

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Aplicación de escoria siderúrgica como agregado fino en las mezclas de concreto para elaboración de adoquín prefabricado

Trabajo de graduación presentado por César Augusto Cabrera Brenes para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Civil

Guatemala,

2023



UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



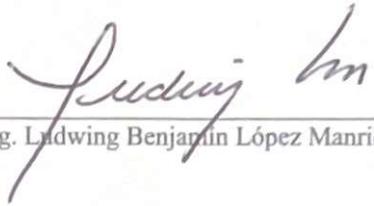
Aplicación de escoria siderúrgica como agregado fino en las mezclas de concreto para elaboración de adoquín prefabricado

Trabajo de graduación presentado por César Augusto Cabrera Brenes para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Civil

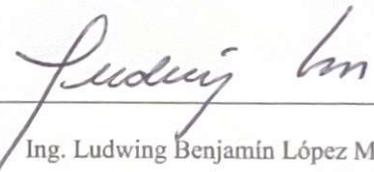
Guatemala,

2023

Vo. Bo.:

(f)   
\_\_\_\_\_  
Ing. Ludwing Benjamín López Manrique

Tribunal Examinador:

(f)   
\_\_\_\_\_  
Ing. Ludwing Benjamín López Manrique

(f)   
\_\_\_\_\_  
Ing. Roberto Godo Levensen

(f)   
\_\_\_\_\_  
Ing. Gerardo Josué Nochez Tamayo

Fecha de aprobación: Guatemala, 24 de febrero de 2023

## PREFACIO

Ante el incremento del uso de los agregados en los procesos constructivos. Se debe de optar por utilizar fuentes de materiales que sean amigables con el ambiente, por lo que el estudio y análisis de nuevas fuentes de materiales son de suma importancia para poder seguir avanzando en el mundo de los agregados.

El uso de escoria siderúrgica puede ser utilizada en muchas aplicaciones, pero muchas de ellas se encuentran en estudios para poder probar su factibilidad por lo que en este trabajo de graduación se buscó poder definir uno de los varios usos que este material puede brindar a la industria de los agregados. Por lo que se trabajó en añadir el uso de la escoria siderúrgica como agregado fino en mezclas de adoquines prefabricados de uso industrial.

La recolección de la escoria se identificó que podía ser captada únicamente de empresas guatemaltecas que utilizaran el horno de fusión, el cual produce la escoria requerida para el trabajo de graduación. Una de las empresas es Aceros de Guatemala, la cual no brindó acceso a sus instalaciones para poder hacer uso y análisis de su escoria, ya que la empresa se encontraba igualmente realizando estudios para poder brindarle un uso a la misma. Aceros de Guatemala es el parque siderúrgico que más produce escoria siderúrgica en Centro América. Por lo que la siguiente empresa fue HASA, la cual sí brindó acceso a sus instalaciones y al uso e investigación de su escoria. Actualmente HASA, no hace uso de su escoria sino que simplemente la desecha.

Se realizaron cinco tipos de ensayos en los cuales se realizaría una comparación entre los adoquines con y sin escoria para poder medir si sus cualidades eran incrementadas o decrementadas de la muestra base. Gracias al apoyo del laboratorio CETEC, de Cementos Progresos, de Guatemala. Los ensayos fueron realizados en sus instalaciones, bajo las normativas nacionales. Y un agradecimiento especial a mi asesor de Tesis el Ing. Ludwing Benjamín López Manrique, quien me apoyo en este largo proceso.

Y, por último, quiero agradecer a todas las personas que estuvieron en este proceso de investigación y los cuales aportaron en la realización de este. Especialmente a mi familia, y a mi pareja Sabrina Solis Mancilla.

# CONTENIDO

	Página.
PREFACIO .....	v
.LISTA DE CUADROS.....	i
LISTA DE FIGURAS.....	viii
RESUMEN .....	ix
ABSTRACT.....	xi
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. ANTECEDENTES .....	3
III. JUSTIFICACIÓN.....	5
IV. OBJETIVOS.....	6
A. GENERALES.....	6
B. ESPECÍFICOS .....	6
V. HIPÓTESIS.....	7
VI. MARCO TEÓRICO .....	8
A. Agregados.....	8
B. Conceptos básicos de los adoquines de concreto .....	14
C. Clasificación de los adoquines .....	16
D. Agregado de escoria siderúrgica .....	18
E. Beneficios del buen uso de la escoria siderúrgica.....	22
F. Diseño de mezclas de concreto con escoria como agregado fino.....	23
VII. METODOLOGÍA.....	36
A. Materiales y métodos.....	36
B. Población.....	36
C. Procedimiento.....	37
VIII. RESULTADOS .....	51
A. Granulometría de las mezclas de concreto .....	51
B. Densidad aparente .....	53
C. Resistencia al desgaste por abrasión de adoquines de concreto .....	53
D. Resistencia a la flexión con un punto de carga.....	54
E. Densidad relativa y absorción .....	55
IX. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	57
A. Resistencia al desgaste por abrasión de adoquines de concreto .....	57

B.	Resistencia a la flexión con un punto de carga.....	58
C.	Porcentaje de absorción de adoquines.....	59
D.	Ventajas y desventajas del uso de la escoria siderúrgica .....	60
E.	FODA de la escoria siderúrgica .....	62
X.	CONCLUSIONES .....	63
XI.	RECOMENDACIONES.....	65
XII.	BIBLIOGRAFÍA .....	67
XIII.	APÉNDICE.....	69

## LISTA DE CUADROS

Cuadros No.	Página
1. Características geométricas .....	15
2. Resistencia mínima a flexión del adoquín MPa ( $kg/cm^2$ ).....	17
3. Absorción (en % de masa).....	17
4. Resistencia a la abrasión.....	18
5. Pesos mínimos de muestra de ensayo.....	24
6. Cuadro para calcular la capacidad del recipiente .....	31
7. Cuadro para calcular la densidad del agua según la temperatura .....	32
8. Agregados de mezclas.....	38
9. Cálculo de materiales para mezcla - sin escoria.....	38
10. Cálculo de materiales para mezcla - 50 % escoria .....	39
11. Cálculo de materiales para mezcla - 100% escoria .....	39
12. Peso total mezclas .....	39
13. Cuadro de cantidades de cemento .....	43
14. Mezcla 01 – Cuadro granulometría 0% de escoria siderúrgica.....	51
15. Mezcla 02 – Cuadro granulometría 50% de escoria siderúrgica.....	52
16. Mezcla 03 – Cuadro granulometría 100% de escoria siderúrgica.....	52
17. Comparativo de densidad aparente - NTG 41010 h2 .....	53
18. Comparativo de desgaste por Abrasión mm.....	54
19. Comparativo de resistencia a la FLEXIÓN - NTG 41081 h1 .....	55
20. Comparativo de absorción - NTG 41081 h1 .....	56
21. Tabla de comparación de pesos de adoquines.....	60

## LISTA DE FIGURAS

Figura No.	Página
1. Horno de arco tipo Stassano .....	21
2. Horno de arco tipo Girod.....	21
3. Horno de arco tipo Hérault.....	22
4. Máquina de prueba de desgaste de adoquines .....	25
5. Medición de huella en adoquín.....	27
6. Placa superior y placa inferior.....	29
7. Dimensiones del adoquín .....	37
8. Montículo de escoria siderúrgica.....	40
9. Hasa, Compleja Industrial .....	40
10. Restos de escoria de la fundición .....	41
11. Mezcladora de concreto.....	41
12. Cernido de escoria con tamiz No.4 (4.8 mm).....	42
13. Cernido de los materiales en bolsas de 50 libras.....	42
14. Etiquetado de las 3 mezclas.....	43
15. Saco de cemento para adoquines de concreto .....	44
16. Máquina de vibradora de adoquines.....	44
17. 27 adoquines elaborados .....	45
18. Adoquinera San Carlos, Chimaltenango, Guatemala .....	45
19. Etiquetado de los 3 grupos de adoquines en CETEC .....	46
20. Centro CETEC, en Cementos Progreso.....	46
21. Etiquetado de los 3 grupos de adoquines en Cetec.....	48
22. Etiquetado de los 3 grupos de adoquines en Cetec.....	48
23. Etiquetado de los 3 grupos de adoquines en Cetec.....	49
24. Adoquines mezcla 01 .....	49
25. Adoquines mezcla 02 .....	49
26. Adoquines mezcla 03 .....	50
27. Gráfica de comparativo de desgaste por abrasión (mm) - NTG 41087 h2.....	57

28. Comparativo de resistencia a la FLEXIÓN - NTG 41081 h149 comparativo de absorción - NTG 41081 h1.....	58
29. Comparativo de absorción, NTG 41081 h1.....	59
30. Ensayo análisis granulometría.....	69
31. Ensayo granulometría de agregado fino escoria siderúrgica.....	70
32. Ensayo densidad aparente mezcla 1.....	71
33. Ensayo de desgaste de mezcla 01.....	72
34. Ensayo de flexión mezcla 01.....	73
35. Ensayo de absorción mezcla 01.....	74
36. Ensayo granulometría de mezcla 02.....	75
37. Ensayo densidad de mezcla 02.....	76
38. Ensayo desgaste de mezcla 02.....	77
39. Ensayo flexión de mezcla 02.....	78
40. Ensayo absorción de mezcla 02.....	79
41. Ensayo granulometría mezcla 03.....	80
42. Ensayo densidad de mezcla 03.....	81
43. Ensayo desgaste de mezcla 03.....	82
44. Ensayo flexión de mezcla 03.....	83
45. Ensayo absorción de mezcla 03.....	84
46. Ensayo granulometría de agregado fino arena.....	85
47. Ensayo granulometría de agregado grueso pedrín 3/8" No. 8.....	86

## RESUMEN

En el mundo de la construcción se utilizan grandes cantidades de agregados para la fabricación de mezclas constructivas. Estas se utilizan en un sinnúmero de aplicaciones. En Guatemala el crecimiento en infraestructura es cada vez mayor. El uso de recursos y la explotación de áreas es de gran impacto ambiental. El uso de los recursos es limitado, por lo que nuevas alternativas serán las ideales para solventar los problemas futuros en materias para la construcción.

En países de Europa ya se utilizan alternativas en los agregados, la escoria siderúrgica es un material que puede llegar a ser un agregado de alta calidad. El objetivo será poder convertir la escoria siderúrgica de la industria metalúrgica en árido siderúrgico para la construcción.

El enfoque principal de este trabajo de investigación es realizar una serie de ensayos verificados por laboratorios nacionales, los cuales nos indiquen las características de la escoria siderúrgica como agregado fino. Además de evaluar las características de una mezcla de concreto elaborada con diferentes porcentajes de agregado fino de escoria siderúrgica y compararlos con una mezcla de concreto elaborada de la manera tradicional.

Se pretende poder utilizar el agregado de escoria siderúrgica como agregado fino en la elaboración de adoquines prefabricados. Los adoquines prefabricados son una excelente opción a la hora de pavimentar caminos que requieran un bajo costo de instalación y mantenimiento, debido a su alta resistencia al desgaste, y oferta de mano de obra en el mercado.

Además de reducir el impacto ambiental del uso de áridos naturales. De igual forma se buscaría que las características de los adoquines se mantengan o mejoren.

Uno de los mayores productores de escoria siderúrgica de Centroamérica se encuentra en Guatemala. Cuenta con el parque siderúrgico más grande de la región. La planta produce alrededor de 71,000 toneladas métricas de acero por mes. Y en conjunto todas las plantas producen alrededor

de 1 millón de toneladas de acero anuales. Lo cual a su vez produce grandes cantidades de escoria siderúrgica.

El uso y reutilización de dichos desechos es uno de los objetivos de este trabajo, anteriormente se han realizado pruebas para la utilización de la escoria siderúrgica como agregado grueso, pero en este caso se quiere evaluar la posibilidad de poder utilizar la escoria siderúrgica como agregados finos, utilizando un cemento de alta resistencia inicial recomendado para fabricantes de prefabricados.

Se realizaron varios ensayos que van desde el ensayo de granulometría, desgaste, resistencia a flexión, absorción, densidad, cada uno de ellos basado en la normativa COGUANOR NTG, y se hizo una comparación de resultados con una muestra de concreto realizada con agregados convencionales. Para poder concluir si es factible o no la utilización de escoria siderúrgica como un sustituto a los agregados finos convencionales en la fabricación de adoquines prefabricados. De este modo, reduciendo los costos de producción y brindando un impacto positivo a los efectos medioambientales que conlleva el uso de residuos industriales.

## ABSTRACT

In the world of construction, large quantities of aggregates are used to manufacture construction mixtures. These are used in endless applications. In Guatemala, growth in infrastructure is increasing. The use of resources and the exploitation of areas has great environmental impact. The use of resources is limited, so new alternatives will be ideal to solve future problems in construction matters.

In European countries, alternatives are already used in aggregates; steel slag is a material that can become a high-quality aggregate. The objective will be to convert steel slag from the metallurgical industry into steel aggregate for construction.

The main focus of this research work is to carry out a series of tests verified by national laboratories, which indicate the characteristics of steel slag as a fine aggregate. In addition to evaluating the characteristics of a concrete mixture made with different percentages of fine steel slag aggregate and comparing them with a concrete mixture made in the traditional way.

The aim is to be able to use the steel slag aggregate as fine aggregate in the production of prefabricated pavers. Prefabricated pavers are an excellent option when paving roads that require a low installation and maintenance cost, due to their high resistance to wear and supply of labor in the market.

In addition to reducing the environmental impact of the use of natural aggregates. Likewise, the characteristics of the paving stones would be sought to be maintained or improved.

One of the largest producers of steel slag in Central America is located in Guatemala. It has the largest steel park in the region. The plant produces about 71,000 metric tons of steel per month. And together all the plants produce around 1 million tons of steel annually. Which in turn produces large quantities of steel slag.

The use and reuse of said waste is one of the objectives of this work. Previously, tests have been carried out for the use of steel slag as coarse aggregate, but in this case we want to evaluate the possibility of using steel slag as fine aggregates. , using a high initial strength cement recommended for prefabricated manufacturers.

Several tests were carried out ranging from granulometry, wear, flexural strength, absorption, density, each based on the COGUANOR NTG regulations, and a comparison of results was made with a concrete sample made with conventional aggregates. In order to conclude whether or not the use of steel slag as a substitute for conventional fine aggregates in the manufacture of prefabricated pavers is feasible or not. In this way, reducing production costs and providing a positive impact on the environmental effects that come with the use of industrial waste.

# I. INTRODUCCIÓN

Guatemala no ha desarrollado aún la cultura del reciclaje y la reutilización de materiales de desecho. Guatemala es un país en vías de desarrollo, por lo que tendrá que apostar por estas tendencias si quiere lograr un buen crecimiento global. En la actualidad el uso y almacenamiento de residuos industriales es reducido.

A medida que se va desarrollando la población guatemalteca, el crecimiento del consumo de materiales de construcción incrementa, y la explotación de recursos naturales se ven afectados. A estos cambios le podemos sumar la contaminación por otras fuentes como lo son la incorporación de miles de vehículos a la ciudad capital y malos controles respecto al cuidado y tratamiento de desechos. La ciudad de Guatemala está creciendo a un ritmo acelerado y se deben de tomar medidas para poder tener un crecimiento responsable con el ambiente.

Los recursos naturales son una de las principales fuentes para la elaboración de agregados para la construcción. Una de las formas de poder contribuir a la reducción del impacto ambiental, es por medio de la reutilización de desechos industriales, como lo es la escoria siderúrgica. Uno de los productores más grandes de escoria siderúrgica en Centro América se encuentra en Guatemala, produciendo toneladas de material de desecho que pueden ser reutilizados como agregados en mezclas de concreto hidráulico.

Los usos para estos desechos serían de gran capacidad en el mundo constructivo. Por lo que el consumo de áridos naturales se vería reducido y de igual manera la cantidad de desechos industriales sin utilizar.

El uso de nuevos agregados con características similares o mejores a los convencionales es una de las metas que el mundo de la construcción debe de ir persiguiendo. Ya que los recursos naturales son limitados, y su mala utilización conlleva a grandes problemas en el futuro.

En la fabricación de adoquines de concreto hidráulico, se utilizan agregados como arena, piedrín, cemento y agua. En esta investigación se quiere poder ver la posibilidad de sustituir la arena de río por un porcentaje dentro de la mezcla de escoria siderúrgica fina, esto ayudaría en reducir en gran volumen el consumo de este árido. Y generar un beneficio económico a las empresas que generan escoria y a las que fabrican adoquines u otra empresa que en su proceso constructivo utilice material de concreto prefabricado.

## II. ANTECEDENTES

El uso de la escoria siderúrgica se ha venido analizando, a raíz de las grandes producciones de residuos que produce la industria metalúrgica. En Guatemala se cuenta con el parque industrial más grande ubicado en SIDEGUA una planta siderúrgica situada en el Km 65.5 carretera antigua al Pto. San José. Esta fábrica fue montada con el fin de abastecer de palanquillas a las plantas laminadoras del grupo Aceros de Guatemala, Cuenta con Horno cuchara, Máquina de colada continua, y Laboratorio espectrométrico. Otro productor de escoria siderúrgica lo es el complejo industrial HASA el cual fabrican objetos de hierro fundido como tapaderas, rejillas, bancas entre otros. Esto a través de la fundición de chatarra la cual se clasifica en alta baja y muy baja densidad.

“Aplicación de escoria siderúrgica como agregado en las mezclas de concreto para pavimento rígido.” según Ing. Edwin Estuardo Aquino Monterroso (2012):

El objetivo principal del estudio fue analizar el uso de la escoria como agregado grueso en las mezclas de concreto hidráulico para pavimentos rígidos. Se realizaron varios ensayos para poder comprobar las características del agregado. En los resultados la escoria como agregado grueso alcanzó las resistencias a compresión requeridas por la ASTM. Para su aplicación como agregado grueso en pavimentos cumple con los requisitos estructurales. Como recomendaciones del estudio se debe de controlar los contenidos de humedad para ver el tema de trabajabilidad y consolidación. Se puede utilizar la escoria en bases y subbases de carreteras, ya que transmite de buena forma las cargas del tráfico.

“Uso de material reciclado de tereftalato de polietileno, pet, como agregado fino para mezclas de concreto, para la elaboración de adoquines” según Francisco Javier Estrada Quintanilla (2017):

El objetivo principal del estudio fue utilizar material reciclado de tereftalato de polietileno (PET), como agregado en la fabricación de adoquines de concreto. El método principal del estudio

fue realizar ensayos experimentales con base a las normas Coguanor estudios fueron realizados en la USAC. En los resultados obtenidos se demostró que el PET reciclado en una mezcla de concreto no es compatible con las solicitudes mecánicas ya que disminuyó su capacidad de resistencia a la flexión y aumentó su capacidad de absorción. Como recomendaciones del estudio se debe de usar una proporción con menos de 10% de PET para un adoquín con finalidad peatonal donde no haya cargas vehiculares. Usar el PET en adoquines de doble capa y colocarlo en la capa superior ya que su nivel de abrasión si superó los valores establecidos por la norma.

“Fabricación de adoquín con adición de escoria de mata de níquel como agregado fino” según Randy Sujey López Ramírez (2016):

El objetivo principal del estudio fue determinar las características físicas y mecánicas de los adoquines utilizando agregado fino de escoria de mata de níquel y comprobar si cumplen con la norma Coguanor. El método principal del estudio fue la realización de ensayos por medio de comparación para ver si cumplen o no con la norma. En los resultados obtenidos, el peso de los adoquines es mayor que los de arena, cumplen con su forma geométrica, cumplen con los porcentajes de absorción, pero no cumplieron con el ensayo de compresión. Los ensayos de flexión sí cumplieron, pero no en todas las mezclas. De igual forma cumple en el ensayo de desgaste. Sí es factible la utilización de mata de níquel como agregado fino. Como recomendaciones del estudio siempre ensayar antes la mata de níquel a utilizar ya que esta sufre muchas variaciones en su composición, Utilizar estos adoquines en patios de viviendas, parqueos con vehículos livianos, calles de tránsito peatonal entre otros, no cumplen para cargas altas.

### III. JUSTIFICACIÓN

En Guatemala, se encuentra la planta de producción de acero más grande de centro América, por lo que el subproducto principal en su producción de acero es la escoria siderúrgica, La escoria es almacenada en grandes extensiones de suelo, y la cual los usos que se le da a la misma son pocos o casi nulos. A medida que vaya creciendo la industria de la construcción, así lo va hacer los desechos de la misma, por lo que buscarle un uso a esta escoria es de vital importancia para darle un aporte al mundo de la construcción, y reducir lo así la contaminación.

