



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

**FABRICACIÓN DE ADOQUÍN CON ADICIÓN DE ESCORIA  
DE MATA DE NÍQUEL COMO AGREGADO FINO**

**Randy Sujey López Ramírez**

Asesorado por la Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol

Guatemala, mayo de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**FABRICACIÓN DE ADOQUÍN CON ADICIÓN DE ESCORIA  
DE MATA DE NÍQUEL COMO AGREGADO FINO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**RANDY SUJEY LÓPEZ RAMIREZ**

ASESORADO POR LA INGA. DILMA YANET MEJICANOS JOL

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERA CIVIL**

GUATEMALA, MAYO DE 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

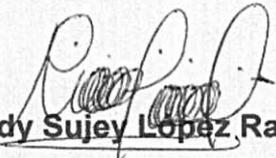
DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Mario Estuardo Arriola Ávila
EXAMINADOR	Ing. Walter Rolando Salazar González
EXAMINADOR	Ing. Jeovany Rudaman Miranda Castañón
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

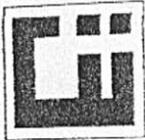
## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

### FABRICACIÓN DE ADOQUÍN CON ADICIÓN DE ESCORIA DE MATA DE NÍQUEL COMO AGREGADO FINO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha mayo de 2012.

  
**Randy Sujey López Ramírez**



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



Guatemala, 29 de febrero de 2016

Ingeniero  
José Gabriel Ordoñez Morales  
Área de Materiales y Construcciones Civiles  
COORDINADOR

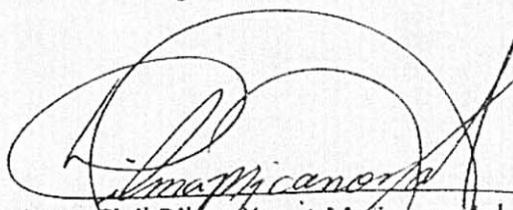
Ingeniero Ordoñez

Me dirijo a usted para informarle, que he revisado el trabajo de graduación: **FABRICACIÓN DE ADOQUÍN CON ADICIÓN DE ESCORIA DE MATA DE NÍQUEL COMO AGREGADO FINO**, elaborado con la estudiante universitaria Randy Sujey López Ramírez, quien contó con la asesoría de la suscrita.

Considerando que el trabajo desarrollado por la estudiante universitaria López Ramírez, satisface los requisitos exigidos en el reglamento de graduación, por lo cual recomiendo su aprobación.

Atentamente,

*"Id y enseñad a todos"*

  
Inga. Civil Dilma Yanet Mejicanos Jol  
Col. 5947  
ASESORA

  
Dilma Y. Mejicanos Jol  
Ingeniera Civil  
Col. 5947



**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Escuela de Ingeniería Civil



Guatemala,  
12 de abril de 2016

Ingeniero  
Hugo Leonel Montenegro Franco  
Director Escuela Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos

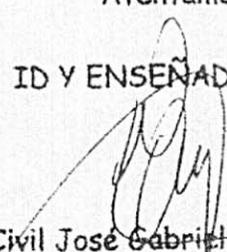
Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación FABRICACIÓN DE ADOQUÍN CON ADICIÓN DE ESCORIA DE MATA DE NÍQUEL COMO AGREGADO FINO, desarrollado por la estudiante de Ingeniería Civil Randy Sujey López Ramírez quien contó con la asesoría de la Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

  
Ing. Civil José Gabriel Ordóñez Morales  
Asesor y Coordinador del Área de Materiales y  
Construcciones Civiles



FACULTAD DE INGENIERIA  
AREA DE MATERIALES Y  
CONSTRUCCIONES CIVILES  
USAC

/mrrm.

Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua





**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Escuela de Ingeniería Civil



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen de la Asesora Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol y del Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles Ing. José Gabriel Ordóñez Morales, al trabajo de graduación de la estudiante Randy Sujey López Ramírez, titulado **FABRICACIÓN DE ADOQUÍN CON ADICIÓN DE ESCORIA DE MATA DE NÍQUEL COMO AGREGADO FINO**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

*[Handwritten Signature]*  
Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, mayo 2016  
/mrrm.

Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua

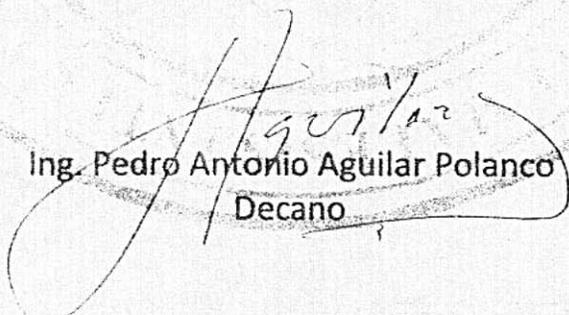




DTG. 235.2016

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: **FABRICACIÓN DE ADOQUÍN CON ADICIÓN DE ESCORIA DE MATA DE NÍQUEL COMO AGREGADO FINO**, presentado por la estudiante universitaria **Randy Sujey López Ramírez**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

  
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano

Guatemala, mayo de 2016

/gdech



## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Por brindarme la vida y permitirme llegar a este momento de mi formación profesional.
- Mis padres** Rubén López y Aurora Ramírez, por estar siempre que los necesito, por su amor, trabajo y sacrificios en todos estos años, gracias a ustedes he llegado hasta aquí y convertirme en lo que soy. Es un privilegio ser su hija. Los amo.
- Mis hermanos** Astrid, Gladys, Rubén y Thelma López Ramírez, por ser ese motor que me impulsa a ser mejor persona cada día.
- Mis sobrinos** Lester, Cristel y Heysel Castellón López, por brindarme su cariño y hacer mis días más alegres.
- Mis amigos** Por brindarme siempre su apoyo, sus conocimientos, momentos llenos de alegrías y tristezas, y estar siempre que los necesito.
- Mi familia** Porque me han brindado su apoyo incondicional y compartir conmigo buenos y malos momentos.

**Gimy Iquique**

Por tu amistad, cariño y estar siempre que te  
necesito.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por ser la casa de estudios superiores y la estupenda formación académica recibida.
<b>Inga. Dilma Mejicanos</b>	Por su paciencia, dedicación, asesoramiento, y sobre todo, por brindarme su amistad.
<b>Mis amigos</b>	Por esos momentos que compartimos juntos llenos de alegrías, donde compartimos sueños y por ese apoyo incondicional que me han brindado, tanto en mi vida profesional como personal.
<b>Compañía Guatemalteca de Níquel (CGN)</b>	En especial al Ing. Alvaro Ramírez, por su colaboración en la obtención de la escoria de mata de níquel.
<b>Agrega Planta Palín Oeste</b>	Por su valiosa colaboración y brindarme los materiales necesarios para la realización de esta investigación.
<b>Fábrica de adoquines Súper Girón Linda Vista</b>	Por su valiosa colaboración en la elaboración de los adoquines.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	IX
GLOSARIO .....	XI
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN .....	XVII
1. MARCO CONCEPTUAL.....	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Definición de adoquín .....	2
1.2.1. Forma y partes de un adoquín.....	3
1.2.2. Dimensiones nominales.....	5
1.2.3. Aspecto.....	6
1.2.4. Materiales .....	6
1.2.5. Clasificación del adoquín según la masa de concreto.....	9
1.2.6. Clasificación según uso de los adoquines .....	10
1.3. Características físicas y mecánicas de los adoquines.....	11
1.3.1. Acabado .....	11
1.3.2. Geometría.....	12
1.3.3. Tolerancia.....	12
1.3.4. Biseles y separadores .....	12
1.3.5. Absorción de agua.....	13
1.3.6. Módulo de ruptura (mr.) .....	14
1.3.7. Resistencia a la abrasión o desgaste .....	15

1.3.8.	Resistencia a la compresión.....	15
1.4.	Normas a utilizar .....	16
2.	PROPIEDADES DE LA ESCORIA DE MATA DE NÍQUEL CON RELACIÓN A UN MATERIAL PÉTREO.....	17
2.1.	Generalidades de la escoria de mata de níquel .....	17
2.2.	Propiedades químicas de la escoria de mata de níquel .....	19
2.3.	Propiedades físicas y mecánicas de la escoria de mata de níquel .....	20
2.3.1.	Peso específico Norma ASTM C 128-88.....	20
2.3.2.	Peso unitario Norma ASTM C 29-90 .....	20
2.3.3.	Granulometría Norma ASTM C 136-84 .....	21
2.3.4.	Módulo de finura Norma ASTM C 136-84 .....	22
2.3.5.	Porcentaje de vacíos Norma ASTM C 138-81.....	22
2.3.6.	Porcentaje de absorción Norma ASTM C 128-88 ...	23
2.3.7.	Contenido de materia orgánica Norma ASTM C 40-84 .....	23
2.3.8.	Porcentaje que pasa tamiz 200 Norma ASTM .....	23
3.	ELABORACIÓN DE LAS MEZCLAS DE CONCRETO PARA ADOQUÍN .....	25
3.1.	Análisis completo de los agregados utilizados en la fabricación de adoquines .....	25
3.2.	Proporciones para la fabricación de adoquín .....	27
2.3.9.	Proporciones utilizando arena de río o triturada (polvo de piedra) .....	31
2.3.10.	Proporciones utilizando escoria de mata de níquel.....	32
3.3.	Control de las mezclas frescas .....	35

3.3.1.	Control de las mezclas frescas con arena de río o triturada (polvo de piedra), y con escoria de mata de níquel.....	35
3.4.	Control de las mezclas endurecidas.....	37
3.4.1.	Control de las mezclas endurecidas con arena de río o triturada y con escoria de mata de níquel..	38
4.	FABRICACIÓN DE ADOQUINES .....	39
4.1.	Historia de la fabricación de adoquines en Guatemala .....	39
4.2.	Lugar de fabricación .....	41
4.3.	Forma convencional .....	42
4.4.	Maquinaria y tecnología a usar.....	42
4.5.	Proporciones seleccionadas.....	44
4.6.	Sistema de curado.....	44
5.	DESCRIPCIÓN DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO PARA ADOQUINES DE CONCRETO .....	47
5.1.	Preparación de la muestra (según Norma Icontec 2017) .....	47
5.2.	Especificaciones según Norma Coguanor NTG 41086 .....	48
5.2.1.	Dimensiones según anexo A Norma Coguanor NTG 41086 .....	48
5.2.2.	Color según Norma Coguanor NTG 41086 .....	48
5.2.3.	Textura según Norma NTC 2017.....	48
5.3.	Determinación del porcentaje de absorción de agua, Norma Técnica Colombiana Icontec 2017 (numeral 6.3) .....	49
5.4.	Determinación de la resistencia a la compresión según Norma Española Une 7 068 .....	51

5.5.	Determinación de la resistencia a la flexión (del módulo de ruptura para adoquines de concreto) Norma Coguanor NTG 41087 h1.....	53
5.6.	Determinación de la resistencia al desgaste por abrasión de adoquines de concreto. Norma Coguanor NTG 41087-h2.....	55
6.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	61
6.1.	Resultados del ensayo del módulo de ruptura para adoquines de concreto según Norma Coguanor NTG 41087 h1 .....	62
6.2.	Resultado del ensayo del porcentaje de absorción de agua, Norma Técnica Colombiana Icontec 2017, (numeral 6.3) .....	63
6.3.	Resultado del ensayo de la resistencia a la compresión, según Norma Española UNE 7 068 .....	64
6.4.	Resultado de ensayo para la determinación de la resistencia al desgaste por abrasión de adoquines de concreto. Norma Coguanor NTG 41087-h2 .....	65
6.5.	Análisis de los resultados de las propiedades mecánicas, compresión y flexión, según proporciones de mezcla .....	66
6.6.	Factibilidad .....	67
6.7.	Ventajas .....	68
6.8.	Desventajas .....	69
	CONCLUSIONES.....	71
	RECOMENDACIONES .....	73
	BIBLIOGRAFÍA.....	75
	ANEXOS.....	78

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Tipos de adoquín .....	3
2.	Partes de un adoquín .....	4
3.	Banco actual de escoria de mata de níquel, municipio de El Estor, Izabal .....	18
4.	Obtención de las muestras de escoria de mata de níquel.....	19
5.	Curva granulométrica de la escoria de mata de níquel .....	21
6.	Desarrollo de la resistencia del concreto a lo largo del tiempo de exposición al aire libre.....	37
7.	Ubicación de la fábrica Súper Girón Linda Vista, lugar de fabricación de los adoquines.....	41
8.	Adoquín tipo cruz, forma convencional .....	42
9.	Máquina vibro compactadora a utilizar para la fabricación de los adoquines.....	44
10.	Adoquines almacenados después del momento de fabricación en fábrica de adoquines Súper Girón.....	45
11.	Muestras de adoquín antes de ensayar .....	47
12.	Adoquín número siete que se utilizó como patrón .....	49
13.	Equipo utilizado para la medición del peso natural los adoquines .....	50
14.	Adoquín en el proceso de saturación .....	51
15.	Máquina de aplicación de carga a la probeta de adoquín llevada hasta la ruptura por compresión.....	53
16.	Esquema de la colocación de la muestra en la máquina universal de ensayo a flexión .....	54

17.	Representación del momento de la ruptura del adoquín en el ensayo a flexión.....	55
18.	Partes fundamentales de la máquina del equipo de abrasión de Böhme .....	56
19.	Aplicación del material abrasivo a probeta de adoquín en disco giratorio de Böhme.....	58
20.	Demostración de probeta llevada al desgaste por material abrasivo en disco giratorio, completados los 16 ciclos.....	59
21.	Medición de la diferencia en cada dado de la superficie de desgaste en la probeta .....	59
22.	Clasificación de los adoquines debido a la resistencia mínima a flexión según Norma Coguanor NTG 41086.....	63

## TABLAS

I.	Características geométricas de los adoquines .....	12
II.	Clasificación del adoquín por su porcentaje de absorción .....	13
III.	Clasificación por módulo de ruptura del adoquín.....	14
IV.	Clasificación del agregado fino por su módulo de finura.....	22
V.	Resultados de laboratorio para el agregado fino polvo de piedra.....	26
VI.	Resultados de laboratorio para el agregado grueso de 3/8” .....	26
VII.	Valores para el diseño de mezclas (calculados para un metro cúbico de concreto).....	29
VIII.	Proporción y cantidad de materiales en kilogramos utilizando polvo de piedra.....	31
IX.	Proporción y cantidad de material en kilogramos utilizando escoria de mata de níquel .....	32
X.	Proporción y cantidad de materiales en kilogramos utilizando escoria de mata de níquel.....	33

XI.	Proporción y cantidad de materiales en kilogramos utilizando polvo de piedra y escoria de mata de níquel .....	33
XII.	Proporción y cantidad de materiales en kilogramos utilizando polvo de piedra y escoria de mata de níquel .....	34
XIII.	Proporción y cantidad de materiales en kilogramos utilizando escoria de mata de níquel .....	35
XIV.	Resultados de laboratorio para las características físicas de los adoquines diseñados para tránsito liviano .....	61
XV.	Resultados obtenidos en el ensayo del módulo de ruptura.....	62
XVI.	Resultados de laboratorio del ensayo de absorción de agua.....	64
XVII.	Resultados obtenidos en el ensayo de compresión .....	65
XVIII.	Resultados obtenidos en el ensayo de abrasión por el método de ensayo de Böhme .....	66
XIX.	Comparación de resultados de compresión y flexión según proporciones de mezcla en peso .....	67



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>cm</b>	Centímetro
<b><math>\Delta</math></b>	Diferencia
<b>2</b>	Elevado al cuadrado
<b>3</b>	Elevado al cubo
<b>°</b>	Grados Celsius
<b>g</b>	Gramo
<b>kg</b>	kilogramo
<b>kg/cm<sup>2</sup></b>	Kilogramo por centímetro cuadrado
<b>kg/cm<sup>3</sup></b>	Kilogramo por centímetro cubico
<b>Mp</b>	Mega pascal
<b>m</b>	Metro
<b>mm</b>	Milímetro
<b>N/m<sup>2</sup></b>	Newton por metro cuadrado
<b>Núm.</b>	Número
<b>%</b>	Porcentaje
<b>“</b>	Pulgada



## GLOSARIO

<b>Amasar</b>	Proceso por el cual se mezclan los elementos que conforman un concreto, este se puede realizar manualmente o utilizando mezcladoras.
<b>Apisonar</b>	Proceso por el cual se compacta o se comprime un material, este puede ser agregado o concreto, utilizando una varilla de acero de 5/8 " de diámetro y punta redonda, con la que se dan cierta cantidad de golpes para obtener la compactación.
<b>Cemento tipo UGC</b>	Cemento hidráulico para uso general en la construcción, según Norma Coguanor NTG 41095.
<b>Consolidación</b>	Proceso que consiste en compactar el concreto fresco, eliminando gran cantidad de aire atrapado con el fin de evitar sus efectos perjudiciales, como baja resistencia, aumento de porosidad y menor durabilidad.
<b>Desportillamiento</b>	Característica física del concreto endurecido, la cual se identifica cuando se rompe o agrieta el filo de cualquier ensayo de laboratorio.
<b>Dosificar</b>	Graduar, regular o proporcionar las cantidades de materiales para realizar una mezcla.

<b>Espécimen</b>	Proporción o trozo con características específicas para realizar cualquier ensayo de laboratorio.
<b>Trabajabilidad</b>	Propiedad del concreto en estado fresco, esta se logra por diferentes factores que hacen que se facilite su manejo sin riesgo.
<b>Polvo de piedra</b>	Arena triturada con nombre comercial base ¼ " a 0, con un porcentaje que pasa en el tamiz 200 de 12,70.

## RESUMEN

El presente trabajo contiene un estudio del uso de la escoria de mata de níquel en la fabricación de adoquines, ya que en Guatemala se fabrican utilizando como agregados finos: arenas de río y agregados pétreos, demostrando que estos resisten a la abrasión y al desgaste, por lo que al fabricar adoquines utilizando escoria de mata de níquel, puede ser una manera innovadora en la construcción, por sus características físicas y mecánicas.

La razón principal, por la cual se utilizará este material, es para reducir la contaminación ambiental que este puede provocar al acumularse en los bancos de depósito, debido que se encuentran almacenadas grandes cantidades de este material.

Tomando en cuenta que ya se han realizado pruebas de laboratorio a la escoria de mata de níquel y este material mostró tener características similares a las de un agregado fino pétreo, se pretende usarlo para verificar si puede adherirse a otros materiales y sea factible utilizarlo para la elaboración de productos prefabricados que se usan en la construcción, como el adoquín; cumpliendo este con las normas de calidad para la utilidad que este requiere. Realizando ensayos de abrasión, absorción de agua, flexión y compresión.

El procedimiento que se utilizó fue la selección de los agregados tanto fino como grueso, realizando ensayos de laboratorio para conocer sus características físicas y mecánicas, incluyendo a la escoria de mata de níquel. Se diseñaron las mezclas utilizando diferentes porcentajes de escoria.

Luego se fabricaron los adoquines dando un período de 28 días de secado, pasado este período se realizaron los respectivos ensayos de laboratorio para adoquín. Los ensayos fueron hechos en la Sección de Metales y Productos Manufacturados del Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería, USAC.

