



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios de Postgrado
Maestría en Ingeniería Vial

**ANÁLISIS DE AGREGADOS GRUESOS PARA LA FABRICACIÓN
DE PAVIMENTOS RÍGIDOS, EN EL DEPARTAMENTO DE
QUETZALTENANGO**

Ing. José Rodolfo Herrera Noriega
Asesorado por MSc. Damaris Nohemí Monzón

Guatemala, octubre de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS DE AGREGADOS GRUESOS PARA LA FABRICACIÓN DE
PAVIMENTOS RÍGIDOS, EN EL DEPARTAMENTO DE QUETZALTENANGO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

ING. JOSE RODOLFO HERRERA NORIEGA

ASESORADO POR EL MSc. DAMARIS NOHEMI MONZON

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

MAESTRO EN ARTES INGENIERIA VIAL

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Ángel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian De León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoá
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADORA	Dra. Mayra Virginia Castillo Montes
EXAMINADOR	Msc. Ing. Armando Fuentes Roca
EXAMINADOR	Msc. Ing. Carlos Arnoldo Morales Rosales
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

ANÁLISIS DE AGREGADOS GRUESOS PARA LA FABRICACIÓN DE PAVIMENTOS RÍGIDOS, EN EL DEPARTAMENTO DE QUETZALTENANGO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrados de Ingeniería, con fecha 28 de junio de 2014.

José Rodolfo Herrera Noriega

ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Por brindarme la sabiduría, entendimiento y quien me permite ser quien soy.

Mis padres

José Elías Herrera Reyes, Adilia Anabella Noriega Ávila; por impulsarme a alcanzar mis metas y estar conmigo en cada momento de mi vida.

Mis hermanos

Elia María Herrera Noriega, José Estuardo Herrera Noriega, Cindy Anabella Herrera Noriega; por su apoyo incondicional en mis estudios.

Mi novia María Del Sol Gramajo Somoza

Por su amor, cariño y apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTOS A:

LA UNIVERSIDAD SAN CARLOS DE GUATEMALA

Alma mater donde se desarrolló nuestro pensamiento académico.

A LA ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADOS DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

Por brindarnos los conocimientos que permitieron formarnos como profesionales.

A LA INGENIERA DAMARIS MONZON

Por aceptar ser mi asesora de Trabajo de graduación de maestría.

A LA EMPRESA OCCIMIX

Por su apoyo y aceptar formar parte de la investigación.

A MIS AMIGOS

Por su apoyo incondicional.



**FACULTAD DE
INGENIERÍA - USAC**
**ESCUELA DE
ESTUDIOS DE POSTGRADO**

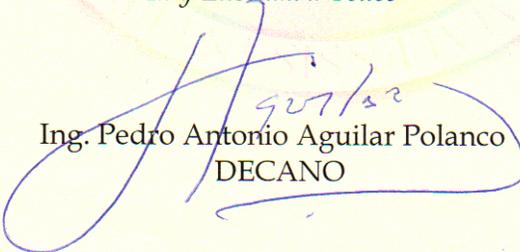
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Teléfono 2418-9142 / Ext. 86226

Ref. APT-2015-041

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Postgrado, al Trabajo de Graduación de la Maestría en Ingeniería Vial titulado: **"ANÁLISIS DE AGREGADOS GRUESOS PARA LA FABRICACIÓN DE PAVIMENTOS RÍGIDOS, EN EL DEPARTAMENTO DE QUETZALTENANGO"**, presentado por el Ingeniero Civil **José Rodolfo Herrera Noriega**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
DECANO

Guatemala, Octubre de 2015.

Cc: archivo
/la



FACULTAD DE
INGENIERÍA - USAC
ESCUELA DE
ESTUDIOS DE POSTGRADO

Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Teléfono 2418-9142 / 24188000 Ext. 86226

APT-2015-041

El Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen y dar el visto bueno del revisor y la aprobación del área de Lingüística del Trabajo de Graduación titulado **"ANÁLISIS DE AGREGADOS GRUESOS PARA LA FABRICACIÓN DE PAVIMENTOS RÍGIDOS, EN EL DEPARTAMENTO DE QUETZALTENANGO"** presentado por el Ingeniero Civil **José Rodolfo Herrera Noriega** correspondiente al programa de Maestría en Ingeniería Vial; apruebo y autorizo el mismo.

"Id y Enseñad a Todos"

MSc. Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Director
Escuela de Estudios de Postgrado

Guatemala, Octubre de 2015.

Cc: archivo
/la



FACULTAD DE
INGENIERÍA - USAC
ESCUELA DE
ESTUDIOS DE POSTGRADO

Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Teléfono 2418-9142 / 24188000 Ext. 86226

APT-2015-041

Como Coordinador de la Maestría en Ingeniería Vial y revisor del Trabajo de Graduación titulado **"ANÁLISIS DE AGREGADOS GRUESOS PARA LA FABRICACIÓN DE PAVIMENTOS RÍGIDOS, EN EL DEPARTAMENTO DE QUETZALTENANGO"**, presentado por el Ingeniero Civil **José Rodolfo Herrera Noriega**, apruebo y recomiendo la autorización del mismo.

"Id y Enseñad a Todos"

MSc. Ing. Armando Fuentes Roca
Coordinador de Maestría
Escuela de Estudios de Postgrado

Guatemala, Octubre de 2015.

Cc: archivo
/la

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL	I
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN	XIII
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	XV
OBJETIVOS	XXI
RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO	XXIII
INTRODUCCIÓN	XXVII
1. RESEÑA HISTORICA Y GENERALIDADES DE LOS AGREGADOS GRUESOS	1
1.1. Clasificación de las rocas	4
1.2. Pruebas de laboratorio para los agregados gruesos.....	4
1.3. Tipos de agregados gruesos	11
1.4. Propiedades resistentes de los agregados gruesos.....	12
1.4.1. Resistencia.....	12
1.4.2. Tenacidad.....	12
1.4.3. Dureza	13
1.4.4. Módulo de elasticidad	13

1.5.	Importancia de los agregados gruesos en la construcción.....	13
1.6.	Proceso de trituración de los agregados gruesos	14
•	Trituración primaria.....	14
•	Trituración secundaria	14
1.6.1.	Proceso de trituración en planta.	14
1.6.2.	Toma de muestras para agregado grueso	15
2.	PROCESO DE FABRICACIÓN DE LOS AGREGADOS GRUESOS DESDE LA CANTERA HASTA EL PUNTO DE VENTA, EN EL DEPARTAMENTO DE QUETZALTENANGO.....	19
2.1.	Trituración de agregados utilizando voladura de cantera.....	20
2.1.1.	Estudio geológico de la cantera	20
2.1.2.	Voladura de cantera	20
2.1.3.	Selección del material	22
2.1.4.	Trituración	23
2.1.5.	Almacenamiento a patios	25
2.2.	Trituración de agregados a cielo abierto	26
2.2.1	Obtención de las rocas.....	26
2.2.2	Trituración.	26
2.2.3	Almacenamiento en patios	26
3.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	27
3.1	Presentación de la propiedades de los agregados gruesos producidos, en el departamento de Quetzaltenango.....	28
3.1.1.	Piedrín azul triturado	28

3.1.2.	Piedrín negro triturado	31
3.1.3.	Piedrín rosado triturado ..	33
3.1.4.	Piedrín de río	35
3.1.5.	Piedrín base triturada	37
3.2	Resultados de resistencia del concreto utilizando los diferentes agregados gruesos de Quetzaltenango ..	39
4.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	41
4.1	Discusión de resultados.. ..	41
	CONCLUSIONES.....	51
	RECOMENDACIONES.....	53
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	55
	APÉNDICE.....	57

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Juego de tamices	9
2.	Curva granulométrica del agregado grueso de Quetzaltenango	10
3.	Perforación para colocación de explosivos	21
4.	Voladura de cantera	22
5.	Selección del material y acarreo por medio de camiones	22
6.	Reducción del tamaño de las rocas	23
7.	Trituración de los agregados y equipo de trituración.....	24
8.	Almacenamiento en patios	25
9.	Resultados de ensayos al piedrín azul.....	30
10.	Resultados de ensayos al piedrín negro	32
11.	Resultados de ensayos a piedrín rosado	34
12.	Resultados de ensayos al piedrín de río	36
13.	Resultados de ensayos a base triturada	38
14.	Porcentaje de absorción de los agregados	44
15.	Porcentaje de humedad de los agregados.....	45
16.	Porcentaje que pasa tamiz 0.075mm	45
17.	Peso específico de los agregados gruesos.....	46
18.	Masa unitaria compactada	46

19. Masa unitaria suelta.....	47
20. Resistencia a la abrasión (máquina de los ángeles).....	47
21. Elaboración de cilindros de concreto.....	55

TABLAS

I.	Resultados de laboratorio para agregados gruesos de Quetzaltenango.....	XXIX
II.	Porcentaje por peso que pasa por tamices de abertura cuadrada.....	8
III.	Propiedades del pedrín azul triturado.....	30
IV.	Propiedades del pedrín negro triturado.....	32
V.	Propiedades del pedrín rosado triturado.....	34
VI.	Propiedades del pedrín de río.....	36
VII.	Propiedades del pedrín base triturada.....	38
VIII.	Resistencia del concreto utilizando diferentes agregados gruesos de Quetzaltenango, 2015.....	39
IX.	Análisis comparativo de las propiedades de los agregados gruesos producidos en la cabecera departamental de Quetzaltenango 2015... ..	42

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
ACI	Instituto Americano del Concreto
ASTM	Sociedad Americana para Ensayos de Materiales
°C	Grados centígrados
ICCG	Instituto del Cemento y el Concreto de Guatemala
Kg/m	Kilogramo por metro
Kg/m³	Kilogramo por metro cubico
Lb	Libra
lt	Litro
MF	Módulo de finura
MICIV	Ministerio de Comunicaciones Infraestructura y Vivienda
m³	Metro cúbico
Plg.	Pulgadas
PSI	Libras por pulgada cuadrada
Q	Quetzales
SIECA	Secretaría de Integración Económica Centroamericana
%	Porcentaje

GLOSARIO

Palabra	Significado
Densidad	Es la relación que existe entre la masa y el volumen de una sustancia.
Abrasión	Desgaste causado a una roca por acción mecánica o destrucción de su superficie por contacto entre partículas.
Granulometría	Es la graduación de los diferentes tamaños en los que se producen los agregados gruesos.
Dureza	Propiedad de los materiales que consiste en la firme unión de sus moléculas, para evitar la desintegración de los mismos.
Tenacidad	Es la capacidad que tienen los materiales de absorber la energía, debido a las diferentes deformaciones que sufren las partículas.