La escoria generada por la fundición de chatarra, quiere ser evaluada como agregado fino en las mezclas de adoquines de concreto, para poder así reducir un porcentaje del agregado fino de la mezcla, para no solo darle un uso al desecho metalúrgico sino también reducir el uso de la arena, que se obtiene de la naturaleza y de banco de materiales. Por lo que el uso de la escoria traería beneficios económicos y medioambientales a las cadenas de producción que utilicen agregado fino en mezclas de concreto y abrir un panorama para poder seguir buscando aplicaciones para la escoria.

## IV. OBJETIVOS

### A. Generales:

- Analizar el uso de escoria siderúrgica como agregado fino y comparar las mezclas de concreto para la elaboración de adoquines prefabricados con distintas cantidades de escoria.

### B. Específicos:

- Determinar por medio de ensayos de laboratorio las características físicas y resistencias del adoquín prefabricado con distintas proporciones de escoria siderúrgica.
- Realizar una comparativa entre la mezcla de concreto más utilizada comúnmente en Guatemala para la elaboración de adoquines con las elaboradas con un porcentaje de agregado fino de escoria de siderúrgica.
- Realizar una comparación de los ensayos obtenidos entre los adoquines fabricados de concreto con y sin escoria siderúrgica.
- Determinar los beneficios o desventajas que tendría el sustituir el agregado fino en la fabricación de adoquines por escoria siderúrgica.

## V. HIPÓTESIS

La incorporación de escoria siderúrgica como agregado fino en las mezclas de concreto destinadas a la elaboración de adoquines prefabricados podría mejorar significativamente las propiedades físicas y mecánicas del producto final, al tiempo que contribuiría a la sostenibilidad ambiental al reutilizar un subproducto industrial, reduciendo así la dependencia de los recursos naturales tradicionales en la producción de materiales de construcción.

## VI. MARCO TEÓRICO

### A. Agregados

Los agregados según ASTM C33 son todos los materiales granulares, arenas, gravas, piedras trituradas o escorias, que son ya sean obtenidos de la naturaleza o son modificados para su previo uso. Todos los agregados tienen distintas características físicas y distintos usos en el mundo de la construcción.

(ASTM 41010 h20, 2014).

#### 1. Clasificación de origen.

La clasificación de origen para agregados toma de base la procedencia natural de las rocas y los procesos fisicoquímicos que fueron involucrados en la formación de dichos agregados, esta clasificación se divide en tres grandes grupos.

(Gutiérrez, 2003).

#### 2. Las rocas ígneas

Son aquellas que se forman cuando el magma se enfría y se solidifica. Si este enfriamiento se produce lentamente bajo la superficie se forman rocas con cristales, estas se les conoce con el nombre de rocas plutónicas o intrusivas, si el enfriamiento se produce de forma repentina en la corteza terrestre, estas se les denomina rocas volcánicas, efusivas o extrusivas. Un ejemplo de este tipo de rocas son la riolita, la diorita, el basalto y el granito.

(Gutiérrez, 2003).

### 3. Las rocas sedimentarias

Son aquellas que se forman por la acumulación de sedimentos, estos sedimentos fueron transportados durante miles de años por efectos naturales como el agua, el hielo, el viento o catástrofes naturales, por lo que están formadas de partículas de diversos tamaños, y terminan como un material consolidado

Pueden ser encontradas en forma de capas o estratos alrededor de las orillas de ríos, mares, barrancos, valles, lagos, desembocaduras de ríos, etc. Las rocas sedimentarias cubren más del 75% de la superficie terrestre, y pueden ser encontradas hasta una profundidad de 10 km bajo la corteza terrestre.

(Gutiérrez, 2003).

### 4. Las rocas metamórficas

Son aquellas que se forman por la modificación de otras rocas ya preexistentes dentro de la corteza terrestre por un proceso denominado metamorfismo. En el cual intervienen energías de calor, presión, fluidos químicamente activos, etc. El resultado final de la roca va a depender del tipo de roca originaria, ya sea ígnea o sedimentaria, y el proceso de transformación que sufrió y el tiempo que lo sufre. Ya que cambian su composición, su densidad, la textura, la orientación de los granos minerales.

(Gutiérrez, 2003).

Los agregados pueden ser ya sean producidos artificialmente o ser obtenidos de la naturaleza.

#### 1. Los agregados de origen natural

Como su nombre lo indica son aquellos que provienen de la naturaleza, para ello se producen procesos naturales que van desintegrando la corteza terrestre la cual va creando agregados de distintos tamaños y propiedades, por lo general estos agregados son clasificados por tamaño y forma para poder luego ser utilizados según vaya a ser su uso. Se consideran agregados naturales los aquellos generados por volcanes, terremotos, glaciares, corrientes fluviales, y procesos que han

contribuido a la formación de dichos materiales. Los agregados más comunes obtenidos naturalmente son la arena y la grava.

(Aquino, 2012).

## 2. Los agregados de origen artificial

Como su nombre lo indica son aquellos producidos por la acción del hombre, los agregados artificiales normalmente van a provenir de la transformación de ciertos agregados naturales, o la reutilización de los residuos que son producidos por la elaboración de otros subproductos, dichos residuos pueden ser tales como la escoria siderúrgica, la arcilla horneada, el concreto triturado. Las calidades de dichos residuos suelen ser variables, por lo que las canteras es uno de los métodos de obtención de agregados más utilizado y son de una buena calidad para la construcción, pero su obtención conlleva el deterioro del medio ambiente.

(Aquino, 2012).

Los agregados son clasificados en dos grandes grupos que son los agregados finos y los gruesos.

### 1. Agregados finos (arenas)

Los agregados van a ser clasificados como agregados finos, todos aquellos que el 95% de sus partículas logre pasar por el tamiz número 4. Por lo que respecta a un tamaño de partículas menores a 4.75 mm.

Las arenas, en general van a ser el resultado de la desintegración de las rocas de distintas procedencias, por lo que el uso de tamices en muestras va a ser utilizado para la separación de agregados finos.

Dentro de estos agregados finos se dividen en arenas finas, medias y gruesas.

- Las arenas finas van a ser las que se acumulen entre los tamices con mallas de 0.25 mm a 1 mm.

- Las arenas medias van a ser las que se acumulen entre los tamices con mallas de 1 mm a 2.5 mm.
- Las arenas gruesas van a ser las que se acumulen entre los tamices con mallas de 2.5 mm a 4.75 mm.

Las arenas se utilizan como áridos en la fabricación de mezclas de concreto hidráulico. O como un revestimiento en conjunto con gravas para generar una capa filtrante.

(Ortiz, 2004.)

## 2. Agregados gruesos (gravas)

Los agregados van a ser clasificados como agregados gruesos a todos aquellos que el 95 % de sus partículas no logre pasar por el tamiz número 4, por lo que respecta a un tamaño de partículas mayores a 4.75 mm y menores a 7.6 cm.

Las gravas suelen ser producidas naturalmente por el arrastre de las piedras en el río, o montaña abajo. De igual forma son elaboradas por los seres humanos con la denominación de piedra triturada. Los materiales normalmente son rocas de caliza, granito, dolomita, basalto, arenisca, cuarzo y cuarcita.

Las gravas suelen utilizarse en la fabricación de concreto hidráulico como agregado grueso, ya que brinda una adherencia a la pasta de cemento y densidad al producto final. Además, las gravas son utilizadas como drenajes en muros de contención, carreteras. O como revestimiento en cubiertas planas como estacionamientos.

(Ortiz, 2004.)

Los agregados se clasifican en tres tipos de agregados: los ligeros, los normales y los pesados.

1. Agregados livianos:

Son los agregados que posean una densidad entre los 500-1000 kg/m<sup>3</sup>, Estos se utilizan mayormente en realizar trabajos para rellenos, y en la fabricación de blocks para su uso como mampostería estructural.

(Ortiz, 2004.)

2. Agregados normales:

Son los agregados que posean una densidad entre los 1300-1600 kg/m<sup>3</sup>, Estos se utilizan mayormente en trabajos generales de construcción en concreto. Como carreteras de tráfico moderado, en casas con muros estructurales de concreto reforzado, en edificios con muros de ductilidad limitada, puentes, postes, estructuras de decoración, prefabricados, etc.

(Ortiz, 2004.)

3. Agregados pesados:

Son los agregados que posean una densidad entre los 3000-7000 kg/m<sup>3</sup>, Estos se utilizan en la fabricación de concretos pesados, edificaciones que requieran una densidad muy alta en sus componentes estructurales.

(Aquino, 2012).

Los agregados se clasifican en tres categorías: canto rodado, triturado y rugoso.

1. Canto rodado:

Son los agregados que provienen de los cauces de ríos que arrastran las piedras río arriba y van dándoles una forma redondeada al llegar río abajo, normalmente se pueden obtener en tramos del cauce donde la pendiente no sea pronunciada por lo que los agregados suelen estancarse en estas zonas. Su superficie se torna lisa, no posee aristas, y su tamaño es variable dependiendo de la roca originaria.

(Aquino, 2012).

## 2. Triturado:

Son los agregados que provienen de la explotación de la piedra en canteras, su forma es angular, con varias caras, en comparación con otras formas esta forma de forma triturada, ayuda al agregado a poder adherirse a la pasta de cemento en la que sea utilizado gracias a sus múltiples aristas, Esta es producida normalmente en minería donde se encuentra roca adecuada para su explotación y extracción de agregado. Esta se diferencia de la grava, ya que la grava es producida naturalmente por procesos naturales.

(Ortiz, 2004.)

## 3. Canto rugoso

Los agregados de textura rugosa tienen un área superficial mayor que los permite adherirse a la pasta del cemento de una mejor manera, cuando son comparados con agregados con texturas redondeadas. La ASTM (sociedad americana para prueba de Materiales) define al agregado rugoso como de origen mineral, el cual se compone por silicatos de calcio y ferritas, el cual está combinado con óxidos fundidos de hierro, aluminio, manganeso, calcio y magnesio.

(Ortiz, 2004.)

## 4. Canto rodado y triturado

Este tipo de agregado es la combinación de una trituración del canto rodado con una mezcla de grava o gravilla natural, lo que le da una apariencia final de forma redondeada, pero cuenta con caras fracturadas. Este agregado es también muy utilizado debido a su disposición.

(Ortiz, 2004.)

## B. Conceptos básicos de los adoquines de concreto

### 1. Adoquín de concreto

Elemento compactado de concreto, prefabricado, con la forma de prisma recto, o de forma poligonal, que permiten la elaboración de superficies completas como componente de un pavimento articulado, los cuales pueden ser bicapa o monocapa.

(Coguanor NTG 41086, 2012)

### 2. Pavimento articulado.

Se compone por elementos uniformes compactados de concreto, como los son los adoquines, se ensamblan unos con otros, y quedan entrelazados, permitiendo una transferencia de carga uniforme a la carpeta base. Lo que hace que trabajen en conjunto eliminando la posibilidad del desmontaje de una pieza.

(Coguanor NTG 41086, 2012)

### 3. Adoquín monocapa o bicapa.

Si el elemento está solamente conformado por una capa de concreto se le conoce como un adoquín monocapa, si el adoquín se compone de dos capas de concreto las cuales una es distinta a la otra, se le conoce como bicapa. La capa de desgaste no puede ser menor a 8 mm.

(Coguanor NTG 41086, 2012)

### 4. Superficie de desgaste

Ya sea en los adoquines bicapa o monocapa, su superficie de desgaste va a depender de su fabricación. En los adoquines bicapa la capa superficial es la que va a estar en contacto con el tránsito vehicular y peatonal. En los monocapa, ambos lados del adoquín van a superficies de desgaste, salvo que tenga biseles de un lado del adoquín y tenga que ser colocado de la forma correspondiente.

(Coguanor NTG 41086, 2012)

## 5. Lote y muestra

Los adoquines fabricados bajo condiciones de producción uniformes y sometidos a una inspección en conjunto se le llama lote. La muestra es el conjunto de adoquines tomados de un lote que sirve para obtener la información necesaria para obtener una característica del lote de donde se obtuvo la muestra.

(Coguanor NTG 41086, 2012)

## 6. Agregados en adoquines

Los agregados finos y gruesos utilizados en la fabricación de los adoquines deben cumplir con lo establecido con la norma NTG 41007. Los agregados gruesos deberán de cumplir con los porcentajes de desgaste aceptables. Y no deberá de exceder del 40% en el ensayo de abrasión de la Máquina de los Ángeles, según la norma NTG 410010 h20. El tamaño máximo del agregado grueso no debe exceder 1/5 del espesor nominal del adoquín.

(Coguanor NTG 41086, 2012)

Las características de los adoquines se clasifican en:

### 1. Características geométricas

Largo y ancho real: el largo y ancho real de los adoquines de concreto para pavimentos, no debe ser mayor de 250 mm, ni menor de 50 mm.

Cuadro No. 1 *Características geométricas.*

Espesor	Relación (largo real/ ancho nominal)	Relación ( largo real/ espesor)
$\geq 60$ mm	$\leq 2.5$	$\leq 4$

*Nota.* Características Geométricas de Coguanor (2012).

## 2. Tolerancias:

Las medidas del espesor real promedio tomadas para cada espécimen de la muestra no debe diferir en más de  $\pm 3$  mm del espesor especificado.

Las medidas del largo real promedio como del ancho real promedio para cada espécimen de la muestra no deben diferir del largo y el ancho especificado, respectivamente, en más de  $\pm 2$  mm.

(Coguanor NTG 41086, 2012)

## C. Clasificación de los adoquines:

Las características geométricas y dimensiones son las que nos indican el tipo de adoquín y qué usos se le puede dar. La clasificación se basa por medio del ensayo de flexión. Los adoquines se clasifican en tres tipos de clases: A, B y C.

- Los adoquines clase A, son los utilizados en el ámbito industrial y suelen tener un tránsito pesado. Por ejemplo, puertos, aeropuertos, parqueos de zonas industriales, terminales calles o avenidas principales.
- Los adoquines clase B, son de un uso más liviano, y estos son colocados mayormente en las calles secundarias donde el tráfico vehicular va a ser liviano.
- Los adoquines clase C, son los que tienen menor espesor, ya que no van a soportar cargas vehiculares, su uso es exclusivamente peatonal, ya sea en zonas públicas o privadas.

### 1. Clasificación por módulo de ruptura:

Para poder clasificar una muestra de adoquines en clase A, B, o C. Se debe de ensayar por lo menos tres especímenes saturados por 24 horas, y su promedio del módulo de ruptura debe de cumplir con el Cuadro 02.

(Coguanor NTG 41086, 2012)

Cuadro No. 2

*Resistencia mínima a flexión del adoquín MPa (kg/cm<sup>2</sup>).*

Clase	Espesores mínimos del adoquín (mm)	Promedio de 3 adoquines	Mínimo de un adoquín 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)

*Nota.* Clases de adoquines. Ensayo según norma NTG 41087 h1 de Coguanor (2012).

## 2. Clasificación por absorción.

Los adoquines son sumergidos por 24 horas para ver su variación en el peso. Este aumento en el peso nos indicará cuánta agua absorbió el adoquín, y, por lo tanto, saber qué porcentaje del peso total representa. Se debe de evaluar por lo menos 3 especímenes para poder clasificarlos. Este ensayo se realiza según la norma ASTM C140.

Cuadro No. 3

*Absorción (en % de masa).*

Clase	Promedio de 3 adoquines como mínimo	Valor máximo individual
A	≤ 7	7.7
B	≤ 9	9.9
C	≤ 9	9.9

*Nota.* Absorción. ASTM C140 de Coguanor (2012).

## 3. Clasificación por abrasión.

Los especímenes son sometidos a una prueba de abrasión por medio de un disco metálico, en el cual la longitud de desgaste es inversamente proporcional a la resistencia al desgaste por abrasión, que posee cada espécimen. Se toma el valor promedio de tres especímenes. Se debe de realizar el ensayo según la norma NTG 41087 h2.

(Coguanor NTG 41087 h2, 2012)

Cuadro No. 4

*Resistencia a la abrasión.*

Método de Ensayo	Valor
Mediante arena y disco metálico ancho	$\leq 23 \text{ mm}$
Ensayo de Böhme	$\leq 20.000 \text{ mm}^3 / 5,000 \text{ mm}^2$

*Nota.* Resistencia a la abrasión de Coguanor (2012).

## D. Agregado de escoria siderúrgica

La escoria siderúrgica es de textura rugosa, de origen mineral, compuesto por silicatos de calcio y ferritas, que están combinadas con óxidos fundidos de hierro, aluminio, calcio y magnesio.

La escoria metalúrgica es un subproducto de la fundición de la chatarra en la producción de acero u otros metales. Durante la fundición los metales se exponen a altas temperaturas, las impurezas del metal fundido se van separando a distintas temperaturas. En este proceso es donde se forma la escoria. Dependiendo el tipo de proceso de fundición va a ser el tipo de escoria, cuando se trabaje fundiciones ferrosas en las acerías, se busca minimizar la pérdida de hierro y las escorias contienen principalmente calcio, magnesio y aluminio.

La escoria de acería tiene una textura rugosa, su forma es cúbica con varias aristas, en el interior de la escoria se presenta una apariencia vesicular con muchas celdas poco alineadas unas con otras. Su forma es formada por los efectos de los gases atrapados en la escoria caliente que se van liberando en su proceso de enfriamiento.

(Enríquez, 2009).

La escoria es clasificada según sea el tipo de horno que se utilizó en la fabricación del hierro. Este puede ser horno en arco eléctrico o de alto horno.

(Enríquez, 2009).

### 1. Elaboración de escoria siderúrgica.

Cuando se habla de producción de acero siempre va a ir de la mano la producción de grandes cantidades de escoria. Se estima que por cada tonelada de acero fundido se va a generar

una media tonelada de escoria, es decir la mitad del peso de todo el acero producido es escoria siderúrgica, la cual tiene que ser almacenada en grandes extensiones de tierra. Dentro de la escoria salen las impurezas del metal líquido que se está fabricando, constituida básicamente por óxidos de hierro, aluminio, calcio y magnesio.

(Enríquez, 2009).

## 2. Metales ferrosos.

Los metales ferrosos se clasifican por medio del hierro como componente principal y sus múltiples aleaciones, como lo es el hierro forjado, y el acero. El hierro es el segundo elemento más abundante sobre la corteza terrestre, su denominación en la tabla periódica es (Fe). El hierro como tal siempre será encontrado en alguna combinación con algún otro mineral.

(Enríquez, 2009).

- Se denomina aleación a una mezcla de dos o más elementos, el que tiene la mayor proporción es el que brinda las características de este. El hierro tiene una temperatura de fusión de 1500 °C. Y tiene sus inicios en la Edad de Hierro (700ª.C).
- Las dos formas convencionales de obtener el hierro es por medio de la industria de la siderurgia, como lo es el alto horno, y por medio de electrólisis en un horno eléctrico a partir de la fundición de chatarra.

## 3. Chatarra.

Es el conjunto de trozos y piezas de metal de desecho, principalmente compuestas de hierro y acero. La chatarra de hierro cubre alrededor de un 40% de la producción de acero en el mundo. Para poder transformar la chatarra de hierro en acero, es necesario pasar por un proceso de fundición, el cual es llevado a cabo por un horno eléctrico. La chatarra de hierro es almacenada en una chatarrería y esta debe de estar clasificada y lista para ser vendida.

Las cualidades deseables para que la chatarra sea utilizada en un horno de arco eléctrico, son:

- Lo más grande y gruesa posible. Como lo son máquinas pesadas, ferrocarriles, desguaces de buques, entre otros. Que su contenido contenga aceros al carbono o de baja aleación para que el proceso de oxidación sea más corto.
- Es preferible que se encuentren limpias y libres de óxidos, pinturas, suciedad, aceites, químicos, etc.
- Es preferible que la chatarra sea desmenuzada y no compactada.

(Enríquez, 2009).

#### 4. Horno de arco eléctrico.

Es un horno que se calienta por medio de un arco eléctrico. El proceso se lleva a cabo sobre una solera y dentro de una bóveda de operación. El horno calienta por medio de electrodos creando un arco eléctrico entre sus electrodos y el baño de acero. El sistema más utilizado son los hornos con corriente alterna trifásica. El elemento fundamental del horno es el transformador, este cambia la corriente de alta tensión y baja intensidad a corriente de baja tensión y alta intensidad, que hace que el efecto Joule se magnifique.