# OBJETIVOS

## General

Determinar las características físicas y propiedades mecánicas de los adoquines utilizando como agregado fino la escoria de mata de níquel, para establecer si cumple con los estándares de calidad.

## Específicos

1. Establecer el muestreo y los métodos de ensayos para la caracterización de la escoria de mata de níquel, como agregado fino.
2. Determinar las características físicas y mecánicas de los adoquines, utilizando como agregado fino la escoria de mata de níquel.
3. Verificar si es factible o no utilizar la escoria de mata de níquel como agregado fino en la fabricación de adoquines.
4. Realizar una comparación entre los adoquines fabricados de concreto utilizando arena de río como agregado fino y los de concreto, utilizando la escoria de mata de níquel como agregado fino.
5. Determinar el porcentaje de desgaste que provoca la escoria de mata de níquel en el adoquín.



## INTRODUCCIÓN

El adoquín es un elemento macizo manufacturado de concreto, se usa para conformar la rodadura de pavimentos; dado que nunca van unidos por ningún tipo de pegamento o cementante, se considera como un sistema semirrígido, apoyados sobre una capa de arena gruesa y limpia con ciertas especificaciones que solo funcionan como una rodadura segmentada. Su forma (en planta) debe ser tal, que en conjunto conforme una superficie completa, quedando separados por una junta, la cual se llena con arena fina. El adoquín es utilizado ampliamente en construcciones donde se requieran pisos decorativos y resistentes al tránsito, que impriman distinción a la obra.

Actualmente, los adoquines son utilizados para la construcción de caminamientos, patios, calles, pavimentos, entre otros, debido a la creciente demanda de estos se pretende darle un uso a la escoria de mata de níquel como agregado fino en su fabricación, y al mismo tiempo, verificar sus características físicas y mecánicas adhiriendo este tipo de material.

La escoria de mata de níquel es un material proveniente de la planta de la Compañía Guatemalteca del Níquel (CGN) en el municipio de El Estor, departamento de Izabal, este material posee características físicas, similares a las de un agregado fino pétreo, por lo cual, es probable que sea factible para la elaboración de dichos elementos utilizados en la construcción.

El uso de materiales extraídos de minas reduce la acumulación en los bancos de depósito, y a la vez, evita la contaminación de los lugares aledaños a dichos lugares de extracción.



# 1. MARCO CONCEPTUAL

## 1.1. Antecedentes

Desde el 2009 se ha caracterizado la escoria de mata de níquel como 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. Este subproducto se somete a una graduación por medio de inyectores de agua de alta presión, que es sumergido bajo agua, y eventualmente refinado, es transferido a un depósito de almacenamiento para apilarlo y mantener una mezcla uniforme del material.

La escoria de mata de níquel se define como: “un residuo impuro, desecho, formado fundamentalmente por (serpentina, magnetita y goethita) hierro, magnesio, silicio y aluminio que aparece en el proceso de producción de la combinación de hierro y níquel que al fundirse como metal desecha una escoria granulada.”<sup>1</sup>

Este subproducto residual se ha evaluado considerando sus propiedades químicas, físicas y mecánicas, mostrando tener características similares a las de un agregado fino cumpliendo con todos los parámetros de aceptación que indican las normas para agregados finos, por lo que en los últimos años se ha estudiado el uso la escoria de mata de níquel, generalmente en concretos, morteros para albañilería, acabados y en algunos productos prefabricados.

---

<sup>1</sup> ALVAREZ MURALLES, Luis Mariano. *Evaluación de escoria de ferroníquel como agregado fino para concreto*. p. 21.

Los concretos con escoria de mata de níquel han presentado resistencias a compresión en las edades de 7, 14 y 28 días, similares a las de un concreto con agregado fino aceptable, y los productos prefabricados donde se ha evaluado el uso de este subproducto, han presentado resultados satisfactorios. Por lo que se ha llegado a la conclusión, que este material es apto para el uso en la construcción.

Los prefabricados donde se evaluó el uso de la escoria fueron: baldosas decorativas de concreto, ladrillos tayuyo, bloques de concreto, cada uno de estos fabricados de forma artesanal. También se ha usado en la elaboración de adobe. Por lo que se pretende evaluar su comportamiento en la elaboración de adoquines.

## **1.2. Definición de adoquín**

Elemento compacto de concreto, prefabricado con la forma de prisma recto, cuyas bases pueden ser polígonos que permiten conformar superficies completas como componente de un pavimento articulado, estos pueden ser bicapa o monocapa. Tales piezas en conjunto permiten conformar una superficie que se utiliza como capa de rodadura en los pavimentos y en algunos casos en: banquetas, pisos para patios de carga en puertos y aeropuertos, en calles o avenidas para tránsito liviano y pesado, respectivamente.

Los bloques o adoquines son elementos construidos con material pétreo y cemento, pudiendo tener varias formas, todas ellas regulares y simétricas, que son colocados sobre una cama de arena de 3 a 5 centímetros de espesor; la que tiene como función primordial absorber las irregularidades que pudiera tener la base, proporcionando a los adoquines un acomodamiento adecuado y ofreciendo una sustentación y apoyo uniforme en toda su superficie. Además,

sirve para drenar el agua que se filtra por las juntas, evitando que se dañe la base.

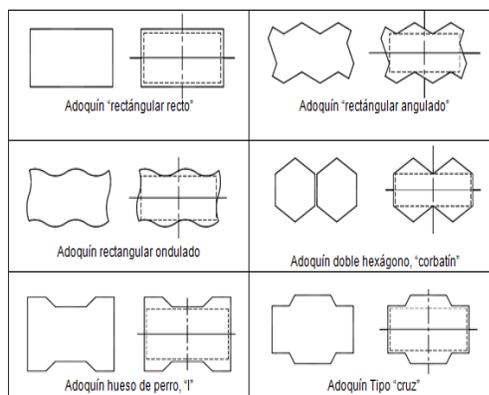
### 1.2.1. Forma y partes de un adoquín

Los adoquines tienen diferentes formas geométricas: cuadras, rectangulares, poligonales, entre otras. Estas se pueden observar en la figura 1. A continuación, se especifica la forma y las partes de un adoquín.

- Forma

Polígono que define la cara de desgaste (incluyendo el bisel cuando exista) y la cara de apoyo, y que a su vez determina el prisma recto que le da volumen a los adoquines, las formas más comunes son: rectángulo recto, rectángulo angulado, rectángulo ondulado, cuadrados, hexagonales, tipo cruz y el adoquín hueso de perro, tipo I. En la figura uno se detallan algunas formas convencionales para adoquines.

Figura 1. Tipos de adoquín



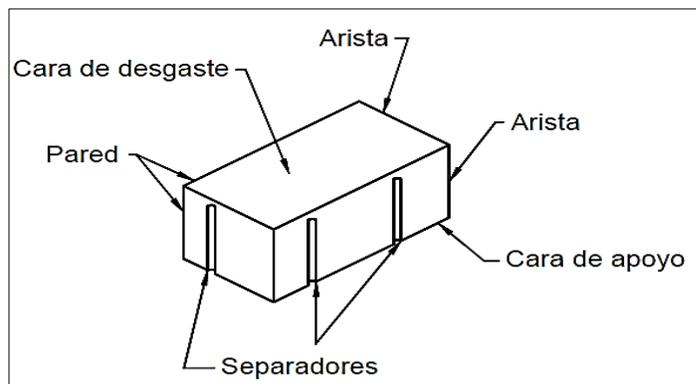
Fuente: NTC Icontec 2017.

- Partes de un adoquín

Independientemente de la forma que los adoquines tengan, estos se conforman de las siguientes partes:

- Cara de desgaste: cara superior del adoquín, la cual queda a la vista en el pavimento y soporta directamente el tránsito.
- Arista: línea de intersección entre dos planos o caras. Por lo general, se hace referencia a la que conforman la cara de desgaste y las paredes.
- Cara de apoyo: cara inferior del adoquín que queda en contacto con la capa de arena que lo soporta.
- Separador: garantiza una separación adecuada y uniforme entre adoquines.
- Bisel: en los adoquines biselados o parcialmente biselados es el perfil inclinado (generalmente un plano 45°), que reemplaza la arista que conforma la cara de desgaste y las paredes.

Figura 2. **Partes de un adoquín**



Fuente: NTC Icontec 2017.

### **1.2.2. Dimensiones nominales**

Los adoquines deben cumplir con las especificaciones que indica la Norma Coguanor NTG 41086, para el espesor, largo y ancho. Las cuales deben tener una tolerancia de  $\pm 3$  mm en el espesor y  $\pm 2$  mm en el largo y ancho especificado.

- **Espesor**

Es la dimensión en la dirección perpendicular a la cara de desgaste, igual a la distancia entre la cara de desgaste y la cara de apoyo. El espesor estándar de los adoquines no debe ser menor de 60 mm, y se prefieren dimensiones que sean múltiplos de 20 mm así: 60 mm, 80 mm y en algunos casos 100 mm.

- **Ancho**

Es la dimensión del adoquín en la dirección del eje menor del rectángulo inscrito, excluyendo los separadores, tomada sobre el eje menor del rectángulo inscrito, incluyendo sus prolongaciones cuando existan, no debe ser menor de 50 mm para unidades pequeñas pertenecientes a sistemas de adoquines, aunque, generalmente el ancho nominal de un adoquín es del orden de 80 mm.

- **Longitud**

Es la dimensión del adoquín en la dirección del eje mayor del rectángulo inscrito, excluyendo los separadores, tomada sobre el eje mayor del rectángulo inscrito, incluyendo sus prolongaciones cuando existan. La longitud nominal de los adoquines no debe ser menor de 50 mm ni mayor de 250 mm, por lo general, la longitud de un adoquín está comprendida entre 100 mm y 200 mm.

- Proyección horizontal y vertical de bisel

La proyección horizontal es la proyección del perfil del bisel sobre la superficie de referencia (prolongada de la cara de desgaste) del adoquín, incluyendo la franja por rebaba, si existe.

La proyección vertical es la proyección del perfil del bisel sobre la pared del adoquín.

### **1.2.3. Aspecto**

Cuando se realice una selección de la calidad en los adoquines, el aspecto que estos presenten es muy importante, estos deben ser compactos sin fisuras, saltaduras o cualquier irregularidad que pueda interferir con su correcta colocación, sus aristas deben ser lisas y regulares en toda su longitud.

### **1.2.4. Materiales**

Actualmente, se utilizan diversos materiales para la fabricación de adoquines para mejorar en sus características físicas y mecánicas, esto con la finalidad de garantizar su durabilidad y apariencia, usando materiales de calidad y diversos pigmentos para brindarles color.

- Cemento

El cemento a utilizar en la fabricación de adoquines debe cumplir con las especificaciones establecidas en la NTG 41095 (ASTM C1157-09) que contiene el requisito de certificación de los cementos que se comercializan en el territorio

nacional, según lo requiera el fabricante se puede utilizar: cemento tipo UGC, cementos de alta resistencia, cemento blanco y cemento con aire incorporado.

En condiciones donde se tengan ambientes marinos, y se exponga a altas concentraciones de sulfatos de calcio y magnesio, se sugiere usar cementos tipo MRS (cementos con moderada resistencia a los sulfatos), tipo ARS (cementos con alta resistencia a los sulfatos).

Con el fin de garantizar una resistencia al desgaste y una durabilidad adecuadas, el contenido mínimo de material cementante de la mezcla de la capa de desgaste (capa superficial en los adoquines bicapa), debe ser de 350 kg/m<sup>3</sup>. Esta misma característica debe tener toda la masa del adoquín, cuando va a estar en contacto directo, indirecto o cercano al nivel freático, de aguas marinas o con contenidos de sales.

Utilizar bolsas selladas en buen estado, que no se hayan humedecido, dichas bolsas deben almacenarse en lugares ventilados y secos. El tiempo que debe estar en el lugar de almacenamiento no tiene que ser mayor de un mes.

- Agregado grueso

Estos agregados están constituidos por grava de río perfectamente lavada, grava triturada, piedra triturada, escoria de alto horno enfriada con aire, conforme a los requisitos que especifica la Norma Técnica Guatemalteca NTG 41007 (ASTM C33) y el porcentaje de desgaste no debe ser mayor de 40 % en el ensayo de abrasión de la máquina de los ángeles, según lo establece la Norma ASTM C131. El más recomendable es el agregado que pase un tamiz de 13 mm (1/2 ") y quede retenido en un tamiz de 9 mm (3/8 "), el cual no debe exceder 1/5 del espesor nominal del adoquín.

- Agregado fino

Debe ser arena de río de origen basáltico o cuarzoso perfectamente lavada y libre de arcilla, tierra vegetal, sales y basuras. No debe contener partículas mayores de 6 mm y no pasar el tamiz número 30 más de  $\frac{1}{4}$  parte de la muestra. Los agregados finos tienen que cumplir con las siguientes normas: para agregados de peso normal, NTG 41007 (ASTM C33); agregados de peso liviano, ASTM C331.

- Agua

El agua a utilizar debe estar libre de aceites, grasas, residuos de materia orgánica, sales y sulfatos. En general debe utilizarse agua potable para la mezcla. Nunca agua de mar o estancada; el agua empleada en la elaboración de adoquines debe cumplir con lo establecido en la Norma NTG 41073 (ASTM 1602). La fabricación del adoquín tiene que llevarse a cabo inmediatamente después de haber hecho la mezcla.

- Pigmentos

Son materiales utilizados para dar color a los productos elaborados de concreto. Los pigmentos colorantes que se utilicen en la elaboración de adoquines deben cumplir con lo establecido en la Norma NTC 3760 (ASTM C979)

- Aditivos

Deben cumplir con las siguientes normas que les sean aplicables: para aditivos químicos para concreto, la NTC Icontec 1299 (ASTM C494), y para

aditivos de aire para concreto, la NTC Icontec 3502 (ASTM C260). Estos en el caso que se requiera una modificación en la mezcla, ya sea para concreto fresco o en condiciones de trabajo.

### **1.2.5. Clasificación del adoquín según la masa de concreto**

Esta clasificación se realiza por las capas de concreto que conforman al adoquín, pueden ser monocapa, bicapa y permeable. Las características del concreto varían según la utilidad que se requiera para el adoquín.

- Adoquín monocapa

Es el adoquín cuya masa está constituida por una sola capa de concreto y características uniformes. Este a su vez se clasifica como: monocapa gris, cuya mezcla de concreto se elabora solamente con cemento gris; monocapa coloreado en su mezcla de concreto se adicionan pigmentos y se elabora total o parcialmente con cemento blanco; adoquín monocapa coloreado y vetado este es elaborado con uno o más pigmentos distribuidos irregularmente en su masa de concreto. Por lo general, se trabaja con una masa de concreto gris o coloreada uniformemente y se le adicionan de uno a dos colores distribuidos irregularmente.

- Adoquín bicapa

Es el adoquín cuya masa está constituida por dos capas de concreto de características diferentes, la inferior contra la cara de apoyo y de concreto gris; y la superior contra la cara de desgaste y de un concreto de diferentes características que el anterior por su dosificación, textura, color o por la incorporación de diversos tipos de agregados. En este tipo de adoquines la

capa de desgaste no deberá tener menos de 8 milímetros de espesor. Es necesario tener el mayor cuidado con estos adoquines para que no haya desprendimiento o separación entre las capas cuando se coloque y cuando se realice el ensayo a flexión.

Este también se clasifica en: bicapa gris, cuya capa superficial se elabora con cemento gris, pero con características diferentes a las de la capa inferior; bicapa coloreado, cuya capa superficial se elabora con una mezcla de concreto a la que se adicionan pigmentos o cemento blanco; y bicapa coloreado y vetado elaborado con uno o más pigmentos distribuidos irregularmente en la masa de concreto de su capa superficial.

- Adoquín permeable

Es elaborado con mezclas de concreto, con granulometrías discontinuas que hacen que el volumen del adoquín sea permeable, para efectos de drenaje.

#### **1.2.6. Clasificación según uso de los adoquines**

La clasificación se realiza por la resistencia a la flexión y según el uso que se requiera en:

- Tipo A (uso industrial y tránsito pesado): para uso en zonas sometidas a grandes cargas de tránsito pesado; como puertos, aeropuertos, patios de maniobras en zonas industriales, terminales de autobuses, calles o avenidas principales.
- Tipo B: (para tránsito liviano): para uso en arterias o calles secundarias con tránsito vehicular liviano.

- Tipo C: (para tránsito peatonal): para uso exclusivo de zonas peatonales, espacios públicos.

### **1.3. Características físicas y mecánicas de los adoquines**

La calidad de un adoquín se determina realizando una serie de ensayos de laboratorio, entre las características que se evalúan están la apariencia, color, textura, absorción de agua, desgaste, compresión y flexión, estas dos últimas son importantes, ya que estas determinan la utilidad a los que estos están aptos. A continuación se describen algunas características.

#### **1.3.1. Acabado**

De acuerdo a la exigencia y utilidad que se requiera existen diferentes tipos de acabados para los adoquines, estos se clasifican en: primarios y secundarios arquitectónicos.

- Los primarios son los más utilizados, se puede decir que son estándar, estos se obtienen directamente durante el proceso de moldeado, sin ningún proceso posterior estos pueden ser planos, impresos y juntas falsas.
- Y en casos de suma exigencia, los acabados secundarios arquitectónicos se obtienen mediante procesos adicionales, posteriores al moldeado casi siempre sobre adoquines endurecidos. Entre estos se encuentran: pulido, chorro de arena, chorro metálico, chorro de agua, martillado y flameado.

### 1.3.2. Geometría

Los adoquines deben cumplir con los requisitos geométricos que estipula la Norma Coguanor NTG 41086, para las relaciones entre la longitud, ancho y espesor. El largo y el ancho real de los adoquines de concreto para pavimentos no tienen que ser mayor de 250 mm, ni menor de 50 mm.

Tabla I. **Características geométricas de los adoquines**

Características geométricas	
Espesor	$\geq 60,0$ mm
Relación (largo real/ancho nominal)	$\leq 2,5$
Relación (largo real/ espesor)	$\leq 4,0$

Fuente: Coguanor NTG 41086. p. 8.

### 1.3.3. Tolerancia

Cuando se realicen mediciones del espesor, ancho y largo estas se deben promediar para obtener una medida real, la cual no debe diferir de  $\pm 3$ mm del espesor, y  $\pm 2$  mm del ancho y largo especificado.

### 1.3.4. Biseles y separadores

El bisel es un corte oblicuo en el borde de los adoquines, generalmente se usa en las esquinas, tiene que ser de igual forma y medidas según los requerimientos de la Norma Técnica Colombiana Icontec NTC 2017, dice que tanto la proyección horizontal como la proyección vertical del perfil del bisel deben tener un mínimo de 3 mm y máximo 7 mm.

El separador es un elemento que se adiciona en las paredes de los adoquines para garantizar la separación adecuada y uniforme entre los adoquines contiguos, con el fin de que las juntas se puedan llenar con arena, se reduzca el desportillamiento y para permitir el drenaje a través de las juntas.

El uso de este es opcional en los pavimentos articulados con adoquín clase C y obligatorio en los pavimentos articulados con adoquines clase A y B.

