del horno.

En esta sección los hidrocarburos livianos sirven como reductores gaseosos y también se queman con aire que vienen de los cuatro ventiladores montados sobre el horno para proporcionar calor a la sección media. Debido a que el grado de reducción al final de la descarga limita la cantidad de búnker de inyección que se introducía y por lo tanto los combustibles en los gases del horno, se hacía necesario proveer de calor adicional al final de la alimentación para la sección de secado del horno. Este calor adicional lo producen los dos quemadores de búnker montados sobre el horno.

Además del secado del mineral y de la reducción de óxidos de níquel y de hierro el proceso del horno, también sulfura el mineral. La sulfurización convierte 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.

Los gases de descarga del horno son tratados en un proceso de dos etapas para remover todos los contaminantes en polvo. En la primera etapa se remueven aproximadamente 70% del polvo utilizando ciclones centrífugos. El polvo del ciclón se mezcla con agua y se envía al sumidero del lavador. En la segunda etapa, el polvo fino se remueve en un lavador tipo Venturi. En el lavador tipo Venturi las partículas de polvo son lavadas de la corriente de gas con pequeñas gotas de agua. La lechada de polvo del lavador se trata para remover el polvo atrapado del agua mediante el espesado y filtrado para producir una torta sólida. La torta se agrega a la faja de alimentación al secador de mineral. La sección de reducción de mineral esta programada para operar 330 días al año, tres turnos diarios.

1.3 Actualización de Planta

El fundidor se mantendrá para la producción de la Planta actualizada y ampliada, con la excepción que ya no utilizará azufre para la producción de mata de níquel, el horno será reconstruido con un nuevo sistema de enfriamiento y con nuevos transformadores, y los equipos de control ambiental serán reemplazados. Además, se agregará un segundo horno reductor al norte del existente con el propósito de doblar la capacidad de producción de la Planta.

1.3.1 Fundición del Mineral

En esta sección de la Planta el mineral caliente reducido y sulfurado (calcina del horno) se funde en un fundidor eléctrico. La calcina del horno se descarga a una tolva de alimentación reguladora de 45 toneladas de capacidad. De la tolva reguladora, el mineral se descarga a unos contenedores de transferencia de 19 toneladas los que a su vez carga nueve tolvas de alimentación del fundidor ubicadas sobre el fundidor eléctrico. Cada tolva de alimentación descarga calcina por gravedad hacia tres tubos cargadores. Los tubos cargadores (27 en total) ingresan al fundidor eléctrico en el techo y se ubican en el horno para obtener una óptima distribución de la calcina. El sistema completo de alimentación desde la tolva reguladora al fundidor eléctrico es sellado al ambiente. Los contenedores de transferencia son trasladados por un carro de dos contenedores y un sistema de grúa para la calcina, entrelazado y operado automáticamente con características para poder operarse manualmente sustituyendo la función automática. Para protección del equipo y para minimizar la pérdida de calor, la tolva reguladora, los contenedores de transferencia de calcina, y las tolvas alimentadoras con tubos de carga están recubiertos con refractario.

Figura 5. Vista actual del fundidor eléctrico



Fuente: CGN, Compañía Guatemalteca del Níquel.

La calcina caliente se alimenta por estrangulación a través de los tubos de carga al fundidor eléctrico. En el fundidor eléctrico, la calcina se funde por contacto con la capa de escoria líquida en la cuál se genera calor entre los electrodos y la escoria al principio de la resistencia de calentamiento. Se produce una separación de fases entre la escoria derretida y la mata derretida. La mata derretida era una solución de hierro metálico y de sulfuro de níquel, ambas sustancias se producen durante la reducción y la sulfurización en el horno reductor. El sulfuro de níquel es más soluble en el hierro fundido que en la escoria fundida. Como resultado, la mayoría del níquel se concentra en la fase derretida de hierro. Además de actuar como medio de transporte para el níquel, el hierro derretido hacía la mata del horno es bastante densa en relación a la escoria derretida. Debido a esta gran diferencia en densidad se alcanza una buena separación de fases. La mata del horno se asenta en el fondo del fundidor y la escoria flota.

Sobre la escoria se encuentra la capa de calcina alimentada por estrangulamiento. A medida que esta capa se funde lentamente, se renueva por calcina adicional. La capa de calcina sólida sirve como una capa aisladora sobre la escoria derretida y mantiene las temperaturas del techo del fundidor a un mínimo. El fundidor eléctrico tiene 18 m de diámetro y utiliza tres electrodos de 2 m de diámetro del tipo Soderberg de auto cocido. Los electrodos operan sumergidos en la capa de escoria derretida. El calor que se requiere para la fundición se genera entre los electrodos y la escoria en el principio de la resistencia de calentamiento. El diseño del fundidor se fundamenta en un consumo energético máximo de 36,000 kW con un factor de operación de 0.85. Las paredes del fundidor eléctrico se enfrían con agua al igual que las vigas de soporte del techo. El fundidor tiene un recubrimiento de ladrillo de magnesita (ladrillos refractarios) y un fogón de dolomita apisonada.

El fundidor está provisto de dos agujeros de salida a la altura del fogón que se utiliza para la extracción de mata y dos agujeros de salida en un nivel más alto para extracción de escoria. El escurrimiento de escoria es una operación casi continua y se evacuan los óxidos de hierro, silicio y magnesio.

La escoria derretida se granula y se solidifica mediante impacto con una corriente de agua. Los gránulos de escoria suelen ser arrastrados por un flujo de agua a unas fosas grandes de filtración de escoria. En estas fosas, el agua se filtra separándose de la escoria granulada por medio de lechos de arena y grava. La mayor parte del agua filtrada se circula para granulación adicional de escoria. Una porción del agua va hacia una laguna de sedimentación. Para remover la escoria de las fosas y cargarla a los camiones para disposición, se utiliza una cuchara almeja que se opera desde una grúa aérea. La escoria se carga a camiones que la llevan al depósito de escoria al oeste de la Planta.

Figura 6. Vista actual de la fosa para granulación de escoria



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

La mata de níquel proveniente del fundidor eléctrico contenía 25 % de níquel, 65 % de hierro y 10 % de azufre. Esta mata se evacua a intervalos regulares hacia las cucharas con capacidad de 18 toneladas. La temperatura de la mata es de aproximadamente 1450 °C.

En el fundidor eléctrico se produce la reducción residual de pequeñas cantidades de níquel, lo que genera alguna descarga de gases, los cuales se evacuan a la atmósfera por medio de una chimenea de desfogue, la cual también da un servicio al horno reductor. La operación del área de fundición de mineral es por 350 días al año, con tres turnos diarios a excepción de la granulación de escoria la que se opera en dos turnos diarios.

Figura 7. Chimenea del fundidor y del horno reductor



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

En el Proyecto, el fundidor eléctrico será remozado y parcialmente reconstruido para aumentar su capacidad de producción. Luego de este trabajo, el fundidor volverá a fundir el mineral, pero esta vez sin producir mata de níquel sino ferroníquel sin azufre.

1.3.2 Conversión de la Mata de Níquel

En esta sección de la Planta se extrae el hierro en la mata fundida del fundidor eléctrico. El contenido de níquel en la mata del fundidor eléctrico se aumenta utilizando un proceso de conversión. Este aumento se logra al soplar aire a través de la mata fundida para oxidar el hierro metálico. Se agrega fundente de sílice y el óxido de hierro se removía como escoria (silicato de hierro).

La mata del fundidor se transfiere hacia el convertidor por cucharones recubiertos con refractario. La conversión se logra en cualquiera de los dos convertidores cilíndricos de 4 m de diámetro y 7.6 m de largo del tipo Pierce-Smith. Los convertidores están recubiertos con refractario de cromo-magnesita. Todas las operaciones de carga y desnatado se realiza a través de la boca del convertidor. El aire para la oxidación del hierro se sopla por la mata líquida a través de una serie de 40 toberas. El aire se proporciona a las toberas por medio de un soplador centrífugo de dos etapas de baja presión y de alto volumen.

Figura 8. Vista actual de uno de los convertidores Pierce-Smith



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

La conversión utilizada en la operación es proceso del tipo por lotes-continuos en el cual la mata del fundidor eléctrico se carga a intervalos. Entre los intervalos de carga de la mata, el hierro se oxida por medio de varios ciclos de soplado. Cada ciclo de soplado empieza con la carga de fundente de sílice triturado y de varios materiales conteniendo níquel (“reverts”) para reciclarlo al convertidor. El convertidor se rota para sumergir las toberas en la carga derretida del convertidor. En este punto comienza el soplado.

Después de un período de soplado de aproximadamente 20 minutos, el convertidor se rota (se ladea) y la escoria que se ha formado se desnata hacia un cucharón de escoria. El ciclo de soplado se repite aproximadamente cuatro veces por cada carga de mata al fundidor. A medida que el proceso continua, el contenido de níquel de la mata del convertidor se incrementaba a 75%. Con la eliminación de casi todo el

hierro, el contenido de azufre se incrementa a 25%. La escoria que se desnata después que cada soplado se descarga, ya sea hacia la fosa con escoria con bajo contenido de níquel o la de alto contenido de níquel que se enfría con rocío de agua.

La escoria con alto contenido de níquel se forma hacia el final de conversión de cada lote. Después del enfriamiento la escoria se desgarrar (arada) y cargada a camiones. La escoria con bajo contenido de níquel se desecha cerca del sitio de la Planta y la escoria con alto contenido de níquel se tritura para su reproceso en los convertidores. La adición de escoria con alto contenido de níquel a los convertidores además de aumentar la recuperación de níquel también contribuye a enfriar el lote, el que aumenta temperatura durante la oxidación de hierro debido a la temperatura exotérmica de la conversión. Al final de cada lote del convertidor, la mata se vierte a los cucharones recubiertos con material refractario de 18 toneladas para su transporte al siguiente paso en el proceso.

Durante los períodos de soplado en el convertidor se produce un gas conteniendo el dióxido de azufre y nitrógeno, el cual sale del convertidor a aproximadamente 1300 °C. Por medio de la inyección de aire en la boca del convertidor el gas se enfría a aproximadamente 350 °C. El gas enfriado se limpia en un precipitador electrostático para remover el polvo. El polvo se recicla al convertidor. La operación de conversión se logra sobre la base de uno o dos ciclos de conversión diarios, con operación durante 330 días al año, en dos turnos diarios.

1.3.3 Granulación del producto

En esta sección de la planta, la mata fundida del convertidor se granula y se solidifica, se seca y se empaqueta para transporte. La mata derretida del convertidor se transfiere en cucharas a la plataforma basculante de cucharas operada hidráulicamente. Estos gránulos se separan de la corriente de agua en un clasificador de espiral. El agua que rebosa se transporta por tubería a una pequeña laguna para enfriamiento y sedimentación de partículas de mata residual. Los gránulos del clasificador se transfieren a la tolva de alimentación del secador utilizando un contenedor de transferencia y montacargas. Los gránulos húmedos se evacúan de la tolva por medio de un pequeño alimentador de peso el que descar hacia un secador concurrente rotatorio pequeño, que utiliza búnker como medio de combustión.

Ya en el secador, se elimina la humedad del proceso de granulación, dejando un producto de sulfuro de níquel que fluía relativamente libre, ya seco y granulado. Este producto de descarga del secador se transporta a un elevador de tipo cubeta por medio de un alimentador vibratorio de donde se descarga sobre una criba vibratoria de trampa. La criba separa el producto en la malla (mesh) número 10. El producto que sobrepasa el tamaño se regresa al convertidor para reprocesarse. Las gotas de tamaño reducido del tamiz van hacia la tolva almacenadora. Los gránulos de mata de níquel se cargan hacia afuera utilizando una técnica por lotes. Los gránulos se transportan desde la tolva almacenadora a un elevador de cubeta el cual descarga hacia la tolva por lotes. La capacidad de la tolva por lotes está ajustada previamente y el sistema carga la tolva con el peso deseado. El contenido de la tolva por lotes se transfería por medio de un transportador replegable a un contenedor de barco cargado sobre un camión de plataforma plana.