A mediados del siglo XX entraron en competencia este tipo de hornos, ya que anteriormente solo se utilizaban con aceros aleados de alto valor añadido, pero actualmente son utilizados con aceros corrientes no aleados.

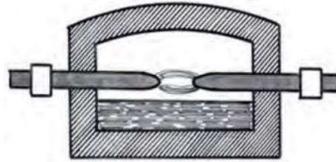
(Enríquez, 2009).

#### 5. Horno de arco indirecto con electrodos horizontales.

Este sistema de horno de arco también es conocido como el sistema “calentamiento en Stassano”. El cual el arco salta entre dos electrodos horizontales sin tocar el baño y escoria. Algunos hornos cuentan con una función rotativa, con lo que hace que el calor que se va generando en la bóveda baje hacia el baño. Los electrodos pueden ir de forma inclinada. Su uso principal es la producción de aceros y ferroaleaciones.

Figura No. 01

*Horno de arco tipo Stassano*



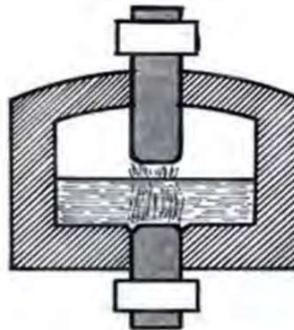
*Nota.* Horno de arco tipo Stazzona de José Enríquez ( 2009).

## 6. Horno de arco directo entre electrodo y solera conductora.

Este horno fue diseñado por el inventor Girod. El funcionamiento es como el de arco indirecto, solo que los electrodos están colocados verticalmente uno por encima de la bóveda y el otro por debajo. El arco salta entre un electrodo y el baño contenido dentro de la bóveda. Son de corriente continua. En el proceso se producen dos tipos de calentamiento, el Stassano el cual genera una corriente entre los dos electrodos, y el de Joule, el cual es producido por la corriente que pasa por el baño de acero y llega hasta el otro electrodo.

Figura No. 02

*Horno de arco tipo Girod*



*Nota .* Horno de arco tipo Girod de José Enrique (2009).

## 7. Horno de arco entre los tres electrodos a través del baño.

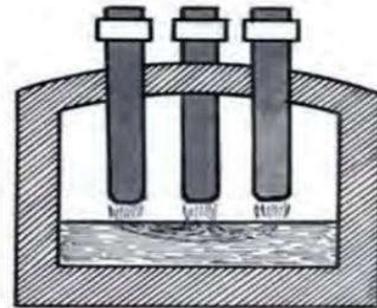
Este horno trabaja con corriente alterna trifásica, creando un arco el cual atraviesa el baño de acero y recorre los tres electrodos. En este horno suceden tres tipos de calentamiento, el primero es por la radiación del arco eléctrico hacia el baño de acero. El segundo es por medio de Joule, que es el paso de corriente por el propio baño. Y el tercero por el de Stassano. Este horno es el más

utilizado alrededor del mundo, pero están siendo sustituidos por los hornos de arco de corriente continua en acería de laminación y por los de inducción en fundición de moldeo.

(Enríquez, 2009).

Figura No. 03

*Horno de arco tipo Héroult*



*Nota.* Horno de arco tipo Héroult de José Enriquez (2009).

## E. Beneficios del uso de la escoria siderúrgica.

### 1. Entorno social:

El uso de escoria siderúrgica a gran escala abriría el campo en Guatemala a la generación de nuevos empleos, ya que Guatemala cuenta con la planta productora más grande de Centroamérica de acero.

(Parra, 2010).

### 2. Entorno ambiental:

Cuando hablamos de la reutilización de materiales, no siempre pensamos en los enormes materiales de desechos que son producidos por distintas industrias. Por lo que el uso de escoria siderúrgica sería una opción para poder mitigar la explotación de recursos naturales como lo son los bancos de piedra y arena, que van destruyendo hábitats naturales.

(Parra, 2010).

### 3. Entornos económicos:

Si se le da un uso como agregado a la escoria, esto abre un nuevo camino para las empresas productoras de hierro, a ser uso de sus desechos como fuentes de ingresos, las escorias de hornos eléctricos son productos de bajo precio, por lo que su comercialización ayudaría tanto a la empresa productora de escoria como al sector constructor que requiere de agregados.

(Parra, 2010).

## F. Diseño de mezclas de concreto con escoria como agregado fino

### 1. Descripción de estudios a realizar.

Se realizó la obtención de la escoria siderúrgica de los hornos de fusión, luego se tamizó de modo de obtener tamaños de agregado menor a 4,75 mm. Se realizarán tres mezclas con proporciones distintas de escoria siderúrgica una mezcla con 100% de escoria, la segunda con 50% de escoria y la tercera con un 0%, luego procedi a realizar ensayos de granulometría a las distintas mezclas. Teniendo una mezcla con arena convencional como mezcla base para la comparación de los resultados obtenidos. Se realizó un total de 27 adoquines en función de tener un promedio de 3 adoquines de cada mezcla por cada ensayo a realizar. Estos ensayos se llevarón a cabo luego de los 28 días de fraguado.

- Se muestreo la escoria siderúrgica de los hornos de fusión.
- Se tamizó la muestra y se utilizó el material que pasa por el tamiz #4.
- Se realizaron tres mezclas con las siguientes proporciones de escoria y arena:
  - Mezcla con el 100% de escoria.
  - Mezcla con 50% de escoria.
  - Mezcla con 0% de escoria.
- Ensayo granulométrico de las tres mezclas.
- Fabricación de 27 adoquines en fabrica artesanal con maquinaria diseñada por el propietario.
- Traslado de adoquines hacía laboratorio CETEC.
- Los ensayos realizados a los adoquines se iniciaron después de 28 días de fraguado.

2. Método de ensayo. Análisis granulométrico por tamices de los agregados fino y grueso. Norma COGUANOR NTG-41010 h1.

Esta norma cubre la determinación por tamizado por tamaño de partículas de agregado fino y grueso. La muestra de ensayo es pesada y posteriormente es ingresada a un horno a una temperatura aproximada de  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Al tener la muestra de suelo seca, ésta se ingresa a una serie de mallas con aberturas progresivamente más pequeñas, logrando así determinar la distribución de sus partículas en un espectro de tamaños amplio. Todo el material que pase por la malla no. 04. Con dimensiones de 4,75 mm. Es considerado como agregado fino. Los resultados obtenidos se utilizan para determinar la conformidad de la distribución por tamaños de partículas con los requisitos aplicables de la especificación requerida. Esto en función de realizar una producción de subproductos a base del mismo banco de material.

A la hora de realizar la obtención de la muestra esta debe de realizarse según la norma ASTM D75. Para la cantidad requerida de material para agregado fino debe de ser un mínimo de 300 g. Para la muestra de agregado grueso.

Cuadro No.5

*Pesos mínimos de muestra de ensayo.*

Tamaño nominal máximo aberturas		Masa mínima de la muestra de Ensayo	
mm	Pulg	Kg	Lb
9,5	3/8	1	2
12,5	1/2	2	4
19,0	3/4	5	11
25,0	1	10	22
37,5	1½	15	33
50,0	2	20	44
63,0	2½	35	77
75,0	3	60	130
90,0	3½	100	220
100	4	150	330
125	5	300	660

*Nota.* Si la muestra obtenida tiene dos partes de mezcla como agregado grueso y fino estas deben de ingresar a los tamices en proporciones como lo indica en la tabla de agregados gruesos.

3. Método de ensayo. Determinación de la resistencia al desgaste por abrasión de adoquines de concreto. COGUANOR NTG-41087 h2.

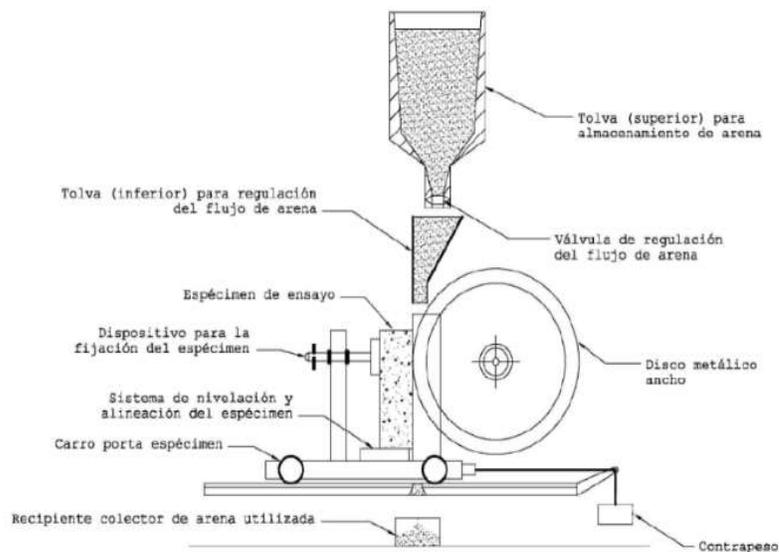
En esta norma se determina la resistencia al desgaste por abrasión de adoquines prefabricados de concreto, mediante el ensayo de disco ancho metálico.

El método de ensayo de disco metálico consiste en someter una muestra del adoquín, ya sea recién fabricado u obtenido del pavimento construido, a un disco metálico que desgasta la superficie de forma tangencial el disco hace que el corindón que es un abrasivo que se coloca en la tolva superior corra a través de la superficie del adoquín, el corindón es un abrasivo el cual no debe de ser sustituido una vez inicien los ensayos de una misma corrida de adoquines, lo cual hace que genere un desgaste sobre una de las caras del espécimen, dicha longitud es inversamente proporcional a la resistencia al desgaste que tendrá el espécimen.

Las partes fundamentales de la máquina de ensayo son los siguientes:

Figura No. 04

*Máquina de prueba de desgaste de adoquines.*



*Nota.* Fuente: norma Coganor 41081 h1.

El disco metálico debe de ser de acero A36. El diámetro debe de ser  $200 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ , y poseer una anchura de  $70 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ . El disco debe girar a una velocidad de 75 revoluciones en

60 s  $\pm$  3 s. en todo momento para que se realice de manera adecuada el ensayo. Idealmente, el motor debe de ser eléctrico, y tener un motor reductor que garantice las revoluciones necesarias.

a. Preparación del espécimen.

El espécimen debe de tener una cara de desgaste mínima de 100 mm x 70 mm. La cara de desgaste es la que se someterá al ensayo, esta debe de ser plana, con una tolerancia de  $\pm$  1 mm. Este es un factor importante y debe de revisarse en cada uno de los especímenes. Si la cara presenta alguna deformidad se debe de lijar para obtener la tolerancia deseada antes de iniciar con el ensayo. El espécimen debe de estar limpio y seco. Se debe de marcar el área a trabajar con un tinte que sea delgado, base acuosa o de alcohol. Al colocarlo sobre el carro de desplazamiento este debe de verificarse que esté bien alineado y que tenga libertad de movimiento con el contrapeso.

b. Procedimiento de ensayo:

Se debe preparar el material abrasivo dentro de la tolva de la máquina. A la hora de colocar el espécimen, este no debe de estar a menos de 15 mm de alguna de sus esquinas. Al tener el espécimen bien colocado y calibrado por el laboratorista, él empezará con la abertura de la válvula de control y empezará el flujo del material abrasivo al mismo tiempo que el disco empiece a girar, de tal manera que se completen 75 revoluciones en un lapso de 60 segundo aproximadamente. En este momento se apagará el motor de la máquina. Lo que hará que el disco se detenga.

c. Procedimiento de calibración:

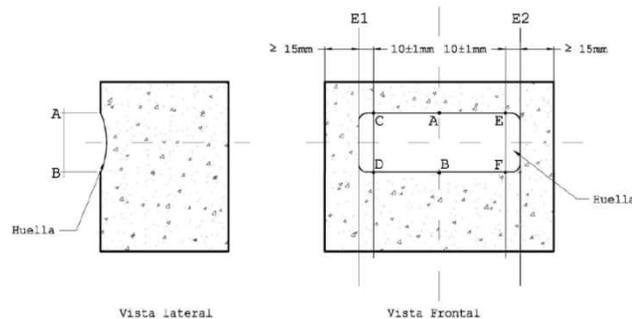
Se debe calibrar la máquina hasta que el disco produzca una huella de 20 mm de longitud con  $\pm$  0.5 mm. La distancia máxima permitida entre las líneas CD en la figura 5, no deben de exceder los 0.5 mm. Se verifica la ortogonalidad del soporte de especímenes, el sistema de desplazamiento. Que el sistema de contrapeso y el carro porta especímenes se desplacen libremente y con facilidad.

d. Medición de la huella de desgaste.

El primer paso es trazar las líneas de control E1 y E2, las cuales se harán con un lápiz de mina 0.5 mm y dureza 6 H o 7 H. Estas líneas deben de estar por igual o encima de los 15 mm de los extremos. Luego se debe de marcar las líneas AB en los puntos máximos del desgaste como se muestra en la Figura 5. Esta distancia proporciona la longitud de desgaste de la huella. Luego se debe de hacer dos líneas más CE, DF, las cuales van a  $10 \pm 1$  mm paralelas a AB. Estas nos van a determinar el ancho del desgaste de la huella.

Figura No. 5

*Medición de huella en adoquín.*



*Nota.* Fuente: Norma Coguanor NTG 41087 h1.

e. Aceptación o rechazo de la huella.

La huella realizada en el espécimen será aceptada en el caso que la diferencia de las medidas AB y las longitudes CD, y EF. Sean menores a 1 mm. Lo que indica que el aparato se encontraba calibrado, y la prueba se realizó de la manera correcta.

f. Resultados obtenidos del ensayo:

Para obtener el valor real calibrado, se debe de someter el resultado obtenido previamente a esta fórmula, donde AB es la longitud de huella en mm, Vc es el valor de calibración el cual lleva un valor de 20.0 mm de control. Y se obtiene lh, el cual es el valor resultante final con una variación de 0.5 mm.

$$L_h = AB + (20.0 - V_c)(1)$$

En donde:

- $L_h$  = longitud de la huella resultante (mm)
  - $V_c$  = Valor de calibración (mm)
  - $VC$  = valor de calibración (mm)
  - $AB$  = Longitud de la huella medida (mm)
4. Ensayo de determinación del módulo de ruptura de los adoquines de concreto. COGUANOR NTG 41087 h1.

El ensayo nos ayuda a determinar el módulo de ruptura del adoquín de concreto utilizado para tráfico vehicular o uso peatonal. Por medio de un equipo de prensa o máquina universal para ensayos de flexión cuyo tamaño mínimo debe de ser igual a la superficie del adoquín.

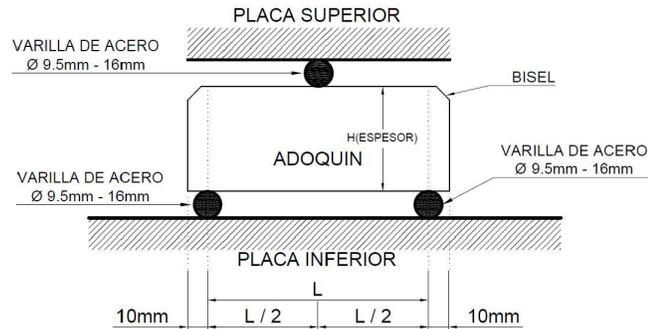
a. Preparación de muestra

La muestra del espécimen debe de ser saturada con agua y permanecer en inmersión constante durante un lapso de 24 horas antes del ensayo. Estos deben de retirarse del agua y ser colocados sobre una malla metálica con aberturas con un mínimo de 9.5 mm. El agua excedente de la superficie del espécimen debe de secarse antes de ser sometidos al ensayo.

Cada adoquín se someterá a una prueba de flexión tal y como se tratará de una viga simplemente apoyada. Cuyo eje coincida con el eje mayor del rectángulo inscrito. Y la carga será aplicada uniformemente sobre el ancho del adoquín. Se utilizan dos placas, una inferior y otra superior en las cuales se encuentran las varillas de acero entre 9.5 – 16 mm de diámetro. Las cuales van colocadas a  $L/2$  distribuidas en ambos extremos del espécimen. Y luego la varilla superior va a ir alineada al eje del adoquín. Tal y como se muestra en la Figura 06.

Figura No. 06

Placa superior y placa inferior



Nota. Fuente: Norma Coguanor NTG 41087 h1.

#### b. Procedimiento:

El adoquín se coloca sobre la máquina de ensayos como se muestra en la Figura 6. Las 3 varillas deben de ser del mismo diámetro. La cara de desgaste debe de ser la cara superior. Y los apoyos extremos deben de estar a 10 mm de las caras laterales. Al tener el espécimen debidamente colocado sobre la superficie, se procede a someter la carga sobre el adoquín, la cual deberá de ir a una velocidad de esfuerzo cercana a los 0.5 MPa por segundo hasta obtener que el espécimen se le genere una grieta. La máquina nos brindará un valor de carga máxima aplicada.

#### Cálculos:

El módulo de ruptura (MR) debe de calcularse de la siguiente manera;

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

En donde

- MR = Módulo de ruptura, en MPa
- P = Carga máxima aplicada, en N
- L = Distancia entre los ejes de los apoyos, expresado en mm
- B = Longitud del eje menor del rectángulo inscrito, expresado en mm
- H = espesor del adoquín, expresado en mm

El valor obtenido se debe de expresar con una variación de 0.1 MPa (1 kg/cm<sup>2</sup>). Se debe de sacar el MR de cada espécimen y obtener un promedio del MR de la muestra.

5. Ensayo de determinación de la densidad aparente (masa unitaria) e índice de vacíos en los agregados. NTG 41010h2:

Este método de ensayo busca obtener la densidad aparente, también conocida como el peso unitario de los agregados. Se ensaya en un estado ya sea compacto o suelto. Este contempla los agregados finos, gruesos y el cálculo de vacíos en la mezcla. El método de ensayo es aplicable únicamente a las mezclas que sus agregados no superen los 125 mm, aproximadamente 5 pulgadas en su tamaño nominal máximo.

Este método se utiliza comúnmente para poder seleccionar el proporcionamiento de las mezclas de concreto. De igual forma puede usarse para determinar las relaciones masa/volumen para hacer conversiones a la hora de comprar agregados. Pero puede verse afectado, ya que el grado de compactación puede variar mucho en una unidad de transporte o ya sea en un montón apilado. Los agregados suelen tener absorción y humedad superficial, lo cual hace que su volumen aumente y nos dé una densidad aparente errónea, por lo que este método de ensayo determina la densidad en masa sobre una base seca.

a. Equipo:

- Balanza. Se utiliza una balanza con una exactitud de 0.1% graduada por lo menos a 0.05 kg.
- Varilla de apisonamiento. Varilla de acero redonda de 16 mm de diámetro y aproximadamente 600 mm de largo, ambos extremos redondeados con punta semiesférica, cuyo diámetro es de 16 mm.
- Recipiente. Preferiblemente de forma cilíndrica con agarraderos. Debe de ser hermético, y debe de mantener su forma en todo momento. La altura debe de ser igual a su diámetro aproximadamente. El borde superior debe de ser liso y plano. y la pared interior del recipiente debe de tener una superficie lisa y continua. Con el fin de poder hacer el cálculo lo más exacto posible.

Cuadro No. 6

*Cuadro para calcular la capacidad del recipiente.*

Temperatura		Capacidad del recipiente	
mm	Pulgadas	m <sup>3</sup> (L)	Pie <sup>3</sup>
12.50	1/2	0.0028(2.8)	$\frac{1}{10}$
25.0	1	0.0093 (9.3)	1/3
37.5	1 $\frac{1}{2}$	0.014(14)	1/2
75	3	0.028 (28)	1
100	4	0.070(70)	2 $\frac{1}{2}$
125	5	0.100(100)	3 $\frac{1}{2}$

*Nota.* Tabla de capacidad del recipiente de la norma coguanor NTG 41010h2.

En el Cuadro 6. de capacidad del recipiente, se debe de elegir el recipiente correcto para poder evaluar la mezcla del agregado a estudiar. Siguiendo los tamaños máximos de agregados se elige el recipiente.

b. Muestra de ensayo.