### 1.3.5. Absorción de agua

Los adoquines deben tener una absorción de agua total (para todo el volumen de la muestra), no mayor al 7 % como valor promedio para los especímenes de la muestra en el momento de despacho al comprador. (Según la Norma Técnica Colombiana Icontec 2017). En tanto, la Norma Guatemalteca Coguanor NTG 41086 clasifica los adoquines por clase, basándose en la absorción como se indica en la tabla II.

Tabla II. **Clasificación del adoquín por su porcentaje de absorción**

Clase	Absorción (en % de masa)	
	Promedio de 3 adoquines	Valor máximo individual
A	$\leq 7$	7,7
B	$\leq 9$	9,9
C	$\leq 9$	9,9

Fuente: Coguanor NTG 41086, p. 11.

La absorción de agua ( $A_a$ ) se debe calcular mediante la siguiente ecuación, con una aproximación de 0,1%.

$$Aa = \left[ \frac{Mh - Ms}{Mh - Ma} \right] \times 1000$$

$$\%Aa = \left[ \frac{(Mh - Ms)}{Ms} \right] \times 100$$

Donde

*Aa* = absorción de agua en kg/m<sup>3</sup>

*Ms* = masa seca del espécimen en g

*Mh* = masa saturada (húmeda) del espécimen en g

*Ma* = masa inmersa en agua y suspendida del espécimen en g

### 1.3.6. Módulo de ruptura (mr.)

Se define como la tensión máxima que un espécimen de prueba rectangular puede soportar en una prueba de flexión de 3 puntos hasta que se rompe, expresado en Newton por milímetro cuadrado, Mega pascales, kilogramo por centímetro cuadrado, con una exactitud de 0,1 Mpa (1 kg/cm<sup>2</sup>).

Tabla III. Clasificación por módulo de ruptura del adoquín

Clase	Espesores mínimos del adoquín (mm)	Resistencia mínima a flexión del adoquín MPa. (Kg/cm <sup>2</sup> )	
		Promedio	Mínimo individual
A	80	5,4 (55)	4,6 (46,8)
B	80	4,1 (42)	3,5 (35,7)
C	60	4,1 (42)	3,5 (35,7)

Fuente: Coguanor NTG 41086, p. 11.

Para calcular el módulo de ruptura, se deben seleccionar tres especímenes de la muestra, teniendo el mayor cuidado que estén completos y a la vez evaluar la apariencia y las dimensiones, una vez calculadas la densidad y absorción de agua se procede a realizar el ensayo donde se obtiene el módulo de ruptura, utilizando la siguiente ecuación:

$$Mr = \frac{3PL}{2BH^2}$$

Donde

- $Mr$  = módulo de rotura
- $P$  = marga máxima, de rotura
- $L$  = distancia entre los ejes de los apoyos
- $B$  = longitud del eje menor del rectángulo inscrito
- $H$  = espesor del adoquín

### **1.3.7. Resistencia a la abrasión o desgaste**

Propiedad que permite a un material resistir y mantener su apariencia original al ser frotado con otro objeto; cualidad muy importante en materiales de pavimentación y revestimiento.

### **1.3.8. Resistencia a la compresión**

Se le llama resistencia a la compresión de un material, a la carga máxima por unidad de superficie, que es capaz de soportar hasta la rotura, cuando está sometido a compresión simple. Para los adoquines se definen dos niveles de resistencias características a la compresión: 350 y 450 kg/cm<sup>2</sup>. La selección de resistencia se hará conforme al diseño del pavimento.

#### **1.4. Normas a utilizar**

Se realizó un estudio de las normas técnicas para las definiciones antes descritas, donde se toman las ecuaciones de cálculo y los detalles de los ensayos que se realizarán a los adoquines que se diseñaron. Para ello se usaron las Normas: Técnica Colombiana Icontec 2017 y Coguanor NTG 41086 para la preparación de la muestra, las especificaciones (dimensiones, color y textura), determinación del porcentaje de absorción y la resistencia a la flexión (módulo de ruptura); en cuanto a la resistencia a la compresión y al desgaste o abrasión se utilizarán las normas alemanas DIN 52105 y DIN 52108, respectivamente.

El procedimiento para llegar a la conclusión para utilizar las normas correspondientes a los ensayos para los adoquines, fue la recopilación de información de normas internacionales, en esta etapa se procedió a visitar centros de información técnica como: El Cenari en la biblioteca del Banco de Guatemala, la biblioteca de la Facultad de Ingeniería, Biblioteca Central de la Universidad de San Carlos, y el Centro de Información para la Construcción, siendo los últimos dos centros, donde se obtuvo las normas que sirven de base al estudio, esto para obtener la información de dónde se puede investigar como referencia.

## **2. PROPIEDADES DE LA ESCORIA DE MATA DE NÍQUEL CON RELACIÓN A UN MATERIAL PÉTREO**

Como ya se ha mencionado anteriormente, la escoria de mata de níquel tiene características similares a las de un agregado fino pétreo, por lo que se presentan algunas características y resultados de laboratorio, con el fin de utilizarlas en el proporcionamiento de las mezclas para concreto en la elaboración de adoquines.

### **2.1. Generalidades de la escoria de mata de níquel**

Actualmente, se estima que en el del departamento de Izabal existe una de las más grandes reservas de níquel, exactamente en los municipios de El Estor y Los Amates.

La empresa que tiene autorización para explorar estas en Guatemala es la Compañía Guatemalteca de Níquel, la cual es una subsidiaria de Solway Investmen Group, esta se encuentra ubicada a una distancia aproximada de 315 kilómetros de la ciudad capital y a 5 kilómetros del municipio de El Estor en Izabal, de donde se obtiene este residuo de material que se encuentra almacenado en un costado de la planta de producción del mineral.

Tomando en cuenta que la escoria de mata de níquel es un material pirometalúrgico fundido en altos hornos y que sus características son semejantes a las de un agregado fino, se realizaron ensayos de laboratorio normados por Coguanor NTG 41007 h1 (ASTM C-33), para agregados finos pétreos, con el fin de verificar que este material cumple con las especificaciones

de un agregado fino pétreo y que a la vez es apto para realizar mezclas de concreto, por lo que se necesitó el apoyo de la Compañía Guatemalteca de Níquel para la obtención de dicho material.

Este subproducto se encuentra al aire libre, acomodado por capas donde se puede observar que el material nuevo es trasladado y acomodado para su proceso de secado para luego mezclarlo y almacenarlo; como se observa en la figura 3.

Figura 3. **Banco actual de escoria de mata de níquel, municipio de El Estor, Izabal**



Fuente: Compañía Guatemalteca de Níquel. 2015.

Las muestras se tomaron en varios puntos del banco de material de la Compañía Guatemalteca de Níquel y se colocaron en sacos limpios, debidamente identificados para trasladarlas al laboratorio para realizar sus respectivos análisis.

Figura 4. **Obtención de las muestras de escoria de mata de níquel**



Fuente: Compañía Guatemalteca de Níquel. 2015.

## **2.2. Propiedades químicas de la escoria de mata de níquel**

Para cualquier agregado que se use en un concreto, se deben analizar sus propiedades químicas con el objetivo de determinar si el agregado es perjudicial a la mezcla de concreto, a corto, mediano o largo plazo por las propiedades que tiene el cemento.

En el caso de la escoria de mata de níquel este es un material inocuo y no posee reacciones álca-silice dañinas al cemento, por lo que químicamente es idóneo para ser utilizado en concreto.

Los concretos con escoria de mata de níquel no poseen carbonatación, por lo cual la alcalinidad es apta, ya que no reduce y mantiene el pH necesario proporcionando buena resistencia a los mismos. Para conocer las propiedades químicas de los agregados finos pétreos se realizan los siguientes ensayos: desgaste por sulfato de sodio o intemperismo acelerado, reactividad potencial y carbonatación.

### **2.3. Propiedades físicas y mecánicas de la escoria de mata de níquel**

Los resultados de laboratorio que se presentan en este capítulo fueron realizados en el Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

#### **2.3.1. Peso específico Norma ASTM C 128-88**

El peso específico se define como el cociente entre su peso y el peso de un volumen equivalente de agua destilada a 20 °C (condiciones de máxima densidad de agua), siendo así un valor a dimensional. Es una característica propia de cada material, la cual sirve para la estimación de la cantidad de material y en cálculos del proporcionamiento de mezclas.

La escoria de mata de níquel tiene un peso específico de 3,06 lo cual es aceptable para agregados finos.

#### **2.3.2. Peso unitario Norma ASTM C 29-90**

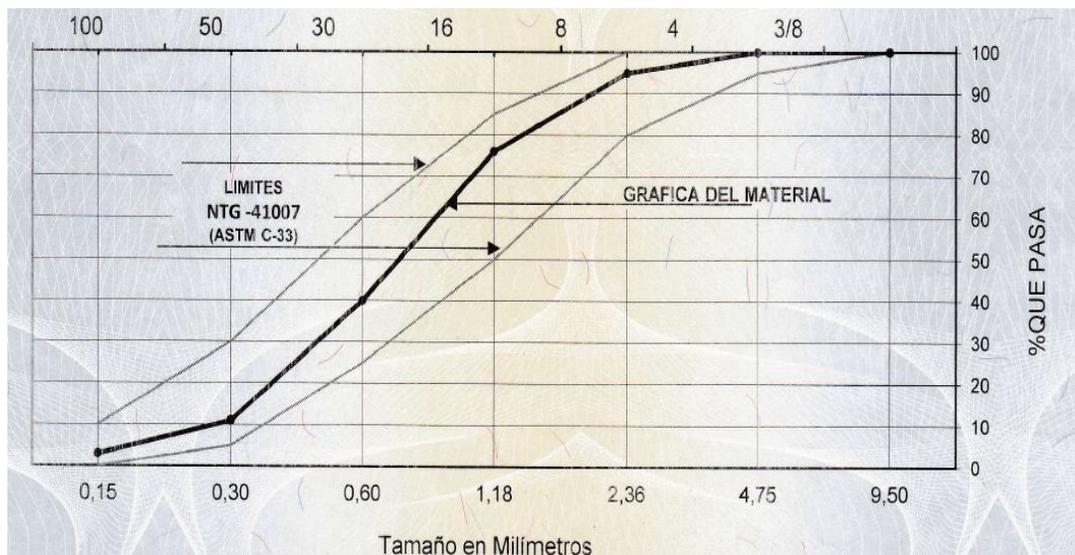
El peso unitario de un agregado es la relación de la masa entre una unidad volumen, este valor puede ser calculado en laboratorio como en campo. La masa tiende a ocupar distintos volúmenes, tanto en estado suelto como en estado compactado. Este valor se mide en kilogramo por metro cúbico.

El peso unitario suelto de la escoria de mata de níquel es de 1 800,00 kg/m<sup>3</sup> y el peso unitario compactado es de 1 890, 00 kg/m<sup>3</sup>, por lo que se clasifica como un agregado fino de peso normal.

### 2.3.3. Granulometría Norma ASTM C 136-84

Es la distribución de los tamaños de las partículas de un agregado, determinada por el análisis de tamices que indica la Norma ASTM C 136-84. El tamaño de dichas partículas de agregado se determina por medio del material retenido y lo que pasa en la malla de alambre con aberturas cuadradas. En este análisis se utilizó una batería de tamices con las siguientes mallas núms. 4, 8, 16, 30, 50, 100 y fondo. La granulometría de la escoria de mata de níquel se presenta en la figura 5, donde se puede observar que entra en los límites de aceptación.

Figura 5. Curva granulométrica de la escoria de mata de níquel



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. USAC. 2016.

#### **2.3.4. Módulo de finura Norma ASTM C 136-84**

Este es un factor a dimensional que se obtiene de la suma de los porcentajes acumulados de agregado retenido en cada uno de los siguientes tamices, núms. 4, 8, 16, 30, 50, 100 y fondo; y dividiendo la suma entre 100. Obtenido este valor se clasifica como lo indica la tabla IV.

Tabla IV. **Clasificación del agregado fino por su módulo de finura**

<b>Arena</b>	<b>Módulo de finura</b>
Gruesa	2,9 – 3,2
Mediana	2,2 – 2,9
Fina	1,5 – 2,2
Muy fina	1,5

Fuente: elaboración propia.

Para la mata de níquel el módulo de finura es de 2,75, por lo que se clasifica como un agregado fino medio.

#### **2.3.5. Porcentaje de vacíos Norma ASTM C 138-81**

Es la medida de volumen expresado en porcentaje de los espacios entre las partículas de agregados, depende del acomodo de las partículas, por lo que su valor es relativo. Este dato determina si las partículas de un agregado se acomodan adecuadamente o crean espacios en el concreto.

La escoria de mata de níquel presentó un porcentaje de vacíos de 38,00 %, por lo que se determina aceptable, la Norma indica que el parámetro se encuentra entre 40 a 50 %.

### **2.3.6. Porcentaje de absorción Norma ASTM C 128-88**

Es una característica física de los agregados que se utiliza para calcular el cambio en el peso del agregado provocado por el agua absorbida después de 24 horas de inversión en los espacios de poros de las partículas constituyentes, comparadas con la condición seca del material.

Para la mata de níquel el porcentaje de absorción fue de 1,10 %, esto indica que su porcentaje de absorción es normal, ya que los parámetros se encuentran entre 0,2 a 2 %.

### **2.3.7. Contenido de materia orgánica Norma ASTM C 40-84**

Este ensayo se realiza para determinar el grado de contaminación que posee la escoria de mata de níquel, la cual debe estar libre de cantidades perjudiciales de impurezas orgánicas, este valor se obtiene con una escala de aceptabilidad del colorímetro, el cual es clasificado aceptable desde la escala 1 hasta la 3.

Para la escoria de mata de níquel este valor fue de 1, lo cual la clasifica como un material libre de contaminación orgánica.

### **2.3.8. Porcentaje que pasa tamiz 200 Norma ASTM**

El porcentaje de finos que pasa por el tamiz 200 para la escoria de mata de níquel es de 2,10, por lo que cumple con los requisitos de la Norma que especifica que los valores máximos oscilan entre un 2 o 3 por ciento.



### **3. ELABORACIÓN DE LAS MEZCLAS DE CONCRETO PARA ADOQUÍN**

Se realizaron diferentes diseños de mezcla con el objetivo de observar el comportamiento que tiene la escoria de mata de níquel en una mezcla para la fabricación de adoquines.

Para elaborar los adoquines se utilizó cemento de alta resistencia inicial según Norma Guatemalteca Coguanor NTG 41095, agregado fino: polvo de piedra, su nombre comercial es agregado base 1/4" a 0, y escoria de mata de níquel con el objetivo de verificar su comportamiento en este tipo de productos prefabricados. Agregado grueso de 3/8", ambos fueron facilitados por la planta Palín Oeste de la empresa Agreca y la Compañía Guatemalteca de Níquel CGN. El agua era potable, limpia y libre de impurezas, esta fue proporcionada por la fábrica de producción de adoquines.

#### **3.1. Análisis completo de los agregados utilizados en la fabricación de adoquines**

Los agregados deben componerse de partículas con resistencia mecánica y a las condiciones de exposición a la intemperie, no deben contener materiales que puedan perjudicar al concreto, con el objetivo de verificar la calidad de los agregados, estos fueron evaluados en el laboratorio del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, los cuales mostraron ser aptos para el uso en concretos.

En las siguientes tablas se muestran los valores obtenidos en el laboratorio, para el polvo de piedra y el agregado grueso. Con estos valores se definieron los parámetros para el proporcionamiento de las mezclas.

Tabla V. **Resultados de laboratorio para el agregado fino polvo de piedra**

<b>Propiedades físicas</b>	<b>Resultados</b>
Peso específico	2,68
Peso unitario compactado (Kg/m <sup>3</sup> )	1 910,00
Peso unitario suelto (Kg/m <sup>3</sup> )	1 750,00
Porcentaje de vacíos	29,00
Porcentaje de Absorción	0,50
Contenido de materia orgánica	1,00
Porcentaje retenido en tamiz 6.35	0,15
Porcentaje que pasa en tamiz 200	12,70
Módulo de finura	2,62

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. USAC. 2016.

Tabla VI. **Resultados de laboratorio para el agregado grueso de 3/8"**

<b>Propiedades físicas</b>	<b>Resultados</b>
Peso específico	2,62
Peso unitario (Kg/m <sup>3</sup> )	1 532,38
Peso unitario suelto (Kg/m <sup>3</sup> )	1 427,19
Porcentaje de vacíos	41,54
Porcentaje de absorción	1,38
Porcentaje en tamiz 200	2,14
Porcentaje de Desgaste	27,2

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. USAC. 2016.

### **3.2. Proporciones para la fabricación de adoquín**

Las proporciones utilizadas en la elaboración de los adoquines se describen en los siguientes numerales, por lo que es preciso conocer la definición de diseño de mezcla y el método a utilizar.

- **Diseño de mezcla**

Una mezcla de concreto es la combinación de cemento, agregados y agua; los cuales se dosifican de manera que este alcance la resistencia apropiada al uso que se requiera.

La resistencia de la mezcla depende de la calidad y de la cantidad de los componentes reactivos en la mezcla y de su grado de hidratación, universalmente se conoce que un concreto es resistente, debido a la compresión, pero no solo esta propiedad es importante también, la durabilidad, permeabilidad y resistencia al desgaste, esencialmente cuando se considera el ciclo de vida de una estructura. Para que un concreto sea adecuado se debe considerar las siguientes características:

- En el concreto fresco: trabajabilidad aceptable, consolidación, tiempo de mezclado y temperatura.
- En el concreto endurecido: resistencia, durabilidad, densidad y apariencia uniforme.
- Economía.

Esta última característica determina la utilización mínima de cemento, debido que, mientras mejor sea la dosificación de los agregados, menor será el volumen de vacíos por llenar en la mezcla. Con relación al contenido de agua

se influencia por un gran número de factores: tamaño, forma y textura del agregado, revenimiento, relación agua/cemento, contenido de cemento, aditivos y condiciones ambientales.

- Método de diseño para dosificación la mezcla de concreto para adoquín

El método a usar se encuentra descrito en el Código ACI Comité 211. Este detalla dos formas de proporcionar mezclas de concreto de peso normal y denso que son basadas en un peso estimado del concreto por volumen unitario; y el otro basado en el cálculo del volumen absoluto ocupado por los componentes del concreto, estos métodos muestran una aproximación preliminar de las cantidades de materiales necesarios, que luego deben ser verificadas mediante mezclas de prueba en el laboratorio o en el campo, y efectuar los ajustes que sean necesarios con el objetivo de lograr las características deseadas en el concreto fresco y endurecido.

El método del ACI 211.1 describe el procedimiento para diseñar mezclas, seleccionando los parámetros según las características que debe tener dicha mezcla, los pasos son los siguientes:

- Elegir el asentamiento según la utilidad que se requiera.
- Seleccionar el tamaño máximo del agregado grueso.
- Seleccionando el asentamiento y el agregado se verifica la cantidad de agua a usar.
- De acuerdo a la resistencia con la que se va diseñar se elige la relación agua cemento.
- Calcular la cantidad de cemento y de acuerdo al tamaño máximo nominal del agregado grueso, se elige la cantidad de agregado fino en porcentaje que debe tener la mezcla.