Los contenedores se transportan al puerto para su embarque. Alternativamente, los gránulos se cargan utilizando un transportador replegable directamente a contenedores hechos a la medida.

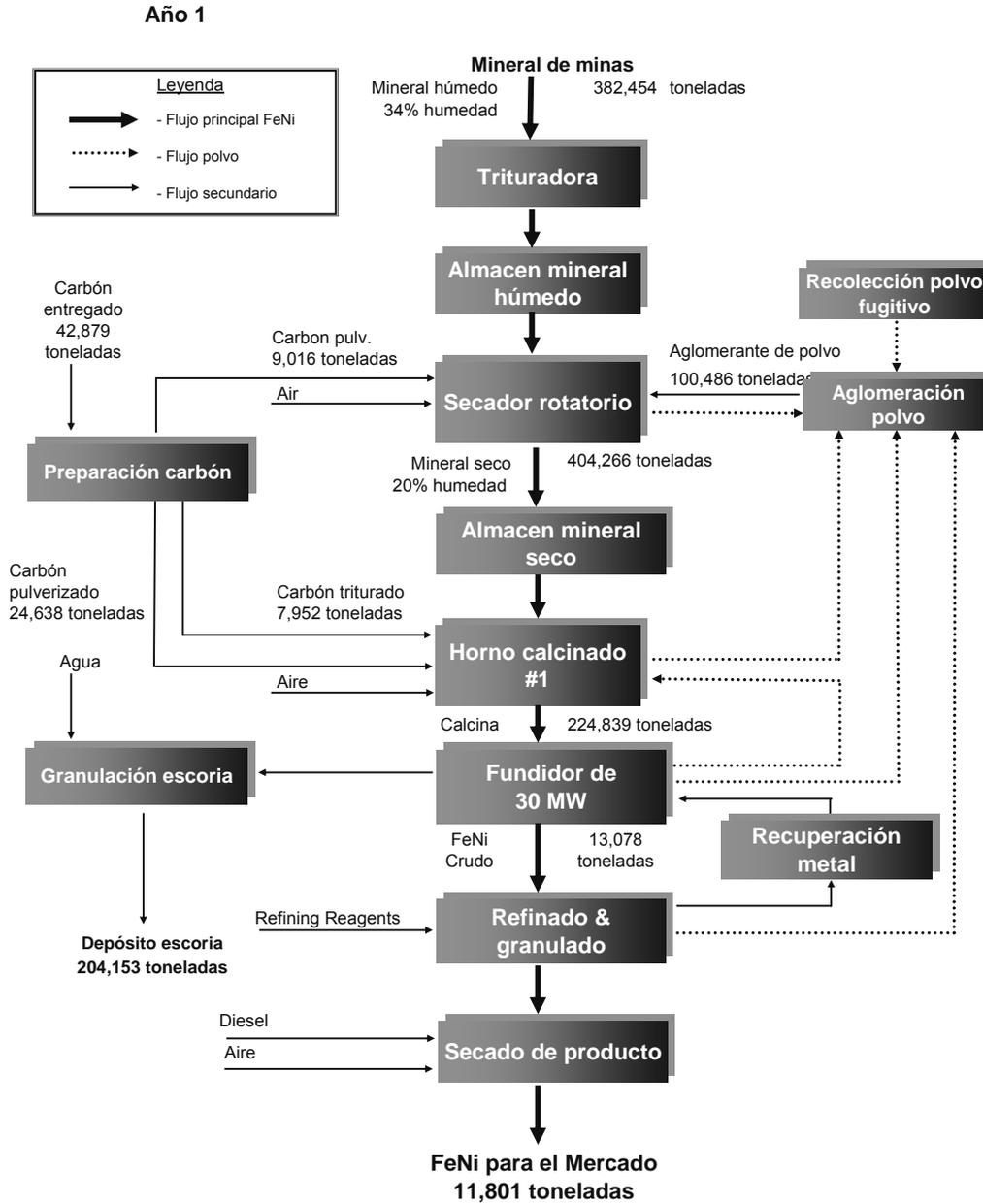
Figura 1. Vista actual del secador de producto



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

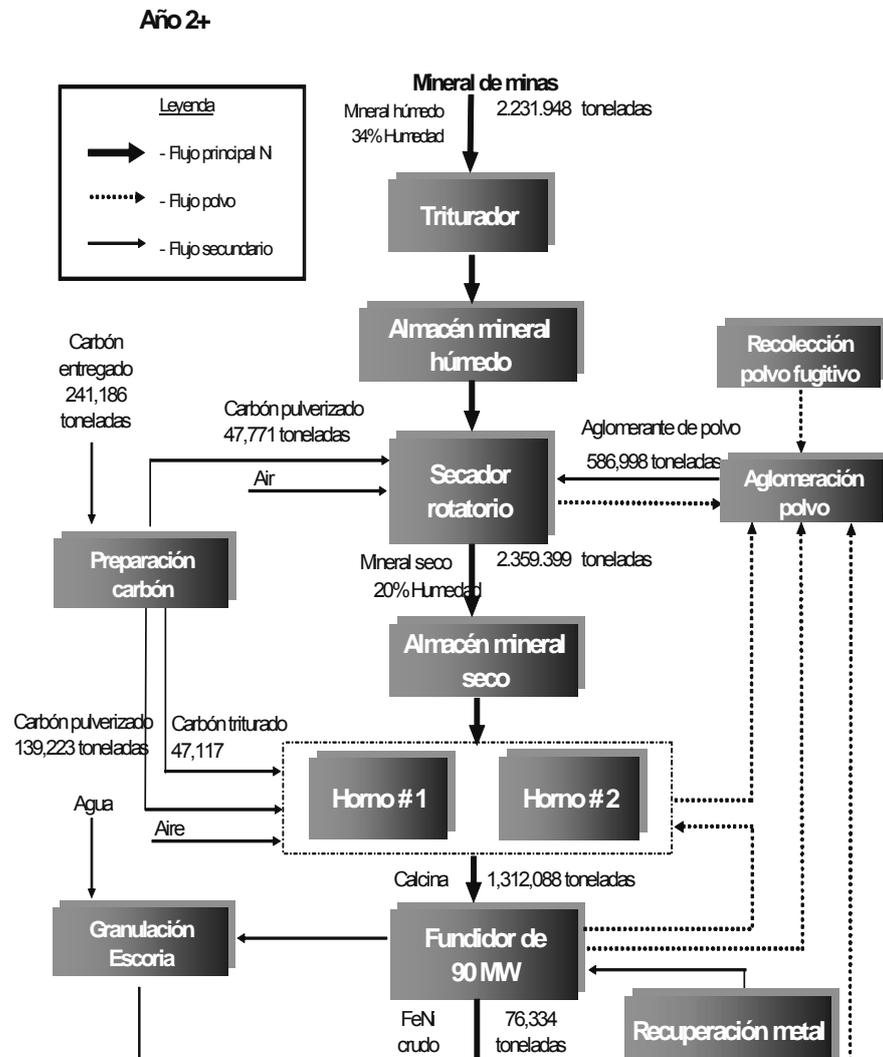
El polvo producido durante el secado se elimina utilizando un ciclón centrífugo y un filtro de tela. El polvo que se forma en los puntos de transferencia y en la operación de carga hacia afuera se remueve por medio de un filtro de tela. Todos los polvos se regresan al convertidor para su reproceso.

Figura 10. Diagrama de flujo para el primer año de operación



Fuente: CGN, Compañía Guatemalteca del Níquel.

Figura 11. Diagrama de operación y producción del segundo año en adelante.



Fuente: CGN, Compañía Guatemalteca del Níquel.

1.4 Definición de escoria

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.

1.5 Tipos

En la actualidad, el proceso de transformación de ciertos productos industriales desecha materiales en grandes cantidades, como las escorias; entre las cuales se encuentran:

a) Escoria granulada de altos hornos

b) Escoria de horno de arco eléctrico o de siderurgia

La escoria fundida a alta temperatura se enfría rápidamente y se apaga en el agua para formar un material granulado, en este caso se esta produciendo una escoria granulada de altos hornos.

1.6 Caracterización de la escoria del 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 mafica de mineral alimentado y del proceso de fundición. El mineral saprolita de Fénix esta compuesto de serpentina ($Mg_6Si_4O_{19}(OH)_8$) magnetita (Fe_3O_4) y goethita ($\alpha-FeOOH$).

La fase de procesamiento incluye la calcinación, la transferencia de calcita a un horno rotativo y la fundición en un horno electrónico. 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 Fénix no está operando en estos momentos, no se encuentra escoria generada recientemente para realizar una caracterización geoquímica.

El análisis de las caracterizaciones de desecho de la escoria añejada de Exmibal y la escoria de Cerro Matoso desde hace tres años indica que estas sustituidas tienen una naturaleza química benigna. Por lo tanto, la futura escoria de níquel puede tener alto potencial para volverse a utilizar. Una vez las operaciones de la planta inicien, el muestreo geoquímico, caracterización de las propiedades químicas y físicas de la escoria para determinar el uso óptimo en las aplicaciones futuras.

1.7 Aplicaciones de la Escoria del Níquel

En el futuro se espera que el proyecto produzca aproximadamente hasta 1.32 millones de toneladas de escoria por año. No obstante, actualmente se requiere la eliminación de la escoria y rehabilitación del sitio donde se encuentra.

Estos son algunos de los usos actuales de la escoria en otros países:

- Arenado
- Cerámica
- Construcción
- Agricultura

a) Ventajas de utilizar Escoria como Abrasivo

- El tamaño de las partículas de la escoria las hace ideales para el arenado de la mayoría de las operaciones de limpieza
- Índice de limpieza satisfactorio
- Económico
- Bajo contenido de sílice
- Clasificación toxica moderada baja
- El tamaño de las partículas puede ajustarse en el momento de cambiar la frecuencia de enfriamiento de la graduación.

b) Cerámica

Algunas empresas en otros países han convertido una gran cantidad de material de escoria para ser utilizada en la cerámica, tejas, ladrillos, materiales de construcción y otros productos industriales.

c) Construcción

En la construcción, la escoria puede ser utilizada como un suplemento o agregado del concreto y en las aplicaciones de techo de teja, siempre dependiendo de las características químicas, físicas y propiedades mecánicas de la escoria.

La escoria es un material compuesto utilizado para soportar esfuerzos compresivos. Esta escoria puede ser utilizada en las superficies de las carreteras, concreto o mezclas bituminosas. En Norte América, la escoria de ferroníquel es utilizada como agregado fino para diferentes aplicaciones. En Japón la escoria de ferroníquel es utilizada como agregado fino para la construcción, como mezclas de concreto para pavimentos las cuales han demostrado una mejora a la resistencia al deslizamiento.

2. MORTEROS

En Guatemala, el acceso a sistemas constructivos para vivienda ha aumentado, sin embargo, el que predomina es la mampostería.

Las primeras estructuras de mampostería fueron construidas con piedra y morteros de barro; más tarde vinieron los morteros de arcilla y luego se descubrió que la cal producía un excelente aglomerante. El mortero de cal y arena fue usado en la construcción de mampostería hasta poco antes de la aparición del Cemento Pórtland a mediados del siglo XIX.