RESUMEN

Se analizaron cinco tipos de agregados gruesos producidos en la cabecera departamental de Quetzaltenango (pedrín negro, azul, rosado, de río y base triturada) con la finalidad de conocer las propiedades de cada uno de ellos y determinar cuáles cumplen con las especificaciones de la Dirección General de Caminos -DGC- para un uso en pavimentos de concreto hidráulico.

Mediante los análisis realizados a los agregados gruesos se pudo determinar que únicamente dos de ellos (pedrín negro y azul), cumplen con todas las especificaciones que exige la DGC, por lo que se recomienda utilizarlos en concretos para pavimentos, una de las características importantes que resalta en este tipo de agregados es su resistencia a la abrasión (ensayo de la máquina de los ángeles) presentando un bajo desgaste de sus partículas que favorece el incremento de la resistencia estructural de un pavimento, estas pruebas se realizaron en las instalaciones de la empresa OCCIMIX.

En el departamento de Quetzaltenango hasta la fecha (año 2015) se produce agregado grueso de 1" como tamaño máximo, factor por el cual no se está cumpliendo con la calidad del tamaño deseado para pavimentos rígidos, ya que debe ser de 1 ½" o 2" para alcanzar una mejor resistencia y vida útil de la carpeta de rodadura.

Con respecto a los agregados gruesos que no cumplen con las especificaciones que exige la DGC, presentan un alto porcentaje de absorción, mucha humedad y una mala resistencia a la abrasión, ya que son partículas no

sólidas que al momento de ser sometidas a cargas son fácilmente desintegradas, lo cual afecta la calidad de un concreto elaborado a base de dicho material.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Ante el aparecimiento prematuro de fallas en forma principalmente de grietas, en la carpeta de rodadura de concreto hidráulico en varias calles y carreteras recién construidas en la cabecera departamental de Quetzaltenango, surge la interrogante con relación a, sí los materiales utilizados para la construcción de las mismas cumplen con la calidad requerida en las Especificaciones para la Construcción de Carreteras y Puentes, edición 2001, de la Dirección General de Caminos o si por aparte, el problema deviene de una colocación inadecuada de la carpeta de concreto en el momento de su construcción, o en última instancia si el problema se encuentra en una colocación inadecuada de la capa de base subyacente.

En efecto, en la construcción de calles y carreteras de la cabecera se está sustituyendo la carpeta tradicional de concreto asfáltico por una de concreto hidráulico. Sin embargo, se observa que éstas últimas presentan defectos prematuros que dan lugar o elementos para investigar ¿cuál es la causa de tales defectos?.

Entre las fallas que pueden identificarse se tienen: grietas de esquina, grietas transversales y longitudinales que luego se convierten en fallas en bloque, diferencias de nivel entre losas, etc., que son generadas entre otros factores, por una fabricación deficiente del concreto.

Específicamente en la cabecera departamental de Quetzaltenango se encuentran varias avenidas que presentan diversos tipos de fallas, tal es el

caso de la 33 avenida, diagonal 2, zona 3, donde se puede identificar grietas transversales y longitudinales.

Otra de las avenidas que se ve afectada por la mala calidad de los pavimentos en la cabecera departamental de Quetzaltenango, es el caso de la 19 avenida, zona 3 donde se observan a gran escala las fallas en bloque, de las cuales se puede identificar que son grietas interconectadas que dividen el pavimento en segmentos aproximadamente rectangulares.

Adicionalmente a las fallas en bloque, grietas transversales y longitudinales, se determinó que existe pulimento indeseable de la superficie en el pavimento de Avenida Las Américas (en dirección al Liceo Guatemala) y por simple observación se verificó que la densidad del agregado grueso que está sobre la superficie parece insuficiente.

Como se mencionó anteriormente, las causas de éstas grietas pueden identificarse con: mala calidad del concreto fabricado, esto incluye a los agregados, el cemento, aditivos o la fórmula de trabajo utilizada para elaborar la mezcla. Además pueden atribuirse las fallas a un mal procedimiento de colocación de la mezcla, específicamente sino se cumple con la consistencia, el revenimiento o con la temperatura requerida.

Influye en forma significativa el curado del concreto ya colocado, así como el tiempo de fraguado para ponerlo en servicio. Y por último, las fallas pueden provocarse si la capa de base no está bien nivelada o bien construida de tal forma que presente superficies blandas que no sean capaces de absorber con propiedad, la carga del tránsito que se transmite desde la capa de rodadura hacia la capa de base.

Como efectos del apareamiento prematuro de fallas en las carpetas de rodadura de concreto hidráulico recién construidas en Quetzaltenango, se tienen: El deficiente aprovechamiento de los recursos financieros asignados a la red vial departamental que de por sí es escaso comparado con las necesidades actuales y las dificultades del usuario para circular.

En tal sentido, al quedar mal construidas las vías, el mantenimiento periódico se hace necesario implementarlo inmediatamente siendo éste de alto costo, pues se hace necesario reemplazar las losas falladas completas por otras nuevas, esto si la causa fuese mala fabricación del concreto o mala colocación del mismo y el caso más grave sería cuando es preciso adicionalmente reemplazar también la capa de base por estar agrietada.

En otras palabras, la obra mal construida demanda volver a invertir en ella, lo cual tiene consecuencias devastadoras pues frena el rezagado desarrollo de la red vial.

Por otro lado, las fallas en la carpeta de rodadura, con el paso de los vehículos tienden a aumentar formando fallas en bloque los cual provoca una reducción de velocidad, con los consiguientes efectos de tráfico y demoras que son tan indeseables en términos de desarrollo local.

Como se mencionó anteriormente, de las tres causas principales que intervienen en la calidad de una carpeta de rodadura, la que se tratará en este estudio será la primera de ellas que tiene que ver con la calidad de los materiales que intervienen en la mezcla.

Específicamente este trabajo de investigación se propone estudiar la calidad de los materiales que intervienen en la mezcla de concreto,

particularmente la calidad del agregado grueso que interviene en la resistencia estructural del concreto y en la resistencia al desgaste, tomando en cuenta que a mayor tamaño del agregado grueso mayor es la resistencia del pavimento y a mayor dureza menor desgaste superficial del mismo.

Por razones de tiempo y recursos no se considerará la calidad del agregado fino responsable de la regularidad de la superficie, de la consistencia de los bordes de las losas y la manejabilidad del concreto fresco.

Tampoco se considera la relación agua-cemento que contribuye también a la resistencia estructural del concreto.

En cuanto a la delimitación espacial, se analizará la red vial de Quetzaltenango, específicamente aquella que ha sido construida con concreto hidráulico en su carpeta de rodadura y temporalmente al lapso entre 2,008 y 2,013 tiempo en el cual se construyeron varios proyectos.

Por último, en cuando a la disciplina ingenieril este trabajo de investigación aplica para el diseño y construcción de pavimentos rígidos dentro de la ingeniería vial.

El presente trabajo de graduación se justifica porque su contenido está incluido dentro de la línea de investigación dada por la Escuela de Postgrados, maestría en Ingeniería Vial, "Planificación, Operación y Mantenimiento" pues se debe tener un constante monitoreo de la obras para evaluar posibles fallas en las carreteras y puentes, determinando cuáles son las causas de tales defectos. Es importante que se tenga una buena planificación desde el inicio del proyecto y una buena práctica constructiva del mismo.

Así mismo, a la fecha no existe un estudio de graduación que verifique si los agregados que se producen en el Valle de Palajunoj, Llano del Pinal y cabecera departamental de Quetzaltenango lugares donde se explotan las canteras para producir agregados durante todo el año, reúnen los requisitos de acuerdo con las Especificaciones Generales para la construcción de Carreteras y Puentes o Libro Azul.

En cuanto al método de producción, únicamente se producen agregados por trituración, lo cual inicia desde la extracción del material ya sea de canteras a cielo abierto donde se utiliza maquinaria pesada o en otros casos realizando voladuras controladas.

Posteriormente se traslada el material hacia la trituradora y se deposita en tolvas de trituración, reduciéndolo a tamaños más pequeños hasta llegar a la medida demandada por los usuarios, por medio de tamices. Por último, el producto es apilado en patios para la venta.

En este punto, se procede a realizar las preguntas de investigación que van a orientar el curso de la investigación y como pregunta general se plantea: ¿Los agregados gruesos producidos en las principales trituradoras de Quetzaltenango cumplen con la calidad requerida por las Especificaciones del Libro Azul, para la construcción de pavimento de concreto con cemento hidráulico?.

Como preguntas específicas se exponen: ¿Si el agregado grueso disponible en Quetzaltenango llena los requisitos establecidos en la sección 551.04 (c), incluyendo los requisitos de desgaste o abrasión y la limitación de partículas planas y alargadas?

Por último, ¿Existen en el mercado de agregados gruesos de Quetzaltenango, granulometrías recomendables para la fabricación de concreto para pavimento rígido?

OBJETIVOS

General:

Analizar la calidad del agregado grueso producido en la cabecera departamental de Quetzaltenango en las distintas plantas trituradoras existentes y determinar en cuáles de ellas, la calidad del producto cumple con las Especificaciones Generales para Construcción de Carreteras y Puentes, edición 2001, para utilizarlo en la fabricación de concreto hidráulico para carpetas de rodadura rígidas.

Específicos:

1. Realizar los ensayos de laboratorio requeridos a efecto de evaluar las propiedades físicas de la grava y verificar el cumplimiento de la calidad exigida por las Especificaciones del Libro Azul específicamente las contenidas en la sección 551.04 (c)
2. Verificar si en el mercado de agregados gruesos de Quetzaltenango, existen granulometrías recomendables para la fabricación de concreto para pavimento rígido.

RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO

La investigación se realizó bajo un método experimental, lo que significa que se hicieron pruebas en laboratorio de materiales, para conocer las propiedades de cada uno de los agregados gruesos que se producen en la cabecera departamental de Quetzaltenango, para esto se involucró un pequeño número de personas que apoyaron a realizar las pruebas y la recopilación de los diferentes agregados gruesos producidos en el departamento.

La muestra de los diferentes agregados gruesos estudiados fueron proporcionadas satisfactoriamente por cada una de las empresas que los producen en el lugar, entre los cuales se obtuvieron: piedrín azul (Agreca), piedrín negro (Asfaltera de Occidente), piedrín rosado (Mapersa), piedrín de río (Corporación la Rotonda) y Base triturada (Agreca).