- Obteniendo las cantidades de cemento, agregado fino y grueso, se obtienen las proporciones teóricas y las cantidades de materiales en kilogramos.
- Finalmente se realizan las correcciones con mezclas de prueba.

Tabla VII. **Valores para el diseño de mezclas (calculados para un metro cúbico de concreto)**

<b>Tipos de estructura</b>	<b>Asentamiento (cm)</b>				
Para cimientos, muros reforzados, vigas paredes reforzadas y columnas	10				
Pavimentos y losas	8				
Concreto masivo de poca humedad	5				
<b>Asentamiento (cm)</b>	<b>Tamaño del agregado grueso</b>				
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"
	<b>Cantidad de agua en litros / metro cúbico</b>				
3 a 5	205	200	185	180	175
8 a 10	225	215	200	195	180
15 a 18	240	230	210	205	200
<b>Resistencia Kg/cm<sup>2</sup> (psi)</b>	<b>Relación agua / cemento</b>				
176 (2 500)	0,64				
180 (2 800)	0,63				
210 (3 000)	0,60				
246 ( 3 500)	0,57				
281 (4 000)	0,54				
316 (4 500)	0,50				
<b>Tamaño máximo del agregado grueso</b>	<b>% de arena sobre agregado total</b>				
3/8"	48				
1/2"	46				
3/4"	44				
1"	42				
1 1/2"	40				

Fuente: elaboración propia.

- Parámetros utilizados en las proporciones teóricas

Inicialmente se selecciona el asentamiento de 8,00 a 10,00 centímetros de la tabla VII, teniendo que utilizar una cantidad de agua de 225 litros por metro cúbico, debido que se pretende alcanzar una resistencia de 210 kg/cm<sup>2</sup> (3 000 psi), por lo que, la relación agua cemento es de 0,60. Con este valor y la cantidad de agua se obtiene la cantidad de cemento en kilogramos a utilizar, conociendo el peso específico del concreto que es 2 400,00 a este valor se le resta la cantidad de cemento y el agua para obtener la cantidad de agregados, y debido que, el tamaño máximo del agregado grueso es de 3/8", se usa un 48 % de agregados finos según tabla VII.

Con los valores anteriores se obtiene una proporción teórica y luego se realizan las correcciones por humedad y por absorción para mejorar la mezcla en estado fresco.

También se tomó como patrón el proporcionamiento de las cantidades de los materiales que utilizan en la fábrica, los cuales son amasados manualmente de manera que la mezcla es homogénea y trabajable, para 1 saco de cemento se utilizan 3 carretillas de arena (polvo de piedra). 0,5 carretillas de agregado grueso, la cantidad de agua varía según la humedad que presenten los agregados en el momento de fabricación. Por lo que se puede observar que en esta se utiliza un 88 % de agregados finos, Con estos datos se diseñaron mezclas arbitrarias con el objetivo de comparar los adoquines con la muestra patrón.

Como se puede observar, la cantidad de cemento es baja, debido a que se busca que esta mezcla sea económica y, que cumpla con los estándares de calidad en el producto prefabricado.

### 2.3.9. Proporciones utilizando arena de río o triturada (polvo de piedra)

Se tomó en cuenta el proporcionamiento del patrón y el método del ACI 211.1, luego se identificó el diseño número tres, el cual se describe a continuación.

- Muestra patrón: se seleccionaron de la planta de producción cuatro adoquines al azar, para realizar comparaciones de las características físicas y mecánicas respecto a los adoquines fabricados con adición de escoria de mata de níquel.
- Diseño 3 (con polvo de piedra): del 100 % de los agregados, el porcentaje de agregado fino utilizado es un 88 % (polvo de piedra). Y el resto, es 12 % de agregado grueso. Las siguientes cantidades son para fabricar 8 unidades.

Tabla VIII. **Proporción y cantidad de materiales en kilogramos utilizando polvo de piedra**

Materiales	Proporción	Cantidad en kg
Cemento	1	17,10
Arena (polvo de piedra)	4,26	72,23
Piedrín	0,57	9,85
Agua	0,52	9,00

Fuente: elaboración propia.

### 2.3.10. Proporciones utilizando escoria de mata de níquel

Se realizaron 5 diseños de mezcla diferentes, incluyendo escoria de mata de níquel en diferentes porcentajes, esto con el objetivo de verificar el comportamiento que tienen los adoquines, incluyéndoles este material. Los porcentajes y diseños se detallan a continuación:

- Diseño 1 (con adición de escoria): en este diseño se tomó del 100 % de los agregados, 48 % de agregado fino (escoria de mata de níquel) y el 52 % de agregado grueso, la tabla IX indica las cantidades de material usados para fabricar 8 unidades de adoquín.

Tabla IX. **Proporción y cantidad de material en kilogramos utilizando escoria de mata de níquel**

Materiales	Proporción	Cantidad en kg
Cemento	1,00	8,60
Escoria de mata de níquel	2,33	17,75
Piedrín	2,47	21,08
Agua	0,60	5,13

Fuente: elaboración propia.

- Diseño 2 (con adición de escoria): para este diseño se tomó del 100 % de los agregados, un 95 % de los agregados finos (escoria de mata de níquel) y el 5 % de agregado grueso, para fabricar 4 unidades de adoquín, ver tabla X:

Tabla X. **Proporción y cantidad de materiales en kilogramos utilizando escoria de mata de níquel**

Materiales	Proporción	Cantidad en kg
Cemento	1	5,70
Escoria de mata de níquel	5,13	28,90
Piedrín	0,27	1,55
Agua	0,59	3,40

Fuente: elaboración propia.

- Diseño 4 (con adición de escoria): en este se tomó del 100 % de los agregados de la pasta de concreto, un 88 % de agregados finos, este porcentaje se dividió en un 44 % de polvo de piedra y 44 % de escoria de mata de níquel, el resto, que es un 12 % de agregado grueso, para fabricar 8 unidades de adoquín. Ver la tabla XI:

Tabla XI. **Proporción y cantidad de materiales en kilogramos utilizando polvo de piedra y escoria de mata de níquel**

Materiales	Proporción	Cantidad en kg
Cemento	1	17,10
Arena (Polvo de piedra)	2,13	36,12
Escoria de mata de níquel	2,14	36,12
Piedrín	0,57	9,85
Agua	0,59	10,00

Fuente: elaboración propia.

- Diseño 5 (con adición de escoria): en este se tomó del 100 % de los agregados de la pasta de concreto, un 88 % de agregados finos, este porcentaje se dividió en un 22 % de polvo de piedra y 66 % de escoria de mata de níquel, el resto, que es un 12 % de agregado grueso, para fabricar 8 unidades de adoquín. Ver la tabla XII:

Tabla XII. **Proporción y cantidad de materiales en kilogramos utilizando polvo de piedra y escoria de mata de níquel**

Materiales	Proporción	Cantidad en kg
Cemento	1	17,10
Arena (polvo de piedra)	1,07	18,06
Escoria de mata de níquel	3,22	54,17
Piedrín	0,57	9,85
Agua	0,41	7,00

Fuente: elaboración propia.

- Diseño 6 (con adición de escoria): en este se tomó del 100 % de los agregados de la pasta de concreto, un 88 % de agregados finos (escoria de mata de níquel), el resto, que es un 12 % de agregado grueso, para fabricar 8 unidades de adoquín. Ver la tabla XIII:

Tabla XIII. **Proporción y cantidad de materiales en kilogramos utilizando escoria de mata de níquel**

Materiales	Proporción	Cantidad en kg
Cemento	1	17,10
Escoria de mata de níquel	4,28	72,23
Piedrín	0,57	9,85
Agua	0,53	9,00

Fuente: elaboración propia.

### **3.3. Control de las mezclas frescas**

Un concreto recién mezclado debe ser plástico o semifluido y, generalmente capaz de ser moldeado a mano, estos deben cumplir con los estándares de calidad estipulados por normas establecidas en Guatemala, para garantizar que todos los elementos estén correctamente mezclados y homogenizados.

Las propiedades que se analizan en el momento que se realiza la mezcla son: trabajabilidad, temperatura, consolidación, asentamiento, hidratación y tiempo de fraguado.

#### **3.3.1. Control de las mezclas frescas con arena de río o triturada (polvo de piedra), y con escoria de mata de níquel**

Para esta investigación se realizó en campo la prueba de Slump como lo establece la Norma Coguanor NTG 41052, (ASTM C-143, Standard Test

Method for Slump of Hydraulic- Cement Concrete), la cual sirve para determinar la resistencia del concreto estando en estado plástico. El procedimiento de ensayo es el siguiente:

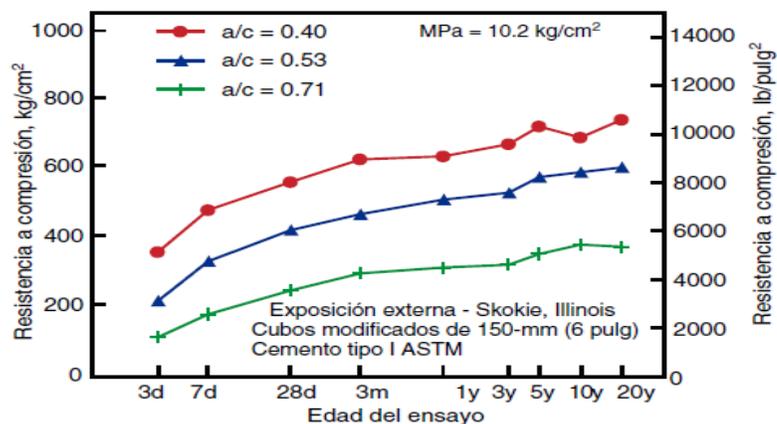
- De la mezcla de concreto ya homogenizada, se toma una cantidad suficiente para realizar el ensayo.
- Se humedece el interior del cono de Abrams y la base sobre la cual se hará el ensayo, esta base debe estar firme, plana y nivelada.
- Se sujeta finalmente el cono y se coloca concreto hasta  $1/3$  del volumen del cono.
- Se apisona el primer tercio 25 veces con una varilla de acero recta, con un diámetro de  $5/8$ " y con punta redonda, evitando que la misma toque la base en que se encuentra apoyado el cono.
- Se coloca la segunda capa de un tercio del volumen y se apisona nuevamente 25 veces, únicamente la segunda capa, teniendo el mayor cuidado que la varilla solo toque la segunda capa.
- Se llena el molde colocando un poco más del concreto necesario y se golpea 25 veces penetrando ligeramente alrededor del molde.
- Se levanta el molde verticalmente hacia arriba de 5 a 10 segundos, sin impactarle movimiento lateral o de torsión.
- Luego se pone el molde invertido al lado del concreto ensayado, colocando la varilla en la parte superior del molde y se mide la distancia entre la varilla y la cara superior del concreto.
- Finalmente se procede a verificar si esta mezcla cumple con lo establecido en la norma.

### 3.4. Control de las mezclas endurecidas

Es necesario curar el concreto a diferentes edades, ya que la resistencia se desarrolla a lo largo del tiempo de exposición al aire libre, para garantizar que la humedad pueda ser controlada en el momento de fraguado, esto se realiza con diferentes métodos, para este caso se utilizó el método de curado en sombra y al aire libre, con la finalidad de que alcance la resistencia a la compresión y flexión deseada.

Para los adoquines se espera que alcance una resistencia a la compresión alta a temprana edad, por la demanda que tienen estos productos, en la figura 6 se observa la resistencia que puede alcanzar un concreto normal a diferentes edades.

Figura 6. **Desarrollo de la resistencia del concreto a lo largo del tiempo de exposición al aire libre**



Fuente: Portland Cement Association. *Manual de diseño y control de mezclas de concreto*. p. 6.

#### **3.4.1. Control de las mezclas endurecidas con arena de río o triturada y con escoria de mata de níquel**

Para verificar si las mezclas están debidamente diseñadas, se realizan diferentes ensayos de laboratorio, para este caso los mismos adoquines sirven como probetas de ensayo para verificar si estos cumplen con los requisitos de diseño. Realizando ensayos de flexión, y compresión, estas pruebas se realizaron al cumplir con la edad máxima de fraguado de 28 días.

## **4. FABRICACIÓN DE ADOQUINES**

Generalmente los adoquines se fabrican en una sola capa (monocapa). Si se fabrican en dos capas superpuestas (bicapa), el concreto de la capa inferior y el de la capa superior deben quedar unidos de manera inseparable. Normalmente, se usan dos capas cuando se fabrican adoquines coloreados, colocando una primera capa de concreto sin colorante y luego una capa de aproximadamente dos centímetros de concreto con colorante, esto hace más lenta la fundición, pero resulta más económico que colorearlo todo.

El concreto de la superficie de rodadura puede ser claro, oscuro o de color, si se desea mejorar el coeficiente de fricción debe usarse una granulometría conveniente para los agregados.

Después de fundido el adoquín se almacenan bajo techo en pilas no mayores de 10 adoquines donde se debe curar humedeciendo constantemente los apilamientos durante todo el período de fraguado del concreto, si no se tiene bajo techo deberá cubrirse con bolsas de cemento o sacos de brin manteniéndolos húmedos. Se puede usar aditivos para acelerar el endurecimiento del concreto; en este caso se reducirá el período de curado.

### **4.1. Historia de la fabricación de adoquines en Guatemala**

La historia de los pavimentos de adoquín tiene sus orígenes hace más de 20 siglos en el empedrado. Su aparición se debió a la necesidad del hombre de tener vías durables, limpias y seguras, que le permitieran un desplazamiento rápido en cualquier época del año. También fue necesario buscar una superficie

de rodamiento continua que permitiera un tránsito más cómodo; para lograr esto se abandonó la práctica de colocar piedras en estado natural y se les comenzó a tallar en forma de bloques para obtener un mejor ajuste entre los elementos. Esta simple acción dio lugar al surgimiento del primer pavimento de adoquines.

Estas piezas prefabricadas fueron empleadas para diferentes usos, entre ellos para patios, andenes, en vías internas de urbanizaciones, plazas, calles y avenidas con tráfico vehicular, que va de unos pocos automóviles ligeros, hasta donde circula un gran número de camiones pesados; en zonas de carga, patios de puertos y plataformas de aeropuertos.

Por otra parte, la utilización de los adoquines prefabricados ayuda a mejorar el ambiente de las pequeñas comunidades, puesto que durante su colocación se crea una gran cantidad de oportunidades de empleo temporal, y debido a los costos de transportación muchas veces conviene establecer una fábrica en la zona de desarrollo. Por supuesto, la maquinaria debe ser de primera calidad, capaz de producir adoquines de concreto que cumplan con las normas y altas especificaciones del producto.

Actualmente, existen diferentes empresas que producen adoquines en serie de diferentes tipos dimensiones y tamaños; estas pueden llegar a producir de 2 000 hasta 5 000 adoquines diarios, la mayoría de estas empresas se encuentran ubicadas en la ciudad de Guatemala, teniendo estas sucursales en diferentes departamentos, con el fin de distribuir a sus clientes sin generar grandes costos de transporte.

Por otra parte, también existe un gran número de empresas que fabrican los adoquines de manera artesanal donde pueden producir de 200 a 300 adoquines por día, estos los trabajan regularmente una sola persona que hace

la mazada, ya sea de forma manual o por medio de mezcladoras, por las que se puede producir usando máquinas vibro compactadoras que fabrican regularmente dos unidades.

#### **4.2. Lugar de fabricación**

Para elaborar los adoquines que se utilizaron en esta investigación se contó con la colaboración de la empresa Súper Girón Linda Vista, la cual elabora adoquines normales y decorativos de forma artesanal, produce entre 200 y 300 adoquines diarios, también vende productos para la construcción, produce bloques de concreto y baldosas.

Esta se encuentre ubicada en el kilómetro 57,7 de la carretera Interamericana hacia el departamento de Chimaltenango.

**Figura 7. Ubicación de la fábrica Súper Girón Linda Vista, lugar de fabricación de los adoquines**

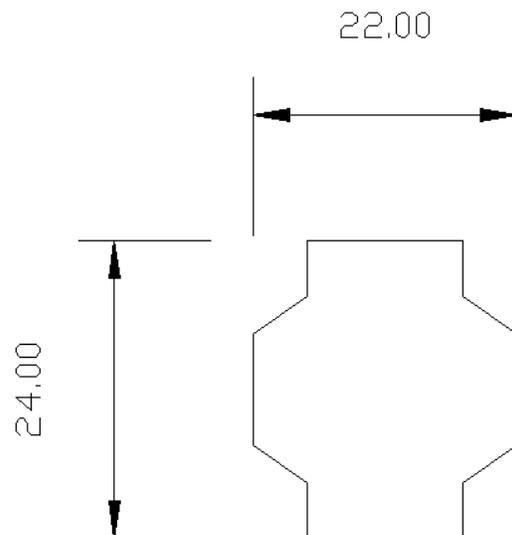


Fuente: Google maps, diciembre, 2015

#### 4.3. Forma convencional

Es común ver un adoquín con forma cuadrada o rectangular, pero también existen diversas formas hoy en día, para esta investigación la forma que tiene el molde utilizado es de tipo cruz.

Figura 8. **Adoquín tipo cruz, forma convencional**



Fuente: elaboración propia, con programa Auto CAD.

#### 4.4. Maquinaria y tecnología a usar

La máquina empleada para la fabricación de los adoquines es una máquina de motor monofásico de corriente eléctrica de 220 voltios, que produce 20 unidades por metro cuadrado, con un molde para producir adoquines tipo cruz con dimensiones de 24 cm de largo, 22 cm de ancho y un espesor de 10 cm esta tiene una palanca que prensa el material y a la vez utiliza un sistema de vibro compactación que es graduada según las características de la mezcla.

El procedimiento para utilizar este tipo de maquinaria es el siguiente:

- En la parte inferior del molde se debe colocar una tabla de madera, limpia con nylon grueso, la cual tiene medidas de 50 cm de largo, 30 cm de ancho y un espesor de 2,5 cm esto para trasladar y apilar los adoquines con mayor facilidad.
- Con una pala se coloca el concreto previamente mezclado y homogenizado en el molde de sin rasarlo, de manera que este quede con excesos.
- Luego se tira la palanca que tiene una lámina con forma del adoquín y que le dará la apariencia del bisel.
- En el momento que se tira la palanca inicia el vibrado durante un minuto, luego se levanta la lámina para dar la textura a la cara superior del adoquín.
- Nuevamente se tira la palanca para dar el último minuto de vibración para que el molde suelte con facilidad los adoquines.
- Antes de levantar el molde se debe verificar la textura del adoquín, en el caso que exista excesos, se debe limpiar el molde.
- Se levanta el molde y se transporta la tabla con los dos adoquines al lugar de secado.
- Cuando se finaliza este proceso se tiene que verificar que toda la herramienta y maquinaria utilizada que de limpia y libre de excesos de material.

Figura 9. **Máquina vibro compactadora a utilizar para la fabricación de los adoquines**



Fuente: fábrica de adoquines Súper Girón Linda Vista. 2015.

#### **4.5. Proporciones seleccionadas**

Las proporciones que se utilizaron en la fabricación de los adoquines fueron seleccionadas de manera que, en estas se utilice una mayor cantidad de escoria de mata de níquel con el fin de eliminar los residuos de la misma generados en la planta de producción.