El mortero ocupa entre el 10 y 20 % del volumen total de material de una pared de mampostería, sin embargo su efecto en el comportamiento de esta es mucho mayor que lo que indica este porcentaje. Estéticamente, puede añadir un colorido adicional o un acabado muy particular a las paredes. Funcionalmente, el mortero une las unidades de mampostería y sirve de sello para impedir la filtración del agua, separación de elementos y otros.

Para la construcción y aplicaciones de cargas, el comportamiento del mortero incide tanto como la resistencia de las piezas de mampostería y la mano de obra.

2.1 Definición

Los morteros son mezclas de materiales aglomerantes y agregados finos que, al añadirles agua, forman masas plásticas especiales para unión de unidades de mampostería o para revestimiento de las mismas.

2.2 Tipos y usos de morteros

Los morteros se pueden clasificar en dos tipos:

- Los aéreos, que endurecen bajo la influencia del aire al perder agua y fraguan lentamente por un proceso de carbonatación.
- Los hidráulicos que endurecen bajo efecto del agua, ya que poseen en su composición elementos que se obtienen por calcinación de calizas impurificadas con sílice y alúmina que les permiten desarrollar resistencias iniciales relativamente altas.

Entre los que pueden mencionarse y que se clasifican según la norma ASTM C-270 Specification for mortar for unit masonry (Especificación para mortero de mampostería).

2.2.1 Morteros de Cemento Pórtland y cal

Los morteros de Cemento Pórtland y cal deben combinarse de tal manera que se aprovechen las propiedades adhesivas de la cal y las propiedades cohesivas del Cemento Pórtland, es importante tener en cuenta que cada adición de cal incrementa la cantidad de agua de mezclado necesaria para lograr las condiciones deseadas, debe buscarse una combinación adecuada.

Estas cantidades pueden estar por proporción o por propiedades (ver tabla I), pero por ninguna de las anteriormente mencionadas, la especificación por proporción rige siempre que se hace referencia a la norma ASTM C-270 y no se menciona un método específico.

El mortero especificado por proporción según la norma ASTM C-270, debe cumplir con lo indicado en la tabla I, basándose en las masas de los materiales. Mientras que el mortero especificado por propiedades debe cumplir con lo indicado en la tabla II.

Tabla I. Especificaciones para proporciones de mortero, según Norma ASTM C-270

Mortero	Tipo	Proporciones por volumen					Proporción de agregados
		Cemento Pórtland o mezclado	Cemento de mampostería			Cal hidratada	
			M	S	N		
Cemento-Cal	M	1	--	--	--	¼	No menos de 2 ¼ y no más de 3 veces la suma de los volúmenes separados de los materiales cementantes
	S	1	--	--	--	Entre ¼ y ½	
	N	1	--	--	--	Entre ½ y 1 ¼	
	O	1	--	--	--	Entre 1 ¼ y 2 ½	
Cementos de albañilería	M	1	--	--	1	--	
	M	--	1	--	--	--	
	S	½	--	--	1	--	
	S	--	--	1	--	--	
	N	--	--	--	1	--	
	O	--	--	--	1	--	

Fuente: ASTM C-270- 03 "Standard Specification for Mortar for Unit Masonry."

Tabla II. Características mecánicas de los morteros, según Norma ASTM C-270

Mortero	Tipo	Resistencia a la compresión, mínima a 28 días Kg/cm ²	Retención de agua mínima %	Contenido de aire máximo	Proporción de agregados
Cemento-Cal	M	175	75	19	No menos de 2 ¼ y no más de 3 veces la suma de los volúmenes separados de los materiales cementantes
	S	126	75	19	
	N	53	75	21*	
	O	25	75	21*	
Cementos de albañilería	M	175	75	**	
	S	126	75	**	
	N	53	75	**	
	O	25	75	**	

Fuente: ASTM C-270- 03 "Standard Specification for Mortar for Unit Mansory.

2.2.2 Morteros de cemento

Cuando se requieran resistencias elevadas, se puede usar como aglomerante Cemento Pórtland. Las condiciones de trabajabilidad son variables de acuerdo con la relación agua-cemento usada. La fabricación de este mortero, que es hidráulico ha de efectuarse de un modo continuo, de manera tal que entre el mezclado y la colocación en obra haya el menor tiempo posible debido a lo rápido del fraguado del cemento. Por ello se acostumbra a mezclar en obra primero el cemento y el agregado, luego se añade el agua.

Los usos de los morteros de cemento tienen características en cuanto a sus características mecánicas:

1. Morteros que proveen suficiente resistencia para soportar cargas a compresión, y/o resisten la abrasión.
2. Morteros que mantengan elementos en la posición deseada.
3. Morteros que permitan emparejar ciertas unidades estructurales (revoques y revestimientos).
4. Morteros que sirvan como relleno de juntas entre diferentes elementos constructivos (reparaciones de columnas, vigas, etc.).

Lo acostumbrado en el uso de morteros de cemento es la dosificación por partes de cemento y agregado (1:n), la mayoría de las veces haciéndose caso omiso, o desconociéndose la resistencia que dichos morteros obtendrán una vez endurecidos. Es clara la necesidad de diseñar y dosificar el mortero de acuerdo con las condiciones de resistencia particulares y algunas otras propiedades y características, se requiere un método claro y preciso.

Tabla III. Usos de los morteros de cemento

Proporción	Usos
1:1	Mortero muy rico para impermeabilizaciones. Rellenos
1:2	Para la impermeabilización y muros de tanques subterráneos. Rellenos
1:3	Impermeabilizaciones menores. Pisos
1:4	Pega de ladrillos y bloques en muros. Muros finos
1:5	Muros exteriores: pega de ladrillos, bloques, baldosas y mampostería en general. Muros no muy finos.
1:6 y 1:7	Muros interiores: pega de ladrillos, bloques, baldosas y mampostería en general. Muros no muy finos.
1:8 y 1:9	Pega para construcciones que se demolerán pronto. Estabilización de taludes en cimentaciones

Fuente: ASTM C-270- 03 “Standard Specification for Mortar for Unit Mansory.

2.3 Propiedades de los morteros

Las propiedades de los morteros deben evaluarse como una medida de control de calidad, estas características se presentan en los morteros de acuerdo al estado en que se encuentren, por lo regular se toman en cuenta propiedades en estado plástico y en estado endurecido. Si un mortero cumple con dichas características, fraguará y endurecerá dentro del tiempo y resistencia esperados.

2.3.1 Propiedades en estado plástico

Determinan la adaptabilidad de un mortero en la construcción, debe fluir bien, ser trabajable, contar con buena retención de agua y mantener dichas propiedades por largo tiempo. Además debe adherirse bien a las unidades de mampostería. El mortero en sí mismo debe ser cohesivo y homogéneo.

2.3.1.1 Manejabilidad

Es la propiedad más importante de los morteros en estado plástico, porque facilita la colocación de la mezcla, en las unidades de mampostería o en revestimientos.

En general, se acepta como medida de la manejabilidad, el valor de fluidez de la mezcla obtenido en la mesa de flujo de acuerdo a la norma **ASTM C-230 “Standard Specification for Flow Table for Use in Tests of Hydraulic Cement”** (Especificación estándar de la mesa de flujo para el uso en ensayos de cemento hidráulico).

Algunas características de esta propiedad:

- Plasticidad
- Consistencia
- Cohesión
- Adherencia

Todas estas características pueden ser medidas mediante pruebas de laboratorio.

2.3.1.2 Retención de agua

Es la medida de la habilidad de un mortero bajo condiciones de succión y evaporación, a retener el agua de la mezcla, ya que si esta se evapora o es absorbida por las unidades de mampostería la adherencia entre la pieza y el mortero se reduce.

Esta propiedad provee al albañil tiempo para ajustar las unidades de mampostería sin que el mortero alcance su fraguado. La retención de agua aumenta con altos contenidos de cal, contenidos de aire, adición de agregados finos, o el uso de sustancias retardantes del fraguado.

Puede ser mejorada mediante la adición de cal, dada su capacidad plastificante, aunque hoy en día se tienen otras alternativas igualmente satisfactorias como el uso de aditivos plastificantes y agentes incorporadores de aire.

2.3.1.3 Velocidad de endurecimiento

La relación de fraguado del mortero debido a la hidratación del cemento, es la velocidad a la que éste desarrolla su resistencia para soportar cargas. Pero los tiempos de fraguado inicial y final del mortero deben estar entre límites adecuados.

Sin embargo, éstos dependen de diversos factores como las condiciones del clima, la composición de la mezcla o la mano de obra, hoy en día son fácilmente controlables con el uso de aditivos. La norma **ASTM C-403 “Standard Test Method for Time of Setting of Concrete Mixtures by Penetration Resistance”** (Método de ensayo estándar para el tiempo de fraguado de mezclas de concreto por la resistencia a la penetración), da un método de ensayo para evaluar este parámetro.

Características de esta prueba:

- Un fraguado inicial muy rápido puede entorpecer el manejo del mortero por parte del albañil.
- Un fraguado final muy lento dificultaría el progreso de la obra, puesto que en tal caso el mortero fluye de los muros recién terminados.
- El fraguado se confunde a veces con la rigidez causada por la pérdida rápida de agua, la cual se presenta, por ejemplo, cuando se utiliza un mortero de baja retención de agua y piezas muy absorbentes.

2.3.2 Propiedades en estado endurecido

Las propiedades del mortero endurecido ayudan a determinar el comportamiento del muro terminado, e incluyen características como la adherencia, durabilidad, elasticidad y resistencia a la compresión, a continuación se describen las propiedades del mortero, tanto en estado plástico como en estado endurecido.

2.3.2.1 Adherencia

La propiedad más importante del mortero es su habilidad para adherirse a las piezas de mampostería o acero. En general, la adherencia es la capacidad que tiene el mortero de absorber tensiones normales y tangenciales a la superficie que lo une con la estructura. Es de gran importancia, ya que a ella se debe el hecho de que un mortero pueda resistir pandeo, cargas transversales y excéntricas, dándole resistencia a la estructura. La adherencia afecta en gran forma la permeabilidad y la resistencia a la flexión.

En el caso de la mampostería, para obtener una buena adherencia es necesario que la superficie del bloque sea tan rugosa como sea posible para permitir la unión mecánica del mortero, así como un porcentaje de absorción proporcional a la retención de agua del mortero.

Se define el grado de contacto entre el mortero y la unidad de mampostería, y puede evaluarse con base en lo siguiente:

- a. La resistencia a tensión o la fuerza necesaria para separar las unidades.
- b. La resistencia a deslizamiento por corte entre mortero-unidades.
- c. La resistencia a separación mortero-unidad por flexión.

Las determinaciones usuales en las normas son las de adherencia por tensión y de adherencia por flexión. Los morteros deben desarrollar una buena adherencia para poder soportar los esfuerzos estructurales, por sismos, por viento, por cambios de temperatura o contracción de los materiales.

Nota:

El reacondicionamiento, o sea agregar más agua y mezclar nuevamente, es una práctica aceptable para compensar el agua perdida por el mortero. La norma ASTM C-270 requiere que todo mortero sea usado antes de las dos horas y media, con opción a reacondicionarse tantas veces como sea necesario dentro de ese lapso.

2.3.2.2 Resistencia a la compresión

Es un criterio para seleccionar el tipo de mortero, debido a su fácil medición que depende en gran manera del contenido de cemento, la cantidad de agua utilizada y, en el tipo de agregado.

Una vez aplicado en obra, el mortero debe actuar como unión resistente. Se requiere una alta resistencia a la compresión cuando el mortero deba soportar cargas altas y sucesivas.