Se debe de considerar una muestra del agregado sobre un valor de 125 % a 200 % el volumen del recipiente a utilizarse. El material para ensayar debe de manejarse de forma de evitar la segregación del mismo y sé la muestra del agregado debe de estar seca. Esta puede secarse por medio de un horno a una temperatura aproximadamente de 110 grados Celsius.

c. Calibración del recipiente.

Para calibrar el recipiente se debe de verter agua hasta el borde del recipiente y colocar una tapadera en función de eliminar las burbujas o exceso de agua en el recipiente. Con esto poder determinar la masa del agua dentro del recipiente pesando, todo el equipo completo y luego restando el recipiente y la tapadera. Se debe de tomar la temperatura con una variación de 0.5 grados Celsius. e interpolar en el Cuadro 7.

Cuadro No.7

Cuadro para calcular la densidad del agua según la temperatura.

Temperatura			
°F	°C	Kg/m <sup>3</sup>	Lb/pie <sup>3</sup>
15.60	60	999.01	62.366
18.3	65	998.54	62.336
21.1	70	997.97	62.301
23	73.4	997.54	62.274
23.9	75	997.32	62.261
26.7	80	996.59	62.216
29.4	85	995.83	62.166

*Nota.* Cuadro de temperaturas según densidad de la norma Coguanor NTG 41010h2).

d. Procedimiento de varillado.

Se debe de verter la mezcla a ensayar dentro del recipiente a un tercio y nivelar la superficie con los dedos, luego se debe de varillar la capa de agregado dando 25 golpes con la varilla de apisonado distribuyéndolos sobre la superficie. Luego proceder a llenar el resto del recipiente y nivelar nuevamente, varillar tal y como se hizo con anterioridad. Luego pasar una regla enrasadora para nivelar la superficie. Al varillar la segunda vez no hay que atravesar la primera capa previamente apisonada.

Completado el proceso de varillado de la mezcla se procede a determinar la masa del recipiente, más su contenido y por separado la masa del recipiente, con una variación de 0.05 kg.

e. Cálculo de la densidad aparente:

Para el cálculo de la densidad aparente se utiliza la siguiente fórmula:

$$M = (G-T) / V \quad \text{o} \quad M = (G-T) F$$

En donde:

- M = Densidad aparente Kg/m<sup>3</sup>
- G = Masa de los agregados más el recipiente, kg (lb)
- T = Masa del recipiente, kg (lb)
- V = Volumen del recipiente m<sup>3</sup>
- F = Factor para el recipiente m<sup>-3</sup>

El cálculo anterior de la densidad aparente es para agregados que fueron sometidos a condiciones de secado en horno. Si se desea obtener la densidad aparente en condiciones saturadas de superficie seca (SSS), se debe utilizar la siguiente fórmula.

$$MSSD= M[(1+(A/100))] \quad (3)$$

En donde:

- MSSD= Densidad aparente de los agregados en condición SSD kg/m<sup>3</sup>
- A=% de absorción determinada de acuerdo con el Método de ensayo C 127, o el Método de ensayo C 128.

El cálculo del contenido de vacíos se puede determinar posterior a obtener la densidad aparente de la mezcla a ensayar por medio de la siguiente fórmula.

$$\% \text{ de vacíos} = 100 [(S \times W) - M] / (S \times W) \quad (4)$$

En donde:

- M= Densidad aparente de los agregados kg/ m<sup>3</sup> (lb/pie<sup>3</sup>)
- S= Densidad relativa (base seca) el cual se determina de acuerdo con el método de ensayo C 127, o el Método de ensayo C 128.
- W= Densidad del b, 998 kg/ m<sup>3</sup> (62.3 lb/pie<sup>3</sup>)

Volumen del recipiente.

$$V= (W-M)/D$$

Cálculo del volumen del recipiente:

$$F= D/(W-M)$$

En donde:

- V= Volumen del recipiente, m<sup>3</sup> (pies cúbicos)
- W= Densidad del agua para la temperatura en kg/m<sup>3</sup> (lb/pie cúbico)
- F= Factor para el recipiente, 1/m<sup>3</sup> (1/pie<sup>3</sup>)

6. Ensayo de medición de la absorción de agua del adoquín. ASTM C140:

En este ensayo se busca poder calcular la cantidad total de absorción del adoquín sometiéndose a una sumersión completa en agua por un determinado tiempo. Los especímenes para ensayar son colocados en agua a una profundidad de la superficie mayor a 150 mm, deben de estar separados unos con otros por lo menos 3 mm, se pueden usar separadores como una malla para lograr mantener la separación entre los especímenes, el agua debe de estar a una temperatura ambiente de entre 15 a 27 grados Celsius. El tiempo de sumersión debe de ser entre 24 a 28 horas.

Los adoquines son pesados dentro del agua por medio de un cable suspendido, el peso sumergido se le conoce como  $W_i$  (peso sumergido).

A la hora de retirar los adoquines del agua se debe de secar el agua de su superficie, y esperar aproximadamente 60 segundos para volver a pesarlos y poder obtener así el valor del peso del adoquín saturado se le conoce como  $W_s$  (peso saturado).

Luego de obtener los pesos sumergidos y los pesos saturados, los adoquines son ingresados en un horno ventilado que trabaja alrededor de los 110 grados Celsius por un total de 24 horas donde se pesan los adoquines con espacios de 2 horas luego de las 24 horas hasta lograr que el peso del adoquín no varíe por más del 0.2% de su peso anterior. A este valor de peso se le conoce como  $W_d$  (Peso después de secado en horno).

a. Cálculo del valor de absorción:

$$[\text{Absorción, kg/ m}^3 = [(w_s-w_d) / (w_s-w_i)] \times 1000]$$

$$\text{Absorción, \% [ ( } w_s-w_d) / w_d] \times 100$$

En donde:

- $W_s$ : Peso del espécimen saturado (kg).
- $W_d$ : Peso del espécimen sumergido (kg).
- $W_i$ : Peso del espécimen secado en horno ventilado (kg).

El valor de absorción según la norma Coguanor NTG 41086 menciona que los adoquines tipo B y C el porcentaje de absorción debe ser menor o igual a un 9 % dejando un valor máximo individual de 9.9 %. Según la norma “Norma NTG 41086 Coguanor”.

## VII. METODOLOGÍA

### A. Materiales y métodos.

Se realizó un estudio experimental, de tipo transversal, en el Centro de Investigación y Desarrollo de Cementos Progreso – CID. Dicho estudio se llevó a cabo durante el mes de agosto del 2020. El CID inició operaciones un 7 de julio de 1992. Como una forma de brindar servicios de laboratorio y asistencia técnica complementaria al sector constructivo. Cuenta con un convenio para apoyar a los estudiantes de último curso del departamento de ingeniería de la Universidad del Valle de Guatemala - UVG, con el fin de realizar ensayos que estén al alcance del laboratorio CID, estos ensayos se brindan de forma gratuita. Los adoquines fueron fabricados en la adoquinera San Carlos, ubicada en el departamento de Chimaltenango, Guatemala. La adoquinera San Carlos es cliente de los productos que comercializa Cementos Progreso, como lo es el piedrín, la arena y el cemento. Los cuales son los componentes principales en la elaboración de los adoquines de concreto. El estudio fue realizado con el apoyo directo de un ingeniero de Cementos Progreso, como asesor de tesis y el ejecutor de los ensayos de laboratorio.

### B. Población.

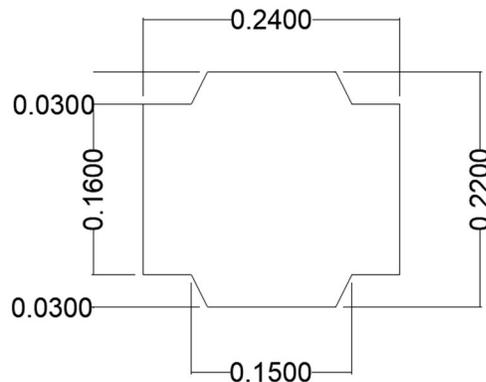
Se fabricaron un total de 27 adoquines de concreto, los cuales fueron fabricados el 19 de agosto del 2020, en la adoquinera San Carlos. Se llevaron a cabo en tres tipos de mezcla, la primera mezcla con una proporción de agregados convencional de adoquín clase A usando el agregado fino de arena convencional, la segunda mezcla se realizó con un 50% de sustitución del agregado fino y la tercera mezcla se realizó con el 100% de sustitución del agregado fino. La sustitución del agregado fino se hizo con escoria siderúrgica obtenida del proceso de fundición de ferroaleaciones y chatarra en las instalaciones de HASA, ubicado en el departamento de Guatemala.

### C. Procedimiento.

En la investigación se utilizó un adoquín tipo cruz, el cual se utiliza para pavimentaciones tanto vehiculares como peatonales en Guatemala, Las dimensiones del adoquín son del tipo clase A, Según la norma “Norma NTG 41086 Coguanor”. Las dimensiones de estos son 24 cm de largo, 22 cm de ancho y 10 cm de alto. El espesor mínimo de los adoquines clase A, es de 8 cm.

Figura No. 07

*Dimensiones del adoquín.*



*Nota.* Elaboración de dimensiones de adoquín realizada en Autocad. Elaboración propia.

Los adoquines clase A son de uso industrial y de tránsito pesado. Con un volumen aproximado por adoquín de 0.00465 m<sup>3</sup>. La resistencia mínima a la flexión del adoquín para un adoquín clase A es de 5.4 MPa, esta es una de las características que lo hacen ser clase A.

Para el diseño de las mezclas primero se obtuvo el peso específico de cada agregado, El agregado de arena y grava se obtuvieron de la pedrinera Agreca. Agreca nos brindó las especificaciones del material utilizado, de estas especificaciones se obtuvo el peso específico de los agregados. Para la escoria siderúrgica se utilizó un recipiente el cual conociéramos su volumen interno, y se llenó a tope con la escoria siderúrgica, luego esta fue pesada. Para obtener el peso específico, se restó el peso del recipiente al peso total, y este peso total fue dividido en el volumen interno del recipiente.

Cuadro No.08

*Agregados de mezclas.*

Agregados de mezclas		
Tipo	Peso específico(Kg/m <sup>3</sup> )	Fuente
Arena	1766.00	Agreca
Grava	1379.00	Agreca
Escoria	2214.29	Propio

*Nota.* En el Cuadro 08, se expresan los pesos específicos de la arena, grava y escoria, Elaboración propia.

Las 3 mezclas se calcularon para poder producir un total de 27 adoquines. Ya que se necesitaron 9 adoquines de cada mezcla para poder realizar los ensayos correspondientes a cada set de 9 adoquines. Se obtuvo el volumen total de un adoquín v: 0.00465 m<sup>3</sup>. Se utilizó una dosificación de 1:2:3, 1 de cemento por 2 de arena por 3 de grava, para cada una de las mezclas, en la proporción del agregado fino fue donde se añadió la escoria en un porcentaje. En los siguientes cuadros se detalla el peso del agregado utilizado en cada una de las mezclas, en el Cuadro 10 describe las cantidades de la mezcla 01, con 0% de escoria, en el Cuadro 11 describe las cantidades de la mezcla 02, con 50% de escoria, en el Cuadro 12 describe las cantidades de la mezcla 03, con 100% de escoria.

Cuadro No.9

*Cálculo de materiales para mezcla - sin escoria.*

Cálculo de materiales para mezcla- SIN ESCORIA					
Agregados	Dosificación 1:2:3	Volumen Unidad m <sup>3</sup>	Volumen Dosificado m <sup>3</sup>	Peso Específico (kg/m <sup>3</sup> )	Peso unidad (kg)
Arena	0.55	0.00465	0.00256	1766.00	4.52
Grava	0.84	0.00465	0.00391	1379.00	5.39
Escoria	0	0	0	2214.29	-

*Nota.* En el Cuadro 09, se expresa la dosificación para cálculo de kg según su peso específico. Elaboración propia.

Cuadro No.10

*Cálculo de materiales para mezcla - 50 % escoria.*

Cálculo de materiales para mezcla- 50% ESCORIA					
Agregados	Dosificación 1:2:3	Volumen Unidad m <sup>3</sup>	Volumen Dosificado m <sup>3</sup>	Peso Específico (kg/m <sup>3</sup> )	Peso unidad (kg)
Arena	0.275	0.00465	0.001279	1766.00	2.26
Grava	0.84	0.00465	0.003908	1379.00	5.39
Escoria	0.275	0.00465	0.001279	2214.29	2.83

*Nota.* En el Cuadro 10, se expresa la dosificación para cálculo de kg según su peso específico. Elaboración propia.

Cuadro No. 11

*Cálculo de materiales para mezcla - 100% escoria.*

Cálculo de materiales para mezcla- 100% ESCORIA					
Agregados	Dosificación 1:2:3	Volumen Unidad m <sup>3</sup>	Volumen Dosificado m <sup>3</sup>	Peso Específico (kg/m <sup>3</sup> )	Peso unidad (kg)
Arena	0	0	0	1766.00	-
Grava	0.84	0.00465	0.003910	1379.00	5.39
Escoria	0.55	0.00465	0.00256	2214.29	5.67

*Nota.* En el Cuadro 11, se expresa la dosificación para cálculo de kg según su peso específico. Elaboración propia.

Cuadro No.12

*Peso total mezclas.*

Total de peso de agregados para 27 adoquines (kg)			
Tipo	Mezcla 1	Mezcla 2	Mezcla 3
Arena	121.99	61.00	-
Grava	145.49	145.49	145.49
Escoria	-	76.48	152.96

*Nota.* En el Cuadro 12, esta expresado la dosificación en Kg de cada agregado. Elaboración propia.

Luego se procedió a visitar el complejo industrial HASA para la obtención de la escoria siderúrgica. HASA se dedica a la fabricación de objetos de hierro fundido, como tapaderas, rejillas, bancas, entre otros.

Figura No. 8

*Montículo de escoria siderúrgica*



*Nota.* Escoria acumulada en la parte frontal del complejo. Elaboración propia.

Figura No. 9 *Hasa, complejo industrial*



*Nota.* Elaboración propia, Horno para la fundición de Escoria.

En el horno de cuchara se funde la chatarra que recolecta la empresa, la escoria flota en la parte superior y el operario la retira una vez se haya fundido por completo la chatarra ingresada en el horno. En la siguiente Figura 09, se puede ver escoria recién retirada del horno, tiene un aspecto rocoso y es quebradiza.

Figura No. 10

*Restos de escoria de la fundición.*



*Nota.* Elaboración propia.

La escoria se recolectó en bolsas, para poder llevarla a una mezcladora de concreto en la cual se mantuvo girando por aproximadamente 20 minutos, en los cuales se buscaba que los áridos de escoria se separaran y llegaran a un tamaño menor.

Figura No.11

*Mezcladora de concreto.*



*Nota.* Elaboración propia, elaboración de las mezclas.

Luego de pasar la escoria por la máquina mezcladora de concreto se procedió a cernir el agregado por medio de un tamiz No. 4 (4.8 mm). Para poder extraer todo el agregado fino de la escoria siderúrgica.

Figura No. 12

*Cernido de escoria con tamiz No.4 (4.8 mm)*



*Nota.* Elaboración propia.

El procedimiento de cernido de los materiales se realizó de manera manual utilizando, palas, cubetas, cernidora y una mezcladora de concreto para mezclar de una forma homogénea las mezclas.

Figura No. 13

*Cernido de los materiales en bolsas de 50 libras.*



*Nota.* Elaboración propia.

Luego se procedió a colocar todo el agregado fino cernido en costales de 50 libras, para su fácil transporte. Una vez teniendo la cantidad total de escoria necesaria para la elaboración de los adoquines. Se procedió a pesar y generar bolsas de 50 libras con el resto de los agregados. Una vez teniendo las cantidades totales, se incorporaron los agregados de cada una de las mezclas en la mezcladora de concreto para poder crear cada una de las mezclas con los porcentajes de escoria definidos. En la Figura 14. se pueden observar las tres mezclas generadas.

Figura No. 14

*Etiquetado de las 3 mezclas.*



*Nota.* Mezcla 1, sin escoria. Mezcla 2, 50% de escoria y Mezcla 3, 100% de escoria.

Cuadro No. 13

*Cuadro de cantidades de cemento.*

Cuadro de cantidades de cemento (kg) y agua (litros) por mezcla				
	mezcla 01	mezcla 02	mezcla 03	Total
Cemento (kg) (350kg/m <sup>3</sup> )	1.63	1.63	1.63	-
Agua (litros) (180Lt/m <sup>3</sup> )	0.84	0.84	0.84	-
Unidad	9.00	9.00	9.00	27.00
Cemento * Unidad (kg)	14.67	14.67	14.67	44.01
Agua * Unidad (Litros)	7.54	7.54	7.54	22.61

*Nota.* En el Cuadro 13 se calculó el cemento y agua total para todos los 27 adoquines. Elaboración propia.

Se procedió a llevar las 3 mezclas de agregados a la adoquinera San Carlos, ubicada en el departamento de Chimaltenango, Guatemala. En el lugar se procedió a pesar el agua y el cemento requerido para cada mezcla. Luego se elaboró cada una de las mezclas con cemento y agua requeridos en la mezcladora de eje horizontal (máquina artesanal) de concreto. El concreto utilizado para las mezclas fue brindado por la adoquinera San Carlos. El utilizado fue el ARI bloc de cementos progresos.

Figura No. 15

*Saco de cemento para adoquines de concreto.*



*Nota.* El saco de cemento es el utilizado en las instalaciones de la adoquinera San Carlos.

Al tener listas cada una de las mezclas de concreto, se procede a verter el concreto en la máquina vibradora ti con molde para adoquines tipo “cruz” el operario de la máquina baja una palanca para apisonar los adoquines al mismo tiempo que está vibra para lograr verter la mezcla completa repartida en 9 unidades de adoquines.

Figura No. 16

*Máquina de vibradora de adoquines*



*Nota.* Máquina artesanal, ubicada en la adoquinera San Carlos. Elaboración propia.

Una vez el adoquín pasa por su proceso de vibrado y compactación, es retirado de la maquinaria por el operador, y es apilado en grupos según haya sido la mezcla de la cual procedía el adoquín. Estos son colocados en el exterior por un total de 14 días. En este tiempo ya es apropiado

transportar los adoquines para que estos no sufran desfragmentaciones que puedan afectar la integridad del adoquín.

Figura No. 17

*Fotografía al lado de los 27 adoquines elaborados.*



*Nota.* Elaboración propia.

Los adoquines fueron retirados de la adoquinera San Carlos, estos fueron transportados hacia las instalaciones del laboratorio CETEC de Cementos Progreso. Para su transporte fueron colocados en grupos según su tipo de mezcla.

Figura No. 18

*Adoquinera San Carlos, Chimaltenango, Guatemala*



*Nota.* Elaboración propia.

En las instalaciones de Cementos Progreso, se procedió a etiquetar cada uno de los adoquines según su tipo de mezcla. En total se elaboraron 9 adoquines de cada una de las mezclas, obteniendo un total de 27 adoquines. Estos fueron guardados y etiquetados según su mezcla en las instalaciones del CETEC, hasta que los especímenes cumplieran con 28 días de su elaboración.

Figura No. 19

*Etiquetado de los 3 grupos de adoquines en CETEC*



*Nota.* Elaboración propia.

Los adoquines y las 2 bolsas de mezcla fueron ingresadas a las instalaciones del laboratorio CETEC en donde se procedió a hacer los ensayos de laboratorio.

Figura No. 20

*Centro CETEC, en Cementos Progreso.*



*Nota.* Elaboración propia,

Los ensayos de laboratorio fueron realizados en un orden en específico debido a que únicamente se contaba con una cantidad total de 27 adoquines y con 3 bolsas de 50 lb de las mezclas realizadas.

El primer ensayo realizado a las mezclas fue el de granulometría con base en la norma COGUANOR NTG-41010 h1 no se le realizó un ensayo de granulometría a la escoria individualmente ya que por su dureza tapaba los tamices, por lo que CETEC recomendó no realizar el ensayo en la escoria individualmente, este fue elaborado a los 3 tipos de mezclas. Obteniendo así la granulometría de cada una de estas. Cada una de las mezclas fueron nombradas como “MEZCLA 01” a la mezcla control esta mezcla no contaba con escoria, “MEZCLA 02” a esta mezcla se le incorporó un 50% de escoria en la sustitución del agregado fino, “MEZCLA 03” esta mezcla se le incorporó un 100% del agregado fino requerido de escoria siderúrgica.