#### **4.6. Sistema de curado**

Existen diferentes métodos de curado para adoquines, entre los cuales están:

- Por inmersión completa
- Por riego constante

- Pozo geotérmico de vapor
- Al ambiente en sombra
- Usando acelerantes

El método utilizado para esta investigación es el de curado al ambiente en sombra, en el momento de fabricar los adoquines, estos son colocados sobre tablas de madera de tal forma que, puedan ser transportados hacia el patio de secado que se encuentra a una distancia de dos metros de la máquina, aquí los adoquines se encuentran al aire libre, pasados 5 días de la fecha de fabricación, estos se retiran de las tablas para colocarlos uno sobre otro en filas no mayores de 10 adoquines, tal como lo indica la Norma. Se espera que pasen otros 10 días para que el producto esté listo para su despacho.

Figura 10. **Adoquines almacenados después del momento de fabricación en fábrica de adoquines Súper Girón**



Fuente: Fábrica de adoquines Súper Girón Linda Vista. 2015.



## 5. DESCRIPCIÓN DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO PARA ADOQUINES DE CONCRETO

### 5.1. Preparación de la muestra (según Norma Icontec 2017)

Cada uno de los adoquines fue ensayado a la edad de 28 días, que es la edad que alcanza la mayor resistencia, en el momento de la fabricación estos fueron identificados, según el diseño de mezcla a comparar, cuando se realizaron los ensayos, se seleccionaron dos especímenes de cada diseño uno se utilizó para el ensayo a compresión y el otro para el de flexión, antes de ensayarlos se observó y anotó la apariencia, textura y dimensiones.

Figura 11. Muestras de adoquín antes de ensayar



Fotografía: Sección de Metales, Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC. 2016.

## **5.2. Especificaciones según Norma Coguanor NTG 41086**

Para realizar los ensayos de los adoquines se utilizó la Norma Técnica Guatemalteca NTG 41086, la cual especifica las características de los adoquines de concreto hidráulico para pavimento, empleados para tráfico vehicular y peatonal.

### **5.2.1. Dimensiones según anexo A Norma Coguanor NTG 41086**

Para la determinación de las dimensiones de los adoquines se mide el largo, ancho y espesor con un calibrador de regla y aguja con divisores de 0,1 mm, realizando dos medidas de cada una para promediarlas con el objetivo de obtener los valores exactos de las dimensiones de los adoquines.

### **5.2.2. Color según Norma Coguanor NTG 41086**

Como no se utilizó ningún pigmento para colorar los adoquines, únicamente se realizó una inspección visual con el fin de verificar que variación tienen los fabricados con escoria de mata de níquel. Los adoquines presentaron un color gris claro en comparación con el adoquín patrón, que tiene un color gris oscuro.

### **5.2.3. Textura según Norma NTC 2017**

Para verificar la textura en los adoquines se debe tener una muestra que sirva como patrón para evaluar las otras, para esto se tomó al azar una muestra de cada diseño para compararla con la muestra patrón.

Figura 12. **Adoquín número siete que se utilizó como patrón**



Fotografía: Sección de Metales, Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC. 2016.

### **5.3. Determinación del porcentaje de absorción de agua, Norma Técnica Colombiana Icontec 2017 (numeral 6.3)**

Este ensayo se realiza para verificar la variación que tiene la masa del adoquín provocada por el agua que absorben los poros del elemento durante 24 horas de inmersión.

- Equipo utilizado
  - Balanza con aproximación de 1,0 gramo
  - Horno con temperatura controlada entre  $100\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$
  - Recipiente para sumergir las porciones de los adoquines
  
- Procedimiento del ensayo
  - Inicialmente se colocan las muestras en un horno ventilado a una temperatura entre 100 y 115 °C. Estos deben quedar separados a una distancia mínima de 25 mm, durante 24 horas.

- Pasado el período de  $24 \pm 2$  horas se retira la muestra del horno y se deja enfriar a una temperatura ambiente, en un salón aireado.
- Se mide y anota la masa de la porción seca (ms), para someterla al proceso de saturación.
- Luego se sumerge dentro de un recipiente lleno de agua a una temperatura entre 15 y 27 °C, de manera que quede sumergida completamente durante un período de  $24 \pm 2$  horas.
- Transcurrido el período de saturación se retira la muestra y se coloca en una malla para escurrirlo durante un minuto o secarlo con un paño.
- Medir y anotar la masa húmeda (mh) del espécimen.
- Proceder a realizar los cálculos y verificar si está dentro del parámetro de aceptación.

Figura 13. **Equipo utilizado para la medición del peso natural los adoquines**



Fotografía: Sección de Metales, Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC. 2016.

Figura 14. **Adoquín en el proceso de saturación**



Fotografía: Sección de Metales, Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC. 2016.

#### **5.4. Determinación de la resistencia a la compresión según Norma Española Une 7 068**

Los resultados de este ensayo sirven para determinar la resistencia del material, el procedimiento de ensayo se describe a continuación:

- Equipo utilizado
  - Calibrador de regla y aguja con divisores de 0,1 mm.
  - Crayón.
  - Sierra de disco de corte para concreto.
  - Máquina con capacidad de aplicar cargas a compresión con una graduación no mayor de 140 kg/cm<sup>2</sup> por minuto.

- Procedimiento del ensayo
  - Se tomó al azar una muestra para realizar ensayo a compresión
  - Se prepara la probeta para aplicar la carga, esta debe tener la forma de un cubo de 10 cm en cada uno de los lados, debido a que el espesor del adoquín es de 10 cm.
  - Se identifica la probeta con un crayón sobre la cara de desgaste donde se aplicará la carga axial.
  - Luego se corta el adoquín para obtener la probeta con un disco de corte para concreto, utilizando todo el equipo de seguridad adecuado.
  - Obteniendo la probeta se mide con un calibrador de regla graduado, el área donde se aplicará la carga.
  - La probeta se somete a una carga creciente, normal a la superficie de rodadura y centrada en la superficie de aplicación, hasta que se lleve a una rotura. La aplicación de la carga no debe exceder de 140 kg/cm<sup>2</sup> por minuto.
  - En ese momento se anota la carga en que la probeta fue llevada a rotura.
  - Se procede a realizar los cálculos necesarios para verificar la resistencia a la compresión.

Figura 15. **Máquina de aplicación de carga a la probeta de adoquín llevada hasta la ruptura por compresión**



Fotografía: Sección de Metales, Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC. 2016.

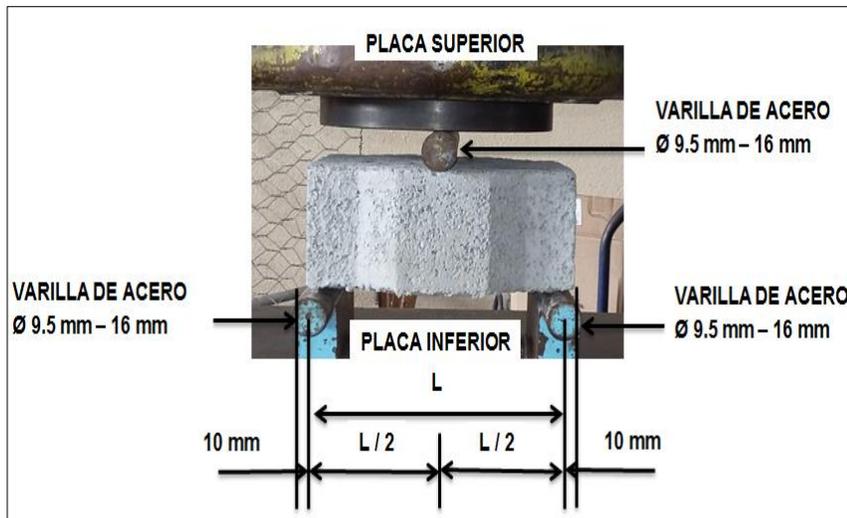
### **5.5. Determinación de la resistencia a la flexión (del módulo de ruptura para adoquines de concreto) Norma Coguanor NTG 41087 h1**

Realizada la medición de las dimensiones de los adoquines, cada uno es llevado hasta la ruptura por flexión, como una viga simplemente apoyada como se describe a continuación.

- Equipo utilizado:
  - Máquina universal para el ensayo a flexión, marca Baldwin con capacidad de carga de 55 000 kilogramos.
  - Varillas lisas de acero de diámetro 9,5 mm a 16 mm.

- Procedimiento del ensayo
  - El adoquín se debe colocar en la máquina de ensayo con la superficie de desgaste hacia arriba.
  - Colocar dos barras de acero como apoyo, 10 mm hacia dentro de los lados de la cara inferior, y una barra de acero que será el elemento de transmisión de carga que se debe colocar en la superficie de desgaste.
  - Aplicar una carga para que aumente el esfuerzo cercano a una velocidad de 0,5 Mpa por segundo.
  - Seguidamente se anota la carga de ruptura y se procede a realizar los cálculos.

Figura 16. **Esquema de la colocación de la muestra en la máquina universal de ensayo a flexión**



Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Word.

Figura 17. **Representación del momento de la ruptura del adoquín en el ensayo a flexión**

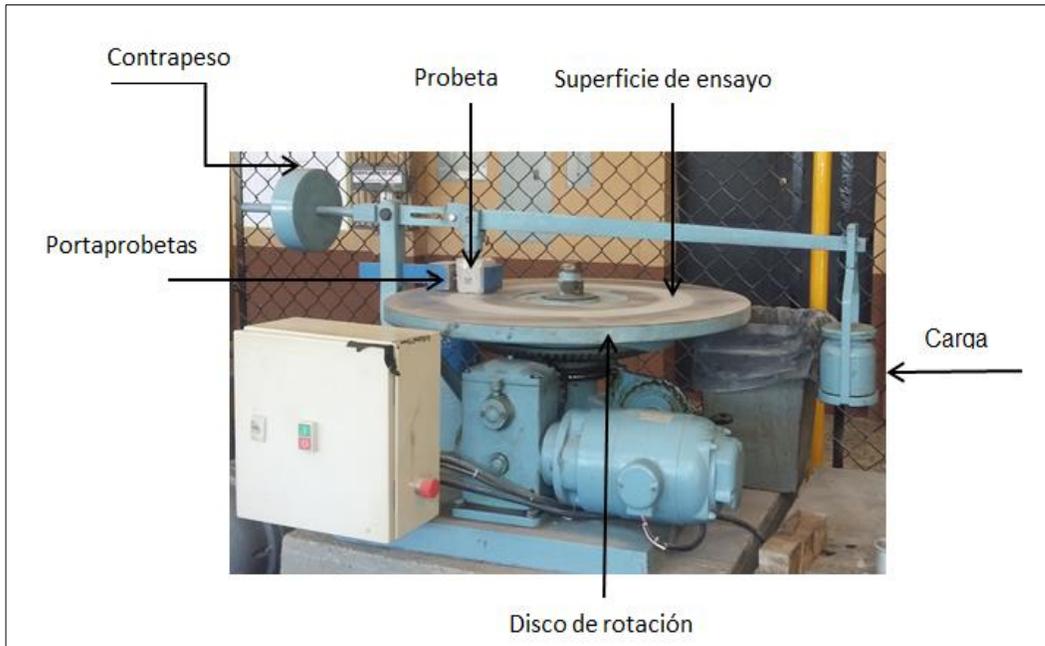


Fotografía: Sección de Metales, Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC. 2016.

#### **5.6. Determinación de la resistencia al desgaste por abrasión de adoquines de concreto. Norma Coguanor NTG 41087-h2**

El ensayo consiste en someter una probeta a desgaste por medio de la abrasión, bajo condiciones controladas por un flujo de material abrasivo llamado Carborundo (carburo de silicio grano 80), utilizando el equipo de ensayo de Böhme, el cual es un disco giratorio con una superficie definida para recibir el abrasivo que tiene un portaprobetas y un mecanismo de carga. El desgaste por abrasión se calcula determinando la pérdida de volumen de la probeta de ensayo.

Figura 18. **Partes fundamentales de la máquina del equipo de abrasión de Böhme**



Fotografía: Sección de Metales, Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC. 2016.

- Equipo y materiales a utilizar
  - Calibrador de regla y aguja con divisores de 0,1 mm
  - Crayón
  - Sierra de disco de corte para concreto
  - Disco abrasivo Böhme
  - Brocha de por lo menos 2"
  - Balanza con aproximación de 1,0 gramo
  - Recipientes para medir el material abrasivo
  - Medidor
  - Cinta adhesiva

- Material abrasivo carborundo (carburo de silicio grano 80)
- Preparación de la probeta
  - Tomar una muestra de adoquín de cada uno de los diseños.
  - Marcar el área y la superficie de desgaste de la probeta con una plancha cuadrada de  $70 \pm 1.5$  mm.
  - Luego se corta con una sierra de disco de corte para concreto para formar un cubo de  $70 \pm 1,5$  mm en cada uno de sus lados.
  - Cada una de las probetas debe estar seca, por lo que se deja en un horno a temperatura de  $105 \pm 5$  °C durante  $24 \pm 2$  horas.
  - Transcurrido el período de  $24 \pm 2$  horas se retiran las muestras y se colocan en una superficie ventilada a temperatura ambiente para someterlas al desgaste.
- Procedimiento de ensayo
  - Cuando la muestra se encuentra en estado seco, se miden cada los cuatro lados de la superficie que se someterá al desgaste y de la sección perpendicular a dicha superficie, estas serán lecturas iniciales.
  - Colocar la probeta en el portaprobetas del disco giratorio de Böhme y se vierten 20 gramos de material abrasivo en el disco que estará en contacto con la superficie de la probeta.
  - Colocar el soporte con la cara de contacto mirando hacia la superficie, se carga centralmente con  $294 \pm 3N$  ( $29,98 \pm 0,31$  Kg).
  - Iniciar a girar el disco, teniendo especial cuidado que el material abrasivo permanezca sobre el disco distribuido uniformemente

sobre el área definida por el ancho de la probeta, esto se puede realizar con la ayuda de una brocha.

- Se ensaya la probeta con 16 ciclos, cada uno con 22 revoluciones y se gira progresivamente a  $90^\circ$ .
- Después de cada ciclo se limpia el disco y se descarta el material abrasivo.
- Finalizados los 16 ciclos, se miden nuevamente los cuatro lados de la superficie de desgaste para obtener las lecturas finales, debidas al desgaste y se procede a realizar los cálculos.

Figura 19. **Aplicación del material abrasivo a probeta de adoquín en disco giratorio de Böhme**



Fotografía: Sección de Metales, Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC. 16.

Figura 20. **Demostración de probeta llevada al desgaste por material abrasivo en disco giratorio, completados los 16 ciclos**



Fotografía: Sección de Metales, Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC. 2016.

Figura 21. **Medición de la diferencia en cada dado de la superficie de desgaste en la probeta**



Fotografía: Sección de Metales, Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC. 2016.



## 6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

De acuerdo con los diseños de mezcla y la identificación que se le dio a cada muestra de adoquín, se procedió a realizar cada uno de los ensayos descritos en el capítulo anterior. Para las muestras presentadas en el laboratorio se determinaron las siguientes características físicas, para los cuales todos los adoquines cumplen con los parámetros citados en la Norma Coguanor NTG 41086.

Se ha identificado cada una de las muestras, agregándole las siguientes siglas: E, PP, EPP las cuales indican el tipo de agregado fino que contiene el adoquín. Las cuales significan: adoquín con escoria, con polvo de piedra y adoquín con escoria y polvo de piedra, respectivamente.

Tabla XIV. **Resultados de laboratorio para las características físicas de los adoquines diseñados para tránsito liviano**

<b>Identificación</b>	<b>Color</b>	<b>Textura</b>	<b>Peso (Kg)</b>
Muestra patrón	Gris oscuro	Fino	9,2
Diseño 1 E	Gris claro	Poroso	10,65
Diseño 2 E	Gris claro	Poroso	11,34
Diseño 3 PP	Gris claro	Fino	10,49
Diseño 4 EPP	Gris claro	Fino	10,73
Diseño 5 EPP	Gris claro	Poroso	11,40
Diseño 6 E	Gris claro	Poroso	10,76

Fuente: elaboración propia.

En cuanto al peso natural de los adoquines, se puede observar que los adoquines fabricados con escoria de mata de níquel son más pesados que los que contienen polvo de piedra.

### 6.1. Resultados del ensayo del módulo de ruptura para adoquines de concreto según Norma Coguanor NTG 41087 h1

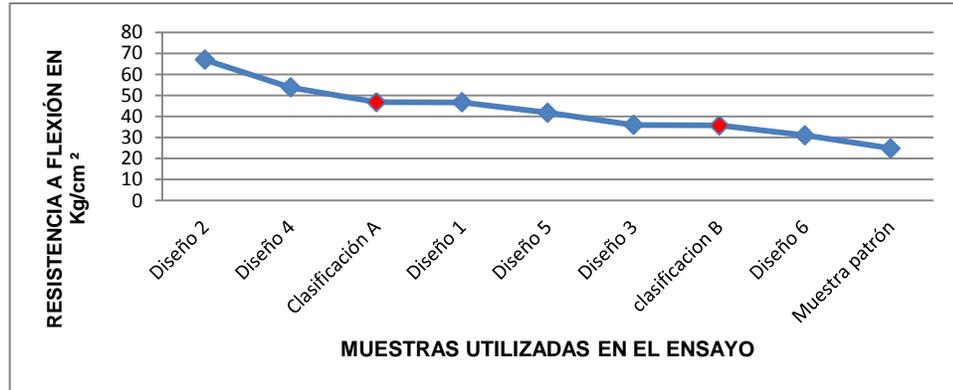
La Norma Coguanor NTG 41086 clasifica los adoquines de acuerdo al módulo de ruptura, como clase A, B y C, esta clasificación es para adoquines que tienen un espesor mínimo de 80 mm. Como se puede observar en la tabla XV, los diseños 2 y 4 entran en la clasificación A, debido que los valores del módulo de ruptura dieron mayores de 46,8 kg/cm<sup>2</sup>, los diseños 1,3 y 5 se clasifican como adoquines tipo B, Ya que el módulo de ruptura es mayor que 35,7 kg/cm<sup>2</sup>. En tanto que el diseño número 6 y la muestra patrón no se pueden clasificar, debido que no la resistencia a flexión es muy baja.

Tabla XV. Resultados obtenidos en el ensayo del módulo de ruptura

Identificación	Módulo de ruptura (kg/cm <sup>2</sup> )	Clasificación A	Clasificación B y C
Muestra patrón	24,65		35,7>24,65
Diseño 1 E	46,72		35,7<46,72<46,8
Diseño 2 E	66,96	66,96>46, 8	
Diseño 3 PP	35,91		35,7<35,91<46,8
Diseño 4 EPP	53,83	53,83>46, 8	
Diseño 5 EPP	41,79		35,7<41,79<46,8
Diseño 6 E	31,01		35,7>31,01

Fuente: elaboración propia.

Figura 22. **Clasificación de los adoquines debido a la resistencia mínima a flexión según Norma Coguanor NTG 41086**



Fuente: elaboración propia.

## 6.2. Resultado del ensayo del porcentaje de absorción de agua, Norma Técnica Colombiana Icontec 2017, (numeral 6.3)

La Coguanor NTG 41086 clasifica los adoquines según su porcentaje de absorción como tipo A, B y C, con los resultados obtenidos en el laboratorio se presenta la clasificación como lo indica esta Norma.