La resistencia de un mortero compuesto del mismo cemento con diferentes proporciones y tamaños de agregado, depende de:

1. Que al utilizar un mismo agregado, el mortero es más resistente e impermeable cuando tiene mayor porcentaje de cemento en un volumen dado de mortero.

2. También cuando posea un porcentaje de cemento en volumen de mortero, es generalmente más impermeable y resistente que aquél que tenga la mayor densidad, o sea aquél que en una unidad de volumen contenga el mayor porcentaje de materiales sólidos.

2.3.2.3 Durabilidad

Es la resistencia a los agentes externos como las bajas temperaturas, la penetración del agua, desgaste por abrasión, retracción al secado, eflorescencias, agentes corrosivos, o choques térmicos, entre otros, sin deterioro de sus condiciones físico-químicas con el tiempo. En general, se cree que morteros de alta resistencia a la compresión tienen buena durabilidad, sin embargo, el uso de agentes inclusores de aire es de particular importancia en ambientes húmedos, ambientes marinos y en general en condiciones de ambiente agresivo.

2.3.2.4 Resistencia a tensión

En varias situaciones los muros están sometidos a tensiones diagonales y combinaciones de esfuerzos, estos se producen por efectos sísmicos, hundimientos diferenciales o bajo la acción de cargas gravitacionales, y aunque la resistencia a la tensión es baja en el mortero es conveniente conocerla por las razones mencionadas. Uno de los procedimientos para determinar la resistencia a la tensión de los morteros se encuentra descrito en la norma ASTM C-190 (Método de ensayo para fuerzas tensibles para morteros de cemento), en ella se especifican los materiales y equipo a utilizar. En este ensayo solamente se determina el esfuerzo de ruptura el cual ocurre de manera repentina.

2.3.2.5 Permeabilidad

Es la característica de dejar filtrar ya sea aire o agua. Los morteros trabajables y uniformes, pueden hacer que la mampostería sea más resistente a la permeabilidad al agua.

Cuando un mortero no es trabajable, los albañiles deben golpear suavemente las piezas de mampostería para colocarlas en su sitio. El resultado de esto es que la junta de mortero no es tan buena, y se pueden producir grietas que favorezcan alguna filtración.

2.3.2.6 Resistencia a corte

En los morteros evaluados la resistencia a corte es más representativa cuando se ensayan prismas de mampostería sujetos a carga de compresión diagonal, debido a que el mortero y la unidad de mampostería van a actuar como una pieza monolítica en el muro al ser sometidos a esfuerzos cortantes.

Las fallas características de este ensayo pueden ser: esfuerzo tangencial en las juntas, tensión diagonal y falla parcialmente definida, que atraviesa las juntas y los mampuestos.

Es muy importante la relación que el ensayo de adherencia y fricción guarda con el ensayo de corte, ya que los resultados del primero sirven como parámetros referenciales para el segundo.

2.3.2.7 Resistencia a flexión

El mortero es un material frágil, al comparar su resistencia a la flexión con su resistencia a compresión vemos que la primera es muy baja y poco representativa al momento de diseñar mampostería. Un mortero mantiene adheridas unidades de mampostería entre si, tratando de que se comporten como una estructura monolítica, y juntos van a soportar combinaciones de esfuerzos, las cuales en su mayoría son de flexo compresión. Es importante conocer el módulo de ruptura, ya que estos esfuerzos combinados provocarían grietas y fisuras en las juntas de los muros.

3. DESARROLLO EXPERIMENTAL

3.1 Muestreo

Se realizó una visita a la planta de CGN ubicada en El Estor, departamento de Izabal, con el fin de tomar muestras de la escoria que se genera en la fundición del hierro con el níquel.

Para el estudio se realizó un muestro en el área donde se encuentran a la intemperie la escoria de ferroníquel. En el lugar se encuentra una cantidad aproximada de dos millones toneladas de escoria de ferroníquel a la intemperie a un costado del lago de Izabal, a la cual no se le ha dado ningún aprovechamiento.

Figura 12. Vista aérea de la Compañía Guatemalteca del Níquel CGN, El Estor, Izabal.



Fuente: **Google Earth Versión 4.3**

Para que el material a analizar fuera representativo, se extrajeron varias muestras de manera aleatoria a cada 10 metros de distancia aproximadamente, a profundidades que varían desde la superficie hasta un metro y medio de profundidad.

Figura 13. Vista aérea del Banco de escoria Ferroníquel de la Compañía Guatemalteca del Níquel CGN, El Estor, Izabal.



Fuente: **Google Herat Version 4.3**

Las muestras tomadas fueron trasladadas en sacos, del sitio donde se almacenaban al laboratorio del Centro de Investigaciones de Ingeniería (CII) de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

3.2 Análisis químico de la Escoria de ferroníquel

En el estudio de la reacción álcali-agregado cuya manifestación mas frecuente y conocida es la reacción álcali-sílice, es uno de los análisis de las propiedades químicas de los agregados, dentro de tecnología para realizar concreto y morteros. Esta reacción de sílice puede llegar a generar serios problemas estructurales dentro de una obra civil, y que este solo puede generarse en estructuras con materiales como:

- Cemento Pórtland
- Agua
- Agregado fino \Longrightarrow (Escoria de Ferroníquel)
- Agregado grueso
- Minerales y aditivos

Para esto se realizo un ensayo químico a la escoria de ferroníquel **reactividad potencial** la cual preocupa en aquellas estructuras que el concreto y el mortero estarán en forma permanente o periódica en contacto con agua y con suelos húmedos, el cual puedan 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 Pórtland.

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.

Para determinar la presencia de sustancias y minerales que provocan reacciones con la pasta de Cemento Pórtland se realizó el método químico para determinar la reactividad potencial álcali-silice de los agregados (método químico ASTM-289) dando como resultado:

Se determinó la **composición química** de la escoria de ferroníquel por medio de métodos Volumétricos y Gravimétricos en la sección de Química Industrial del Centro de Investigaciones de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Estos métodos de adición de volúmenes de la disolución conocida se denomina valoración. Generalmente la disolución con el reactivo conocido (disolución valorante) se prepara a partir de un patrón u otro reactivo en cuyo caso debe de ser normalizada previamente para la determinación de la composición química de algún material.

3.3 Caracterización física de la Escoria de ferroníquel

3.3.1 Peso específico norma ASTM C128

Se denomina **peso específico** de un material al cociente entre su peso y el peso de un volumen equivalente de agua a 4°C (condiciones de máxima densidad del agua), siendo un valor adimensional.

El peso específico (densidad) de las partículas que se usa en los cálculos de proporcionamiento (no incluye los vacíos entre las partículas) se determina por la multiplicación de la masa específica relativa de los agregados por la densidad del agua. Se usa un valor para densidad de agua de aproximadamente de 1000 kg/m³. El peso específico del agregado juntamente con valores más precisos de la densidad del agua se presentan en las normas ASTM C127 y 128. El peso específico de las partículas de la mayoría de los agregados está entre 2400 y 2900 kg/m³.

3.3.2 Granulometría norma ASTM C-136

La granulometría es la distribución de los tamaños de las partículas de un agregado tal como se determina por análisis de tamices (norma ASTM C 136). El tamaño de partícula del agregado se determina por medio de tamices de malla de alambre aberturas cuadradas. Los siete tamices estándar ASTM C 33 para agregado fino tiene aberturas que varían desde la malla No. 100(150 micras) hasta 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.

En general, si la relación agua – cemento se mantiene constante y la relación de agregado fino a grueso se elige correctamente, se puede hacer uso de un amplio rango de granulometría sin tener un efecto apreciable en la resistencia. Entre mas uniforme (la misma cantidad de material en retenida en cada tamiz) sea la granulometría, mayor será la economía.

Para la granulometría de la escoria de ferroníquel, consistió en la separación mecánica a través del tamizado de una muestra de 500 gramos de escoria utilizando una batería de tamices, obteniendo la cantidad de material retenido acumulado.

3.3.3 Peso unitario norma ASTM C-29

Los agregados poseen masa y volumen, la misma masa tiende a ocupar distintos volúmenes. La propiedad que nos permite medir la masa sobre una unidad de medida recibe el nombre de peso unitario del material tanto suelto como compactado. Cuanto mayor sea la densidad de un cuerpo, más pesado nos parecerá, esto quiere decir que el peso del mortero para mampostería con ferroníquel como agregado lo definirá la escoria.

El volumen a que se refiere es aquel ocupado por los agregados y por los vacíos entre las partículas de agregados. La masa volumétrica

aproximada comúnmente utilizada en el concreto de peso normal varia de 1200 a 1750kg/m³. Los métodos la determinación del peso unitario del agregado y el contenido de vacíos se encuentran en las normas ASTM C29.

Figura 14. Fotografía del ensayo de peso unitario



Fuente: **Sección de Concretos y Agregados CII/USAC**

Figura 15. Fotografía del ensayo de peso unitario, tara+ material



Fuente: **Sección de Concretos y Agregados CII/USAC**

3.3.4 Porcentaje vacíos norma ASTM C-138

Es la relación del peso específico entre el peso unitario compactado que da como resultado la cantidad de vacíos, la cantidad de vacíos varia cerca del 40 y 50% para el agregado fino.

3.3.5 Porcentaje de absorción norma ASTM C-127

Es la cantidad de agua capaz de ser tomada por la escoria después de 24 horas de inmersión y se expresa como un porcentaje del peso seco del material.

Absorción de agregado fino

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. Con el secador se le inyecta una corriente de aire hasta conseguir un secado uniforme, la operación es terminada cuando los granos del agregado están sueltos. Luego se introduce la muestra en un molde cónico, se apisona unas 25 veces dejando caer el pisón desde una altura aproximada de 1 cm, posteriormente se nivela y si al quitar el molde la muestra se deja caer 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 se cae el agregado al quitar el molde cónico es porque se ha alcanzado una condición saturada con superficie seca.

Se procede a tomar una muestra de 500 gramos, luego se coloca la muestra en una capsula para ser dejada en el horno por espacio de 24 horas. Y por último, al día siguiente se llevaran las muestras a la balanza y así cuantificar su valor.

La mayoría de los agregados finos pueden mantener un contenido máximo de absorción (humedad drenada) del 3% al 8% según la norma ASTM C70 y C127.

3.3.6 Pasa tamiz 200 Norma ASTM C-117

Se tomó una muestra de aproximadamente 400 gramos, la cual fue lavada por el tamiz No 200 para obtener porcentaje de partículas finas que pasa por el tamiz.

Figura 16. Fotografía del ensayo de Tamiz 200



Fuente: **Sección de Concretos y Agregados CII/USAC**

3.3.7 Materia Orgánica norma ASTM C 87-83 y 40-84

La materia orgánica que se presenta en los agregados, especialmente en los finos consiste en tejidos animales y vegetales que están principalmente formados por carbono, nitrógeno y agua. Este tipo de materia al encontrarse en grandes cantidades afectan en forma nociva las propiedades del concreto y morteros, como la resistencia, durabilidad y buen desarrollo del proceso de fraguado. Por esto es muy importante controlar el posible contenido de materia orgánica de una arena ya que ésta es perjudicial al combinarse con el cemento. El ensayo más utilizado es el colorimétrico y que si posee un nivel alto puede perjudicar en la resistencia del concreto y el mortero.

Los agregados en proceso de ensayo de impurezas orgánicas producen un color mas oscuro que el estándar, ya que el color permisible según la norma es el numero 3.

3.3.8 Módulo de finura norma ASTM C-125

El módulo de finura es el valor correspondiente a la centésima parte de la suma de los porcentajes retenidos acumulados en los tamices de la serie preferida. Se calcula tanto para arenas como para gravas o áridos totales. Cuanto mayor es el módulo de finura más grueso es el material. El módulo de finura también se puede apreciar en la granulometría.