Además, se realizaron mezclas de concreto hidráulico con cada uno de los agregados gruesos en estudio, para lo cual se utilizó una misma fórmula de trabajo (1:2:2 Cemento, arena, piedrín) y así establecer el aporte de estos a la resistencia final de un concreto.

De tal forma que, fue necesario contratar personal de Cementos Progreso que estuviera certificado por el Instituto Americano del Concreto para la elaboración de 20 especímenes de concreto (4 de cada mezcla) y que posteriormente fueron ensayados a compresión a los 14 y 28 días después de su elaboración.

La característica a conocer en los análisis de agregados gruesos fue la calidad de los mismos, para establecer cuáles pueden ser utilizados para la fabricación de pavimentos rígidos y los efectos que estos pueden provocar en la resistencia requerida para un pavimento de concreto hidráulico.

Los procedimientos de campo realizados en este trabajo de investigación se llevaron a cabo en las instalaciones de la empresa Multiconcretos de Occidente (Occimix), a excepción de las pruebas de compresión a los especímenes de concreto que se llevaron a cabo en las instalaciones de la empresa Mixto Listo, Planta Salcajá, Quetzaltenango.

En tal sentido, se realizó un análisis de los resultados obtenidos en el laboratorio de materiales; con los cuales se puede establecer la calidad de los agregados gruesos con base al cumplimiento de las especificaciones generales para carreteras y puentes, edición 2001.

Con respecto a los resultados obtenidos de las pruebas de compresión de los especímenes de concreto, se verificó el cumplimiento de la resistencia mínima (4000 PSI) que deben alcanzar los concretos que son utilizados para pavimentos a una edad de 28 días, puede establecer cuáles son aptos para un uso en este tipo de proyectos.

Esta investigación fue completamente experimental debido a la ejecución de los ensayos de laboratorio de materiales a cada uno con agregados gruesos, en los cuales se pueden mencionar el piedrín azul, negro, entre otros; todos estos producidos en el Valle de Palajunoj, cabecera departamental de Quetgo.

Con lo anterior, se generará un documento de aporte al sector de la construcción, identificando cuáles son los agregados gruesos de alta calidad

que cumplen con las especificaciones de la DGC, para que se produzcan pavimentos de óptima calidad y duraderos.

INTRODUCCIÓN

En el departamento de Quetzaltenango existen diferentes producciones de agregados gruesos (pedrín) que son fabricados para diversos usos de la construcción, entre ellos los denominados: pedrín azul, negro, rosado, de río y base triturada, de los cuales no todos son apropiados para la fabricación de pavimentos rígidos.

En este Departamento se pueden encontrar agregados gruesos que no cumplen con las Especificaciones Generales para Carreteras y Puentes, edición 2001 y son utilizados para la construcción de carpetas rígidas, de esa cuenta se puede establecer que no se exige el cumplimiento de las mismas por parte de las entidades supervisoras de los proyectos y, por lo mismo no existen laboratorios en campo que permitan determinar la calidad de los agregados gruesos que se utilizan. De tal forma se pueden observar pavimentos defectuosos con períodos de vida útil cortos que reflejan una mala calidad y la ineficiente utilización de los recursos del Estado.

La presente investigación tiene como principal objetivo determinar la calidad de los agregados gruesos que se producen en la cabecera departamental de Quetzaltenango y establecer cuáles pueden usarse para la construcción de pavimentos de concreto hidráulico, estableciendo si todos los agregados que se producen cumplen con las especificaciones que indica la Dirección General de Caminos (DGC, libro azul, 2001, sección 500, 550, 551.04), como puede ser el tamaño del agregado para aportar una mejor resistencia al pavimento, entre otras.

Se efectuó la recopilación de la muestra, según la técnica utilizada para cada uno de los agregados gruesos que se producen en el Valle de Palajunoj, Llano del Pinal, cabecera departamental de Quetzaltenango, obteniéndolas satisfactoriamente para su estudio, a través de cada uno de los proveedores de los diferentes agregados.

Por lo tanto, se pudo estudiar la calidad de los agregados gruesos que se producen en el Valle de Palajunoj, Llano del Pinal, cabecera departamental de Quetzaltenango estableciéndose quiénes de ellos cumplen los parámetros técnicos de uso obligatorio para la entidad supervisora y ejecutora de los proyectos municipales, dichos parámetros se basan en las especificaciones que exige la DGC, ya que no existe una norma municipal que indique los requisitos de calidad con que deben cumplir los agregados gruesos.

Se realizaron las muestras de agregados gruesos, según normas ASTM C-33 (AASHTO M 80), ensayos de la máquina de Los Ángeles para determinar el desgaste que estos poseen; además de conocer su porcentaje de humedad, contenido de materia orgánica, peso unitario compactado, gravedad específica y granulometría. Es importante mencionar que la Dirección General de Caminos en sus especificaciones indica que también se debe conocer la pérdida de masa, la desintegración al sulfato de sodio, porcentaje de partículas frías y porcentaje de partículas planas y alargadas de los agregados gruesos; En esta investigación no se realizaron esos ensayos debido a que no inciden de manera importante en la resistencia del concreto. Los resultados de los ensayos que se realizaron a los diferentes agregados gruesos que se producen en la cabecera departamental de Quetzaltenango se muestran a continuación, es importante mencionar que de estos únicamente dos cumplen con las Especificaciones requeridas por la DGC; véase la siguiente tabla.

Tabla I. **Resultados de laboratorio para agregados gruesos de Quetzaltenango.**

ENSAYO	PIEDRÍN NEGRO	PIEDRÍN AZUL	PIEDRÍN ROSADO	PIEDRÍN DE RIO	BASE TRITURADA	SEGÚN NORMA DE LA DGC
Absorción (%)	2.07	2.80	12.5	6.89	8.32	≤ 5
Humedad (%)	1.10	1.20	4.59	2.39	3.48	≤ 1.5
Materia Orgánica (Color)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	≤ 5
Pasa Tamiz 0.075mm (%)	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	≤ 1.5
Peso Especifico	2.65	2.60	6.34	4.48	5.18	≤ 5
Masa Unitaria Compactada (Kg/m ³)	1508.00	1468.00	1043.12	1349.00	1165.23	1200 - 2000
Masa Unitaria Suelta (Kg/m ³)	1352.00	1376.00	1127.00	1462.00	1294.58	1200 - 2000
Resistencia a la Abrasión (%)	34.00	38.00	54.00	44.00	47.89	≤ 40
Partículas planas y alargadas (%)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	≤ 15

Fuente: elaboración propia.

Los agregados conocidos como piedrín negro y azul cumplen con todas las especificaciones generales de la DGC, siendo su resistencia a la abrasión una de las características más importantes que poseen, lo cual permite que aporten una mejor resistencia estructura al pavimento de concreto hidráulico, estos están compuestos por partículas completamente solidas que hacen que sus propiedades sean las mejores, razón por la cual son de mejor calidad.

Con respecto a los agregados gruesos conocidos como: piedrín rosado, de río y base triturada, es importante dar a conocer que no cumplieron con las especificaciones generales que exige la Dirección General de Caminos para agregados que son implementados en la construcción de pavimentos de concreto hidráulico, una de las características importantes que no cumplen

estos agregados es la resistencia a la abrasión, ya que tienen una consistencia muy frágil que permite su desintegración fácilmente, la mala calidad de estos agregados y su utilización en los pavimentos hace que por ende los proyectos sean de baja calidad y corta vida útil.

Los agregados gruesos que no cumplen con las especificaciones de la DGC además de tener una mala resistencia a la abrasión, poseen características que les permiten tener un alto porcentaje de absorción, debido a que no son completamente sólidas, lo cual es un efecto negativo para la calidad de los mismos y de ser utilizados para la construcción de pavimentos por la cantidad de vacíos que tienen, llegan a provocar grietas que posteriormente se convierten en falla en bloque al momento de que la estructura es sometida al paso constante de las cargas vehiculares.

En el departamento de Quetzaltenango, se debe tomar en cuenta que los agregados gruesos producidos en los diferentes puntos de trituración tienen un tamaño máximo de 1" lo cual viene a perjudicar la calidad de los pavimentos de concreto hidráulico, ya que para este tipo de proyectos, según normas deben utilizarse agregados de 1 1/2" y 2", para aumentar la resistencia estructural de los pavimentos y por consiguiente la calidad de los mismos, recordando que a mayor tamaño de los agregados gruesos mayor será la resistencia que se obtiene, generando mayor capacidad estructural en los pavimentos y prevenir el apareamiento de grietas que puedan llegar a convertirse en fallas en bloque.

En el capítulo 1, se muestra un marco general de los agregados gruesos para un concreto hidráulico, los tipos de agregados, sus características resistentes, tipos de rocas, los procedimientos necesarios para la obtención del mismo y cómo realizar un muestreo para sus respectivos ensayos de laboratorio.

Se consideró importante conocer cuál es el proceso que se lleva a cabo por parte de las diferentes trituradoras que operan en la cabecera departamental de Quetzaltenango, para la obtención del agregado grueso, estableciendo así un capítulo 2, que permite conocer dicho proceso e identificar los diferentes materiales que se producen y el control de calidad que llevan dichas empresas.

El tercer capítulo de esta investigación contiene básicamente todas las características determinadas para los agregados gruesos utilizados en el departamento de Quetzaltenango, para lo cual se realizó una serie de ensayos y cálculos de laboratorio de materiales que permitieron determinar cuáles son los que cumplen con las características de calidad que exigen la Dirección General de Caminos.

1. RESEÑA HISTORICA Y GENERALIDADES DE LOS AGREGADOS GRUESOS

De acuerdo con Velásquez (2011) en la investigación sobre la Evolución de la industria del concreto en Guatemala, un agregado grueso se define como un material formado por rocas ígneas, las cuales deben tener un aspecto duro, resistente, limpias de cualquier material ya sea materia orgánica o polvo.

Durante la historia del ser humano el hombre ha sabido utilizar los recursos propios de la naturaleza y es así como la historia del proceso de obtención de los agregados gruesos se genera desde el interior de la tierra para poder llevar el material a lugares donde puedan ser transformados y obtener los tamaños deseables para un uso en la elaboración de concreto hidráulico (Garnica, 2012).

Luis Álvarez Valencia (2012), Director del Instituto del Cemento y el Concreto de Guatemala ICCG, menciona en el congreso denominado “Tecnología del Concreto” impartido en el Departamento de Quetzaltenango, que en la última década la necesidad de obtener agregados gruesos de calidad, ha llevado al ser humano a estudiar drásticamente las leyes de la naturaleza para conocer adecuadamente la composición de las rocas que nos sirven de materia prima para la obtención de los agregados gruesos, ya que muchas veces se utilizaba material de mala calidad que generaba una baja resistencia en los concretos lo cual perjudicaba la calidad como tal de los proyectos.