Una vez realizado el ensayo de granulometría se procedió a realizar el ensayo de densidad aparente con base en la norma COGUANOR NTG-41010 h2, obteniendo así la densidad suelta en  $\text{kg/m}^2$ , y la densidad compactada en  $\text{kg/m}^2$ . de cada una de las mezclas.

Para los adoquines se les realizó 3 tipos de ensayo, el primer ensayo que fueron sometidos los adoquines fue el de densidad relativa y absorción con base en la norma COGUANOR NTG 41054 - ASTM C-140. En este ensayo se obtuvo la densidad en  $\text{kg/m}^3$  de los adoquines, su nivel de absorción en  $\text{kg/m}^3$ , obteniendo así su porcentaje de absorción. Para este ensayo se tomaron 3 adoquines de cada una de las mezclas. Para ensayar un total de 9 adoquines en el ensayo de densidad relativa y absorción.

Figura No. 21

*Etiquetado de los 3 grupos de adoquines en Cetec.*



*Nota. Elaboración propia.*

Figura No. 22

*Etiquetado de los 3 grupos de adoquines en Cetec.*



*Nota. Elaboración propia.*

Luego se procedió a realizar el ensayo de ruptura según la norma COGUANOR NTG 41087 h1. Los adoquines son sometidos a una prensa hidráulica, la cual aplica una carga uniforme, hasta lograr llevarlos a su ruptura para así obtener su valor resistencia a la flexión en  $\text{kg}/\text{cm}^2$ . Se realizó el ensayo en 9 adoquines, 3 de cada una de las mezclas.

Figura No. 23

*Etiquetado de los 3 grupos de adoquines en Cetec*



*Nota.* Elaboración propia.

Para los últimos 9 adoquines se les realizó el ensayo de resistencia al desgaste por abrasión de adoquines de concreto, mediante ensayo de disco ancho metálico, según la norma COGUANOR NTG 41087 h2. Este fue realizado cuando los adoquines cumplieron 28 días desde su hechura, En este ensayo se logró obtener el desgaste sobre la superficie del adoquín en mm.

Figura No.24

*Adoquines mezcla 01. Desgaste sobre superficie de 3 adoquines de mezcla 01.*



*Nota.* Elaboración propia.

Figura No.25

*Adoquines mezcla 02. Desgaste sobre superficie de 3 adoquines de mezcla 02.*



*Nota.* Elaboración propia.

Figura No. 26 *Adoquines mezcla 03. Desgaste sobre superficie de 3 adoquines de mezcla 03.*



*Nota.* Elaboración propia.

## VIII. RESULTADOS

### A. Granulometría de las mezclas de concreto.

Se elaboraron tres diferentes mezclas, que fueron nombradas como 01, 02 y 03. La mezcla 01 es la mezcla con 0% de escoria siderúrgica, la mezcla 02 tiene un 50% de escoria, y la mezcla 03 tiene un 100%. A estas tres mezclas se les realizó un análisis granulométrico, para poder comparar si existe una variación significativa entre cada una de las mezclas.

En el Cuadro 14, se presenta la tabla granulométrica de la mezcla 01.

Cuadro No. 14

*Mezcla 01- Cuadro granulometría 0 % de escoria siderúrgica*

Denominación	Abertura (mm)	Masa retenida (g)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasa
1/2	12.50	0.00	0%	0%	100%
3/8	9.50	12.40	2%	2%	98%
No. 4	4.75	235.10	45%	48%	52%
No.8	2.36	77.60	15%	63%	37%
No. 16	1.18	51.00	10%	72%	28%
No. 30	0.60	41.20	8%	80%	20%
No. 50	0.30	35.50	7%	87%	13%
No. 100	0.15	20.80	4%	91%	9%
Fondo	Fondo	46.5	9%	100%	0%
<b>Total</b>		<b>520.10</b>	<b>100%</b>		

*Nota.* En el Cuadro 14 de granulometría de la mezcla 01, se presentan los valores del % retenido en cada uno de los tamices. En esta mezcla se cuenta con 0% de la escoria siderúrgica. El peso total de la mezcla es de 520.10 gramos.

En el Cuadro 15, se presenta la tabla granulométrica de la mezcla 02.

Cuadro No. 15

*Mezcla 02 - Cuadro granulometría 50% de escoria siderúrgica*

Denominación	Abertura (mm)	Masa retenida (g)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasa
1/2	12.50	0.00	0%	0%	100%
3/8	9.50	27.40	5%	5%	95%
No. 4	4.75	303.30	53%	58%	42%
No.8	2.36	73.60	13%	71%	29%
No. 16	1.18	54.60	10%	80%	20%
No. 30	0.60	37.10	6%	87%	13%
No. 50	0.30	26.10	5%	91%	9%
No. 100	0.15	18.50	3%	94%	6%
Fondo	Fondo	32.1	6%	100%	0%
<b>Total</b>		<b>572.70</b>	<b>100%</b>		

*Nota.* En el Cuadro 15 de granulometría de la mezcla 02, se presentan los valores del % retenido en cada uno de los tamices. En esta mezcla se cuenta con 50% de la escoria siderúrgica. El peso total de la mezcla es de 572.70 gramos. Mayor a la mezcla 01.

En el Cuadro 16, se presenta la tabla granulométrica de la mezcla 03.

Cuadro No.16

*Mezcla 03 - Cuadro granulometría – 100% de escoria siderúrgica.*

Denominación	Abertura (mm)	Masa retenida (g)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasa
1/2	12.50	0.00	0%	0%	100%
3/8	9.50	8.90	2%	2%	98%
No. 4	4.75	261.30	45%	47%	53%
No.8	2.36	63.60	11%	58%	42%
No. 16	1.18	83.20	14%	72%	28%
No. 30	0.60	54.40	9%	82%	18%
No. 50	0.30	37.00	6%	88%	12%
No. 100	0.15	26.00	5%	93%	7%
Fondo	Fondo	41.5	7%	100%	0%
<b>Total</b>		<b>575.90</b>	<b>100%</b>		

*Nota.* En el Cuadro 16 de granulometría de la mezcla 03, se presentan los valores del % retenido en cada uno de los tamices. En esta mezcla se cuenta con 50% de la escoria siderúrgica. El peso total de la mezcla es de 575.90 gramos. Mayor a la mezcla 02 y mayor a la mezcla 01.

## B. Densidad aparente.

Las tres mezclas que se prepararon para nuestra realización de adoquines se pasaron por el ensayo de densidad aparente, en este ensayo se quiere determinar los valores de densidad tanto del material suelto como compactado según la norma COGUANOR NTG-41010 h2.

En el Cuadro 17, se presentan los valores de densidad aparente de cada una de las mezclas.

Cuadro No. 17

*Comparativo de densidad aparente- NTG 41010 h2*

No.Mezcla	Fecha Ensayo	Suelta kg/m3	Compactada kg/m3
MEZCLA 1	7/09/20	1760.0	1940.0
MEZCLA 2	7/09/20	1810.0	2010.0
MEZCLA 3	7/09/20	2100.0	2290.0

*Nota.* El Cuadro 17 muestra en comparativa los valores de densidad de las 3 mezclas ensayadas. Todas fueron realizadas en la misma fecha, la densidad de las mezclas fue en aumento a medida que el % de escoria en la muestra incremento, Podemos observar que tanto en la densidad suela como la compactada la densidad aumenta entre cada una de las mezclas.

## C. Resistencia al desgaste por abrasión de adoquines de concreto.

De los 28 especímenes realizados se apartaron 3 adoquines de cada una de las mezclas para poder ensayarlos, en la prueba de resistencia al desgaste por medio del disco ancho metálico. Cada uno de los adoquines fue ensayado en la misma fecha, y 28 días después de su hechura.

En el Cuadro18, se presentan los valores de desgaste por abrasión de cada una de las mezclas.

Cuadro No. 18

*Comparativo de desgaste por Abrasión mm.*

No. Mezcla	Fecha	Edad (días)	Fecha	Abrasión (mm)
MEZCLA 1	20/08/20	28	17/09/20	20.50
MEZCLA 1	20/08/20	28	17/09/20	22.00
MEZCLA 1	20/08/20	28	17/09/20	20.00
Promedio				20.83
MEZCLA 2	20/08/20	28	17/09/20	18.00
MEZCLA 2	20/08/20	28	17/09/20	17.00
MEZCLA 2	20/08/20	28	17/09/20	17.50
Promedio				17.50
MEZCLA 3	20/08/20	28	17/09/20	18.00
MEZCLA 3	20/08/20	28	17/09/20	16.00
MEZCLA 3	20/08/20	28	17/09/20	15.50
Promedio				16.5

*Notas.* La tabla del comparativo se separa en grupos de 3 adoquines, los cuales fueron seleccionados aleatoriamente del grupo de 9 adoquines de cada una de las mezclas, y estos fueron ensayados según su norma correspondiente. Los valores de abrasión disminuyeron a medida que la cantidad de % de escoria en las mezclas fue mayor. La mezcla 01 obtuvo sus valores por encima de los 20.83 mm, la segunda mezcla por encima de los 17.5 mm, y la mezcla 3 por encima de los 16.5 mm.

#### D. Resistencia a la flexión con un punto de carga.

De los 28 especímenes realizados se apartaron 3 adoquines de cada una de las mezclas para poder ensayarlos, en la prueba de resistencia a la flexión por medio de un punto de carga. Cada uno de los adoquines fue ensayado en la misma fecha, y 28 días después de su hechura.

En el Cuadro 19, se presentan los valores del módulo de ruptura de cada uno de los especímenes de las mezclas.

Cuadro No. 19

*Comparativo de resistencia a la FLEXIÓN - NTG 41081 h1*

No. Mezcla	Fecha	Edad (días)	Fecha	Masa Kg	Largo (mm)	Ancho(mm)	Alto(mm)	Módulo Rotura	Módulo Rotura (Kg/cm <sup>2</sup> )	Clase A-Módulo Rotura (N/mm <sup>2</sup> )
MEZCLA 1	20/08/20	28	17/09/20	11.10	242.00	161.00	102.00	6.80	70.00	
MEZCLA 1	20/08/20	28	17/09/20	11.20	241.00	161.00	102.00	10.60	108.00	
MEZCLA 1	20/08/20	28	17/09/20	11.30	241.00	161.00	101.00	11.70	119.00	
<b>Promedio</b>				11.20	241.33	161.00	101.67	9.70	99.00	<b>5.4</b>
MEZCLA 2	20/08/20	28	17/09/20	11.90	246.00	162.00	103.00	6.20	63.00	
MEZCLA 2	20/08/20	28	17/09/20	11.80	244.00	164.00	103.00	7.20	73.00	
MEZCLA 2	20/08/20	28	17/09/20	12.00	245.00	163.00	102.00	10.30	105.00	
<b>Promedio</b>				11.90	245.00	163.00	102.67	7.90	80.33	<b>5.4</b>
MEZCLA 3	20/08/20	28	17/09/20	12.40	245.00	163.00	102.00	9.50	97.00	
MEZCLA 3	20/08/20	28	17/09/20	12.10	244.00	163.00	103.00	8.00	82.00	
MEZCLA 3	20/08/20	28	17/09/20	12.20	244.00	163.00	102.00	6.10	62.00	

*Nota.* La tabla del comparativo se separa en grupos de 3 adoquines, los cuales fueron seleccionados aleatoriamente del grupo de 9 adoquines de cada una de las mezclas, y estos fueron ensayados según su norma correspondiente. Los valores de resistencia a la flexión disminuyen a medida que la cantidad de % de escoria en las mezclas fue mayor. La mezcla 01 obtuvo sus valores promedio de 9.70 N/cm<sup>2</sup> mm, la segunda mezcla valores promedio de 7.90 N/cm<sup>2</sup>, y la mezcla 3 valores promedio de 7.86 N/cm<sup>2</sup>.

## E. Densidad relativa y absorción.

De los 28 especímenes realizados se apartaron 3 adoquines de cada una de las mezclas para poder ensayarlos, en la prueba de densidad relativa y absorción. Cada uno de los adoquines fue ensayado en la misma fecha, y 28 días después de su hechura.

En el Cuadro 20, se presentan los valores de densidad y absorción de cada uno de los especímenes de las mezclas.

Cuadro No. 20

*Comparativo de absorción - NTG 41081 h1*

No. Mezcla	Fecha	Edad (días)	Fecha	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Absorción (kg/m <sup>3</sup> )	Absorción %
MEZCLA 1	20/08/20	28	17/09/20	2302.00	82.00	4.00
MEZCLA 1	20/08/20	28	17/09/20	2325.00	77.00	3.00
MEZCLA 1	20/08/20	28	17/09/20	2284.00	90.00	4.00
Promedio				2303.67	83.00	3.67
MEZCLA 2	20/08/20	28	17/09/20	2408.00	103.00	4.00
MEZCLA 2	20/08/20	28	17/09/20	2420.00	98.00	4.00
MEZCLA 2	20/08/20	28	17/09/20	2440.00	95.00	4.00
Promedio				2422.67	98.67	4.00
MEZCLA 3	20/08/20	28	17/09/20	2529.00	100.00	4.00
MEZCLA 3	20/08/20	28	17/09/20	2476.00	107.00	4.00
MEZCLA 3	20/08/20	28	17/09/20	2487.00	111.00	4.00
Promedio				2497.33	106.00	4.00

*Nota.* La tabla del comparativo se separa en grupos de 3 adoquines, los cuales fueron seleccionados aleatoriamente del grupo de 9 adoquines de cada una de las mezclas, y estos fueron ensayados según su norma correspondiente. Los valores de densidad fueron aumentando a medida que la cantidad de % de escoria en las mezclas fue mayor. La mezcla 01 obtuvo sus valores promedio de 2303.67 kg/m<sup>3</sup> mm, la segunda mezcla valores promedio de 2422.67 kg/m<sup>3</sup>, y la mezcla 3 valores promedio de 2497.33 kg/m<sup>3</sup>. En los valores de % de absorción únicamente la mezcla 01 obtuvo un valor menor al 4%. Luego la mezcla 02 y mezcla 03 obtuvieron el mismo % de absorción.

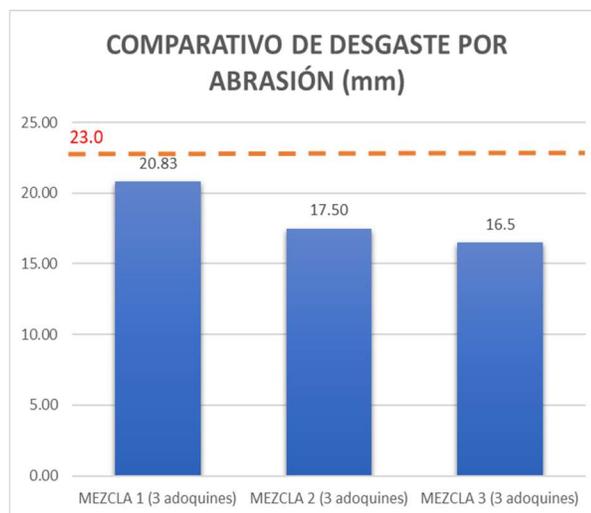
## IX. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### A. Resistencia al desgaste por abrasión de adoquines de concreto.

El desgaste a la abrasión de los adoquines mediante corindón y disco metálico ancho no debe de sobrepasar el valor de 23 mm Figura 17. Ninguno de los 9 especímenes de las 3 mezclas sobrepasa esta cantidad de desgaste, Por lo que podemos intuir con los resultados que a mayor % escoria en el adoquín mayor será su resistencia al desgaste. Esto se debe a que el material de escoria es un material árido de mayor dureza que la arena de río, lo que le brinda una característica de mayor resistencia al desgaste, esta característica es un valor agregado al uso de la escoria. Ya que hará que el adoquín con mayor % de escoria presente una mayor resistencia a la intemperie y el uso de este.

Figura No. 27

*Gráfica de comparativo de desgaste por abrasión (mm) - NTG 41087 h2.*



*Nota.* Se grafica la línea máxima permitida para desgaste 23 mm. Cada barra representa el promedio de (3) adoquines que fueron ensayados para cada uno de las mezclas. Mezcla 01 (0% escoria), Mezcla 02 (50% escoria), Mezcla 03 (100% escoria).

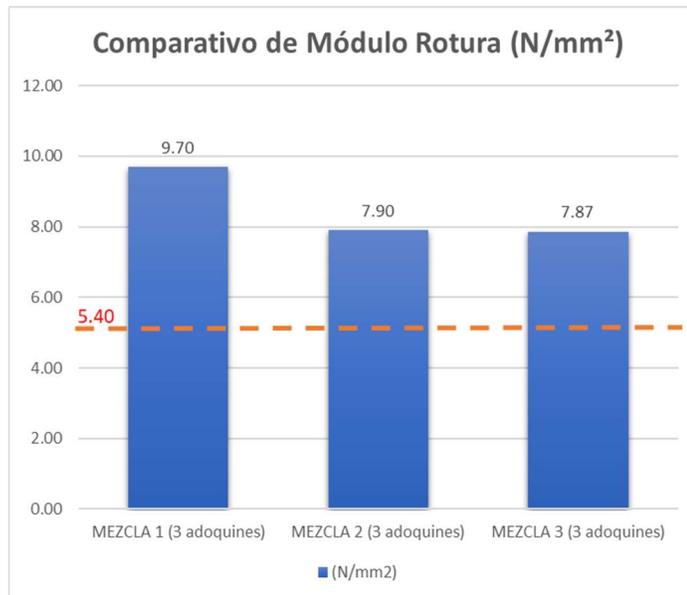
## B. Resistencia a la flexión con un punto de carga.

La resistencia a la flexión o el módulo de rotura en adoquines no debe de ser menor que 5.4 N/mm<sup>2</sup>, para ser considerado un adoquín de Clase A (uso industrial y tránsito pesado). Ninguno de los 9 adoquines obtuvo una resistencia menor que esto. Por lo que podemos intuir con los resultados que a mayor porcentaje de escoria siderúrgica en la resistencia a la flexión disminuye, pero no de manera lineal, ya que entre el % de 50 a 100% la diferencia en la resistencia fue no significativa.

Los valores de resistencia no fluctúan mucho debido a que las 3 mezclas fueron realizadas el mismo día, con la misma maquinaria y con la misma procedencia de materiales únicamente variando la cantidad de % de escoria. La escoria, al ser un material con mayor dureza, puede tornarse un poco más frágil que su contraparte la arena de río. El contenido de agua utilizado fue calculado para cada una de las mezclas, pero debido a que la mezcladora era una máquina artesanal, el contenido de agua no pudo ser controlado como hubiera sido en un equipo industrial, este factor pudo llegar a afectar el valor de resistencia entre una mezcla y otra.

Figura No. 28

*Comparativo de resistencia a la FLEXIÓN - NTG 41081 h1.*



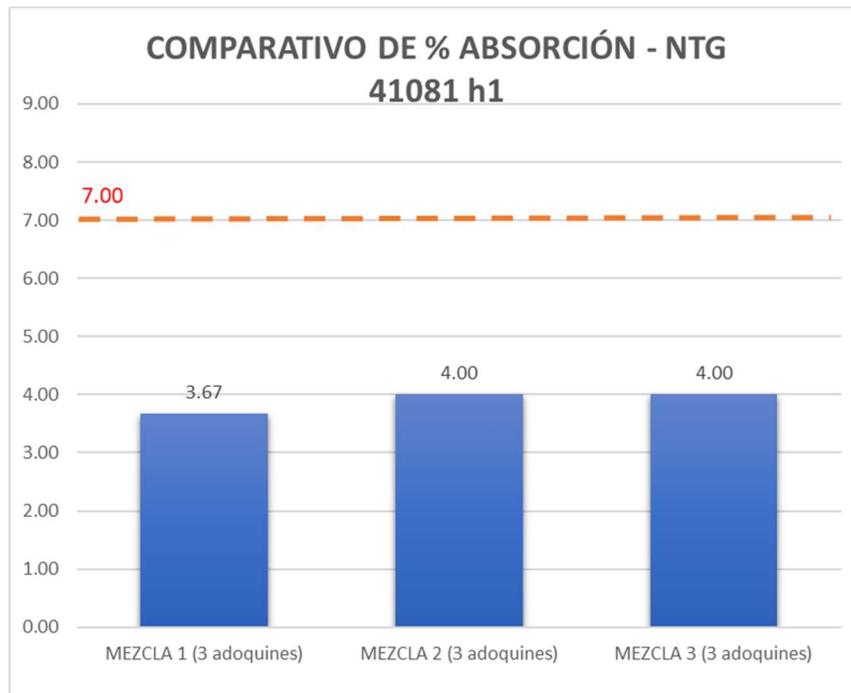
*Nota.* Se grafica la línea mínima de flexión de 5.40 N/mm<sup>2</sup>. Cada barra representa el promedio de (3) adoquines que fueron ensayados para cada uno de las mezclas. Mezcla 01 (0% escoria), Mezcla 02 (50% escoria), Mezcla 03 (100% escoria).