El módulo de finura se calcula sumándole los porcentajes acumulados de las masas retenidas en cada uno de los tamices, según la serie especificada dividiendo esta suma por 100.

El módulo finura entre mas grandes los agregados es mas grueso siendo los límites entre 2.3 a 3.1, según especificaciones de la norma ASTM C-125.

3.4 Realización de mortero utilizando escoria de níquel como agregado fino.

Se realizaron varios diseños para mortero utilizando como guía la norma **ASTM C-270** en la cual indica las cantidades necesarias para obtener diferentes clases en función del tipo de mortero que se desea.

Figura 17. Fotografía del equipo a utilizar en el mezclado del mortero



Fuente: **Sección de Morteros y Aglomerantes CII/USAC**

3.4.1 Propiedades en estado plástico

3.4.1.1 Manejabilidad

ASTM C-230 “Standard Specification for Flow Table for Use in Tests of Hydraulic Cement” (Especificación estándar de la mesa de flujo para el uso en ensayos de cemento hidráulico).

La manejabilidad del mortero con escoria es muy fácil de manipular y moldear, lo único que puede observarse es que la escoria es muy abrasiva lo que tiende a ser que el mortero sea bastante áspero, pero esto a su vez produce una mejor adherencia en los elementos de mampostería.

Figura 18. Fotografía del ensayo flow o manejabilidad del mortero



Fuente: **Sección de Morteros y Aglomerantes CII/USAC**

Figura 19. Fotografía de la medición de un flow



Fuente: **Sección de Morteros y Aglomerantes CII/USAC**

3.4.1.2 Retención de agua

ASTM C-91 “*Standard Specification for Masonry Cement*”

(Especificación estándar para cemento de mampostería).

El mortero con escoria de ferroníquel bajo condiciones de succión y evaporación, tiende a retener el agua de la mezcla en un mayor porcentaje comparado con un agregado normal pétreo, ya que si está no se evapora ni es absorbida por las unidades de mampostería, la escoria tiende a mantener el agua dentro de sus partículas, obteniendo una mejor adherencia entre la pieza.

En esta propiedad se logra ganar tiempo para ajustar las unidades de mampostería sin que el mortero alcance su fraguado o sin necesidad de agregar más agua. Es muy importante tener en cuenta que la retención de agua aumenta con altos contenidos de cal, contenidos de aire, debido a que estos elementos retardan el fraguado del mortero.

Figura 20. Fotografía del equipo de retención de agua para morteros



Fuente: **Sección de Morteros y Aglomerantes CII/USAC**

3.4.1.3 Velocidad de endurecimiento

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

Para la evaluación de la velocidad de endurecimiento se tomaron como parámetros el fraguado inicial y el final.

La relación de fraguado del mortero con escoria de ferroníquel ayuda a la hidratación del cemento, aumentando la alcalinidad del mortero produciendo un desarrollo mayor de resistencia en su velocidad de endurecimiento por los componentes químicos del material pudiendo soportar mayores cargas a temprana edad.

Esto cambia cuando en el diseño número tres, ya que al agregar cal, este produce un retardo en su velocidad de endureciendo en los tiempos de fraguado inicial y final comparados con los otros dos diseños que lograron su fraguado inicial muy rápido.

Figura 21. Fotografía del ensayo de velocidad de endurecimiento.



3.4.1.4 Trabajabilidad ASTM C-270

De manera general, la norma ASTM C 270 describe que la trabajabilidad de los diseños de mezclas de los morteros debe medirse con la prueba de flow. El diseño número uno de los tres realizados es el que posee una mayor manejabilidad en relación a los otros dos diseños.

3.4.2 Propiedades en estado endurecido

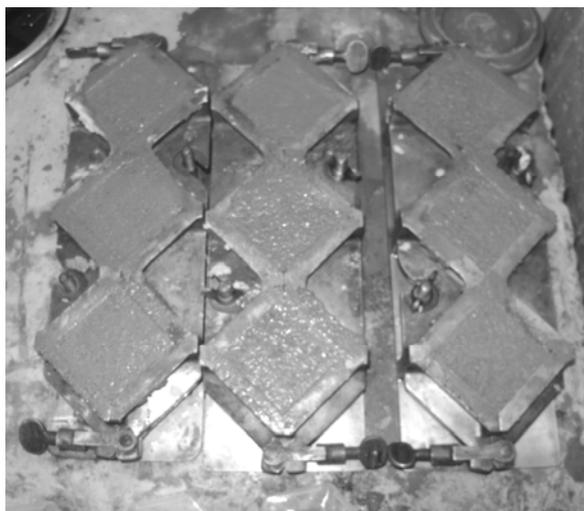
3.4.2.1 Resistencia a la compresión ASTM C-109

ASTM C-109M “Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens)”

(Método de ensayo estándar para la resistencia a la compresión de morteros de cemento Pórtland usando cubos de 2 pl. o 50 mm)

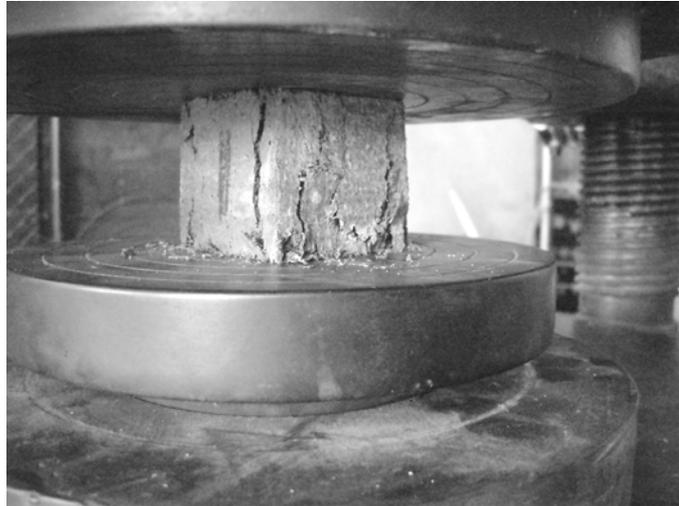
Para determinar la resistencia del mortero compuesto con ferroníquel diseñado con el mismo cemento con diferentes proporciones se evaluó de acuerdo a la norma **ASTM C109M-02** (Método de ensayo estándar para la resistencia a la compresión de morteros de cemento Pórtland usando cubos de 2 pl. o 50 mm), para medir la resistencia se realizaron cubos de 2”X 2” de área para luego ensayarlos, aplicándoles carga para someterlos a compresión a diferentes edades. Realizando ensayos de resistencia tanto a 3 y 7 días como lo esperado a los 28 días donde se espera su máxima resistencia.

Figura 22. Fotografía de cubos de mortero con escoria de ferroníquel.



Fuente: **Sección de Morteros y Aglomerantes CII/USAC**

Figura 23. Fotografía del ensayo de cubos a compresión.



Fuente: **Sección de Morteros y Aglomerantes CII/USAC**

3.4.2.2 Durabilidad

En lo que se refiere al mortero utilizando escoria de ferroníquel se ha comportado resistencia a los agentes externos, como la permeabilidad, y en lo que se refiere a la textura de la escoria conjuntamente con el mortero se ha observado como si fuese un material muy abrasivo, ya que la escoria de ferroníquel es un material pesado.

3.4.2.3 Resistencia a Tensión

ASTM C-190 “Standard Test Method for Tensile Strength of Hydraulic Cement Mortars” (Método de ensayo estándar para la resistencia a la tensión de morteros de cementos hidráulicos)

Para medir la resistencia a tensión del mortero compuesto con ferroníquel, se realizaron briquetas normalizadas con una área de esfuerzo

de 1" evaluada, según la norma **ASTM C190** (Método de ensayo para fuerzas tensibles para morteros de cemento).

Figura 24. Fotografía de briquetas de mortero de escoria de ferroníquel



Fuente: **Sección de Morteros y Aglomerantes CII/USAC**

Figura 25. Fotografía del ensayo de briquetas a tensión.



Fuente: **Sección de Morteros y Aglomerantes CII/USA**

3.5 Ensayo de prismas.

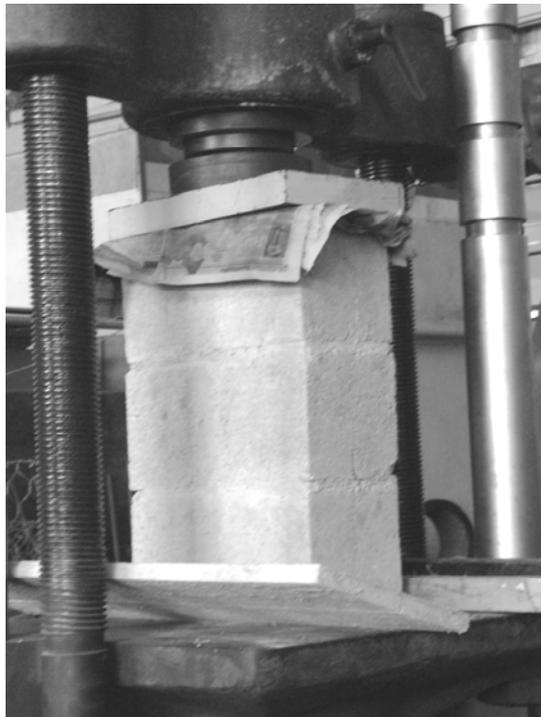
Se realizaron prismas de 0.4X0.6 m, con el diseño número 2 con proporción 1:2:0.57 siendo este el que mejor resultado proporciono en las pruebas mecánicas.

3.5.1 Resistencia a compresión

ASTM E-447 “Standard Test Method for Compressive Strength of Laboratory Constructed Masonry” (Método de ensayo estándar para la resistencia a la compresión de mampostería construida en laboratorio)

Para los morteros de levantado, se realizo un prisma de tres blocks de mampostería donde se observó el desarrollo de resistencia a la compresión a 28 días con proporción 1:2:0.57.

Figura 26. Fotografía de un prisma a compresión.



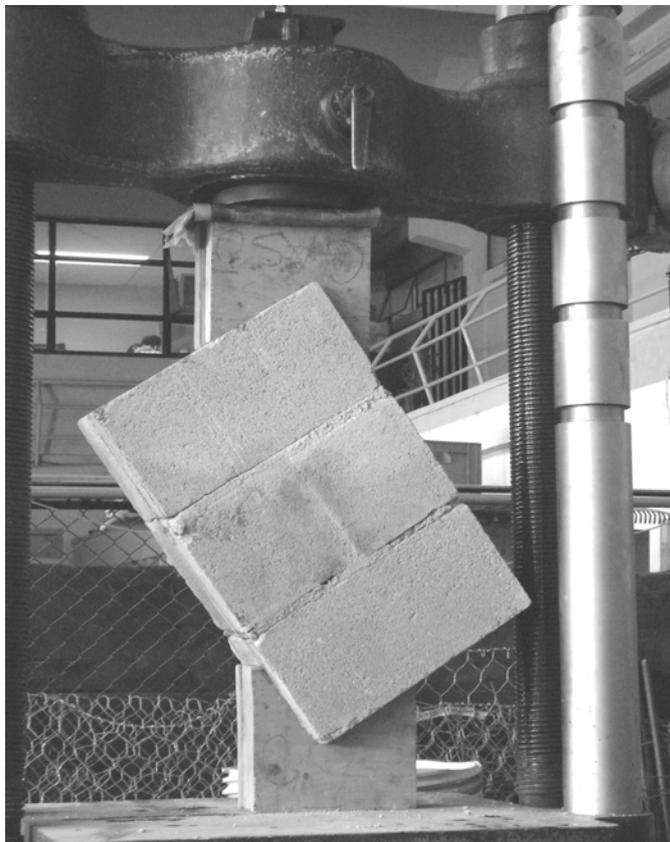
Fuente: **Sección de Metales y Productos Manufacturados CII/USAC**

3.5.2 Resistencia a corte

ASTM E-519 “Standard Test Method for Diagonal Tension (Shear) in Masonry Assemblies” (Método de ensayo estándar para la tensión diagonal (corte) en ensamblados de mampostería).