En si el agregado grueso consiste en gravas o en piedrín derivado de los cantos rodados naturalmente o triturado desde una cantera. Tomando en

cuenta que el concreto es una piedra artificial, el agregado grueso es la materia prima para fabricar el concreto. En efecto se debe usar la mayor cantidad posible y del tamaño mayor, teniendo en cuenta los requisitos de colocación y resistencia. En Guatemala, según la DGC (2001) se considera como agregado grueso, grava o pedrín, al compuesto por partículas mayores a 5 mm. (Que quedan retenidas en el tamiz no.4).

Velásquez (2011), en Guatemala debido a la explotación de sus agregados de canto rodado, la industria de la construcción solicitaba la existencia de una sólida operaria de agregados para satisfacer la necesidad de productos variados, con estándares de calidad y provisión garantizada. Por eso, en marzo del 2004, nace Agregados de Centroamérica (AGRECA) aprovechando las fortalezas de 3 empresas líderes de la industria de construcción y enfilándose como el más grande productor del istmo.

Se produce pedrín, arena, bases trituradas y otros agregados para varios usos en construcción, gracias a sus estrictos métodos productivos y la utilización de la más moderna y eficiente tecnología a nivel mundial, cabe mencionar dentro de sus hechos significativos ante la responsabilidad social y empresarial, contribuye al mejoramiento y construcción de escuelas, con la aportación de pedrín y arena (Velásquez, 2011).

Velásquez (2011), establece que en nuestro país debido a la explotación y la cantidad excesiva de agregados naturales a partir del 2003, principalmente en los bancos del área volcánica que abarca un área aproximada de 25,000 km², conteniendo 40 volcanes principales, se vio la necesidad de empezar a obtener agregados artificiales que son producidos por trituración en canteras; por lo cual se produce pedrín y arena, partiendo de formaciones rocosas.

De acuerdo a lo establecido por Salguero (2004) en su trabajo de investigación, la calidad del agregado artificial depende de la composición de la roca, de su estructura, grado de fracturación, clivaje y dureza; pero es requisito fundamental que la roca a triturar debe ser dura, tenaz y de resistencia igual o mayor que la pasta de del cemento con el objeto que sea apta para proporcionar un concreto de calidad.

Entre las rocas empleadas para la trituración se tienen: volcánicas e ígneas (intrusivas o extrusivas, riolitas, andesitas, basaltos, granitos etc.), sedimentarias (calizas, dolomitas, etc.) y las metamórficas (esquistos, pizarra, mármol, etc.). Principalmente de los bancos de Amatitlán, Coatepeque, Chinautla, Escuintla e Izabal. Al producir los 2 tipos de agregados de los cuales debe verificarse el contenido de substancias perjudiciales extrañas, ya que afectan la producción del concreto, haciéndolo más débil. Las impurezas más peligrosas son los ácidos libres y las sales, especialmente los carbonatos, fosfatos y cloruros; y de estos últimos en particular los de magnesio.

Lobos (2012) encargado del Laboratorio de Control de Calidad en la empresa Agregados de Centroamérica, Planta Quetzaltenango indica que los agregados gruesos en Guatemala son un material granulado como la grava o como el uso actual de piedra triturada encontrados en los principales bancos, producido bajo los más estrictos estándares fijados para construcción y producción de prefabricados, el piedrín obtenido en el país cumple con los requisitos de calidad en cuanto a granulometría, % de partículas planas y alargadas desgaste físico y químico; entre otras características fundamentales para obtener concretos, asfaltos, blocks, adoquines, postes, tubos y otros productos prefabricados.

1.1. Clasificación de las rocas

Según Salguero (2004) en su análisis de calidad de agregados para concreto en Quetzaltenango, existe una clasificación de las rocas que se utilizan para la obtención de los agregados gruesos en la cabecera departamental, la cual se detalla a continuación:

- **Ígneas:** Entre estas se tienen todas las que se conocen como granitos y basaltos.
- **Sedimentarias:** Están comprendidas principalmente por las rocas de origen calizo y las arenitas.
- **Metamórficas:** Este tipo de rocas las comprenden lo que son las cuarcitas y esquistos.

En la norma ASTM C-33 (AASHTO M 80) se establece que los agregados gruesos deben tener un diámetro mayor a 5 mm y al momento de ser triturados pueden adquirir forma alargada, plana y redonda; por su textura pueden ser ásperos, lisos, porosos e irregulares y es muy importante determinar el color de las mismas ya que pueden servir para decoraciones y no ser utilizados como agregado para la fabricación de concreto.

1.2. Pruebas de laboratorio para los agregados gruesos

Es importante conocer las propiedades físicas de los agregados gruesos, ya que mediante estas se podrá determinar si es un agregado de buena calidad que permita obtener una alta resistencia en los concretos hidráulicos; entre los

ensayos que se deben realizar, según la norma ASTM C-33 (AASHTO M 80) y la DGC, para los agregados gruesos podemos mencionar los siguientes:

- **Absorción:** Sirve para medir la porosidad de las partículas, mientras más alto es el porcentaje de absorción, menor resistencia tienen los agregados gruesos.
- **Cantidad de partículas que pasan el tamiz 0.075 mm o pasa 200:** Es importante determinar la cantidad de estas partículas, ya que todas aquellas menores a 0.075 mm interfieren en la adherencia del agregado grueso con la pasta del cemento, haciéndolos perder resistencia final.
- **Densidad:** Permite conocer la relación entre la masa y el volumen de la roca.
- **Desgaste por abrasión:** Indica la resistencia del agregado grueso al ser sometido a frotación con otro material de resistencia conocida o por frotación de las mismas partículas del agregado.
- **Forma de los agregados:** Pueden adquirir ciertas formas, entre las cuales se puede mencionar: alargada, plana, redonda y fracturadas; Es importante que estas sean fracturadas para tener una mejor trabazón de agregados.
- **Masa unitaria:** Permite determinar la relación entre la masa del material que cabe en un determinado recipiente y el volumen del mismo.

- **Porcentaje de humedad:** Los agregados pueden tener algún grado de humedad que está relacionado directamente con la porosidad de las partículas, lo cual es importante conocer, ya que podrían aportar cierta cantidad de agua a la mezcla, afectando nuestra relación agua – cemento.
- **Sustancias perjudiciales:** Los agregados gruesos deben estar libres de materia orgánica e inorgánica, porque esto afecta la resistencia final de un concreto hidráulico.
- **Granulometría:** Permite determinar el porcentaje de los diversos tamaños de agregados en una muestra, la prueba se realiza de mayor a menor tamaño, representando así el peso del porcentaje parcial de la cantidad de partículas de todos los tamaños.

Para Montejo (2010), la granulometría y el tamaño máximo de los agregados son importantes debido a su efecto en la dosificación, trabajabilidad, economía, resistencia, porosidad y contracción del concreto.

Para la gradación de los agregados se utilizan una serie de tamices que están especificados en la Norma Técnica Guatemalteca equivalente a la norma ASTM C-33 (AASHTO M 80), de los cuales se seleccionarán los tamaños y por medio de procedimientos se obtendrá el tamaño máximo nominal y absoluto para el agregado grueso.

Al momento de realizar el tamizado de los agregados gruesos se utilizan la siguiente nomenclatura que sirve para interpretar los resultados finales de las pruebas:

- Pasa tamiz 200: Significa la cantidad de finos que se encuentran en el agregado grueso, los cuales no deben ser mayor al 1.5 por ciento del peso de la muestra que se está ensayando. A excepción de que sea polvo de trituración este no debe ser mayor a 1%.
- Retiene: Indica la máxima cantidad de material que quedo retenido en determinado tamiz y a la vez establecer la granulometría de dicha muestra.

En las especificaciones para Carreteras y Puentes de la DGC (2001), se establece cómo determinar el tamaño apropiado de una muestra de agregados gruesos, para lo cual se debe llevar a cabo el proceso de tamizado y determinar el porcentaje de partículas en cada tamiz. Una vez conociendo los porcentajes de partículas retenidas en cada tamiz, se establece en cuál de estos quedó la mayor parte de la muestra retenida y con la ayuda de la Tabla II se establece a qué granulometría corresponde dicha muestra.

Los agregados gruesos deben cumplir con los requisitos de la siguiente tabla para el número del tamaño especificado, los rangos que se presentan son muy amplios para adecuarse a las condiciones de toda la nación.

Tabla II. Porcentaje por peso que pasa por tamices de abertura cuadrada										
GRADUACIONES AASHTO M 80	63.0 mm (2 1/2")	50.0 mm (2")	38.1 mm (1 1/2")	25.0 mm (1")	19.0 mm (3/4")	12.5 mm (1/2")	9.50 mm (3/8")	4.75 mm (No. 4)	2.36 mm (No. 8)	
N°7 12.5 a 4.75 mm (1/2" a N°4)	-	-	-	-	100	90-100	40-70	0-15	0-5	
N°67 19.0 a 4.75 mm (3/4" a N°4)	-	-	-	100	90-100	-	20-55	0-10	0-5	
N°57 25.0 a 4.75 mm (1" a N°4)	-	-	100	95-100	-	25-60	-	0-10	0-5	
N°467 38.1 a 4.75 mm (1 1/2" a N°4)	-	100	95-100	-	35-70	-	10-30	0-5	-	
N°357 50.0 a 4.75 mm (2" a N°4)	100	95-100	-	35-70	-	10-30	-	0-5	-	
N°4 38.1 a 19.0 mm (1 1/2" a 3/4")	-	100	90-100	20-55	0-15	-	0-5	-	-	
N°3 50.0 a 25.0 mm 2" a 1"	100	90-100	35-70	0-15	-	0-5	-	-	-	

El material que pasa el Tamiz 0.075 mm (N°200) no debe exceder de 1.0%, salvo el caso que consista de polvo de trituración, libre de arcilla, esquistos ó pizarras, en cuyo caso, se podrá aceptar un límite máximo de 1.5%.

Fuente: Dirección General de Caminos.

Material y equipo para realizar los ensayos de laboratorio

Lobos (2012) indica que para el análisis completo de los agregados gruesos es importante que se tenga un laboratorio bien equipado y que por lo menos cuente con el siguiente equipo:

Balanza: Con precisión dentro del 0.1% de la carga de ensayo en cualquier punto dentro del rango de uso, graduada como mínimo a 0.05 kg. El rango de uso de la balanza es la diferencia entre las masas del molde lleno y vacío.