Como se puede observar en la tabla XVI, los adoquines diseño 1, 2, 4, 5 y 6 se pueden clasificar como tipo A, ya que la Norma indica que debe tener un porcentaje de absorción menor que 7,7 % y los adoquines con identificación 3 y la muestra patrón se clasifican como tipo B, ya que en su porcentaje de absorción de agua dio un porcentaje mayor que 9,9 %.

En tanto que la Norma Icontec 2017 indica que, para que un adoquín sea aceptable debe tener un porcentaje de absorción menor que 7 % por lo que los

adoquines con identificación 1,2, 4 y 5 cumplen con lo especificado en esta Norma.

Tabla XVI. **Resultados de laboratorio del ensayo de absorción de agua**

<b>Identificación</b>	<b>% de absorción de agua</b>	<b>Clase A</b>	<b>Clase B y C</b>
Muestra patrón	10,60		9,9<10,60
Diseño 1 E	5,32	5,32<7,7	
Diseño 2 E	5,22	5,22<7,7	
Diseño 3 PP	8,19		7,7<8,19<9,9
Diseño 4 EPP	6,81	6,81<7,7	
Diseño 5 EPP	6,49	6,49<7,7	
Diseño 6 E	7,38	7,38<7,7	

Fuente: elaboración propia.

### **6.3. Resultado del ensayo de la resistencia a la compresión, según Norma Española UNE 7 068**

Cada una de las muestras fue fabricada para resistir una compresión mínima de 210 kg/cm<sup>2</sup> (3 000 psi), con el objetivo que estas se puedan utilizar en caminos con tránsito liviano. Con los resultados obtenidos se puede observar que la resistencia a compresión es muy baja en todos los adoquines, inclusive los que tienen polvo de piedra, la única muestra que se puede clasificar aceptable para usar en patios, parqueos y caminos peatonales es la muestra identificada como: diseño 2, esta alcanzó a resistir un esfuerzo de compresión de 196,03 kg/cm<sup>2</sup>.

Tabla XVII. **Resultados obtenidos en el ensayo de compresión**

<b>Identificación</b>	<b>Proporciones en peso</b>	<b>Esfuerzo de compresión (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
Muestra patrón	1: 4,26: 0,57: 0,52	56,74
Diseño 1 E	1: 2,33: 2,47: 0,60	102,32
Diseño 2 E	1: 5,13: 0,27: 0,59	196,03
Diseño 3 PP	1: 4,26: 0,57: 0,52	145,67
Diseño 4 EPP	1: 2,13: 2,14: 0,57: 0,59	145,70
Diseño 5 EPP	1: 1,07: 3,22: 0,57: 0,41	108,76
Diseño 6 E	1: 4,28: 0,57: 0,53	61,89

Fuente: elaboración propia.

#### **6.4. Resultado de ensayo para la determinación de la resistencia al desgaste por abrasión de adoquines de concreto. Norma Coguanor NTG 41087-h2**

La Norma Coguanor NTG 41086 indica que, una probeta de adoquín sometida al desgaste por medio del método de ensayo de Böhme, debe tener una diferencia de volumen menor o igual que 20,00 cm<sup>3</sup>.

Por lo que, cada una de las muestras fue sometida al desgaste y en los datos obtenidos en el ensayo se observó que, las muestras identificadas como diseño 2, 4 y 6, Presentaron un desgaste de menor que 20,00 cm<sup>3</sup>, los cuales se consideran aceptables como lo indica la Norma, ver la tabla XVIII, esto indica que la escoria de mata de níquel no afecta las características del desgaste en los adoquines.

Tabla XVIII. **Resultados obtenidos en el ensayo de abrasión por el método de ensayo de Böhme**

<b>Identificación</b>	<b>Proporciones en peso</b>	<b>Diferencia <math>\Delta</math> desgaste (cm<sup>3</sup>)</b>
Muestra patrón	1: 4,26: 0,57: 0,52	51,39
Diseño 1 E	1: 2,33: 2,47: 0.60	23,96
Diseño 2 E	1: 5,13: 0,27: 0,59	11,95
Diseño 3 PP	1: 4,26: 0,57: 0,52	22,42
Diseño 4 EPP	1: 2,13: 2,14: 0,57: 0,59	19,52
Diseño 5 EPP	1: 1,07: 3,22: 0,57: 0,41	20,81
Diseño 6 E	1: 4,28: 0,57: 0,53	17,16

Fuente: elaboración propia.

#### **6.5. Análisis de los resultados de las propiedades mecánicas, compresión y flexión, según proporciones de mezcla**

Debido que las mezclas fueron desarrolladas con proporciones arbitrarias, se puede observar en la tabla XIX que, únicamente el adoquín con identificación número dos logró alcanzar una resistencia de compresión aceptable, en tanto que los otros diseños están por debajo de los parámetros que indica la Norma.

En cuanto a la resistencia a flexión, los resultados del módulo de ruptura de los diseños dos y cuatro, cumplen con los parámetros establecidos en la Norma Coguanor, clasificando como tipo A, y el resto como tipo B y C. }

Tabla XIX. **Comparación de resultados de compresión y flexión según proporciones de mezcla en peso**

<b>Identificación</b>	<b>Proporciones en peso</b>	<b>Esfuerzo de compresión (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Módulo de ruptura (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
Muestra patrón	1: 4,26: 0,57: 0,52	56,74	24,65
Diseño 1 E	1: 2,33: 2,47: 0,60	102,32	46,72
Diseño 2 E	1: 5,13: 0,27: 0,59	196,03	66,96
Diseño 3 PP	1: 4,26: 0,57: 0,52	145,67	35,91
Diseño 4 EPP	1: 2,13: 2,14: 0,57: 0,59	145,70	53,83
Diseño 5 EPP	1: 1,07: 3,22: 0,57: 0,41	108,76	41,79
Diseño 6 E	1: 4,28: 0,57: 0,53	31,01	31,01

Fuente: elaboración propia.

Tomar en cuenta que los diseños 4 y 5 tienen inclusión de escoria de mata de níquel y polvo de piedra.

## **6.6. Factibilidad**

Para que la elaboración de los adoquines sea factible, es recomendable que estos se fabriquen en lugares cercanos al banco de material de mata de níquel, ya que esto puede repercutir en un alto costo en el producto o bien sea en el traslado del material a otros departamentos de Guatemala.

## 6.7. Ventajas

Cada una de las ventajas que se describen a continuación se observó con base en los resultados obtenidos en cada uno de los ensayos y a las características que mostró la escoria de mata de níquel en los adoquines.

La escoria de mata de níquel es un material que puede ser utilizado en la elaboración de materiales prefabricados para la construcción, esta se puede usar como un agregado fino pétreo y con una dosificación adecuada, los productos prefabricados pueden alcanzar características similares a los elaborados con una agregado fino pétreo (polvo de piedra).

- Fabricar adoquines con escoria de mata de níquel puede tener muchas ventajas directamente para la Compañía Guatemalteca de Níquel, porque estos pueden ser usados en patios o en parqueos dentro de la misma planta, ya que estos mostraron en sus características mecánicas que pueden alcanzar resistencias a compresión de 190 kg/cm<sup>2</sup>.
- También se puede reducir la contaminación ambiental y eliminar esporádicamente el depósito de la escoria de mata de níquel y con su utilización reducir el excesivo almacenaje.
- La maquinaria a utilizar en la fabricación de adoquines es económica y no se necesita de más de dos personas para producirlos.
- El mezclado para la producción de adoquines puede ser de forma manual, con concretera o mecanizado.
- Debido que, únicamente el diseño 2 de las mezclas alcanzó las características físicas y mecánicas aceptables para los adoquines

fabricados, se observó que mientras más escoria de mata de níquel se utilice en la producción de adoquines, estos pueden ser más económicos y alcanzar mejores resistencias a la compresión y a la flexión.

## **6.8. Desventajas**

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

- Para alcanzar resistencias más altas a compresión, los adoquines fabricados con escoria de mata de níquel deben contener cantidades altas de cemento, esto puede ocasionar un alto costo en el producto.
- La obtención de este material fuera del departamento de Izabal puede producir altos costos en el transporte debido que, actualmente los bancos de material se encuentran ubicados en la planta de producción del níquel en El Estor, Izabal.
- Un adoquín producido con cualquier material fino, lógicamente este va a tener una apariencia fina, pero los adoquines fabricados con escoria de mata de níquel tienen una apariencia porosa debido que, el módulo de finura de este material es mediano.
- Los adoquines fabricados con escoria aumentaron en su peso. Por lo que otra desventaja puede ser el peso unitario de la escoria de mata de níquel, pues esta aumenta su masa en peso.



## CONCLUSIONES

1. De acuerdo con los resultados que presentó la escoria de mata de níquel, se observó que el procedimiento de toma de muestras fue adecuado y esta se caracterizó como un agregado fino, con propiedades mecánicas aceptables como lo indica la Norma ASTM C-33.
2. El peso en los adoquines que contenían escoria de mata de níquel era mayor que los que contenían polvo de piedra, los cuales se encontraron dentro de los parámetros que indica la Norma.
3. Los adoquines fabricados en esta investigación cumplen con las relaciones de dimensión y forma, es decir que sus características geométricas son aceptables, como lo indica la Norma Coguanor NTG 41086.
4. Los adoquines con inclusión de escoria de mata de níquel tienen porcentajes de absorción aceptables, como lo indica la Norma Coguanor NTG 41086.
5. Se considera que los resultados obtenidos en los ensayos de compresión no fueron aceptables debido que, las mezclas fueron desarrolladas con proporciones arbitrarias como se puede observar en la tabla XIX.
6. Con relación al ensayo de flexión donde se obtuvo el módulo de ruptura, las muestras identificadas como diseño 2 y 4 son las que cumplen con los parámetros establecidos en la Norma.

7. Usar escoria de mata de níquel en la fabricación de adoquines no afecta la característica del desgaste, estos se encontraron dentro del rango de aceptación que indica la Norma Coguanor NTG 41086.
8. Sí es factible fabricar adoquines con escoria de mata de níquel, usando la misma como agregado fino.

## RECOMENDACIONES

1. Realizar eventualmente ensayos de laboratorio a la escoria de mata de níquel para conocer sus características antes de fabricar los adoquines, ya que esta, con el tiempo puede sufrir variaciones y esto puede afectar en las propiedades mecánicas de los mismos.
2. Fabricar los adoquines cerca del banco de material de escoria, de lo contrario puede elevar el costo en el transporte de este subproducto.
3. Para mejorar la resistencia de compresión en los adoquines, seguir los procedimientos de dosificación establecidos en el método de dosificación del Centro de Investigaciones de Ingeniería (CII), o bien el del Instituto Americano el Concreto (ACI), para que estos puedan ser utilizados en lugares donde se requieran cargas muy altas.
4. Utilizar equipo de preparación y colocación de mezclas, que sea adecuado en la fabricación de adoquines, así mismo, tener un control estricto con el uso del agua en la mezcla, ya que la escoria es un material con poca absorción.
5. De acuerdo con los resultados mecánicos obtenidos en esta investigación, utilizar los adoquines en patios de viviendas, parques para vehículos livianos, calles únicamente para tránsito peatonal y parques, es decir, donde no se requieran cargas muy altas.

6. Usar la mata de níquel en la fabricación de adoquines para reducir los altos depósitos en el banco de material y así mitigar los factores contaminantes que afectan ese departamento.
  
7. Promover el uso de la mata de níquel en la fabricación de otros productos para construcción, y así consumir de la planta el desecho del mismo.

## BIBLIOGRAFÍA

1. ÁLVAREZ MURALLES, Luis Mariano. *Evaluación de la escoria de mata de ferroníquel como agregado fino para concreto*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería. 2009. 113 p.
2. Comisión Guatemalteca de Normas. NTG 41007. *Agregados para concreto. Especificaciones*. 24 p.
3. \_\_\_\_\_. NTG 41086. *Adoquines de concreto para pavimentos. Especificaciones*. 2012. 21 p.
4. \_\_\_\_\_. NTG 41087 h1. *Métodos de ensayo: Determinación del módulo de ruptura de los adoquines de concreto*. 2012. 07 p.
5. \_\_\_\_\_. NTG 41087 h2. *Métodos de ensayo. Determinación de la resistencia al desgaste por abrasión de adoquines de concreto*. 2012. 18 p.
6. HERNÁNDEZ ANDRADE, Héctor René y Carlos Raúl. *Estudio de las características físico-mecánicas en adoquines de concreto fabricados con arena caliza y arena de río*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. 1999. 149 p.

7. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. NTC 2017. *Adoquines de concreto para pavimentos*. 2004. 38 p.
8. Instituto Español de Normalización. UNE 7068. *Ensayo de compresión de adoquines de piedra*. Madrid: 1983. 1 p.
9. \_\_\_\_\_. UNE 7069. *Ensayo de desgaste por rozamiento en adoquines de piedra*. Madrid, 1983. 01 p.
10. KOSMATKA, Steven H.; et: al. *Diseño y control de mezclas de concreto*. Skokie, Illinois: Portland Cement Association, 2004. 448 p.
11. LÓPEZ DÍAZ, Sergio Aroldo. *Uso de polvo de llanta como agregado fino en una mezcla de concreto para elaboración de adoquines*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería, 2010. 82 p.
12. LÓPEZ GARCÍA, Mynor Estuardo. *Fabricación de baldosas decorativas de concreto con adición de escoria de mata de níquel*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería, 2012. 90 p.
13. MORALES RAMÍREZ, Evelin Maribel. *Manual de apoyo docente para desarrollar ensayos de laboratorio, relacionados con materiales de construcción*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería, 2006. 136 p.

14. ORDOÑEZ AYALA, Gabriel Virgilio. *Materiales de Construcción*. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2006. 119 p.
15. \_\_\_\_\_. MEJICANOS, Dilma; ALVARADO, Paulino. *Manual de Laboratorio del Curso de Materiales de Construcción*. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2002. 145 p.
16. PUGA VEGA, Pablo Santiago. *Evaluación de escoria de mata de níquel como agregado fino para la elaboración de adobe*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería, 2011. 124 p.



## **ANEXOS**

Informes de los ensayos de laboratorio realizados en el Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, para los diferentes materiales usados en esta investigación.

Anexo 1. **Informes de ensayos de los materiales que se utilizaron en la elaboración de adoquines**

**Determinación de la reactividad potencial de agregados según Norma ASTM C-289 (método químico)**



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



---

O.T. 30845  
USAC-CII-LAFIQ-RG-334-02-13

Interesado: Randy Sujey López Ramírez  
 Proyecto: Tesis "Fabricación de Adoquín con Escoria de Mata de Niquel como Agregado Fino"  
 Muestra: Agregado fino y grueso  
 Fecha: 10-01-2013

---

Determinación de la Reactividad Potencial de agregados según norma ASTM C-289 (método químico).

Identificación de la Muestra	RESULTADOS		
	Reducción Alcalina (mmol/L)	Silice Disuelta (mmol/L)	Clasificación Según norma
RG-332-001-13-F	21 ± 2.77	151 ± 2.31	Deletéreo
RG-332-002-13-G	14 ± 1.69	9 ± 0.29	Inocuo

Muestra proporcionada por el interesado  
 Adjunto Gráfica.  
 Sin otro particular.

Atentamente,



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



MSc. Licda Ingrid Lorena Benitez Pacheco  
Coordinadora LAFIQ-QI




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

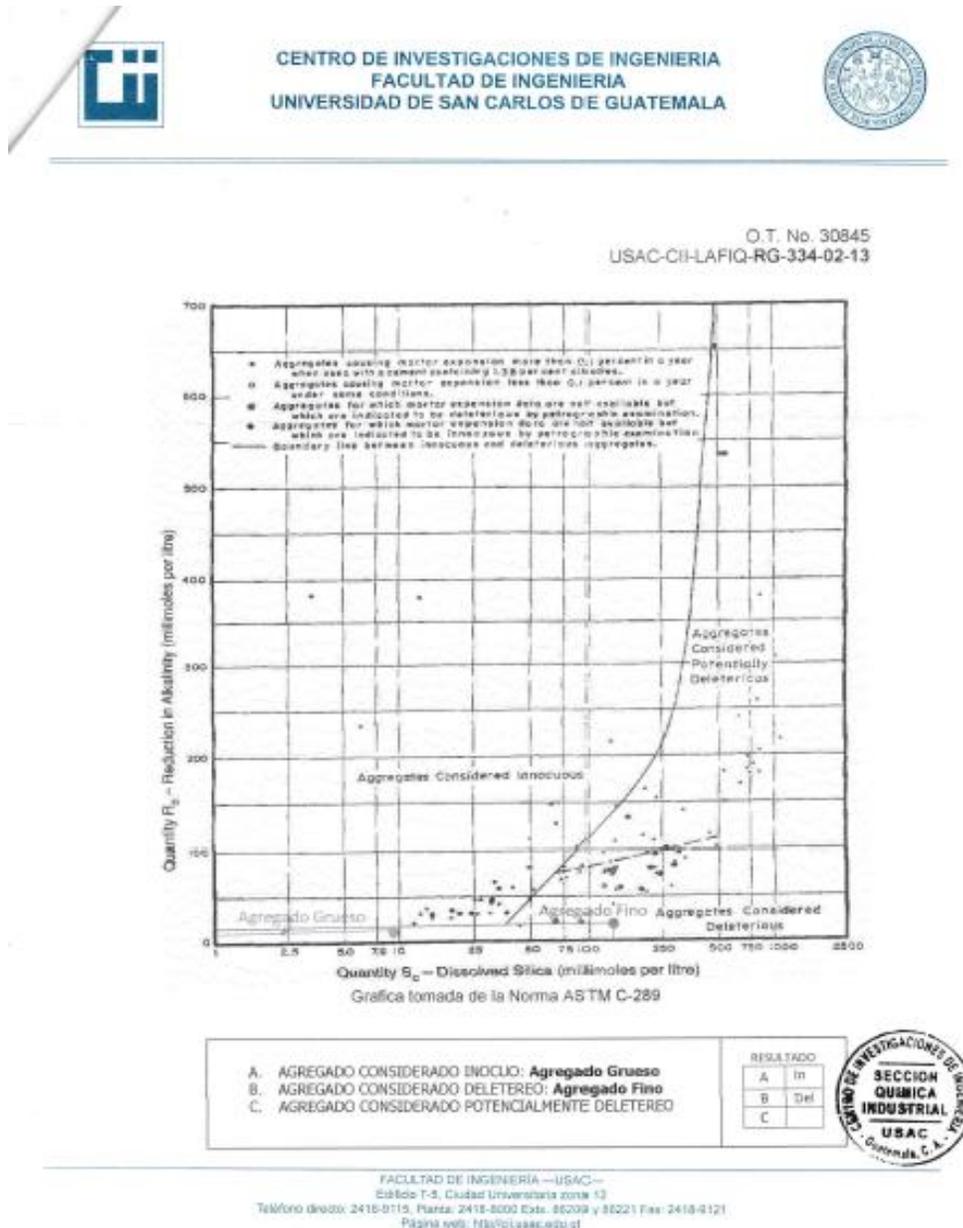
---

FACULTAD DE INGENIERIA —USAC—  
 Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12  
 Teléfono directo: 2415-5115, Planta: 2415-3200 Ext. 90209 y 90321 Fax: 2416-0121  
 Página web: <http://ci.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. USAC. 2016.