Este método de prueba cubre la determinación de la tensión diagonal o fuerza cortante de ensamblajes de mampostería, a compresión a lo largo de una diagonal, con lo cual se causa una falla de tensión diagonal, dividiéndose la probeta paralelamente a la dirección de la carga, como se puede observar en la figura 27.

Figura 27. Fotografía de un prisma a corte.



Fuente: **Sección de Metales y Productos Manufacturados CII/USAC**

3.5.3. La Adherencia

La adherencia o cohesión se debe a la atracción molecular entre los materiales. La fricción es la fuerza resistente tangente a la superficie de dos cuerpos que se oponen al deslizamiento de uno de estos cuerpos en relación al otro. Depende del área de contacto de dos superficies y de la presión normal de contacto.

El ensayo empleado para la determinación de la adherencia del mortero a las unidades de mampostería no está normalizado por ASTM pero fue adaptado el método, para la evaluación de esfuerzos de adherencia y fricción en muros de mampostería.

Se realizó un prisma con tres unidades de concreto, aplicando carga en las uniones, con el fin de determinar la adherencia entre el mortero y las unidades de mampostería, este ensayo fue realizado en la sección de Metales y productos Manufacturados del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos (CII USAC).

Figura 28. Fotografía de un prisma en el ensayo de adherencia.



Fuente: **Sección de Metales y Productos Manufacturados CII/USAC**

3.5.4 Permeabilidad

El ensayo realizado no está especificado en las normas ASTM, sin embargo es un método simple no destructivo para determinar la absorción de humedad por parte de los materiales de construcción.

El sistema está basado en una pieza de vidrio transparente que posee una base circular de 2.50 cm de diámetro, el tubo está calibrado en mm, de modo que 1 ml corresponde a 1 cm de altura de columna de agua.

El método de ensayo es práctico, se fija la base del tubo en la superficie a evaluar, una vez instalado, se determina la columna de agua deseada, esta ejercerá una presión sobre la superficie, que equivale al efecto de una lluvia con vientos cuya velocidad se puede calcular con la fórmula $v [m/s] = (1.600 \times q)^{0.5}$, en la cual la presión q se expresa en $[kN/m^2]$. Considerando que 1cm de altura de columna de agua corresponde a una presión de 0,098 kN/m², es posible establecer las velocidades requeridas.

La cantidad de agua absorbida por unidad de tiempo por parte de la superficie en estudio se mide directamente, efectuando la lectura en la escala que posee el tubo. Si la absorción es alta, se recomienda rellenar el tubo una vez que la columna de agua ha descendido 1 cm, con el fin de mantener una presión más o menos constante.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 Parámetros físico-mecánicos de la escoria de ferroníquel

Tabla IV. Características físicas de la escoria de ferroníquel

Peso Especifico	2.88
Peso Unitario (kg/m ³)	1750.50
Peso Unitario Suelto (kg/m ³)	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

De acuerdo a los límites que establece la norma ASTM C-33 respecto al agregado fino (escoria del ferroníquel), se puede decir que:

- El contenido de materia orgánica según la clasificación colormétrica fue 0. por lo tanto si cumple con el límite que es 3, según la norma ASTM C 40.
- El modulo de finura es de 2.84, la especificación indica que debe estar entre 2.3 y 3.1. Si cumple, según Norma ASTM C 125.
- El peso especifico, peso unitario y porcentaje de absorción son características físicas propias de cada material que sirve para elaborar mezclas con cemento (concretos).

Tabla V. Granulometría de la escoria de ferróníquel

GRANULOMETRIA				
Tamaño de Tamices	Peso material retenido	% Retenido Individual	% Retenido Acumulado	% Pasa Acumulado
3/8"	0,00	0,00	0,00	100,00
#4	3,8	0,76	0,76	99,24
#8	18,7	2,98	3,74	96,26
#16	113,9	19,04	22,78	77,22
#30	335,4	44,30	67,08	32,92
#50	458,9	24,70	91,78	8,22
#100	488,3	5,89	97,67	2,33
FONDO	500,0	2,33	100,00	0,00

Figura 29. Curva granulométrica de escoria de ferróníquel

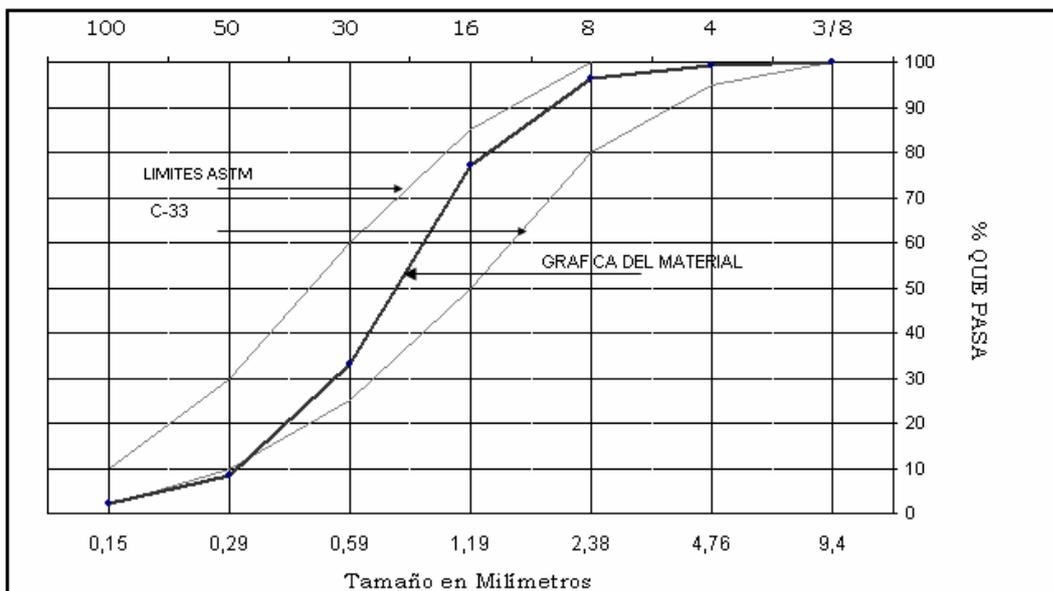


Tabla VI. Porcentaje de escoria de ferroníquel que pasa en cada tamiz

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

- La granulometría se cumple en los tamices No. 4, No. 8, No. 16, No. 30 y No. 100, y no se cumple en el No.50 Por lo tanto en general SI, esta de acuerdo con la especificación de la norma ASTM C33

4.2 Bondad de los agregados por el uso de sulfato de sodio, ASTM C-88

En este ensayo se determinó la resistencia de la escoria de ferroníquel a la desintegración, cuando está sujeta a la acción del clima en el concreto u otras aplicaciones.

Tabla VII. Desgaste de la escoria de ferroníquel por ataque de sulfato

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

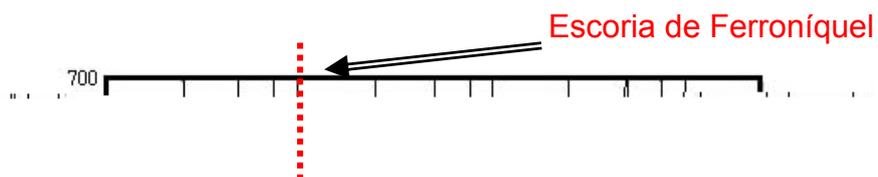
- La escoria de ferroníquel en el ensayo de bondad por ataque por sulfato, tubo un desgaste referente a su graduación siendo este de 5.74% por lo tanto si cumple con el límite que es 12%.

4.3 Determinación química de inocuidad de la escoria de ferroníquel

Tabla VIII. Determinación de Reactividad Potencial 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 30. Curva de división entre agregados inocuos y dañinos



El resultado del ensayo de reactividad potencial se presentan en forma grafica la cual indica que la escoria de ferroníquel es un material potencial inocuo, lo significa que posee este material no posee minerales silícicos lo cual no producirá una reacción dañina con los álcalis del cemento Pórtland, sin embargo esta norma aclara que la información obtenida en este ensayo debe complementarse con un ensayo de composición química del material.

4.3.1 Composición química de la escoria de ferroníquel.

Según el ensayo químico por el Método Volumétrico y Gravimétrico se determino la composición química de la escoria, para conocer si el material posee componentes que puedan afectar el comportamiento del agregado como por ejemplo lo que es la sílice, magnesio, etc. Dicho análisis químico se realizo en el Laboratorio de Química Industrial del Centro de Investigaciones de Ingeniería CII.

Tabla IX Determinación de Fe₂O₃, Al₂O₃, CaO y MgO.

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

4.4 Dosificaciones de morteros con escorial de ferroníquel

Tabla X. Proporciones de diseños de morteros

DISEÑOS DE LABORATORIO			
Ensayo	Diseño No. 1	Diseño No. 2	Diseño No. 3
Proporción (Cemento: escoria :Cal)	1:2.75	1:2	1:3.1:0.25
Relación A/C	0.57	0.50	0.75

Tabla XI. Proporciones en peso de los diseños de morteros

CANTIDADES DE MATERIALES A USAR			
CEMENTO (g)	CAL (g)	Escoria (g)	AGUA (ml)
800,00	0,00	2200,00	456,00
800,00	0,00	1600,00	400,00
800,00	200,00	2504,00	600,00

4.4.1 Características físicas del mortero con escoria de ferroníquel en estado fresco.

Tabla XII. Porcentaje de retención de agua para morteros

No. DISEÑO	FLOW INICIAL	FLOW FINAL	% Retención de Agua
1	113,00	107,00	94,69
2	112,50	84,00	74,67
3	112,00	91,00	81,25

Tabla XIII. Masa unitaria de morteros

No. DISEÑO	PESO BRUTO (g)	Peso Tara (g)	Volumen Tara (lt)	Masa UNITARIO (Kg/m³)
1	1623,70	548,40	0,40	2688,25
2	1608,70	548,40	0,40	2650,75
3	1406,00	548,40	0,40	2144,00

4.4.2 Velocidad de endurecimiento de los 3 diseños

Tabla XIV. Velocidad de endurecimiento del diseño 1.

DISEÑO NO. 1 (1:2.75:0,57)			
Minutos ac.	Área (Pulg ²)	P (lb)	Esfuerzo (PSI)
0,00	0,00	0,00	0
30	1	95	75
60	1	96	96
90	1	70	70
120	1/2	95	190
150	1/2	112	224
180	1/2	105	210
210	1/4	109	436
240	1/4	112	448
250	1/4	122	488
280	1/4	126	504
290	1/4	127	508
350	1/10	80	800
400	1/10	98	980
460	1/20	55	1100
520	1/20	90	1800
550	1/20	110	2200

Figura 38. Velocidad de endurecimiento del diseño 1.