Juego de tamices: Son una serie de tazas esmaltadas a través de las cuales se hace pasar una muestra de agregado que sea fino o grueso, su orden es de mayor a menor.

Figura 1. **Juego de tamices**



Fuente: elaboración propia.

Después de obtener los resultados finales del tamizado de agregados, se procede a realizar la curva granulométrica del material representándola de la siguiente manera:

Curvas ideales: Son curvas granulométricas que permiten obtener un dosaje de hormigón compacto, según los granos disponibles. Las ecuaciones de dichas curvas son función del diámetro de la malla del tamiz d (abscisa), del tamaño nominal máximo D y de algunos factores adimensionales propuestos empíricamente por los distintos investigadores. La distribución granulométrica de los agregados fue estudiada por muchos investigadores y de sus experiencias surgen curvas tales como las de Füller, Bolomey y EMPA de aplicación en hormigones que compatibilizan dentro de ciertos límites la máxima compacidad con la mejor trabajabilidad.

FÜLLER:

P: Porcentaje en peso que pasa cada tamiz

d : Abertura de cada tamiz $P = \sqrt{(d/D)}$

D: Tamaño máximo.

Figura 2. **Curva granulométrica del agregado grueso de Quetzaltenango**



Fuente: elaboración propia

Como se puede observar en la imagen de curva granulométrica proporcionada por la empresa Agregados de Centroamérica, en el eje de las abscisas se está representado el porcentaje de las partículas que pasa determinado número de tamiz y en el eje de las ordenadas está representada la abertura de los tamices, con lo cual se puede interpretar lo siguiente:

Los agregados pasaron en su totalidad el tamiz de 1" siendo todo lo contrario para el tamiz No. 4 donde únicamente lograron llegar los finos; por lo que se determinó que la granulometría óptima para esta muestra representativa es de 3/4", ya que tiene un pasa acumulado del 84%.

1.3. Tipos de agregados gruesos

Para el desarrollo de esta investigación es importante establecer que la norma ASTM C-31 (AASHTO T-26) indica que los diferentes tipos de agregados gruesos que existen, tienen diferentes orígenes en base a su fabricación, entre los cuales se puede mencionar los siguientes:

- **Agregados naturales:** Son todos aquellos que se utilizan únicamente después de una pequeña transformación a su tamaño original para acomodarlos a las exigencias de la construcción.
- **Agregados por trituración:** Son aquellos que se obtienen de la trituración de rocas provenientes de diferentes canteras que poseen tamaños relativamente grandes y deben ser trituradas para usarlas en las construcciones.

- **Agregados artificiales:** Son sub productos de procesos industriales que permiten obtener escorias o materiales procedentes de demoliciones y pueden ser utilizados como reciclaje. Pueden ser utilizados en cimientos.

Los agregados gruesos también los podemos clasificar por su peso específico, siendo las siguientes clasificaciones: ligero, normal y pesado.

1.4. Propiedades resistentes de los agregados gruesos

Mediante el análisis de la norma ASTM C-131 (AASHTO T-180) se establece la importancia de conocer las siguientes características de los agregados gruesos (resistencia, tenacidad, dureza, módulo de elasticidad), ya que estas permitirán establecer cuál es el aporte de este material a la resistencia final de un concreto, recordando que un concreto está elaborado en un 75% por agregado grueso y fino.

1.4.1. Resistencia

Según estudios realizados se ha podido determinar que la resistencia de un concreto no puede ser mayor que la de los agregados, la textura, estructura y composición de las partículas influyen grandemente en la resistencia final de un concreto hidráulico (ASTM C-131, AASHTO T-180).

1.4.2. Tenacidad

Esta es una de las características que está asociada a la resistencia al impacto del material, involucra directamente lo que es la flexión y textura del material (ASTM C-131, AASHTO T-180).

1.4.3. Dureza

Se define como dureza de un agregado a la resistencia que éste presenta ante el desgaste de sus partículas, por lo que se considera que esta propiedad depende de la composición del material (ASTM C-131, AASHTO T-180).

Los agregados gruesos a emplear en los concretos deben poseer una alta resistencia a la abrasión, para evitar el desgaste de los mismos y así garantizar la calidad como tal.

1.4.4. Módulo de elasticidad

Este se define como el cambio de esfuerzos con respecto a su deformación elástica, ya que es considerado como una medida de la resistencia a las deformaciones del material. El valor de este módulo de elasticidad influye en el escurrimiento plástico y las contracciones que puedan presentarse (ASTM C-131, AASHTO T-180).

1.5. Importancia de los agregados gruesos en la construcción

Velásquez (2011), afirma que en el sector de la construcción son necesarias toneladas de agregados gruesos para la ejecución de los diferentes proyectos, entre los cuales se puede mencionar: viviendas, pavimentos, puentes, entre otros.

Para desarrollar toda la infraestructura turística se necesitan miles de toneladas de agregados gruesos, por lo que se consideran un material de suma importancia para el desarrollo de un país y que mejor si son producidos con altos estándares de calidad.

Alvarado (2008) indica que se deben garantizar proyectos que tengan un aspecto agradable y períodos de vida útil de acuerdo a su diseño, con lo cual se estará garantizando un uso eficiente de los recursos del estado y la calidad como tal.

1.6. Proceso de trituración de los agregados gruesos

La empresa Agregados de Centroamérica establece en su revista Proceso de Obtención de Agregados (AGRECA, 2009) que el proceso de trituración se da en varias etapas para reducir el tamaño de las piedras extraídas hasta alcanzar granulometrías deseadas para el mercado de la construcción, este proceso de reducción está relacionado directamente con la energía aplicada y se divide en dos etapas:

- Trituración primaria
- Trituración secundaria

1.6.1. Proceso de trituración en planta

En las canteras de piedra, el material grande de agregado grueso por lo general se reduce a un tamaño pequeño por una trituradora de mandíbula o giratoria. En algunas operaciones de la planta de trituración de agregados, las trituradoras de impacto se utilizan para la trituración primaria, pero el costo es más alto por tonelada. Las trituradoras de impacto pueden mejorar la calidad y la separación de agregados (AGRECA 2009).

Después de la trituración primaria del agregado, generalmente se puede ir alimentado la trituración secundaria conveniente. En la planta de agregados el proceso secundario y terciario son los pasos finales en la reducción del

material. Históricamente, las trituradoras de cono y de rodillos fueron las trituradoras más comunes, pero en los últimos años, las trituradoras de impacto son más comunes. A veces, estas trituradoras también se utilizan como trituradoras primarias (AGRECA 2009).

La trituradora de cono, sencillamente aplasta a la suma entre el cono oscilante y la pared de la trituradora. Una manera de la alimentación es utilizar una tolva de sobretensiones y un cinturón de alimentación controlada en el proceso de trituración de agregados (AGRECA 2009).

La forma de operar estas trituradoras es iniciando con la colocación del material en las tolvas de trituración para dar inicio al proceso primario en el cual se puede utilizar una trituradora tipo mandíbula o una trituradora tipo cono que a la vez se pueden combinar y obtener una mayor producción; este tipo de equipos utilizan ciertos engranajes que se colocan para determinar el tamaño del agregado que se desea producir, posteriormente se va colocando todo el material en bandas de 30" de ancho que lo lleva a una zaranda vibratoria compuesta de varios tamices dependiendo el tamaño del agregado que se desea obtener. Por último, es almacenado el material en grandes pilas de agregados en un patio de almacenamiento.

1.6.2. Toma de muestras para agregado grueso

Existen varias formas de cómo obtener una muestra de agregados gruesos, entre las cuales se puede mencionar las siguientes basado a la norma NTG 41009 (norma técnica guatemalteca):

- **Muestreo de un flujo de descarga de agregados (Descarga de una banda o de un contenedor):** Seleccione las unidades de producción a ser muestreadas por un método aleatorio. Obtenga al menos tres porciones aproximadamente iguales, seleccionadas aleatoriamente de la unidad muestreada, y combínelas para formar una sola muestra de campo cuya masa sea igual o exceda el mínimo recomendado. Tome cada porción de la sección transversal completa del chorro de material que está siendo descargado. Usualmente es necesario tener un recipiente construido para uso de cada planta en particular. Este dispositivo consiste en una bandeja de tamaño suficiente como para interceptar la sección transversal completa del chorro de la descarga y retener la cantidad requerida de material, sin desbordamiento.
- **Muestreo de una banda transportadora:** Seleccione las unidades de producción a ser muestreadas por un método aleatorio. Obtenga al menos tres porciones aproximadamente iguales, seleccionadas aleatoriamente de la unidad muestreada, y combínelas para formar una sola muestra de campo cuya masa sea igual o exceda el mínimo recomendado. Pare la banda transportadora cuando se vayan a obtener las porciones de las muestras. Coloque dos placas separadoras, cuya forma coincida con la forma de la banda, en el chorro del agregado de la banda, espaciándolas de tal forma que el material que quede comprendido entre ambas, sea una de las porciones y tenga el peso requerido. Cuidadosamente recoja con una pala el material que ha quedado entre las dos placas separadoras y colóquelo en un contenedor adecuado, recoja después los finos de la banda y con una brocha y una pala y colóquelos en el mismo contenedor.

- **Muestreo desde una pila de almacenaje o unidad de transporte:** Evite muestrear agregado grueso o mezclas de agregado grueso y fino de una pila de almacenamiento o unidades de transporte siempre que sea posible, particularmente cuando la muestra se toma con el propósito de determinar las propiedades en el agregado que puedan depender básicamente de la graduación de la muestra. Pero si las circunstancias hacen necesario obtener muestras de una pila de almacenamiento de agregado grueso o de agregado grueso y fino combinado, debe diseñarse un plan de muestreo para el caso específico que se tiene bajo consideración. Esta propuesta permitirá al agente de muestreo usar un plan de muestreo para que sea considerado aceptable por todas las partes involucradas en esta situación particular, para que exista confianza en los resultados obtenidos.
- **Muestreo en la carretera:** Muestrear las unidades seleccionadas de la construcción, por un método aleatorio. Obtenga al menos tres porciones aproximadamente iguales, seleccionadas aleatoriamente de la unidad muestreada y combínelas para formar una sola muestra de campo cuya masa iguale o exceda el mínimo recomendado. Tome cada porción de material del espesor completo de la capa, teniendo cuidado de excluir cualquier material que no pertenezca a la capa. Marque claramente las áreas específicas desde las cuales será removida cada porción: el uso de una placa separadora colocada sobre el área es una gran ayuda para asegurar que las porciones sean, aproximadamente del mismo peso.