### C. Porcentaje de absorción de adoquines.

La absorción de los adoquines no debe de ser mayor al 7% de su peso total. Para poder ser considerado un adocuin de Clase A. Ninguno de los 9 adoquines ensayados obtuvo valores por encima del 7% de absorción. Se obtuvo una variación en los resultados entre los adoquines con y sin escoria, los adoquines con escoria presentaron un % similar de agua entre las mezclas 02 y 03. La diferencia no es un % considerable como para determinar que el uso de escoria en la mezcla incrementa el % de absorción del mismo, pero sí podemos intuir que el adocuin puede llegar a tener más espacios vacíos que en la mezcla 01. Pero no es un factor que aumenta de forma lineal a medida que aumenta el % de escoria en la mezcla. Todos los adoquines fueron fabricados en una mezcla humedad por medio de una vibradora mecánica manual, y al ser retirados estos son expuestos directamente sin formaleta.

Figura No. 29

*Comparativo de absorción - NTG 41081 h1.*



*Nota.* Se grafica la línea máxima de absorción de 7.00 N/mm<sup>2</sup>. Cada barra representa el promedio de (3) adoquines que fueron ensayados para cada una de las mezclas.

Cuadro No. 21.

*Tabla de comparación de pesos de adoquines.*

Cuadro de pesos en Kg de los adoquines según su mezcla				
No. Mezcla	Fecha	Edad (días)	Fecha	Masa Kg
<b>MEZCLA 1</b>	20/08/2020	28	17/09/2020	11.10
<b>MEZCLA 1</b>	20/08/2020	28	17/09/2020	11.20
<b>MEZCLA 1</b>	20/08/2020	28	17/09/2020	11.30
<b>Promedio</b>				11.20
<b>MEZCLA 2</b>	20/08/2020	28	17/09/2020	11.90
<b>MEZCLA 2</b>	20/08/2020	28	17/09/2020	11.80
<b>MEZCLA 2</b>	20/08/2020	28	17/09/2020	12.00
<b>Promedio</b>				11.90
<b>MEZCLA 3</b>	20/08/2020	28	17/09/2020	12.40
<b>MEZCLA 3</b>	20/08/2020	28	17/09/2020	12.10
<b>MEZCLA 3</b>	20/08/2020	28	17/09/2020	12.20
<b>Promedio</b>				12.23

*Nota.* Comparativo de pesos promedio en Kg según su mezcla.

## D. Ventajas y desventajas del uso de la escoria siderúrgica en la elaboración de adoquines.

La escoria es un desecho árido producido por la industria de la metalurgia, la producción de escoria a nivel nacional va en aumento ya que la industria de la construcción y el uso de estructuras metálicas es cada vez mayor. Guatemala cuenta con el parque industrial más grande de Centroamérica.

### 1. Ventajas:

- El árido de escoria es producido en vastas cantidades en Guatemala.
- El árido es considerado un desperdicio de la industria por lo que es posible conseguirlo sin necesidad de tener que comprarlo.
- Puede ser clasificado según sus diámetros para ser utilizarlo en diferentes aplicaciones.

- Puede ser sustituido hasta en un 0 - 100% por la arena, y este no presenta diferencias significativas con el uso de la arena de río. Ya que entre 50% y 100% de escoria no presentan un incremento o decremento de las características obtenidas con la mezcla de 50% de escoria.
- La resistencia al desgaste es mayor en el caso de los adoquines.
- El nivel de absorción de agua es menor, en comparación a otros tipos de agregado.
- La resistencia a la flexión sobrepasa los valores mínimos requeridos para adoquín clase A.
- Se aporta a la limpieza del área que utilizan los bancos de escoria siderúrgica en Guatemala, ya que estos residuos no tienen un uso específico en la industria de Guatemala.
- Se puede llegar a disminuir la explotación de bancos naturales para la obtención de arena, los cuales destruyen el hábitat natural.
- Se puede evaluar el uso de escoria en múltiples aplicaciones que con lleven el uso de concreto, como lo son todas las aplicaciones de concreto en prefabricados.
- El árido de escoria presenta muchos beneficios antes el uso de agregado fino convencional de arena de río.

## 2. Desventajas:

- El peso de la escoria es mayor en un 15% que el de la arena, por lo que se vería un incremento en el coste del transporte.
- Los adoquines presentan un incremento de su peso propio en un 15%, esto se podría reflejar en el costo del transporte de los mismos.
- La escoria debe de ser clasificada según su diámetro de partícula para poder ser utilizada.
- Las partículas de escoria pueden llegar a dañar los tamices en los ensayos de granulometría, debido a su dureza y secciones afiladas.
- La escoria presenta distintos tipos de metales y aleaciones, ya que depende de su origen, el tipo de material que se recicle en el horno de cuchara. Por lo que sus propiedades podrían llegar a variar

## G. FODA de la escoria siderúrgica.

<b>Fortalezas</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Es un recursos abundante</li><li>• Cuenta con propiedades física s y químicas.</li><li>• Disminuir la necesidad de extraer un producto natural.</li></ul>	<b>Oportunidades</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• la industria de la construcción se encuentra en crecimiento.</li><li>• Innovación tecnológica.</li><li>• Impulsar al cuidado del medio ambiente.</li></ul>
<b>Debilidades</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• La calidad puede ser variable.</li><li>• Percepción negativa al ser un subproducto.</li><li>• Falta de infraestructura de reciclaje.</li></ul>	<b>Amenazas</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Competencia con otros materiales.</li><li>• Cambios en la estructura siderúrgica.</li><li>• Cambios en las regulaciones ambientales.</li></ul>

## X. CONCLUSIONES

1. Se determinaron 4 características comunes en la evaluación de adoquines para su uso comercial en Guatemala, se analizaron las características por medio de ensayos de laboratorio de densidad aparente, desgaste de superficie, resistencia a la flexión, y porcentaje de absorción.
2. Se realizó una mezcla control “Mezcla 01”, la cual fue realizada con una proporción y cemento más utilizado en Guatemala, se elaboraron los adoquines en un taller de adoquines con máquinas artesanales y materiales certificados para lograr obtener un adoquín lo más cercano a los producidos actualmente por la industria de los prefabricados. La “Mezcla 01” tenía 0% de escoria siderúrgica, la “Mezcla 02” tenía 50% de escoria siderúrgica, y la “Mezcla 03” tenía 100% de escoria siderúrgica. La diferencia más notable entre las 3 mezclas fue la densidad aparente, entre más escoria tenía la mezcla mayor fue su valor de densidad, lo cual se debe a que la escoria tiene un peso específico mayor que el de la arena de río.
3. Se realizaron ensayos de laboratorio a los adoquines realizados en los 3 tipos de mezclas y se realizaron tablas y cuadros comparativos por cada una de las características. Se logró comprobar que el uso de la escoria siderúrgica como agregado fino si puede ser sustituida entre 50% a un 100% como agregado fino en la mezcla, si cumple con las características mínimas para ser considerado un adoquín clase “A”.
4. Sí se puede sustituir al 100% el agregado fino en las mezclas de concreto prefabricado para la elaboración de adoquines. Ya que los adoquines presentan las características mínimas requeridas por la norma nacional. Y son equivalentes a las características del uso del agregado fino convencional.
5. No se vio un decremento o incremento sustancial en las características del adoquín al usar 50 % o 100 % de la escoria por lo que su adopción a las mezclas se puede realizar sin restricción de porcentaje.

6. La característica que presentó una mayor ventaja ante la arena fue en los ensayos de desgaste, en donde los adoquines con un 50 % y 100 % , contaron entre un 16 y 20 % mayor resistencia al desgaste.
7. Todos los valores obtenidos en los ensayos entraron en los parámetros mínimos necesarios, ningún valor quedó fuera del margen esperado para cada una de las mezclas. A pesar de que se utilizó una máquina vibro compactadora artesanal.

## XI. RECOMENDACIONES

1. Para que la obtención sea de una manera más eficiente se debe de poder capacitar a los productores de escoria en Guatemala, para que puedan tomar en cuenta las posibles aplicaciones de la escoria en el mercado de productos prefabricados.
2. La escoria se debe separar por tamices para la obtención del agregado fino requerido, pasar toda la escoria por un tamiz no.4.
3. Obtener siempre el peso específico de la escoria siderúrgica a utilizar ya que esta puede llegar a variar.
4. Se debe de realizar la fundición de todos los especímenes a evaluar el mismo día para mejorar así las variaciones en las mezclas. Y los ensayos deben de ser realizados el mismo día ya sea 14 o 28 días después de su fundición.
5. Se recomienda el uso de una máquina vibrocompactadora de uso industrial, para que el cálculo de los agregados y agua sea de la mejor manera posible.
6. Se recomienda realizar 40 adoquines de cada una de las mezclas, para tener un total de 120 adoquines, y ensayarlos para tener un espectro mayor de las variaciones en las características del uso de la escoria. En esta investigación se realizó únicamente 3 adoquines para cada ensayo ya que era el mínimo requerido por la norma y para reducción de costos en la elaboración del material y ensayos.
7. Se recomienda realizar diseño de mezcla, variación escoria, y sus respectivos ensayos de laboratorio, para ver el desempeño de la mezcla.

8. Evaluar en que otros subproductos de los elementos prefabricados de concreto se puede utilizar la escoria siderúrgica, así como topes de parqueos, muros, tapaderas, cajas hidrosanitarias, bordillos, barrera New Jersey, y todos los subproductos no estructurales.
  
9. Se recomendaría ampliar en la investigación de la escoria siderúrgica como agregado grueso y fino en diferentes aplicaciones como carreteras, tanto de concreto como de asfalto flexible.

## XII. BIBLIOGRAFÍA

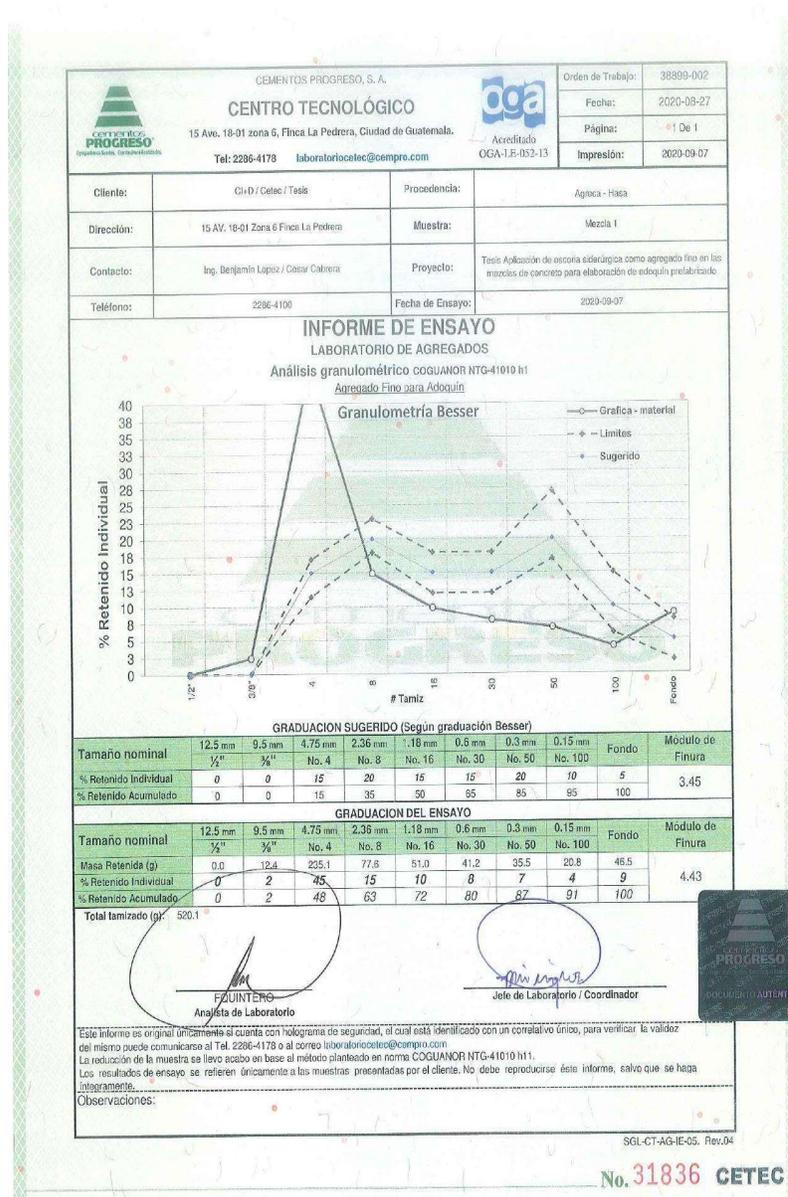
- Aquino, E. (2012). *Aplicación De Escoria Siderúrgica Como Agregado En Las Mezclas De Concreto Para Pavimento Rígido*. Tesis de Ingeniero Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad San Carlos De Guatemala.
- ASTM. *Coguanor NTG 41087 h1. Norma Técnica Guatemalteca. Métodos de Ensayo*. Determinación del módulo de ruptura de los adoquines de concreto.
- ASTM. *Coguanor NTG 41010 h1. Norma Técnica Guatemalteca. Método de Ensayo*. Análisis granulométrico por tamices de los agregados fino y grueso.
- ASTM. *Coguanor NTG 41086. Norma Técnica Guatemalteca. Adoquines de concreto para pavimentos*. Especificaciones.
- Enríquez, José. (2009). *Acería Eléctrica. Tecnología del acero Parte I*. Ingeniero Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad Politécnica de Madrid.
- Estrada, Francisco. (2017). *Uso de Material reciclado de tereftalato de polietileno, PET, como agregado fino para mezclas de concreto, para la elaboración de adoquines*. Tesis de Ingeniero Civil, Facultad de ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Gutiérrez, L. (2003). *El concreto y otros materiales para la construcción*. [En línea] Colombia: sistemamid. Disponible en:  
[https://sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2014-06-14\\_07-20-32105039.pdf](https://sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2014-06-14_07-20-32105039.pdf)  
[Accesado el 18 Feb. 2018].
- López, Randy. (2016). *Fabricación de adoquín de escoria de mata de níquel como agregado fino*. Tesis de Ingeniero Civil, Facultad de ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Ortiz, Elizabeth. (2004) *Calidad de Agregados Producidos En Guatemala*. Tesis de Ingeniero Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad San Carlos De Guatemala.

Parra, Lina. (2010). *Análisis De La Valoración De Escorias Negras Como Material Agregado Para Concreto En El Marco De La Gestión Ambiental De La Siderúrgica Diaco*. Municipio Tuta Boyacá. Ingeniero Ambiental Y Sanitaria, Facultad de Ingeniería, Universidad De La Salle.

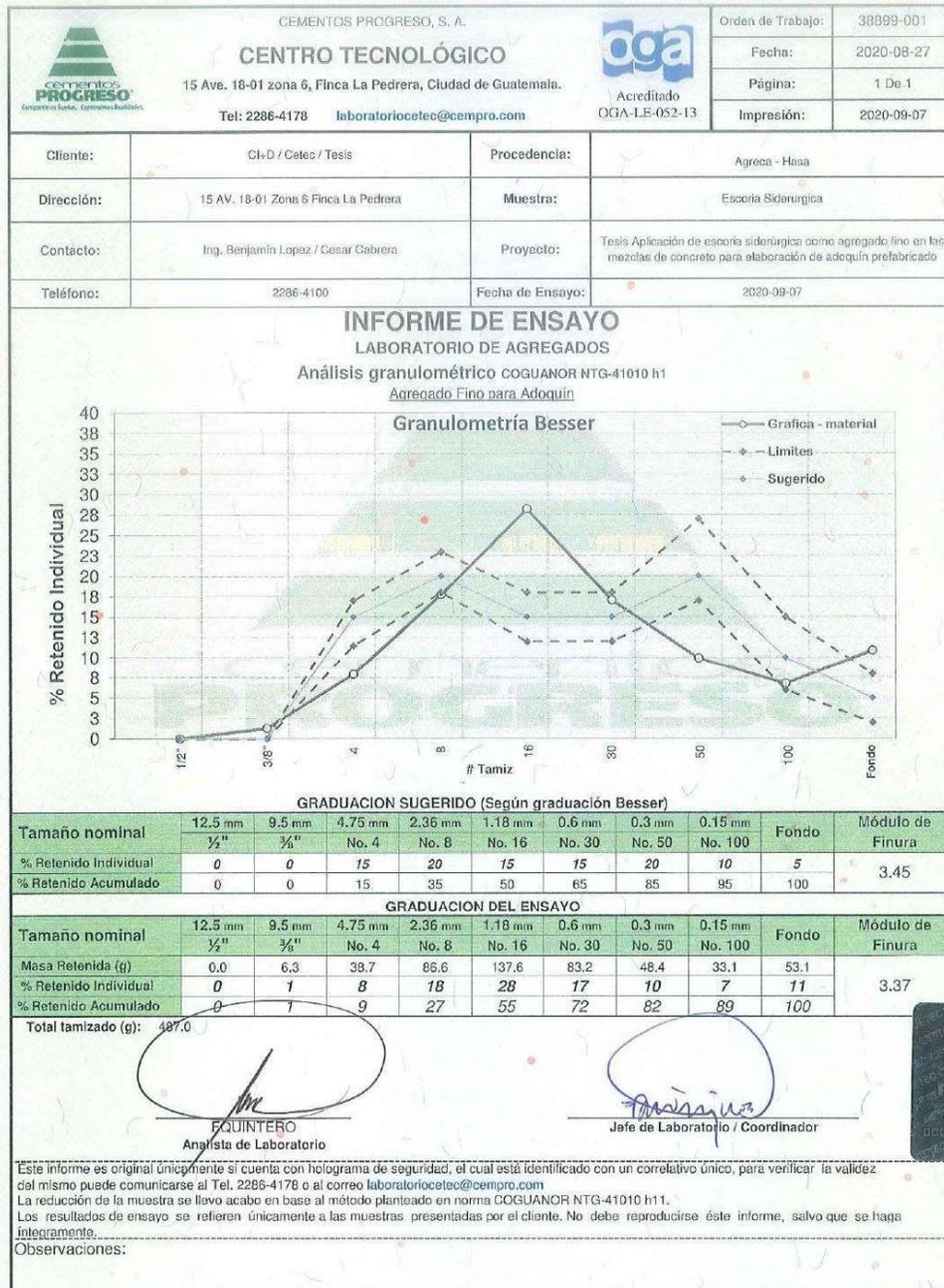
# XIII. APÉNDICE

Figura No. 30  
Ensayo análisis granulometría



Nota. Fuente: Cementos Progreso S.A.. Centro Tecnológico, finca La Pedrera. Ensayos de escoria siderúrgica.

Figura No. 31  
 Ensayo granulometría de agregado fino escoria siderúrgica.



SGL-CT-AG-IE-05. Rev.04

No. 31834 CETEC

Nota. Fuente: Cementos Progreso S.A.. Centro Tecnológico, finca La Pedrera. Ensayos de escoria siderúrgica.