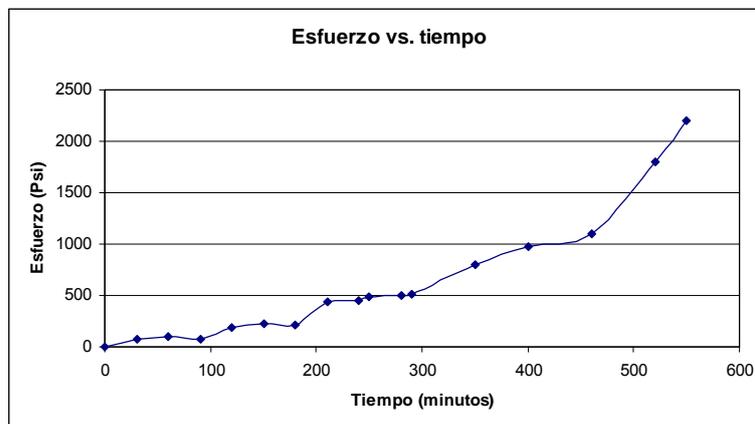


Tabla XV. Velocidad de endurecimiento del diseño 2.

Diseño No. 2 (1:2:0,50)			
Minutos ac.	Área (Pulg ²)	P (lb)	Esfuerzo (PSI)
0	0,00	0	0
30	1	70	75
60	1	85	85
90	1	110	110
120	1	125	125
150	1/2	85	170
180	1/2	120	240
210	1/2	130	260
240	1/4	110	440
250	1/4	115	460
260	1/4	120	480
270	1/4	128	512
300	1/10	80	800
330	1/10	110	1100
360	1/10	115	1150
390	1/20	70	1400
420	1/20	106	2120
450	1/20	115	2300

Figura 39. Velocidad de endurecimiento del diseño 2.

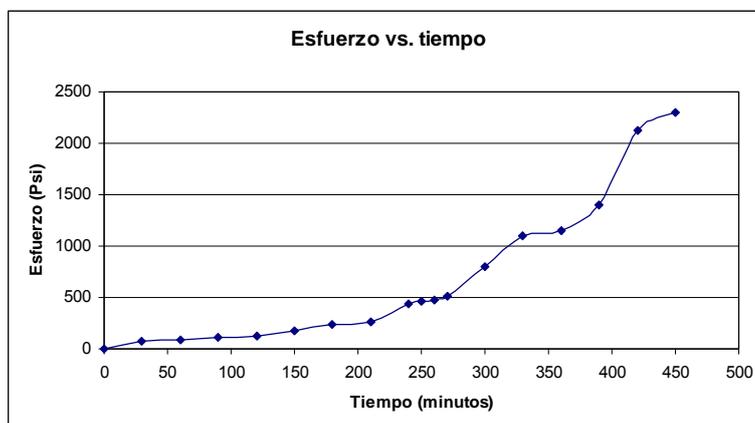


Tabla XVI. Velocidad de endurecimiento del diseño 3.

Diseño No. 3 (1:3,13:0,25:0,75)			
Minutos ac.	Área (Pulg ²)	P (lb)	Esfuerzo (PSI)
0	0,00	0	0
30	1	40	40
60	1	50	50
90	1	68	68
120	1	110	110
150	1/2	80	160
180	1/2	110	220
210	1/2	127	254
240	1/4	100	400
245	1/4	110	440
260	1/4	113	452
280	1/4	116	464
300	1/4	125	500
360	1/10	70	700
390	1/10	100	1000
420	1/20	70	1400
480	1/20	80	1600

Figura 40. Velocidad de endurecimiento del diseño 3.

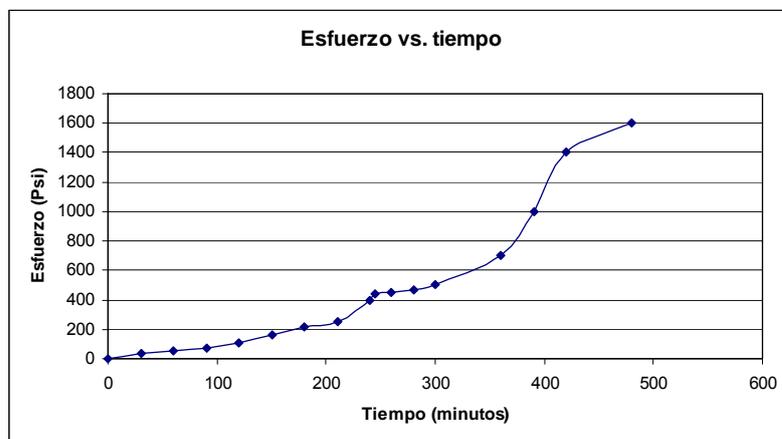


Tabla XVII. Resumen de las características físicas del mortero con escoria de ferroníquel en estado fresco.

DISEÑOS DE LABORATORIO (TABLA RESUMEN)							
Ensayo		Diseño No. 1		Diseño No. 2		Diseño No. 3	
Retención de Agua (%)		94.69		74.67		81.25	
Trabajabilidad (mm)		61.00		52.50		55.00	
Masa Unitaria (kg/m ³)		2688.25		2650.75		2144.00	
Velocidad de Endurecimiento (min)		Inicial:	277.78	Inicial:	260	Inicial:	300
		Final	550	Final	442.11	Final	600

4. 5 Propiedades mecánicas del Mortero en estado endurecido.

Tabla XVIII. Resultados del Mortero a compresión y tensión

DISEÑOS DE LABORATORIO							
Ensayo		Diseño No. 1		Diseño No. 2		Diseño No. 3	
		kg/cm ²	PSI	kg/cm ²	PSI	kg/cm ²	PSI
Resistencia a la Compresión	3 días	172.31	2450.78	183.09	2604.18	97	1397.71
	7 días	207.31	2948.65	230.95	3284.85	128.52	1827.98
	28 días	301.13	4291.62	341.95	4866.65	168.43	2395.67
Resistencia a la Tensión	3 días	17.23	245	19.69	280	15.23	216.67
	7 días	16.78	238.67	23.15	329.33	18.21	259
	28 días	28.47	405	31.01	441	27.54	391.67

4.6 Características mecánicas de prismas con mortero de escoria

La resistencia del mortero para albañilería se determina por medio de corte, compresión y adherencia, de una forma empírica o por medio de ensayos de prismas. Cabe destacar que la falla ideal en un prisma es una grieta que corte las unidades de mampostería como al mortero conjuntamente, dicha falla es producida por una tracción o expansión debida a una fuerza sometida.

Los resultados de los prismas ensayados en el Centro de Investigaciones de Ingeniería/USAC se muestran a continuación, donde se puede observar que las fallas obtenidas en las tres diferentes pruebas ocurrieron en los elementos de mampostería, pudiendo concluir que el mortero con escoria de ferróniquel posee una alta adherencia y aumenta la resistencia a fuerzas corte y compresión del mortero.

Tabla XIX. Esfuerzos de prismas a 28 días.

No	IDENTIFICACIÓN	ESFUERZO		TIPO DE FALLA
		Mpa	lb/plg ²	
1	Prisma a corte	0,17	24,98	Transversal sobre la esquina del soporte Inferior
2	Prisma a compresión	2,62	379,35	Falla logitudinal sobre el elemento
3	Prisma por adherencia	0,11	16,49	Corte en la unión de mortero

CONCLUSIONES

1. El ferroníquel es un material impuro, 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 que desecha una escoria granulada.
2. La escoria de ferroníquel es un material inocuo, lo cual no posee ningún material o sustancia que puede alterar la pasta de cemento.
3. El contenido de materia orgánica según la clasificación colormétrica fue 0. por lo tanto si cumple con el límite que es 3.
4. El peso específico de escoria de ferroníquel es de 2880 kg/m^3 en relación a la densidad del agua, según las normas ASTM C127 y 128, el peso específico de los agregados para concreto se encuentra entre 2400 y 2900 kg/m^3 .
5. La escoria dio como resultado un peso unitario suelto de 1690.70 kg/m^3 y un peso unitario compactado de 1750.50 kg/m^3 , la masa volumétrica aproximada comúnmente utilizada en el concreto de peso normal varia de 1200 a 1750 kg/m^3 , según la norma ASTM C29.

6. La granulometría se cumple en los tamices No. 4, No. 8, No. 16, No. 30 y No. 100, y no se cumple en el No.50 Por lo tanto en general se considera que SI está de acuerdo con la especificación, dando un modulo de finura es de 2.84, la especificación indica que debe estar entre 2.3 y 3.1. por lo cual si cumple.

7. El desgaste por ataque por sulfato de sodio, tuvo un desgaste referente a su graduación siendo este de 5.74%, por lo tanto si cumple con el límite máximo que es 12%.

8. El mortero con escoria de ferroníquel bajo condiciones de succión y evaporación, tiende a retener el agua de la mezcla en un mayor porcentaje comparado con un agregado normal pétreo, la escoria tiende a mantener el agua dentro de sus partículas, obteniendo una mejor adherencia.

9. La manejabilidad del mortero con escoria es aceptable, fácil de manipular y moldear, lo único que puede observarse es que la escoria es muy abrasiva lo que provoca que el mortero sea bastante áspero, pero esto a su vez produce una mejor adherencia en los elementos de mampostería.

RECOMENDACIONES

1. Según pruebas de laboratorio realizadas de acuerdo a Normas ASTM, se determinó que las características físicas y propiedades mecánicas de la escoria de ferroníquel cumplen para ser utilizadas en morteros, sin embargo, es recomendable realizar un análisis químico más profundo para descartar una reacción negativamente con los componentes químicos del cemento en función del tiempo.
2. Evaluar un mortero de mampostería en proporción de 75 al 85% de escoria de ferroníquel y 15 al 25% de Cemento Pórtland que pueda cumplir con las propiedades de la norma ASTM C-595, para obtener un mortero económico.
3. Estudiar el comportamiento de los morteros con escoria de ferroníquel a edades mayores.
4. Evaluar el desempeño de los morteros en distintas zonas climáticas del país.
5. Investigar otras aplicaciones que se les pueda dar a los morteros con Escoria de ferroníquel como en cajas de drenajes, paneles para tabiques, cielos falsos, pilas, tuberías de concreto, etc.

6. Controlar las características de la escoria utilizada en la fabricación de morteros, pues son un factor influyente en el comportamiento de los morteros.

7. Impulsar un programa de divulgación y capacitación en el aprovechamiento de las escorias de horno como opción de un material de construcción alternativo, para beneficio ambiental.

BIBLIOGRAFÍA

1. *American Society for Testing and Material (ASTM); Cement; Lime; Gypsum. (ASTM Standards on disk, Volume 04.01)* ASTM International, West Conshohocken, PA, USA. Octubre, 2004.
2. ASTM C-270-03 “*Standard Specification for Mortar for Unit Masonry*” (Especificaciones estándar para morteros de unión de mampostería)
3. *Diseño y Control de Mezclas de Concreto*, S. H. Kosmatka, B. Kerkhoff, W. C. Panarese, and J. Tanesi, EB201,2004.
4. Gómez Con, Sergio Gabriel. *Caracterización físico mecánica de morteros Utilizando Agregado del municipio de San Cristóbal, Alta Verapaz*, Trabajo de Graduación, Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, marzo 2006.
5. Martínez Patzan, Rudy Estuardo. *Calidad de dos bancos de agregados para concreto, en el Departamento de Chiquimula*, Trabajo de Graduación, Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, mayo 2009.

6. Molina Escobar, Kenneth Alejandro. Evaluación de Morteros para Albañilería y Revestimientos Elaborados a Base de Cementos Mezclados con Escorias de Horno, Trabajo de Graduación, Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, agosto 2006.

7. Revista Conmemorativa CESEM 25 Años, USAC 2008

ANEXOS

Figura 31. Informe de la norma ASTM C-33-08 del agregado fino.