2. PROCESO DE FABRICACIÓN DE LOS AGREGADOS GRUESOS DESDE LA CANTERA HASTA EL PUNTO DE VENTA, EN EL DEPARTAMENTO DE QUETZALTENANGO

Es importante conocer el proceso que se lleva a cabo para la obtención de los agregados gruesos en el departamento de Quetzaltenango, ya que se implementan diferentes técnicas para la producción de los mismos.

Según Escobar (2015), ex gerente Regional de Agregados de Centroamérica y actualmente responsable del área de Equipos de Constructora Norberto Odebrecht, Sucursal Guatemala, indica que en el Departamento existen dos empresas que fabrican agregados con equipo sofisticado para este tipo de trabajos y en la mayoría de los casos se pueden observar pequeños productores de agregados que utilizan un equipo no específico para la trituración de las rocas, son diferentes piezas las que ha ido acoplando para armar su propia trituradora y a la vez no producen diferentes granulometrías, lo cual afecta en el control de calidad que se debe tener para la fabricación de agregados y con respecto a pavimentos no producen agregados de 1 ½" y 2" que son los adecuados para un concreto en carpetas rígidas.

De esa cuenta se puede observar que en el Departamento una empresa productora de agregados es la única que cuenta con un control de calidad en laboratorio para sus agregados, ya que es importante conocer sus propiedades y ofrecer productos que permitan mejorar las características de un concreto con cemento hidráulico.

En la mayoría de los casos únicamente se trituran las rocas para obtener un agregado del cual no se conoce su calidad como tal, y es un factor muy importante al momento de utilizarlos en las mezclas de concreto, a continuación se describen los dos procesos que se implementan para la fabricación de agregados en Quetzaltenango.

2.1. Trituración de agregados utilizando voladura de canteras

Para realizar la trituración de agregados llevando a cabo la voladura de canteras se debe seguir el procedimiento que se indica a continuación, el cual fue dado a conocer por Valle (2011), Jefe de producción Agreca Quetzaltenango:

2.1.1. Estudio geológico de la cantera

Este es un paso muy importante que se debe contar con la presencia de un geólogo para conocer la estructura geológica de la cantera y determinar aquellos puntos donde se encuentre la mayor cantidad de rocas disponibles, por lo general se eligen aquellos puntos donde se tenga poca vegetación y cantidades de tierra para evitar daños al medio ambiente y minimizar la mezcla de rocas con tierra al momento de llevar a cabo la voladura de la cantera.

2.1.2. Voladura de cantera

Una vez realizado el estudio geológico e identificando los mejores puntos de la cantera, se procede a realizar perforaciones en las montañas a través de un barreno o taladro, alcanzada la profundidad indicada; luego se procede a colocar el explosivo en las cantidades que se requieran dependiendo el tamaño de la voladura que se desea realizar.

Figura 3. Perforación para colocación de explosivos



Fuente: elaboración propia.

Es importante mencionar que para efectuar la voladura de la cantera se requiere de personal especializado en explosivos que determinan la cantidad de dinamita a utilizar, según el tamaño de la explosión que se va realizar y, a la vez, se necesita del equipo especializado para ejecutar las perforaciones y presencia del Ejército de Guatemala.

Después de haber colocado la cantidad necesaria de explosivos en cada uno de los agujeros, se realiza una serie de circuitos que permitirán llevar a cabo la explosión y al mismo tiempo se realiza el sellado de agujeros con arena y grava, ejerciendo cierta presión con la finalidad de sellar completamente el orificio y que la explosión sea un éxito, de lo contrario no se cumple el objetivo.

Figura 4. **Voladura de cantera**



Fuente: elaboracion propia.

2.1.3. Selección del material

Después de realizada la explosión de la cantera, se procede a seleccionar las rocas que tienen una calidad aceptable y tamaño apropiado para ingresar directamente a las tolvas de trituración, también se verifica que estén libres de material orgánico como parte del control de calidad.

Para realizar el proceso de selección del material se utilizan excavadoras que permiten hacer apilamientos de rocas pequeñas que posteriormente serán trasladadas a tolvas de trituración por medio de camiones de volteo.

Figura 5. **Selección del material y acarreo por medio de camiones**



Fuente: elaboración propia.

En caso contrario que las rocas no tengas el tamaño apropiado para ingresar a las tolvas de trituración, se utiliza equipo específico como una excavadora con martillo para que reduzca el tamaño de las mismas y así ser utilizadas para la obtención de agregados.

Figura 6. **Reducción del tamaño de las rocas**



Fuente: elaboracion propia.

2.1.4. Trituración

Actualmente en el departamento de Quetzaltenango se está implementando el uso de trituradoras modernas donde se utilizan quebradoras de quijada, martillos, cribas vibratorias y las bandas transportadoras. Estas utilizan unas mallas especiales que se colocan dependiendo el tamaño del agregado grueso que se desea producir para tener un control adecuado de la granulometría del mismo, actualmente el tamaño máximo de agregado grueso que se produce es de 1", a continuación se presentan unas imágenes del equipo que se está utilizando.

Figura 7. Trituración de los agregados y equipo de trituración



Fuente: elaboracion propia.



Fuente: elaboración propia.



Fuente: elaboración propia.

2.1.5. Almacenamiento a patios

Después de llevar a cabo la trituración de los agregados, estos se almacenan en patios donde ya están en los tamaños deseados y listos para la venta, en este lugar es donde llegar a cargar los camiones que transportan los agregados al lugar de la obra, para lo cual se utilizan cargadores frontales.

Figura 8. **Almacenamiento en patios**



Fuente: elaboración propia.

2.2. Trituración de agregados a cielo abierto

En el departamento de Quetzaltenango es muy utilizado este procedimiento para la obtención de agregados gruesos, implementando esta metodología se afecta grandemente en el control de calidad para la fabricación de los mismos, a continuación se describe la metodología de esta actividad.

2.2.1. Obtención de las rocas

Para obtener este tipo de agregado se lleva a cabo la desintegración de rocas manualmente, para que puedan ser colocadas en tolvas pequeñas de trituración y obtener un agregado grueso de tamaños pequeños.

2.2.2. Trituración

Posteriormente, se colocan las rocas en una tolva para reducir las a tamaños pequeños a través de mandíbulas de trituración y son transportadas a patios de almacenamiento a través de canales de lámina.

2.2.3. Almacenamiento en patios

Finalmente, el agregado es apilado en los patios donde llegan a cargar los camiones y transportan el material a las obras. Se considera que es un material de mala calidad por las características que presenta con respecto a la abrasión del mismo.

3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

Los agregados gruesos son partículas de origen natural inertes y áridas, donde el 100% de las mismas son retenidas en el tamiz No. 4. Este tipo de agregados proporciona características de resistencia significativas a las mezclas de concreto hidráulico y asfáltico.

Mora (2012) de la Universidad de Perú, indica que las características de los agregados de un concreto son factores que deben considerarse al momento de realizar la fundición de cualquier elemento estructural, entre ellas se citan:

- **Absorción (%):** Es una característica que provoca el incremento de la masa de los agregados, debido al agua en los poros del material, sin incluir el agua que se encuentra en la superficie exterior de los mismos.
- **Materia orgánica (color):** Es importante que los agregados se encuentren libres de material orgánico, debido a que afectan negativamente la resistencia final de las mezclas de concreto, se debe tener un control de calidad en agregados para verificar la integridad del material.
- **Gravedad específica:** Es la relación que existe entre el peso de una sustancia y el volumen de la misma, dependiendo del valor de este dato se establecerá si es un material denso mejorando sus características de resistencia y compactación.

- **Peso unitario compactado (kg/m):** Se determina cuando los agregados han sido sometidos a compactación, lo cual incrementa el acomodamiento de las partículas y la masa unitaria de los mismos. Permite obtener el volumen absoluto y el grado de compactación al momento de llevar a cabo la colocación del pavimento.
- **Resistencia a la abrasión:** Se considera importante cuando el concreto estará expuesto a cualquier acción que produzca desgaste o erosión (mecánica o hidráulica).

3.1 Presentación de la propiedades de los agregados gruesos producidos, en el departamento de Quetzaltenango

Según Lobos (2014) laboratorista encargado del control de calidad en la empresa Agregados de Centroamérica AGRECA planta Quetzaltenango, en el Departamento los agregados gruesos que se producen y utilizan son:

3.1.1. Piedrín azul triturado

Utilizado para la fundición de elementos estructurales de alta resistencia como vigas y columnas, donde se tienen confinamientos y se requieren agregados que tengan un diámetro menor a la distancia libre entre el acero de refuerzo y la pared de la formaleta. Este material es apropiado, ya que presenta una alta resistencia a la abrasión, evitando el desgaste y desintegración de las partículas al momento de la preparación y vibración del concreto, cumple con los requisitos de calidad en cuanto a granulometría, porcentaje de partículas planas y alargadas, desgaste físico y químico; entre otras características que son fundamentales para obtener concretos hidráulicos y asfálticos.

Generalmente se produce en medidas desde 3/8" hasta 1 1/2" mediante el proceso de trituración que inicia desde que los materiales son extraídos de la cantera para ser depositados en tolvas de trituración. Se determinó mediante análisis de laboratorio que posee un peso unitario compactado bastante elevado, el cual es un indicador de material pesado y sólido, que aporta buenas características de resistencia al concreto; presenta un bajo porcentaje de porosidad que ayuda a mantener un despreciable contenido de aire evitando la pérdida de resistencia del concreto.

Según Castillo (2014) laboratorista encargado del control de calidad en la empresa Mixto Listo, Planta Salcajá, este agregado ha sido utilizado en grandes cantidades para la fabricación de pavimentos de concreto por presentar un desgaste insignificante al paso constante de los vehículos, lo cual permite mantener las características del concreto y cumplir con el período de vida útil del mismo.