Figura No. 32  
 Ensayo Densidad Aparente mezcla 1

		CEMENTOS PROGRESO, S. A. <b>CENTRO TECNOLÓGICO</b> 15 Ave. 18-01 zona 6, Finca La Pedrera, Ciudad de Guatemala. Tel: 2286-4178 <a href="mailto:laboratoriocetec@cempro.com">laboratoriocetec@cempro.com</a>		Orden de Trabajo: 38899-002 Fecha: 2020-08-27 Página: 1 De 1 Impresión: 2020-09-07
Cliente:	CI+D / Cetec / Tesis	Procedencia:	Agrega - Hasa	
Dirección:	15 AV. 18-01 Zona 6 Finca La Pedrera	Muestra:	Mezcla 1	
Contacto:	Ing. Benjamín Lopez / César Cabrera	Proyecto:	Tesis Aplicación de escoria siderúrgica como agregado fino en las mezclas de concreto para elaboración de adoquín prefabricado	
Teléfono:	2286-4100	Fecha de Ensayo:	2020-09-07	

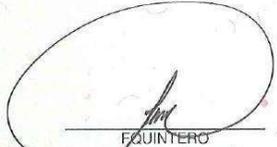
**INFORME DE ENSAYO**  
 LABORATORIO DE AGREGADOS

**Densidad Aparente (Masa unitaria)**  
 COGUANOR NTG-41010 h2

Muestra	Suelta kg/m <sup>3</sup>	Compactada kg/m <sup>3</sup>
Mezcla 1	1,760	1,940

  
 E. QUINTERO  
 Analista de Laboratorio

  
 Jefe de Laboratorio / Coordinador

Este informe es original únicamente si cuenta con holograma de seguridad, el cual está identificado con un correlativo único, para verificar la validez del mismo puede comunicarse al Tel. 2286-4178 o al correo [laboratoriocetec@cempro.com](mailto:laboratoriocetec@cempro.com)  
 La reducción de la muestra se llevo a cabo en base al método planteado en norma COGUANOR NTG-41010 h11.  
 Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas por el cliente. No debe reproducirse éste informe, salvo que se haga íntegramente.

Observaciones: MUSH : 1579 kg/m3



SGL-CT-AG-IE-16, Rev. 02  
**No. 31837 CETEC**

Nota. Fuente: Cementos Progreso S.A. Centro Tecnológico, finca La Pedrera. Ensayos de escoria siderúrgica.

Figura No. 33  
 Ensayo de desgaste de mezcla 01.

	CEMENTOS PROGRESO, S. A. <b>CENTRO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO</b> 15 Ave. 18-01 zona 6, Finca La Pedrera Tel: 2286-4178 Fax: 2286-4181 cetec@cempro.com		OT:	38896	
			Fecha:	2020-08-27	
			Página:	1 de 1	
			Impresión:	2020-09-21	
Cliente:	CI+D / Cetec / Tesis	Procedencia:			
Dirección:	15 Av. 18-01 Zona 6 Finca La Pedrera	Muestra:	Adoquín mezcla 1		
Contacto:	Ing. Benjamin Lopez / Cesar Cabrera	Proyecto:	Tesis Aplicación de escoria siderúrgica como agregado fino en la mezcla de concreto para elaboración de adoquín		
Teléfono:	2286-4100	Analista:	HHERNANDEZ		
<b>LABORATORIO DE PREFABRICADOS</b> <b>INFORME DE ENSAYO</b> Resistencia al desgaste por abrasión de adoquines de concreto, mediante ensayo de disco ancho metálico Norma: NTG 41087 h2					
Orden de Trabajo	Id. Cliente	Fecha de Hechura	Fecha de Ensayo	Edad (días)	Desgaste por Abrasión (mm)
38896	MEZCLA 1	2020-08-20	2020-09-17	28	20.5
38896	MEZCLA 1	2020-08-20	2020-09-17	28	22.0
38896	MEZCLA 1	2020-08-20	2020-09-17	28	20.0
					
 Analista		 Jefe de Laboratorio / Coordinador			
Este informe es original únicamente si cuenta con holograma de seguridad, identificado con correlativo único, para verificar la validez del mismo puede comunicarse al 22864178 o al correo laboratoriocetec@cempro.com. Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse éste informe, salvo que se haga íntegramente y con la aprobación del CETEC.					
Observaciones: MUESTREO REALIZADO POR EL CLIENTE.					

SGL-CT-CP-IE-21 / Rev. 03

No. 31521 CETEC

Nota. Fuente: Cementos Progreso S.A. Centro Tecnológico, finca La Pedrera. Ensayos de escoria siderúrgica.

Figura No. 34  
 Ensayo de flexión mezcla 01.

No. 31522 CETEC



**CLIENTE:** CEMENTOS PROGRESO S.A.  
**CENTRO TECNOLÓGICO**  
 15 Av. 18-01 zona 6 La Pedrera

**INFORME DE ENSAYO RESISTENCIA A FLEXIÓN CON UN PUNTO DE CARGA NTC 4103:1 b1**

**CLIENTE:** CHD / Ceteq / Teads  
**CONTACTO:** Ing. Benjamín López / César Cabrera  
**MUESTRA:** Adquisición mezcla 1  
**DIRECCIÓN:** 15 Av. 18-01 Zona 6 Finca La Pedrera  
**PROYECTO:** Tesis Aplicación de escoria siderúrgica como agregado fino en la mezcla de concreto para elaboración de adoquín  
**TELÉFONO:** 2388-4170  
**ANALISTA:** HERNANDEZ

**Orden de trabajo No.**  
**38896**

**FECHA DE:** 2020-08-27

No.	Identificación Cliente	Procedencia	Fecha de Hechura	Edad (días)	Fecha de Rotura	Masa (kg)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)	Módulo Rotura (N/mm <sup>2</sup> )	Módulo Rotura (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	MEZCLA 1	PROYECTO	20/08/2020	28	20/08-09-17	11.1	242	161	102	8.8	70.0
2	MEZCLA 1	PROYECTO	20/08/2020	28	20/08-09-17	11.2	241	161	102	10.6	108.0
3	MEZCLA 1	PROYECTO	20/08/2020	28	20/08-09-17	11.3	241	161	101	11.7	119.0



**ANÁLISIS**

Este informe es original, únicamente el cuenta con holograma de seguridad, identificado con correlativo único, para verificar la validez del mismo puede comunicarse al 2238-1178 o al correo laboratorioceteq@cempro.com. Los resultados de ensayo se reflejan únicamente en las muestras presentadas. No debe reproducirse este informe, salvo que se haga integramente y con la aprobación del CETEC.

OBSERVACIONES:  
 MUESTREO REALIZADO POR EL CLIENTE.



Analista



Jefe de Laboratorio / Coordinador

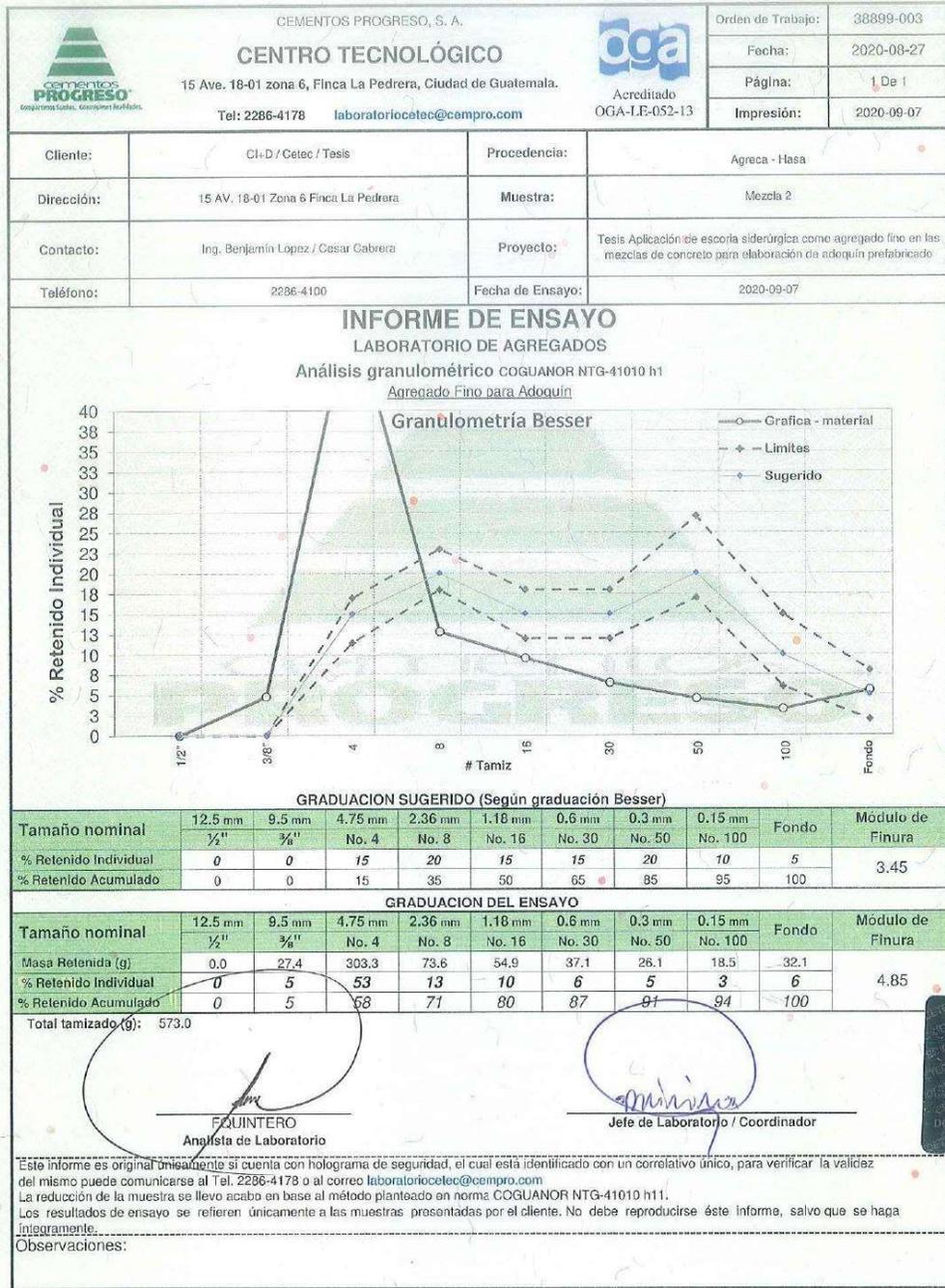
Nota. Fuente: Cementos Progreso S.A. Centro Tecnológico, finca La Pedrera. Ensayos de escoria siderúrgica.

Figura No. 35  
 Ensayo de absorción mezcla 01.

	CEMENTOS PROGRESO S. A. <b>CENTRO TECNOLÓGICO</b> 15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera Tel: 22864178 Fax: 22864181 cetec@cempro.com		OT	38896
			FECHA	2020-08-27
			PÁGINA	1 de 1
			FECHA IMPRESIÓN	2020-09-21
Cliente	CHD / Cetec / Tesis	Proyecto	Tesis Aplicación de escoria siderúrgica como agregado fino en la mezcla de concreto para elaboración de adoquín	
Dirección	15 Av. 18-01 Zona 6 Finca La Pedrera			
Contacto	Ing. Benjamín Lopez / Cesar Cabrera	Muestra	Adoquín mezcla 1	
Teléfono	2286-4100	Analista	HHERNANDEZ	
<b>INFORME DE ENSAYO</b> DENSIDAD RELATIVA Y ABSORCIÓN COGUANOR NTG 41054. / ASTM C-140. <b>RESULTADOS</b>				
No. Lab.	IDENTIFICACIÓN CLIENTE	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Absorción (kg/m <sup>3</sup> )	Absorción %
1	MEZCLA 1	2302	82	4
2	MEZCLA 1	2325	77	3
3	MEZCLA 1	2284	90	4
				
 _____ Analista		 _____ Jefe de Laboratorio / Coordinador		
Este informe es original únicamente si cuenta con holograma de seguridad, identificado con correlativo único, para verificar la validez del mismo puede comunicarse al 22864178 o al correo laboratorio@cempro.com. Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse este informe, salvo que se haga íntegramente y con la aprobación del CETEC.				
OBSERVACIONES:				
MUESTREO REALIZADO POR EL CLIENTE.				
SGL-CT-CP-IE-05/Rev. 05				
<b>No. 31520 CETEC</b>				

Nota. Fuente: Cementos Progreso S.A. Centro Tecnológico, finca La Pedrera. Ensayos de escoria siderúrgica.

Figura No. 36  
Ensayo granulometría de mezcla 02.



SGL-CT-AG-IE-05. Rev.04

No. 31838 CETEC

Nota. Fuente: Cementos Progreso S.A. Centro Tecnológico, finca La Pedrera. Ensayos de escoria siderúrgica.

Figura No. 37  
 Ensayo densidad de mezcla 02.

 <p>CEMENTOS PROGRESO, S. A.  <b>CENTRO TECNOLÓGICO</b>                  15. Ave. 18-01 zona 6, Finca La Pedrera, Ciudad de Guatemala.                  Tel: 2286-4178    laboratoriocetec@cempro.com</p>		Orden de Trabajo: 38899-003 Fecha: 2020-08-27 Página: 1 De 1 Impresión: 2020-08-07	
Cliente:	CI+D / Cetec / Tesis	Procedencia:	Agreca - Haza
Dirección:	15 AV. 18-01 Zona 6 Finca La Pedrera	Muestra:	Mezcla 2
Contacto:	Ing. Benjamin Lopez / Cesar Cabrera	Proyecto:	Tesis Aplicación de escoria siderúrgica como agregado fino en las mezclas de concreto para elaboración de adoquín prefabricado.
Teléfono:	2286-4100	Fecha de Ensayo:	2020-09-07

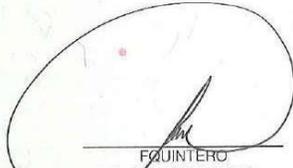
  

**INFORME DE ENSAYO**  
 LABORATORIO DE AGREGADOS

**Densidad Aparente (Masa unitaria)**  
 COGUANOR NTG-41010 h2

Muestra	Suelta kg/m <sup>3</sup>	Compactada kg/m <sup>3</sup>
Mezcla 2	1,810	2,010

  
 F. QUINTERO  
 Analista de Laboratorio

  
 Jefe de Laboratorio / Coordinador

Este informe es original únicamente si cuenta con holograma de seguridad, el cual está identificado con un correlativo único, para verificar la validez del mismo puede comunicarse al Tel. 2286-4178 o al correo laboratoriocetec@cempro.com  
 La reducción de la muestra se llevo a cabo en base al método planteado en norma COGUANOR NTG-41010 h11.  
 Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas por el cliente. No debe reproducirse éste informe, salvo que se haga íntegramente.

Observaciones: MUSH : 1693kg/m3



SGL-CT-AG-IE-16. Rev. 02

No. 31839 CETEC

Nota. Fuente: Cementos Progreso S.A. Centro Tecnológico, finca La Pedrera. Ensayos de escoria siderúrgica.

Figura No.38  
Ensayo desgaste de mezcla 02.

	CEMENTOS PROGRESO, S. A. <b>CENTRO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO</b> 15 Ave. 18-01 zona 6, Finca La Pedrera Tel: 2286-4178 Fax: 2286-4181 cetec@cempro.com		OT:	38897	
			Fecha:	2020-08-27	
			Página:	1 de 1	
			Impresión:	2020-09-21	
Cliente:	CI-D / Cetec / Tesis	Procedencia:			
Dirección:	15 AV. 18-01 Zona 6 Finca La Pedrera	Muestra:	Adoquín mezcla 2		
Contacto:	Ing. Benjamín López / Cesar Cabrera	Proyecto:	Tesis Aplicación de escoria siderúrgica como agregado fino en la mezcla de concreto para elaboración de adoquín		
Teléfono:	2286-4100	Analista:	HHERNANDEZ		
<b>LABORATORIO DE PREFABRICADOS</b> <b>INFORME DE ENSAYO</b> Resistencia al desgaste por abrasión de adoquines de concreto, mediante ensayo de disco ancho metálico Norma: NTG 41087 h2					
Orden de Trabajo	Id. Cliente	Fecha de Hechura	Fecha de Ensayo	Edad (días)	Desgaste por Abrasión (mm)
38897	MEZCLA 2	2020-08-20	2020-09-17	28	18.0
38897	MEZCLA 2	2020-08-20	2020-09-17	28	17.0
38897	MEZCLA 2	2020-08-20	2020-09-17	28	17.5
					
 Analista		 Jefe de Laboratorio/ Coordinador			
Este informe es original únicamente si cuenta con holograma de seguridad, identificado con correlativo único, para verificar la validez del mismo puede comunicarse al 22864178 o al correo laboratorio@cempro.com. Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse este informe, salvo que se haga íntegramente y con la aprobación del CETEC.					
Observaciones: MUESTRE REALIZADO POR EL CLIENTE.					

SGL-CT-CP-IE-21 / Rev. 03

No. 31518 CETEC

Nota. Fuente: Cementos Progreso S.A.. Centro Tecnológico, finca La Pedrera. Ensayos de escoria siderúrgica.

Figura No. 39  
Ensayo flexión de mezcla 02.

No. 31519 CETEC



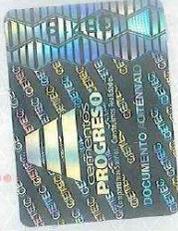
**CEMENTOS PROGRESO S.A.**  
**CENTRO TECNOLÓGICO**  
15 Av. 1540 Zona 5 La Piedad  
CH-1, C.A. Pérez / Test 2

**INFORME DE ENSAYO RESISTENCIA A FLEXIÓN CON UN PUNTO DE CARGA NTG 4108: I-1**

Orden de trabajo No. **38897**

Cliente: Contacto: Dirección: Proyecto: Teléfono: Analista:		Cliente: Nombre: Fecha de Emisión: Laboratorio:	
Contacto: Dirección: Proyecto: Teléfono: Analista:		Orden de trabajo No. <b>38897</b>	
Contacto: Dirección: Proyecto: Teléfono: Analista:		Fecha DT: 2022-08-27	
Contacto: Dirección: Proyecto: Teléfono: Analista:		Módulo Rotura (N/mm <sup>2</sup> ): 6.2	
Contacto: Dirección: Proyecto: Teléfono: Analista:		Módulo Rotura (Kg/cm <sup>2</sup> ): 73.0	
Contacto: Dirección: Proyecto: Teléfono: Analista:		Módulo Rotura (Kg/cm <sup>2</sup> ): 105.0	

No.	Identificación Cliente	Procedencia	Fecha de Hechura	Edad (días)	Fecha de Rotura	Masa (kg)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)
1	MEZCLA 2	PROYECTO	20/08/2020	28	2020-08-17	11.9	246	162	103
2	MEZCLA 2	PROYECTO	20/08/2020	28	2020-08-17	11.8	244	164	103
3	MEZCLA 2	PROYECTO	20/08/2020	28	2020-08-17	12.0	245	163	102



Analista: 

Jefe de Laboratorio / Coordinador: 

Este informe es original únicamente si cuenta con holograma de seguridad, identificado con correlativo único, para verificar la validez del mismo puede comunicarse al 22864178 o al correo laboratorio@cetec.com. Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse este informe, salvo que se haga íntegramente y con la aprobación del CETEC.

OBSERVACIONES:  
MUESTREO REALIZADO POR EL CLIENTE.