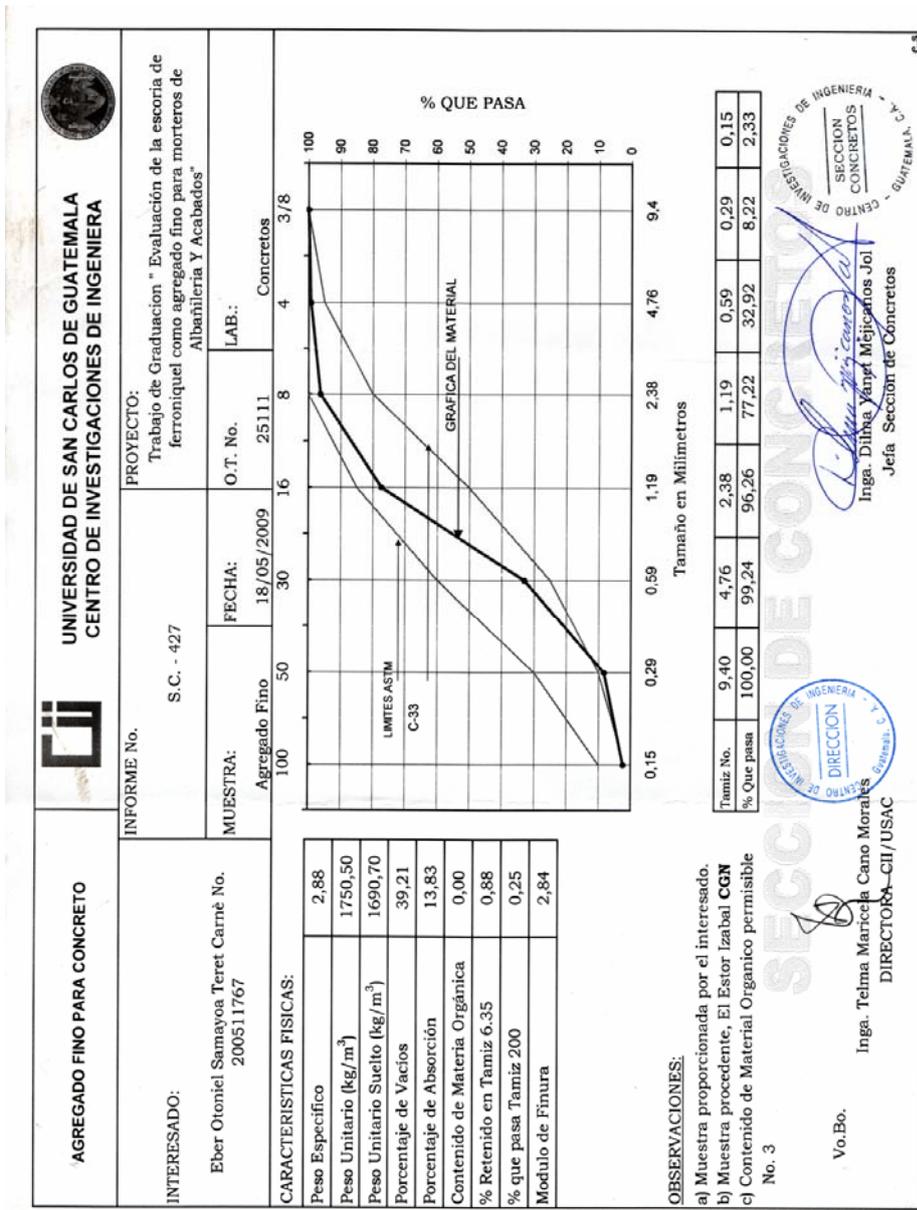


Figura 32. Informe de desgaste por sulfato ASTM C-88-05.



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



Nº 006967

INFORME No. SC-476

O.T. No. 25111

INTERESADO: Eber Otoniel Samayoa Teret Carne No. 200511767
ASUNTO: Ensayo de bondad en agregado fino
 Material: Agregado Fino
 Proyecto: Trabajo de Graduacion "Evaluación de la Escoria de ferroniquel como agregado fino para mortero de Albañileria y Acabados"
 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
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

OBSERVACIONES:
 a) Muestra proporcionada por el interesado

ATENTAMENTE,

Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol
 Jefa Sección de Concretos

Vo.Bo.
 Inga. Telma Marcela Cano Morales
 Directora CII/USAC



ES

Figura 33. Informe de reactividad potencial ASTM C-289.



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



O.T. No 25112

No. Informe Lab. 26-09

Interesado: Eber Otoniel Samayoa Teret
Muestra: 1 muestras de agregado un fino
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
Escoria de Ferroniquel (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



Figura 34. Reactividad potencial ASTM C-289.



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

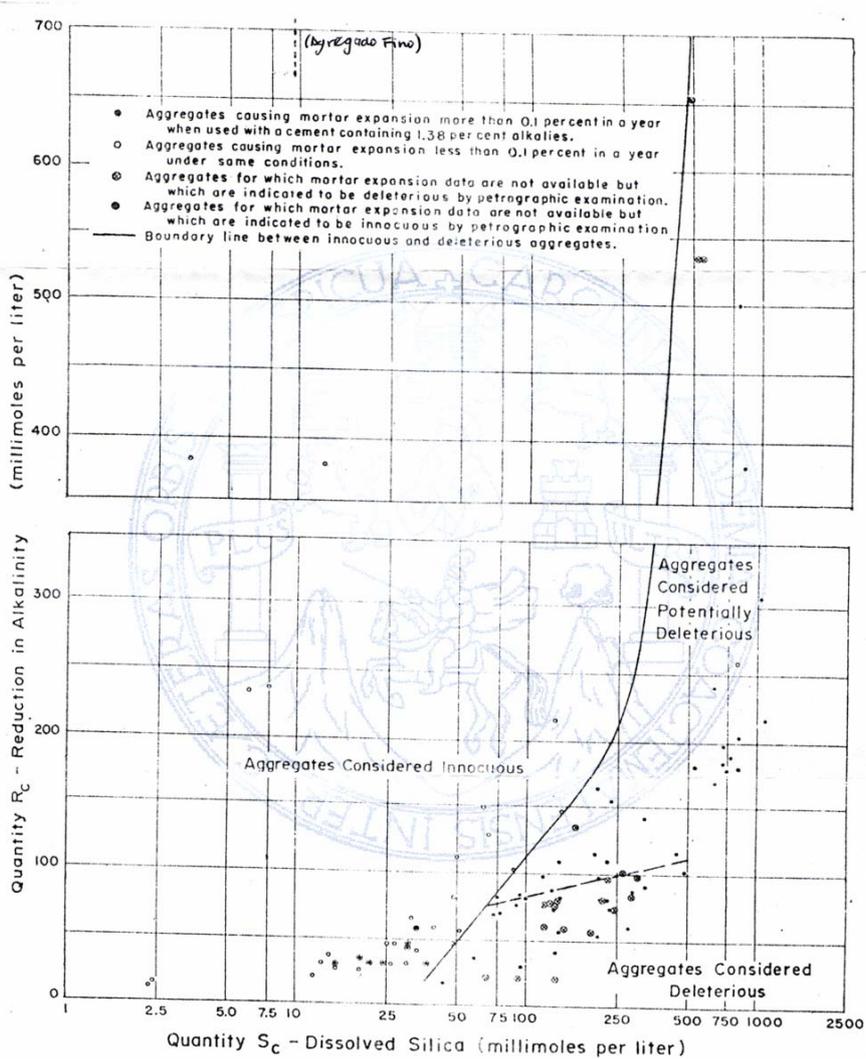


FIG. 2 Illustration of Division Between Innocuous and Deleterious Aggregates on Basis of Reduction in Alkalinity Test

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

Figura 35. Informe de determinación Fe₂O₃, Al₂O₃, CaO y MgO.



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



Nº 004547

O.T. No 25373

No. Informe Lab. 35-009

Interesado: Ebel Otoniel Samayoa Teret
Proyecto: Evaluación de escoria de ferróniquel 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 ₂ O ₃)	3.85
	% Oxido de Aluminio (Al ₂ O 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 - CII



Vo.Bo. Inga. Telma Marcela Caño Morales
Directora

Centro de Investigaciones de Ingeniería CII/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 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>

Figura 36. Informe diseño de mezcla de morteros y características.



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



Nº 009053

Informe No. S.C. - 857

O.T. No. 25113

Interesado: Eber Otoniel Samayoa Teret Carné No. 200511767
Proyecto: Trabajo de Graduación "Evaluación de la escoria de ferroniquel como agregado fino para morteros de Albañilería y Acabados"
Asunto: Determinación de trabajabilidad en campo.
 Velocidad de endurecimiento
 Ensayo de retención de agua
 Diseño de mezclas y resistencia a compresión y tensión a 3, 7 y 28 días.
Fecha: 24 de agosto de 2009

I. RESULTADOS:

DISEÑOS DE LABORATORIO						
Ensayo	Diseño No. 1		Diseño No. 2		Diseño No. 3	
Proporción (Cemento:Arena:Cal)	1:2.75		1:2		1:3.1:0.25	
Relación A/C	0.57		0.50		0.75	
Retención de Agua (%)	94.69		74.67		81.25	
Trabajabilidad (mm)	61.00		52.50		55.00	
Masa Unitaria (kg/m ³)	2688.25		2650.75		2144.00	
Velocidad de Endurecimiento (min)	Inicial:	277.78	Inicial:	260	Inicial:	300
	Final	550	Final	442.11	Final	600
Resistencia a la Compresión (kg/cm ²) ¹ (PSI)	3 días	(172.31) (2450.78)	(183.09) (2604.18)	(97) (1397.71)		
	7 días	(207.31) (2948.65)	(230.95) (3284.85)	(128.52)(1827.98)		
	28 días	(301.13) (4291.62)	(341.95) (4866.65)	(168.43)(2395.67)		
Resistencia a la Tensión (kg/cm ²) (PSI)	3 días	(17.23) (245)	(19.69) (280)	(15.23) (216.67)		
	7 días	(16.78) (238.67)	(23.15) (329.33)	(18.21) (259)		
	28 días	(28.47) (405)	(31.01) (441)	(27.54) (391.67)		

Atentamente,

Vo. Bo.

Inga. Telma Maricela Cano Morales
Directora CII/USAC



Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol
Jefa Sección Aglomerantes y Morteros

E.S.

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>

Figura 37. Informe de ensayo de prismas a 28 días



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



Nº 008346

1. DATOS GENERALES

O.T. No. 25716

INFORME No. 965-M

INTERESADO: EBER OTONIEL SAMAYOA TERET CARNE No. 200511767
 PROYECTO: TRABAJO DE GRADUACION "EVALUACION DE LA ESCORIA DE FERRONIQUEL COMO AGREGADO FINO PARA MORTEROS DE ALBAÑILERIA Y ACABADOS"
 ASUNTO: ENSAYO DE PRISMAS
 PROVEEDOR: *****
 FECHA: GUATEMALA, 11 DE AGOSTO DE 2009.

2. RESULTADOS ENSAYO

#	Identificación	Medidas cm		Carga		Esfuerzo	
		Largo	Espesor	kg	lb	Mpa	lb/plg ²
01	PRISMA A CORTE	73.00	19.50	2500	5511.50	0.17	24.98

#	Identificación	Medidas cm		Carga		Esfuerzo	
		Largo	Espesor	kg	lb	Mpa	lb/plg ²
02	PRISMA A COMPRESION	39.50	19.50	20500	45194.30	2.62	379.35

#	Identificación	Medidas cm		Carga		Esfuerzo	
		Largo	Espesor	kg	lb	Mpa	lb/plg ²
03	PRISMA POR ADHERENCIA	23.00	19.50	1040	2292.7	0.11	16.49

Atentamente,

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

Vo.Bo.

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

/cbr