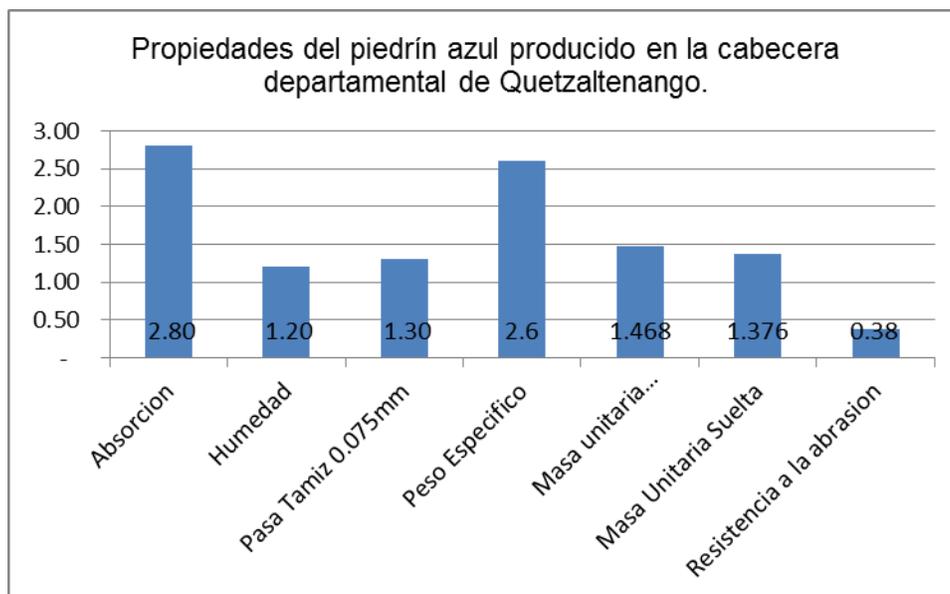
Las características de este agregado se obtuvieron mediante pruebas de laboratorio realizadas por el autor, dando los valores indicados en la tabla III.

Tabla III. **Propiedades del pedrín azul triturado**

ENSAYO	PIEDRIN AZUL	SEGÚN NORMA DE LA DGC
Absorción (%)	2.80	≤ 5
Humedad (%)	1.20	≤ 1.5
Materia orgánica (Color)	0.00	≤ 5
Pasa tamiz 0.075mm (%)	1.30	≤ 1.5
Peso específico	2.60	≤ 5
Masa unitaria compactada (Kg/m ³)	1468.00	1200 - 2000
Masa unitaria suelta (Kg/m ³)	1376.00	1200 - 2000
Resistencia a la abrasión (%)	38.00	≤ 40
Partículas planas y alargadas (%)	0.00	≤ 15

Fuente: elaboración propia.

Figura 9. **Resultados de ensayos al pedrín azul**



Fuente: elaboración propia.

3.1.2. Piedrín negro triturado

Este agregado posee pequeñas partículas de laja que modifican significativamente sus características, presentando una mejor resistencia a la abrasión, porcentaje de absorción más bajo y mayor peso unitario compactado en comparación al piedrín azul triturado; generando un bajo desgaste de las partículas al momento de ser sometidas al paso constante de vehículos; la absorción mínima que presenta este agregado pueden favorecer la resistencia del concreto, ya que sus partículas son completamente sólidas, por lo que se considera un concreto con menor contenido de aire; su peso unitario compactado indica que es un material apto para exponerlo al paso constante de cargas, constituyendo un agregado pesado que debe ser bien consolidado para eliminar los vacíos y obtener el acomodamiento de las partículas que aporten mejor resistencia al concreto.

Lobos (2012), este tipo de agregado es muy utilizado para la elaboración de concretos hidráulicos y asfálticos en el departamento de Quetzaltenango, siendo aprovechado en mayores cantidades para la elaboración de pavimentos asfálticos; En el departamento es producido por la Asfaltera de Occidente, posee un costo accesible a la economía del lugar y propiedades aceptables para su utilización.

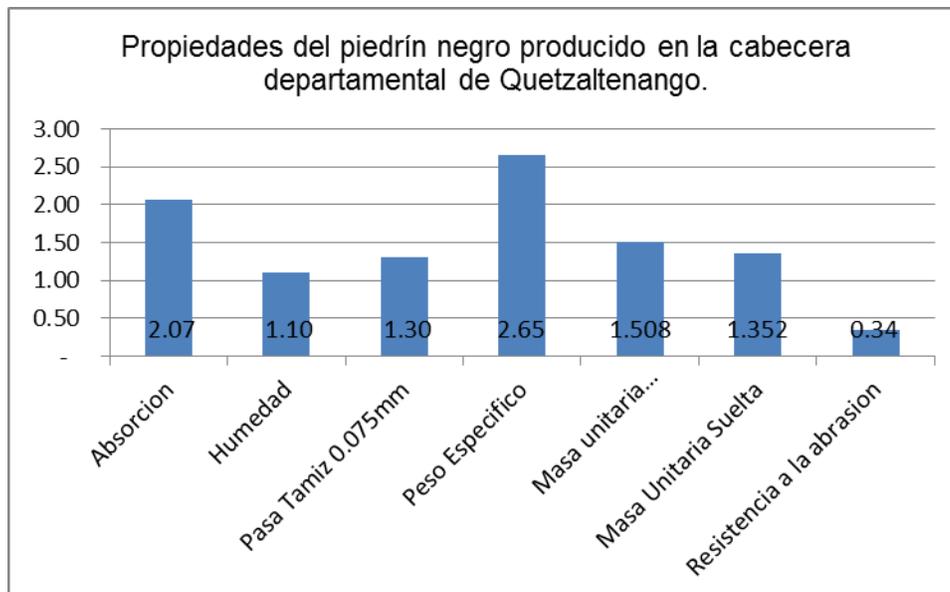
En la producción de este tipo de agregados también se lleva un estricto control de calidad en cuanto a granulometría y forma de las partículas, las características de este material se obtuvieron mediante pruebas de laboratorio que se mencionan a continuación:

Tabla IV. **Propiedades del pedrín negro triturado**

ENSAYO	PIEDRIN NEGRO	SEGÚN NORMA DE LA DGC
Absorción (%)	2.07	≤ 5
Humedad (%)	1.10	≤ 1.5
Materia orgánica (Color)	0.00	≤ 5
Pasa tamiz 0.075mm (%)	1.30	≤ 1.5
Peso específico	2.65	≤ 5
Masa unitaria compactada (Kg/m ³)	1508.00	1200 - 2000
Masa unitaria suelta (Kg/m ³)	1352.00	1200 - 2000
Resistencia a la abrasión (%)	34.00	≤ 40
Partículas planas y alargadas (%)	0.00	≤ 15

Fuente: elaboración propia.

Figura 10. **Resultados de ensayos al pedrín negro**



Fuente: elaboración propia.

3.1.3. Piedrín rosado triturado

Este tipo de agregado se obtiene de rocas de origen calizo, las cuales presentan una baja resistencia a la abrasión, esto influye en el desgaste al momento de ser sometidas al paso constante de cargas pesadas. Posee un porcentaje alto de absorción que altera las características del concreto y modifican su revenimiento, haciendo una mezcla más fluida. Con base a los estudios de laboratorio, se pudo determinar que este agregado tiene un peso unitario compactado demasiado bajo, que al momento de ser sometidas a compactación causa la desintegración de partículas demandando mayores cantidades de material al momento de producir determinado volumen de concreto.

En el departamento de Quetzaltenango este tipo de agregado grueso es el más utilizado por las personas al momento de construir sus viviendas y algunas empresas constructoras lo utilizan para la fabricación de pavimentos de concreto; se considera que este tipo de material es muy utilizado por su fácil obtención y bajo costo de producción; aunque realmente se debería utilizar como piedras decorativas para fuentes, chimeneas y columnas.

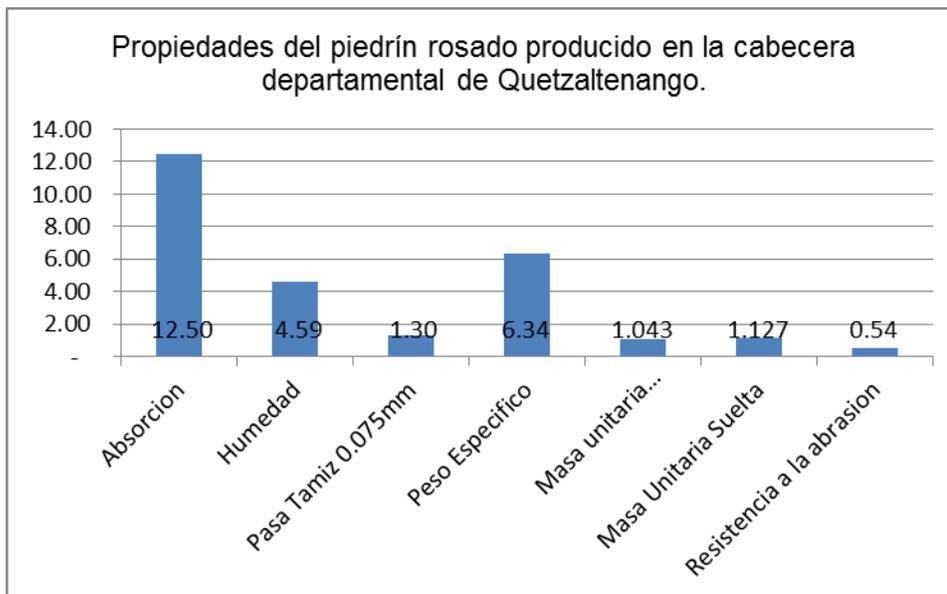
Las pruebas de laboratorio para determinar las propiedades del agregado generan los siguientes resultados:

Tabla V. **Propiedades del piedrín rosado triturado**

ENSAYO	PIEDRÍN ROSADO	SEGÚN NORMA DE LA DGC
Absorción (%)	12.5	≤ 5
Humedad (%)	4.59	≤ 1.5
Materia orgánica (Color)	0.00	≤ 5
Pasa tamiz 0.075mm (%)	1.30	≤ 1.5
Peso específico	6.34	≤ 5
Masa unitaria compactada (Kg/m ³)	1043.12	1200 - 2000
Masa unitaria suelta (Kg/m ³)	1127.00	1200 - 2000
Resistencia a la abrasión (%)	54.00	≤ 40
Partículas planas y alargadas (%)	0.00	≤ 15

Fuente: elaboración propia.

Figura 11. **Resultados de ensayos a piedrín rosado**



Fuente: elaboración propia.

3.1.4. Piedrín de río

Generalmente la extracción de este agregado se obtiene desde el lecho del río, en el cual se encuentra el material arrastrado por el escurrimiento de las aguas, no requiere ningún proceso de trituración ya que se encuentra en tamaños desde 3/8" hasta 1 1/2" debido al desgaste natural producido por el movimiento de las aguas, generando partículas redondeadas denominadas canto rodado.