Continuación del anexo 1.

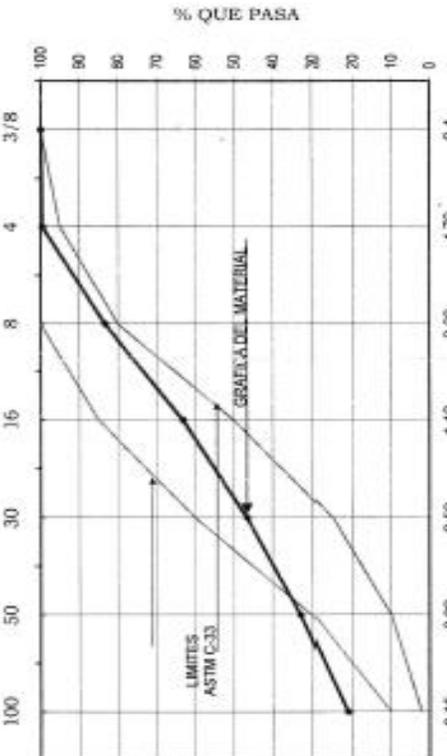
## Gráfica para la determinación de la reactividad potencial de los agregados fino y grueso



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. USAC. 2016.

Continuación del anexo 1.

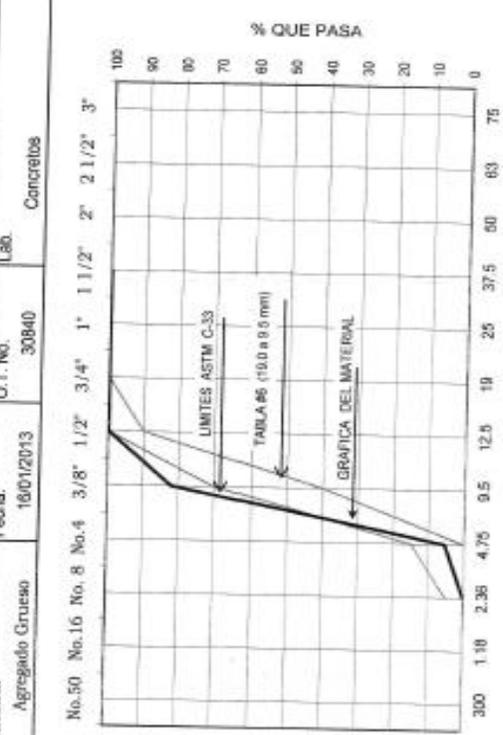
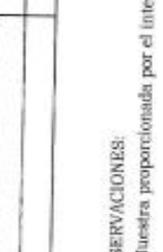
**Análisis completo para agregado fino (polvo de piedra)**

 <b>UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA</b> <b>CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA</b>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;"><b>INFORME No.</b></td> <td style="width: 15%;">S.C. - 070</td> <td style="width: 15%;"><b>PROYECTO:</b></td> <td style="width: 55%;">Tesis: "Fabricación de adoquín con escoria de mata de níquel como agregado fino"</td> </tr> <tr> <td><b>MUESTRA:</b></td> <td><b>FECHA:</b></td> <td><b>O.T. No.</b></td> <td><b>LAB.:</b></td> </tr> <tr> <td>Agregado Fino</td> <td>08/02/2013</td> <td>30841</td> <td>Concretos, Agregados y Morteros.</td> </tr> </table>	<b>INFORME No.</b>	S.C. - 070	<b>PROYECTO:</b>	Tesis: "Fabricación de adoquín con escoria de mata de níquel como agregado fino"	<b>MUESTRA:</b>	<b>FECHA:</b>	<b>O.T. No.</b>	<b>LAB.:</b>	Agregado Fino	08/02/2013	30841	Concretos, Agregados y Morteros.						
<b>INFORME No.</b>	S.C. - 070	<b>PROYECTO:</b>	Tesis: "Fabricación de adoquín con escoria de mata de níquel como agregado fino"																
<b>MUESTRA:</b>	<b>FECHA:</b>	<b>O.T. No.</b>	<b>LAB.:</b>																
Agregado Fino	08/02/2013	30841	Concretos, Agregados y Morteros.																
<b>AGREGADO FINO PARA CONCRETO</b>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;"><b>INTERESADO:</b></td> <td style="width: 85%;">Randy Sujey López Ramirez</td> </tr> </table>	<b>INTERESADO:</b>	Randy Sujey López Ramirez																
<b>INTERESADO:</b>	Randy Sujey López Ramirez																		
<b>CARACTERÍSTICAS FÍSICAS:</b>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Peso Específico</td><td style="text-align: right;">2.69</td></tr> <tr><td>Peso Unitario [kg/m<sup>3</sup>]</td><td style="text-align: right;">1895.88</td></tr> <tr><td>Peso Unitario Suelto [kg/m<sup>3</sup>]</td><td style="text-align: right;">1730.68</td></tr> <tr><td>Porcentaje de Vacíos</td><td style="text-align: right;">29.47</td></tr> <tr><td>Porcentaje de Absorción</td><td style="text-align: right;">0.70</td></tr> <tr><td>Contenido de Materia Orgánica</td><td style="text-align: right;">1</td></tr> <tr><td>% Retenido en Tamiz 6.35</td><td style="text-align: right;">1.60</td></tr> <tr><td>% que pasa Tamiz 200</td><td style="text-align: right;">14.94</td></tr> <tr><td>Modulo de Finura</td><td style="text-align: right;">2.53</td></tr> </table>	Peso Específico	2.69	Peso Unitario [kg/m <sup>3</sup> ]	1895.88	Peso Unitario Suelto [kg/m <sup>3</sup> ]	1730.68	Porcentaje de Vacíos	29.47	Porcentaje de Absorción	0.70	Contenido de Materia Orgánica	1	% Retenido en Tamiz 6.35	1.60	% que pasa Tamiz 200	14.94	Modulo de Finura	2.53
Peso Específico	2.69																		
Peso Unitario [kg/m <sup>3</sup> ]	1895.88																		
Peso Unitario Suelto [kg/m <sup>3</sup> ]	1730.68																		
Porcentaje de Vacíos	29.47																		
Porcentaje de Absorción	0.70																		
Contenido de Materia Orgánica	1																		
% Retenido en Tamiz 6.35	1.60																		
% que pasa Tamiz 200	14.94																		
Modulo de Finura	2.53																		
<b>OBSERVACIONES:</b>	<p>a) Muestra proporcionada por el interesado.  b) Contenido de materia orgánica máximo permisible No. 3.</p>																		
	<div style="text-align: center;">  </div>																		
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;">Tamiz No.</td> <td style="width: 10%;">9.40</td> <td style="width: 10%;">4.76</td> <td style="width: 10%;">2.38</td> <td style="width: 10%;">1.19</td> <td style="width: 10%;">0.59</td> <td style="width: 10%;">0.29</td> <td style="width: 10%;">0.15</td> </tr> <tr> <td>% Que pasa</td> <td>100.00</td> <td>99.56</td> <td>83.37</td> <td>63.18</td> <td>46.63</td> <td>32.92</td> <td>21.17</td> </tr> </table>	Tamiz No.	9.40	4.76	2.38	1.19	0.59	0.29	0.15	% Que pasa	100.00	99.56	83.37	63.18	46.63	32.92	21.17		
Tamiz No.	9.40	4.76	2.38	1.19	0.59	0.29	0.15												
% Que pasa	100.00	99.56	83.37	63.18	46.63	32.92	21.17												
	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>Vo.Bo.</p> <p>Inga. Telma Marcela Casco Mirales</p> <p>Directora CH/USAC</p> </div> <div style="width: 45%; text-align: right;"> <p>Inga. Dilma Yancy Mejicano</p> <p>Jefa Sección de Agregados, Concretos y Morteros</p> </div> </div>																		

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. USAC. 2016.

Continuación del anexo 1.

### Análisis completo para agregado grueso

<b>AGREGADO GRUESO PARA CONCRETO</b>	 <b>UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA</b> <b>CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA</b>																	
<b>INTERESADO:</b> Randy Sujey López Ramirez	<b>INFORME No.:</b> S.C. - 021	<b>PROYECTO:</b> Tesis "Fabricación de Adoquín con Escoria de Maza de Niquel como Agregado Fino"																
	<b>Muestra:</b> Agregado Grueso	<b>O.T. No.:</b> 30840																
	<b>Fecha:</b> 18/01/2013	<b>Lab.:</b> Concretos																
<b>CARACTERÍSTICAS FÍSICAS:</b>																		
Peso Específico	2.62																	
Peso Unitario (kg/m <sup>3</sup> )	1532.38																	
Peso Unitario Suelto (kg/m <sup>3</sup> )	1427.19																	
Porcentaje de Vacíos	41.54																	
Porcentaje de Absorción	1.38																	
% tamiz 200	2.14																	
% Desgaste por Sulfato de Sodio																		
% Desgaste por Abrasión																		
% Partículas Planas y alargadas																		
																		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Tamiz No.</td> <td>1"</td> <td>3/4"</td> <td>1/2"</td> <td>3/8"</td> <td>No. 4</td> <td>No. 8</td> <td>No. 16</td> </tr> <tr> <td>% Que pasa</td> <td>100.00</td> <td>100.00</td> <td>98.85</td> <td>81.91</td> <td>5.48</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>			Tamiz No.	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No. 4	No. 8	No. 16	% Que pasa	100.00	100.00	98.85	81.91	5.48		
Tamiz No.	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No. 4	No. 8	No. 16											
% Que pasa	100.00	100.00	98.85	81.91	5.48													
<b>OBSERVACIONES:</b> a) Muestra proporcionada por el interesado.																		
Vó. Bo.	 Inga. Telmara Marcela Cando Morales DIRECTORA CII/USAC	 Inga. Dilia Zager Melicamps Jol Jefa Sección CONCRETOS Y MORTEROS																
																		

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. USAC. 2016.

Continuación del anexo 1.

## Ensayo de abrasión por la máquina de los ángeles



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



### ENSAYO DE ABRASION POR MAQUINA DE LOS ANGELES

ASTM C-131

INFORME No. S.C. - 020

O.T. No. 30844

**INTERESADO:** Randy Sujey López Ramirez  
**PROYECTO:** Tesis "Fabricación de Adoquin con Escoria de Mata de Niquel como Agregado Fino"  
**DIRECCION:** 52 Calle 3-80 zona 12 Villa Lobos II, Villa Nueva.  
**FECHA:** 16 de enero de 2013

REFERENCIAS	MUESTRA
1. Norma de Ensayo	ASTM C-131
2. Graduación	"C"
3. % Desgaste	27.20

**OBSERVACIONES:** a) Muestra proporcionada por el interesado.

ATENTAMENTE,

Vc.Bo.

Inga. Telma Maricela Cano Morales  
Directora CI/USAC

Inga. Dilma Yañet Mejicanos Jol  
Jefa Sección de Agregados, Concretos y Morteros



M.C.

FACULTAD DE INGENIERIA —USAC—  
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12  
Teléfono directo: 2418-9113, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121  
Página web: <http://ci.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. USAC. 2016.

Continuación del anexo 1.

## Estabilidad Volumétrica de agregados por ataque de sulfato de sodio para agregado grueso



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



---

**ESTABILIDAD VOLUMÉTRICA DE AGREGADOS  
POR ATAQUE DE SULFATO DE SODIO  
NORMA ASTM C-88**

INFORME No. SC - 242 O.T. No. 30842

**INTERESADO:** Randy Sujey López Ramirez  
**PROYECTO:** Tesis "Fabricación de Adoquin con escoria de mata de Niquel como agregado fino"  
**DIRECCIÓN:** 52 calle 3-80, zona 12 Villa Lobos II, Villa Nueva.  
**FECHA:** 1 de abril de 2013

TAMANOS		Graduación por fracción	Antes de ensayo	Después de ensayo	% de Desgaste	Desgaste ref. a Graduación
PASA	RETENIDOS					
2 1/2" (63.5 mm)	1 1/2" (38.1 mm)	-----	-----	-----	-----	-----
1 1/2" (38.1 mm)	3/4" (19.05 mm)	0,00	-----	-----	-----	-----
3/4" (19.05 mm)	3/8" ( 9.52 mm)	18,09	-----	-----	5,43	0,98
3/8" ( 9.52 mm)	No. 4 ( 4.76 mm)	78,43	300,00	283,70	5,43	4,15
Fondo		5,48	-----	-----	5,43	0,30
<b>TOTALES</b>		100,00	300,00	-----	-----	5,43

**OBSERVACIONES:**  
 a) Muestra proporcionada por el interesado  
 b) Agregado Grueso

ATENTAMENTE,

Vo.Bo.

Inga. Telma Maricela Cano Morales  
Directora CI/USAC



Inga. Dilma Yajiel Mejicanos Jol  
Jefa Sección de Concretos



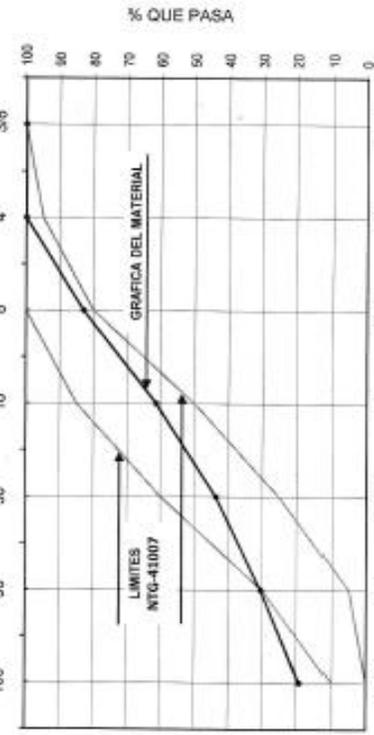
SECCION DE AGREGADOS,  
CONCRETOS Y MORTEROS  
CI / USAC

FACULTAD DE INGENIERIA—USAC—  
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12  
Teléfono directo: 2419-9115, Planta: 2415-9200 Ext. 80200 y 91221 Fax: 2419-0121  
Página web: http://ci.usac.edu.gt

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. USAC. 2016.

Continuación del anexo 1.

**Análisis completo para agregado fino (polvo de piedra)**

<b>AGREGADO FINO PARA CONCRETO</b>	 <b>UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA</b> <b>CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA</b>																				
<b>INTERESADO:</b> Randy Sujej López Ramirez, Carné No. 2004-13043	<b>INFORME No.:</b> SC - 15	<b>PROYECTO:</b> Tesis "Fabricación de Adoquin con Escoria de Mata de Niquel como agregado Fino"																			
<b>MUESTRA:</b> Polvo de Piedra	<b>FECHA:</b> 28/01/2014	<b>O.T. No.:</b> 32374	<b>LABORATORIO:</b> Concretos																		
<b>CARACTERÍSTICAS FÍSICAS:</b> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Peso Específico</td><td style="text-align: right;">2.68</td></tr> <tr><td>Peso Unitario Suelto (kg/m<sup>3</sup>)</td><td style="text-align: right;">1750.00</td></tr> <tr><td>Peso Unitario Compactado (kg/m<sup>3</sup>)</td><td style="text-align: right;">1910.00</td></tr> <tr><td>Porcentaje de Vacíos</td><td style="text-align: right;">29.00</td></tr> <tr><td>Porcentaje de Absorción</td><td style="text-align: right;">0.50</td></tr> <tr><td>Contenido de Materia Orgánica</td><td style="text-align: right;">1</td></tr> <tr><td>% que pasa Tamiz 200</td><td style="text-align: right;">12.70</td></tr> <tr><td>% Retenido Tamiz 6.35</td><td style="text-align: right;">0.15</td></tr> <tr><td>Modulo de Finura</td><td style="text-align: right;">2.82</td></tr> </table>				Peso Específico	2.68	Peso Unitario Suelto (kg/m <sup>3</sup> )	1750.00	Peso Unitario Compactado (kg/m <sup>3</sup> )	1910.00	Porcentaje de Vacíos	29.00	Porcentaje de Absorción	0.50	Contenido de Materia Orgánica	1	% que pasa Tamiz 200	12.70	% Retenido Tamiz 6.35	0.15	Modulo de Finura	2.82
Peso Específico	2.68																				
Peso Unitario Suelto (kg/m <sup>3</sup> )	1750.00																				
Peso Unitario Compactado (kg/m <sup>3</sup> )	1910.00																				
Porcentaje de Vacíos	29.00																				
Porcentaje de Absorción	0.50																				
Contenido de Materia Orgánica	1																				
% que pasa Tamiz 200	12.70																				
% Retenido Tamiz 6.35	0.15																				
Modulo de Finura	2.82																				
																					
<b>OBSERVACIONES:</b> a) Muestra proporcionada por el interesado. b) Contenido de materia orgánica máximo permisible No. 3. c) Procedencia: .....																					
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Tamiz No.</td> <td style="text-align: right;">9.50</td> <td style="text-align: right;">4.75</td> <td style="text-align: right;">2.36</td> <td style="text-align: right;">1.18</td> <td style="text-align: right;">0.60</td> <td style="text-align: right;">0.30</td> <td style="text-align: right;">0.15</td> </tr> <tr> <td>% Que pasa</td> <td style="text-align: right;">100.00</td> <td style="text-align: right;">99.88</td> <td style="text-align: right;">82.84</td> <td style="text-align: right;">61.34</td> <td style="text-align: right;">43.73</td> <td style="text-align: right;">30.44</td> <td style="text-align: right;">19.11</td> </tr> </table>				Tamiz No.	9.50	4.75	2.36	1.18	0.60	0.30	0.15	% Que pasa	100.00	99.88	82.84	61.34	43.73	30.44	19.11		
Tamiz No.	9.50	4.75	2.36	1.18	0.60	0.30	0.15														
% Que pasa	100.00	99.88	82.84	61.34	43.73	30.44	19.11														
<b>SECCIÓN AGREGADOS, CONCRETOS Y MORTEROS</b> Vo.Bo. Inga. Teima Marcela Cano Morales Directora CI/USAC																					
Inga. Diana Yajier Melicemos del Jefa Sección de Agregados, Concretos y Morteros CI / USAC																					

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. USAC. 2016.

Continuación del anexo 1.

## Determinación de la reactividad potencial para agregado fino

	<b>CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA</b>	
-----------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

O.T. No. 32377  
Informe QUINDLAFIQ  
RG-334-01-14

Interesado: Randy Sujey López Ramírez  
Proyecto: Tesis de Fabricación de Adoquín con Escoria de Mata de Niquel como agregado Fino.  
Muestra: **Polvo de Piedra**  
Fecha: Guatemala, 17 de Febrero 2014

Determinación de la Reactividad Potencial de agregados según norma ASTM C-289-07

IDENTIFICACIÓN	Reducción Alcalina RC (mmol/L)	Silice Disuelta SC (mmol/L)	RESULTADO
RG-332-001-14-F	143.0 ± 22.1	210.8 ± 7.8	Considerado Deletéreo

Muestra proporcionada por el interesado

Grafica Adjunta.