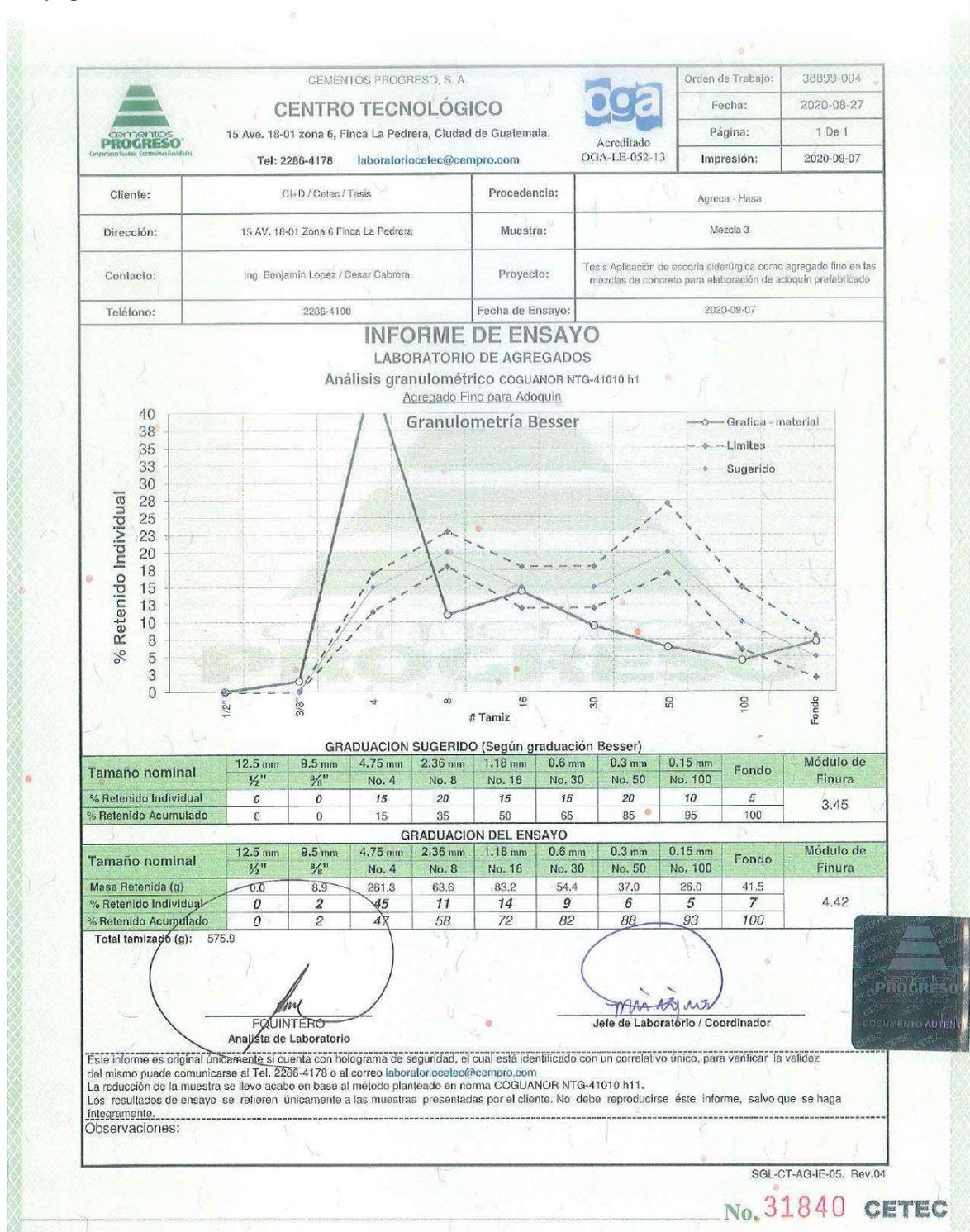
Nota. Fuente: Cementos Progreso S.A.

Figura No.40  
Ensayo absorción de mezcla 02.

	CEMENTOS PROGRESO S. A. <b>CENTRO TECNOLÓGICO</b> 15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera Tel: 22864176 Fax: 22864181 cetec@cempro.com		OT	38897
			FECHA	2020-08-27
			PÁGINA	1 de 1
			FECHA IMPRESIÓN	2020-08-21
Cliente	Ciudad / Cetec / Tesis	Proyecto	Tesis Aplicación de escoria siderúrgica como agregado fino en la mezcla de concreto para elaboración de adoquín	
Dirección	15 AV. 18-01 Zona 6 Finca La Pedrera			
Contacto	Ing. Benjamín Lopez / Cesar Cabrera	Muestra	Adoquín mezcla 2	
Teléfono	2286-4100	Analista	HHERNANDEZ	
<b>INFORME DE ENSAYO</b> <b>DENSIDAD RELATIVA Y ABSORCIÓN</b> <b>COGUANOR NTG 41054. / ASTM C-140.</b>				
<b>RESULTADOS</b>				
No. Lab.	IDENTIFICACIÓN CLIENTE	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Absorción (kg/m <sup>3</sup> )	Absorción %
1	MEZCLA 2	2408	103	4
2	MEZCLA 2	2420	98	4
3	MEZCLA 2	2440	95	4
 _____ Analista		 _____ Jefe de Laboratorio / Coordinador		
Este informe es original únicamente si cuenta con holograma de seguridad, identificado con correlativo único, para verificar la validez del mismo puede comunicarse al 22864176 o al correo laboratorio@cetec@cempro.com. Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse este informe, salvo que se haga íntegramente y con la aprobación del CETEC.				
OBSERVACIONES:  MUESTREO REALIZADO POR EL CLIENTE.				
SGL-CT-CI-IE-05/Rev. 05				
<b>No. 31517 CETEC</b>				

Nota. Fuente: Cementos Progreso S.A.

Figura No. 41  
Ensayo granulometría mezcla 03



Nota. Fuente: Cementos Progreso S.A.

Figura No.42  
 Ensayo densidad de mezcla 03

 <p>CEMENTOS PROGRESO, S. A.  <b>CENTRO TECNOLÓGICO</b>                  15 Ave. 18-01 zona 6, Finca La Pedrera, Ciudad de Guatemala.                  Tel: 2286-4178    laboratorioctec@cempro.com</p>		Orden de Trabajo:	38899-004
		Fecha:	2020-08-27
		Página:	1 De 1
		Impresión:	2020-09-07
Cliente:	CI-D / Catec / Tesis	Procedencia:	Agreca - Haza
Dirección:	15 AV. 18-01 Zona 6 Finca La Pedrera	Muestra:	Mezcla 3
Contacto:	Ing. Benjamín Lopez / Cesar Cabrera	Proyecto:	Tesis Aplicación de escoria siderúrgica como agregado fino en las mezclas de concreto para elaboración de adoquín prefabricado
Teléfono:	2286-4100	Fecha de Ensayo:	2020-09-07

**INFORME DE ENSAYO**  
 LABORATORIO DE AGREGADOS

**Densidad Aparente (Masa unitaria)**  
 COGUANOR NTG-41010 h2

Muestra	Suelta kg/m <sup>3</sup>	Compactada kg/m <sup>3</sup>
Mezcla 3	2,100	2,290



**F. QUINTERO**  
 Analista de Laboratorio



**Jefe de Laboratorio / Coordinador**



Este informe es original o es una copia si cuenta con holograma de seguridad, el cual está identificado con un correlativo único, para verificar la validez del mismo puede comunicarse al Tel. 2286-4178 o al correo laboratorioctec@cempro.com  
 La reducción de la muestra se llevo a cabo en base al método planteado en norma COGUANOR NTG-41010 h11.  
 Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas por el cliente. No debe reproducirse éste informe, salvo que se haga íntegramente.

Observaciones:

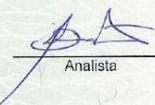
*MUSH : 2071kg/m3*

SGL-CT-AG-IE-16. Rev. 02

No. 31841 CETEC

Nota. Fuente: Cementos Progreso S.A.

Figura No.43  
 Ensayo desgaste de mezcla 03

	CEMENTOS PROGRESO, S. A. <b>CENTRO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO</b> 15 Ave. 18-01 zona 6, Finca La Pedrera Tel: 2286-4178 Fax: 2286-4181 cetec@cempro.com		OT:	38898	
			Fecha:	2020-08-27	
			Página:	1 de 1	
			Impresión:	2020-09-21	
Cliente:	CI-D / Cetec / Tesis	Procedencia:			
Dirección:	15 AV. 18-01 Zona 6 Finca La Pedrera	Muestra:	Adoquin mezcla 3		
Contacto:	Ing. Benjamín Lopez / Cesar Cabrera	Proyecto:	Tesis Aplicación de escoria siderúrgica como agregado fino en la mezcla de concreto para elaboración de adoquín		
Teléfono:	2286-4100	Analista:	IHERRANDEZ		
<b>LABORATORIO DE PREFABRICADOS</b> <b>INFORME DE ENSAYO</b> Resistencia al desgaste por abrasión de adoquines de concreto, mediante ensayo de disco ancho metálico Norma: NTG 41087 h2					
Orden de Trabajo	Id. Cliente	Fecha de Hechura	Fecha de Ensayo	Edad (días)	Desgaste por Abrasión (mm)
38898	MEZCLA 3	2020-08-20	2020-09-17	28	18.0
38898	MEZCLA 3	2020-08-20	2020-09-17	28	16.0
38898	MEZCLA 3	2020-08-20	2020-09-17	28	15.5
					
 Analista		 Jefe de Laboratorio/ Coordinador			
Este informe es original únicamente si cuenta con holograma de seguridad, identificado con correlativo único, para verificar la validez del mismo puede comunicarse al 22864178 o al correo laboratoriocetec@cempro.com. Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse éste informe, salvo que se haga íntegramente y con la aprobación del CETEC.					
Observaciones: MUESTREO REALIZADO POR EL CLIENTE.					
SCL-CT-CP-IE-21 / Rev. 03 <b>No. 31515 CETEC</b>					

Nota. Fuente: Cementos Progreso S.A.

Figura No.44  
Ensayo flexión de mezcla 03

No. 31516 CETEC



**CEMENTOS PROGRESO S.A.**  
**CENTRO TECNOLÓGICO**  
15 Av. 13-21 Zona 8 La Piedad  
C.A. 01000

**INFORME DE ENSAYO RESISTENCIA A FLEXIÓN CON UN PUNTO DE CARGA NTG 41084 J1**

CMT / Collet / Test

Ing. Benjamin Lopez / Cesar Cabrera  
Adoptin mezcla 3  
15 Av. 13-21 Zona 8 Finca La Piedra  
Tesis Aplicación de loseta alirregias como agregado fino en la mezcla de concreto para elaboración de adoquín  
2286-4100  
HIERNANDEZ

Cliente: **CETEC**

Contacto: **Benjamin Lopez**

Dirección: **15 Av. 13-21 Zona 8 La Piedad**

Proyecto: **Adoptin mezcla 3**

Teléfono: **2286-4100**

Analista 1: **HIERNANDEZ**

Orden de trabajo No. **38898**

2023-08-27

Clase: **CP**

Revisado: **CP**

Fecha de Emisión: **2014-07-19**

Libre de: **CP**

No.	Identificación Cliente	Procedencia	Fecha de Hectura	Edad (días)	Fecha de Rotura	Masa (kg)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)	Módulo Rotura (N/mm <sup>2</sup> )	Módulo Rotura (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	MEZCLA 3	PROYECTO	20/08/2020	28	2020-09-17	12.4	245	163	102	9.5	97.0
2	MEZCLA 3	PROYECTO	20/08/2020	28	2020-09-17	12.1	244	163	103	8.0	82.0
3	MEZCLA 3	PROYECTO	20/08/2020	28	2020-09-17	12.2	244	163	102	6.1	62.0

*[Signature]*  
Analista

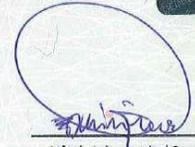
*[Signature]*  
Jefe de Laboratorio / Coordinador

Este informe es original únicamente si cuenta con holograma de seguridad, identificado con consecutivo único, para verificar la validez del mismo puese comunicarse al 22864178 o al correo laboral@cetec.com. Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse este informe, salvo que se haga íntegramente y con la aprobación del CETEC.

OBSERVACIONES:  
MUESTREO REALIZADO POR EL CLIENTE.

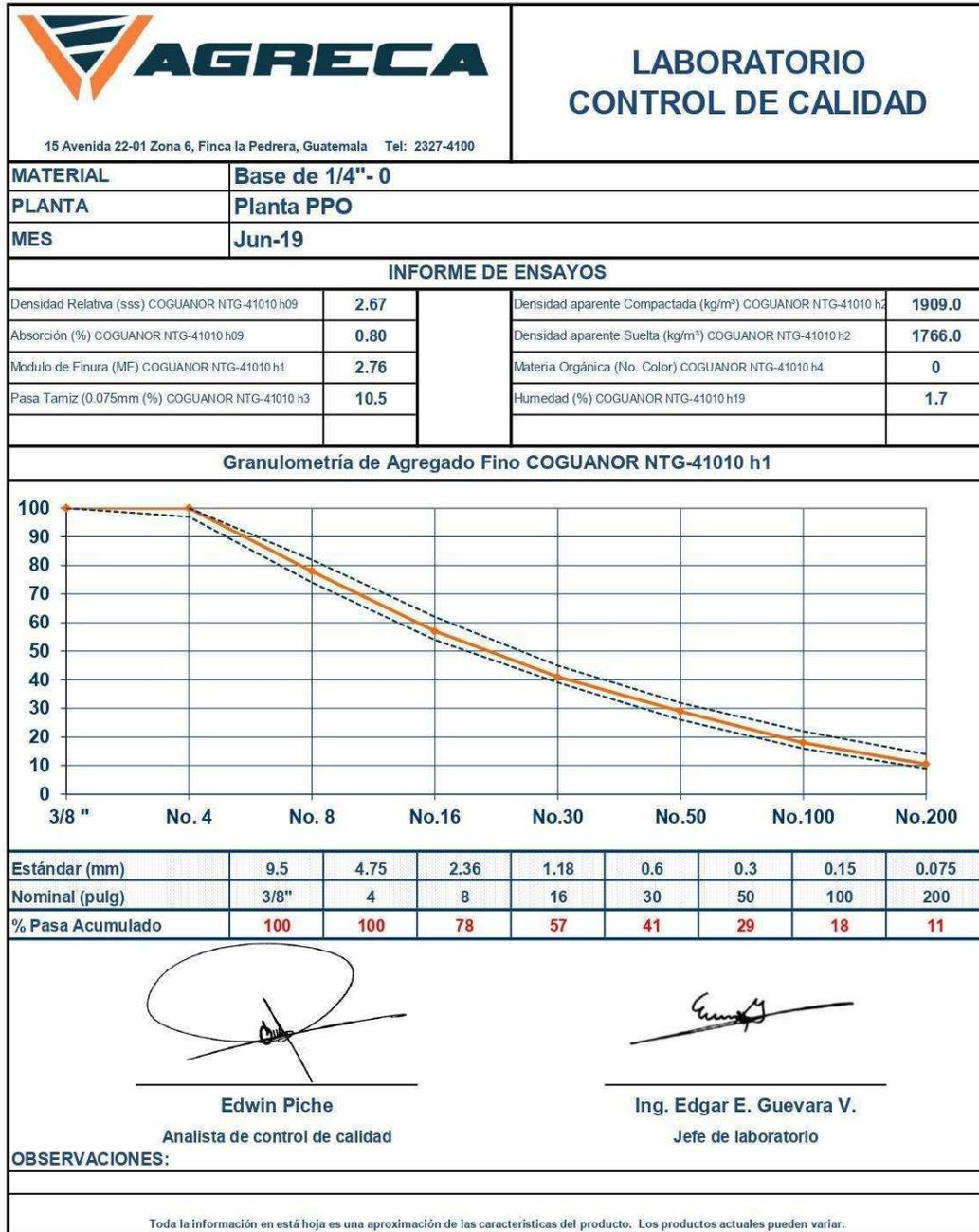
Nota. Fuente: Cementos Progreso S.A.

Figura No. 45  
 Ensayo absorción de mezcla 03.

	CEMENTOS PROGRESO S. A. <b>CENTRO TECNOLÓGICO</b> 15 Ave. 18-01, Zona 6 La Pedrera Tel: 22864178 Fax: 22864181 cetec@cempro.com		OT	38898
			FECHA	2020-08-27
			PÁGINA	1 de 1
			FECHA IMPRESIÓN	2020-09-21
Cliente	CI+D / Cetec / Tesis	Proyecto	Tesis Aplicación de escoria siderúrgica como agregado fino en la mezcla de concreto para elaboración de adoquín	
Dirección	15 AV. 18-01 Zona 6 Finca La Pedrera			
Contacto	Ing. Benjamín Lopez / Cesar Cabrera	Muestra	Adoquín mezcla 3	
Teléfono	2286-4100	Analista	HHERMANDEZ	
<b>INFORME DE ENSAYO</b> <b>DENSIDAD RELATIVA Y ABSORCIÓN</b> <b>COGUANOR NTG 41054. / ASTM C-140.</b> <b>RESULTADOS</b>				
No. Lab.	IDENTIFICACIÓN CLIENTE	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Absorción (kg/m <sup>3</sup> )	Absorción %
1	MEZCLA 3	2529	100	4
2	MEZCLA 3	2476	107	4
3	MEZCLA 3	2487	111	4
				
 _____ Analista		 _____ Jefe de Laboratorio / Coordinador		
Este informe es original únicamente si cuenta con holograma de seguridad, identificado con correlativo único, para verificar la validez del mismo puede comunicarse al 22864178 o al correo laboratoriocetec@cempro.com. Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse este informe, salvo que se haga íntegramente y con la aprobación del CETEC.				
OBSERVACIONES:				
MUESTREO REALIZADO POR EL CLIENTE.				
SGL-CT-CF-IE-03/Rev. 05				
<b>No. 31514 CETEC</b>				

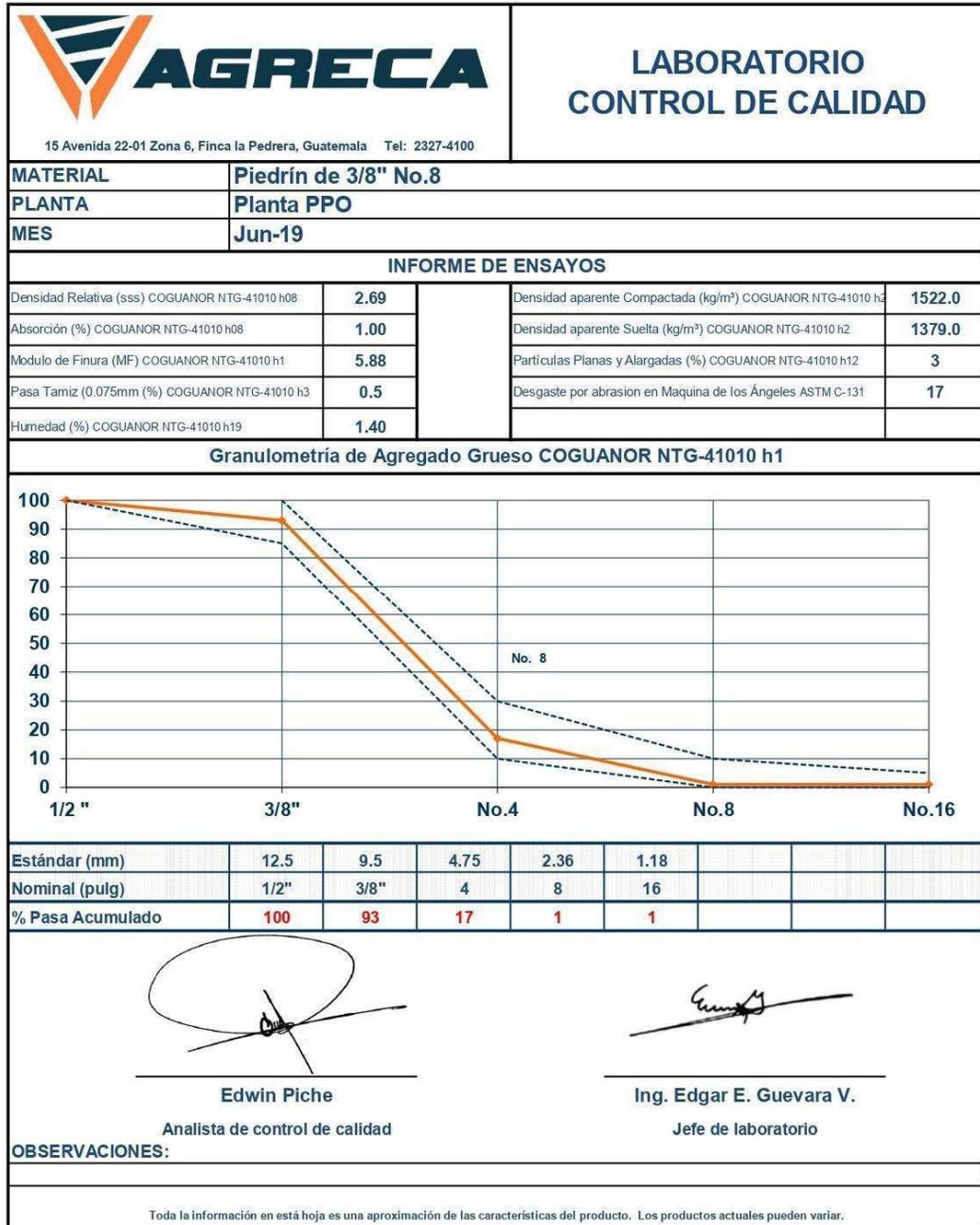
Nota. Fuente: Cementos Progreso S.A.

Figura No.46  
 Ensayo granulometría de agregado fino arena.



Nota. Fuente: Agreca, Finca la Pedrera, Laboratorio control de calidad.

Figura No. 47  
 Ensayo granulometría de agregado grueso piedrín 3/8" No. 8.



Nota. Fuente: Agreca, Finca la Pedrera, Laboratorio control de calidad.