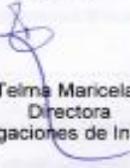
Observaciones: **Se recomienda efectuar análisis con las Normas ASTM C-277 y/o ASTM C-1260**

Sin otro particular,

Atentamente,

  
MSc. Lidia Ingrid Lorena Benitez Pacheco  
Coordinadora LAFIQ-QI



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

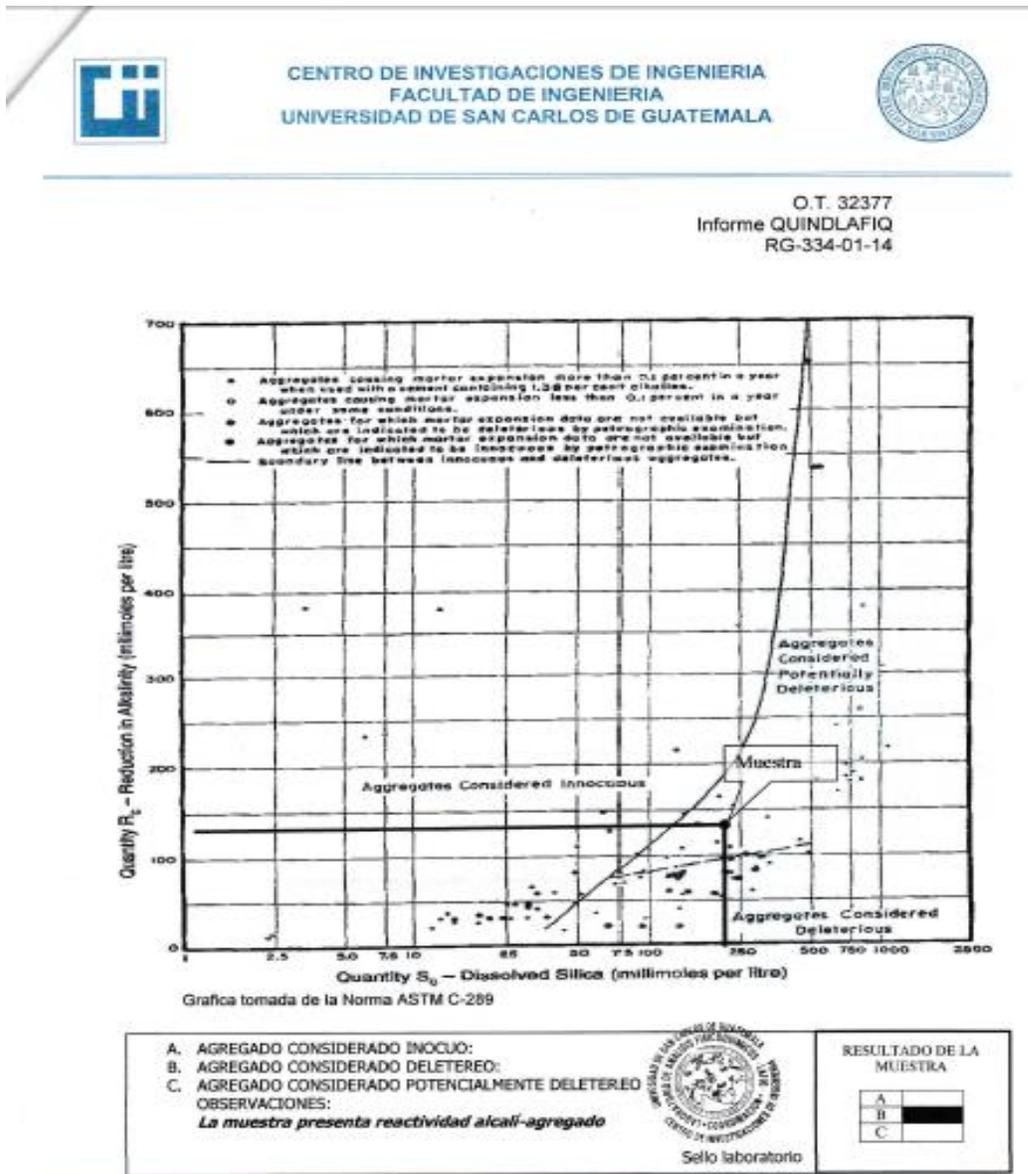


FACULTAD DE INGENIERIA —USAC—  
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12  
Teléfono directo: 2415-0115, Planta: 2415-8000 Exts. 85209 y 85221 Fax: 2415-9121  
Página web: <http://ci.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. USAC. 2016.

Continuación del anexo 1.

## Gráfica para la determinación de la reactividad potencial de los agregados fino



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. USAC. 2016.

Continuación del anexo 1.

## Reactividad álcali agregado método de la barra de mortero para el agregado fino



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



### INFORME ENSAYO DE REACTIVIDAD ÁLCALI-AGREGADO MÉTODO DE LA BARRA DE MORTERO ASTM C-1260

S.C. - 31

O.T. No. 32376

**INTERESADO:** Randy Sujey López Ramírez, Carné No. 2004-13043

**PROYECTO:** Tesis "Fabricación de Adoquín con Escoria de Mata de Niquel como Agregado Fino".

**DIRECCIÓN:** 52 Calle 3-80 Zona 12, Villa Lobos II.

**FECHA:** 20 de febrero de 2014

#### Resultados:

LECTURA INICIAL		LECTURA CERO		LECTURA 16 DÍAS		EXPANSIÓN (%)
FECHA	LONGITUD INICIAL (mm)	FECHA	LONGITUD CERO (mm)	FECHA	LONGITUD FINAL (mm)	
04/02/2014	5.4887	05/02/2014	5.5587	19/02/2014	5.6207	0.0248

#### Observaciones:

- Las lecturas de expansiones son el promedio de 3 muestras.
- Fecha de elaboración de barras de morteros: 03/02/14.
- La proporción a utilizar para la fabricación de barras es 1 parte de cemento y 2,25 partes de agregado fino y 0,48 partes de agua.
- Se utilizó Cemento UGC 4,000 Psi y agregado fino Agreca Palin Ceste.
- El valor límite permisible según norma ASTM C-1260, es de 0,20 %.

ATENTAMENTE,

  
Ing. Danilo Francisco Lucas Mazariegos  
Jefe a.i. Sección de Agregados, Concretos y Morteros

Vo.Bo.

  
Inga. Telma Maricela Cano Morales  
Directora CIUUSAC  
c.v.

FACULTAD DE INGENIERIA —USAC—  
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12  
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121  
Página web: <http://ciu.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. USAC. 2016.

Continuación del anexo 1.

## Estabilidad volumétrica de agregados por ataque de sulfato de sodio para agregado fino



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



### ESTABILIDAD VOLUMÉTRICA DE AGREGADOS POR ATAQUE DE SULFATO DE SODIO NORMA ASTM C-88 INFORME No. SC - 115

O.T. No. 30843

**INTERESADO:** Randy Sujey López Ramírez  
**PROYECTO:** Tesis "Fabricación de Adoquín con Escoria de Mata de Niquel como Agregado Fino"  
**DIRECCIÓN:** 52 Calle 3-80, zona 12 Villa Lobos II, Villa Nueva.  
**FECHA:** 14 de febrero de 2013

TAMAÑOS		Graduación por fracción	Antes de ensayo	Después de ensayo	% de Desgaste	Desgaste ref. a Graduación
PASA	RETENIDO					
No. 100 (149 mm)		21.17	-----	-----	-----	-----
No. 50 (297 mm)	No. 100 (149 mm)	11.75	-----	-----	-----	-----
No. 30 (595 mm)	No. 50 (297 mm)	13.72	100.00	85.10	4.80	0.67
No. 16 (1.19 mm)	No. 30 (595 mm)	16.55	100.00	97.70	2.30	0.38
No. 8 (2.38 mm)	No. 16 (1.19 mm)	20.19	100.00	98.70	1.30	0.26
No. 4 (4.76 mm)	No. 8 (2.38 mm)	16.19	100.00	96.60	3.40	0.55
3/8" (9.52 mm)	No. 4 (4.76 mm)	0.44	100.00	-----	3.40	0.01
<b>TOTALES</b>		100.00	500.00	-----	-----	1.88

**OBSERVACIONES:**

- a) Muestra proporcionada por el interesado
- b) Muestra: **Agregado Fino**

ATENTAMENTE,

Vo.Bo.

Inga. Telma Maricela Caño Morales  
Directora CII/USAC



Inga. Dilma Yasel Mejicanos Jol  
Jefa Sección de Agregados, Concretos y Morteros.

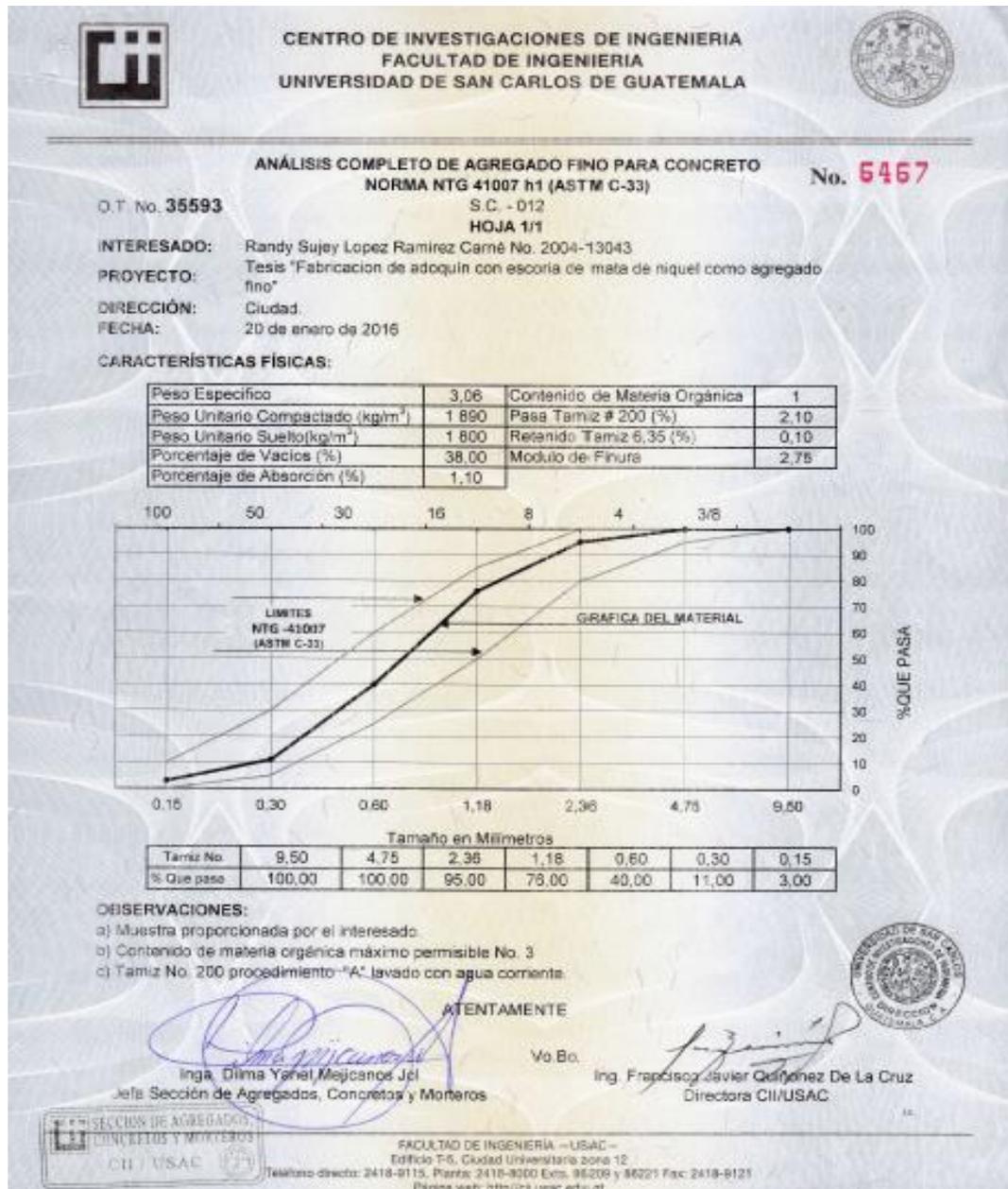


FACULTAD DE INGENIERIA —USAC—  
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12  
Teléfono directo: 2415-0115, Planta: 2415-6000 Exta. 56208 y 56221 Fax: 2415-0121  
Página web: <http://www.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. USAC. 2016.

Continuación del anexo 1.

### Análisis completo para la escoria de mata de níquel



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. USAC. 2016.

## Anexo 2. Informe de ensayos realizados a los adoquines

### Resultados del ensayo de desgaste por abrasión



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



O.T. 35592 INFORME No. 27-M  
INTERESADO: RANDY SUJEY LOPEZ RAMIREZ, CARNE. 200413043  
PROYECTO: TRABAJO DE GRADUACION "FABRICACION DE ADOQUIN CON ESCORIA DE MATA DE NIQUEL COMO AGREGADO FINO"  
ASUNTO: ENSAYO DE COMPRESION, DESGASTE Y FLEXION  
FECHA: 18/02/2016

#### Antecedentes

La estudiante, **RANDY SUJEY LOPEZ RAMIREZ, CARNE. 200413043**, de la carrera de Ingeniería Civil solicita a este Centro de Investigaciones de Ingeniería que se realizara, ensayo de compresión, desgaste y flexión en muestras de adoquines. Los ensayos en cuestión son parte del trabajo de tesis, "FABRICACION DE ADOQUIN CON ESCORIA DE MATA DE NIQUEL COMO AGREGADO FINO".

#### Resultados

#### Desgaste

Identificación	Inicial	Ensayado	Diferencia ó desgaste
Patrón			
altura (cm)	6.93	5.65	1.28
volumen (cm <sup>3</sup> )	278.32	226.93	51.39

Identificación	Inicial	Ensayado	Diferencia ó desgaste
Diseño 1			
altura (cm)	6.78	6.29	0.49
volumen (cm <sup>3</sup> )	330.87	306.92	23.96

Identificación	Inicial	Ensayado	Diferencia ó desgaste
Diseño 2			
altura (cm)	6.57	6.31	0.26
volumen (cm <sup>3</sup> )	297.75	285.80	11.95

Identificación	Inicial	Ensayado	Diferencia ó desgaste
Diseño 3			
altura (cm)	7.11	6.64	0.47
volumen (cm <sup>3</sup> )	343.03	320.61	22.42

Identificación	Inicial	Ensayado	Diferencia ó desgaste
Diseño 4			
altura (cm)	7.24	6.83	0.41
volumen (cm <sup>3</sup> )	336.21	317.10	19.11

Identificación	Inicial	Ensayado	Diferencia ó desgaste
Diseño 5			
altura (cm)	7.01	6.59	0.42
volumen (cm <sup>3</sup> )	346.38	325.57	20.81

Identificación	Inicial	Ensayado	Diferencia ó desgaste
Diseño 6			
altura (cm)	6.94	6.58	0.36
volumen (cm <sup>3</sup> )	335.25	318.09	17.16



FACULTAD DE INGENIERIA - USAC  
Edificio I-5, Ciudad Universitaria zona 12  
Teléfono directo 2476-3992, Faxis 2443-9599 Ext. E582, FAX: 2476-3993  
Página web: <http://ci.usac.edu.gt>

Fuente: Sección de Metales, Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC. 2016.

Continuación del anexo 2.

## Resultados del ensayo de flexión



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



---

O.T. 35992 INFORME No. 27-M  
 INTERESADO: RANDY SLUEY LOPEZ RAMIREZ, CARNE: 200413043  
 PROYECTO: TRABAJO DE GRADUACION "FABRICACION DE ADOQUIN CON ESCORIA DE MATA DE NIQUEL COMO AGREGADO FINO".  
 ASUNTO: ENSAYO DE COMPRESION, DESGASTE Y FLEXION  
 FECHA: 18/02/2016

ENSAJO DE FLEXION

Muestra		Patrón					
LARGO	GROSOR	ANCHO	BASE	PESO	CARGA	%ABS	MODULO DE RUPTURA
cm	cm	cm	cm	kg	kg		kg/cm <sup>2</sup>
24	10.1	22.3	16.3	9.200	1200	10.57	24.65
Diseño 1							
24	10.3	22	16	10.645	2250	5.31	46.72
Diseño 2							
24	10.5	22.0	16.0	11.335	3500	5.22	66.96
Diseño 3							
24.1	9.90	22.50	16.3	10.485	1700	8.19	35.91
Diseño 4							
24	10	22.3	16.3	10.730	2600	6.81	53.83
Diseño 5							
24	10.2	22.10	16.30	11.395	2100	6.49	41.70
Diseño 6							
24	10.1	22.0	16.0	10.790	1500	7.38	31.01



---

FACULTAD DE INGENIERIA - USAC  
 Edificio F-5, Ciudad Universitaria zona 12  
 Teléfono directo 2476-3992, Planta 2443-9500 Ext. 8502, FAX: 2476-3993  
 Pagina web: <http://ii.usac.edu.gt>

Fuente: Sección de Metales, Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC. 2016.

Continuación del anexo 2.

## Resultados del ensayo de compresión



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



---

O.T. 35592 INFORME No. 27-M  
 INTERESADO: RANDY SUJEY LOPEZ RAMIREZ, CARNE. 200413243  
 PROYECTO: TRABAJO DE GRADUACION "FABRICACION DE ADOQUIN CON ESCORIA DE MATA DE NIQUEL COMO AGREGADO FINO".  
 ASUNTO: ENSAYO DE COMPRESION, DESGASTE Y FLEXION  
 FECHA: 18/02/2018

ENSAYO DE COMPRESION

MUESTRA		PATRON		CARGA LB	ESFUERZO kg/cm <sup>2</sup>
LARGO cm	ANCHO cm	LARGO cm	ANCHO cm		
9.794	9.802			22000	56.74

Diseño 1		CARGA LB	ESFUERZO kg/cm <sup>2</sup>
LARGO cm	ANCHO cm		
9.80	10.41	2300	102.32

Diseño 2		CARGA LB	ESFUERZO kg/cm <sup>2</sup>
LARGO cm	ANCHO cm		
9.86	9.86	42000	196.08

Diseño 3		CARGA LB	ESFUERZO kg/cm <sup>2</sup>
LARGO cm	ANCHO cm		
9.98	9.91	3200	146.67

Diseño 4		CARGA LB	ESFUERZO kg/cm <sup>2</sup>
LARGO cm	ANCHO cm		
9.75	9.89	3100	145.70

Diseño 5		CARGA LB	ESFUERZO kg/cm <sup>2</sup>
LARGO cm	ANCHO cm		
9.79	9.80	2300	208.76

Diseño 6		CARGA LB	ESFUERZO kg/cm <sup>2</sup>
LARGO cm	ANCHO cm		
10.04	9.89	13500	61.89



M.Sc. Ing. Pablo Christian Osidon Rodriguez  
Sección de Metales y Productos  
Manufacturados

Atentamente,



Yo, Sr. Ing. Francisco Javier Quiñones de la Cruz  
DIRECTOR C.I.I.



Ator



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA - USAC**  
 Edificio 254, Ciudad Universitaria zona 12  
 Teléfono directo 2476-3992, Planta 2443-9980 Ext. 1502. FAX: 2476-3993  
 Pagina web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Sección de Metales, Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC. 2016.