Entre las características más importantes de este agregado se encuentra su alta resistencia al desgaste por abrasión, ya que son partículas completamente solidas que no permiten mucha absorción de humedad como el agregado mencionado en inciso a), esto hace que el material sea de mayor resistencia y posea un peso unitario compactado alto, lo que indica que es un material pesado bien consolidado que no sufre desintegración de sus partículas al ser sometido a cargas pesadas de tránsito.

En el departamento de Quetzaltenango a este tipo de agregado se le ha dado un uso general por sus características antes mencionadas, siendo los diferentes usos la fabricación de pavimentos de concreto, función de columnas, vigas y zapatas; pero se maneja en muy pocas cantidades ya que se dificulta la obtención del mismo por la escases de ríos en el lugar.

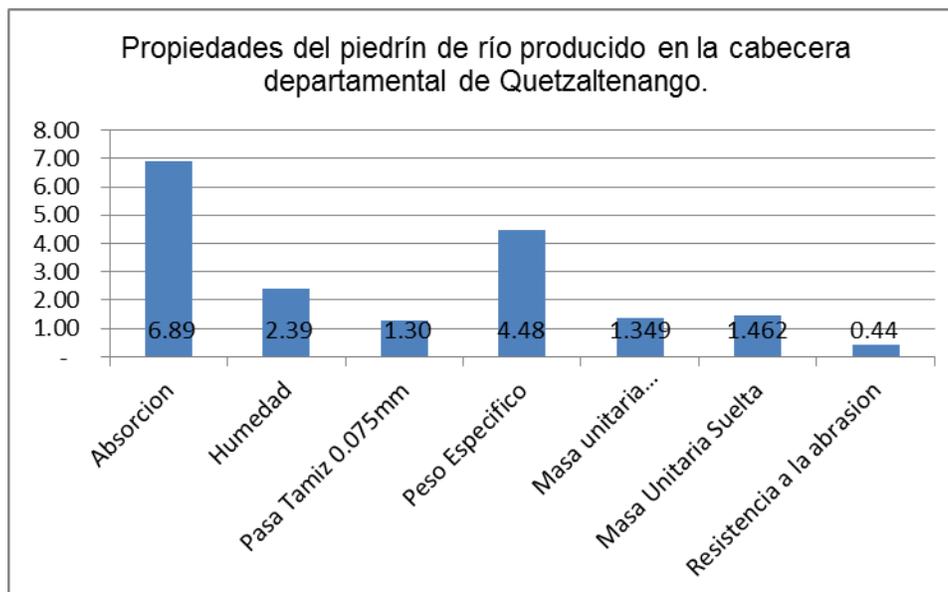
Se realizaron pruebas de laboratorio para la determinación de las propiedades del agregado, los resultados son los siguientes:

Tabla VI. **Propiedades del piedrín de río**

ENSAYO	PÍEDRIN DE RIO	SEGÚN NORMA DE LA DGC
Absorción (%)	6.89	≤ 5
Humedad (%)	2.39	≤ 1.5
Materia orgánica (Color)	0.00	≤ 5
Pasa tamiz 0.075mm (%)	1.30	≤ 1.5
Peso específico	4.48	≤ 5
Masa unitaria compactada (Kg/m ³)	1349.00	1200 - 2000
Masa unitaria suelta (Kg/m ³)	1462.00	1200 - 2000
Resistencia a la abrasión (%)	44.00	≤ 40
Partículas planas y alargadas (%)	0.00	≤ 15

Fuente: elaboración propia.

Figura 12. **Resultados de ensayos al piedrín de río**



Fuente: elaboración propia.

3.1.5. Piedrín base triturada

Proveniente de la mezcla de piedrín azul y rosado triturado, este tipo de material surge debido a la gran cantidad de roca caliza que se genera después de llevar a cabo la explosión de dinamita en las canteras, la cual se aprovecha mezclado agregado azul y producir una base con mejores características.

Esta base triturada presenta una resistencia a la abrasión similar a la del agregado mencionado en el inciso c). Al momento de ser sometida a fricción se observa el desgaste de las partículas del agregado rosado, siendo todo lo contrario el desgaste para las partículas del agregado azul; también se establece que posee un alto porcentaje de absorción debido a las propiedades del agregado de origen calizo.

A través del resultado sobre peso unitario compactado para este tipo de base triturada, se determinó que se genera una desintegración de las partículas y cierto acomodamiento de las mismas, por lo que se requiere una mayor cantidad de material por unidad de volumen a producir.

En el departamento de Quetzaltenango este material es producido por la empresa Agregados de Centroamérica y muy utilizado por su bajo costo, la mayoría de las personas lo utilizan para la construcción de viviendas unifamiliares y en algunos casos para pavimentos de concreto.

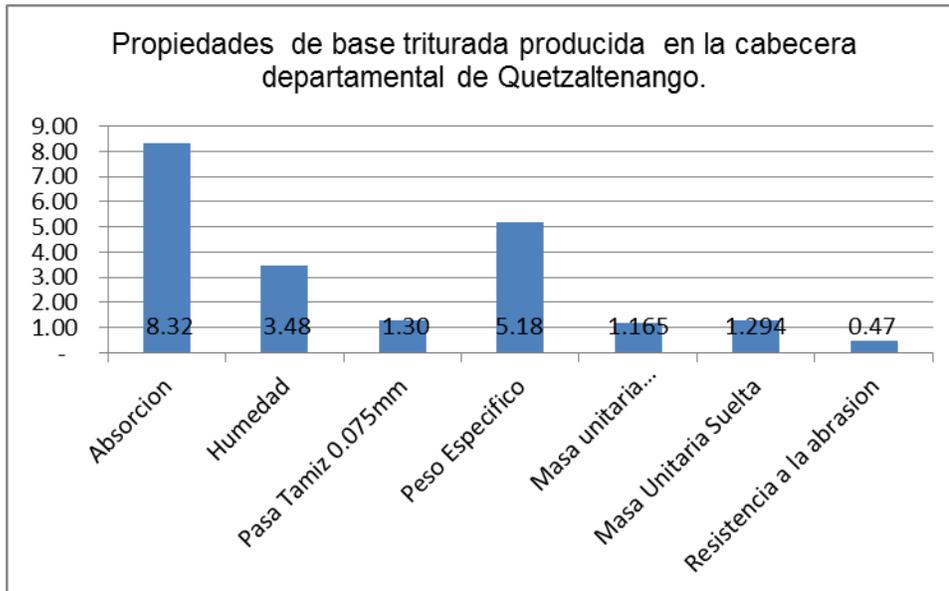
Para la producción de esta base triturada se tiene un control de calidad con respecto a su granulometría y la producción de la misma; las características de este agregado se determinaron realizando pruebas de laboratorio mediante las cuales se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla VII. **Propiedades del pedrín base triturada**

ENSAYO	BASE TRITURADA	SEGÚN NORMA DE LA DGC
Absorción (%)	8.32	≤ 5
Humedad (%)	3.48	≤ 1.5
Materia orgánica (Color)	0.00	≤ 5
Pasa tamiz 0.075mm (%)	1.30	≤ 1.5
Peso específico	5.18	≤ 5
Masa unitaria compactada (Kg/m ³)	1165.23	1200 - 2000
Masa unitaria suelta (Kg/m ³)	1294.58	1200 - 2000
Resistencia a la abrasión (%)	47.89	≤ 40
Partículas planas y alargadas (%)	0.00	≤ 15

Fuente: elaboración propia.

Figura 13. **Resultados de ensayos a base triturada**



Fuente: elaboración propia.

3.2 Resultados de resistencia del concreto utilizando los diferentes agregados gruesos de Quetzaltenango

Entre los diferentes agregados gruesos que se producen en la cabecera departamental de Quetzaltenango, es importante evaluar el aporte de estos a la resistencia final de un concreto, recordando que las mezclas de concreto están elaboradas en un 75% por agregados, razón por la cual se realizaron mezclas con cada uno de los agregados gruesos utilizando una misma fórmula de trabajo (1:2:2 cemento, arena, piedrín) para finalmente conocer la resistencia alcanzada.

La elaboración de las mezclas y especímenes de concreto se llevó a cabo en las instalaciones de la empresa Multiconcretos de Occidente y finalmente fueron ensayados a compresión en las instalaciones de Mixto Listo planta Salcajá, se realizaron un total de 20 especímenes, 4 de cada mezcla siendo evaluada su resistencia a una edad de 7 y 28 días.

Para establecer la resistencia final del concreto se obtuvo un promedio de los dos especímenes ensayados a los 28 días, los resultados se pueden observar a continuación:

Tabla VIII. **Resistencia del concreto utilizando diferentes agregados gruesos de Quetzaltenango, 2015**

Agregado	7 DIAS			28 DIAS			Lugar que ocupa
	Resistencia espécimen 1 (PSI)	Resistencia espécimen 2 (PSI)	Resistencia promedio (PSI)	Resistencia espécimen 1 (PSI)	Resistencia espécimen 2 (PSI)	Resistencia promedio (PSI)	
Piedrín azul	2595	2681	2638	3977	4122	4049.50	2°
Piedrín negro	2514	2463	2489	4067	4097	4082.00	1°
Piedrín rosado	1267	1327	1297	1505	2643	2074.00	5°
Piedrín de río	2243	2393	2318	3824	3961	3892.50	3°
Piedrín base triturada	1972	2032	2002	3146	3658	3402.00	4°

Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar en la tabla anterior, el agregado que aporta la mejor resistencia al concreto utilizando una misma fórmula de trabajo es el pedrín negro, seguido de cerca por el pedrín azul, por lo que se consideran adecuados para un uso en la construcción de pavimentos de concreto hidráulico, la DGC en sus especificaciones indica que la resistencia mínima para este tipo proyectos sea de 4000 PSI lo cual se cumple al utilizar cualquiera de estos dos tipos de agregados gruesos.

Con respecto al pedrín rosado no debería estarse usando para este tipo de proyectos, ya que presenta características de mala calidad y la resistencia que alcanza el concreto a los 28 días es muy baja para las exigencias de este tipo de proyectos, los resultados demuestran que apenas llego al 51.85% de su resistencia a los 28 días, lo cual indica que es un material de muy mala calidad que no debería estarse usando para pavimentos rígidos.

Los agregados conocidos como pedrín de río y base triturada alcanzaron el 97.31 y 85.05% de su resistencia, lo cual es aceptable pero no adecuado para la construcción de pavimentos de concreto hidráulico, razón por la cual no deben utilizarse para estructuras que requieran una resistencia mayor a los 4000 PSI.

Es importante relacionar la calidad de los agregados gruesos con la resistencia final del concreto, en esta investigación podemos darnos cuenta claramente que los únicos dos agregados que cumplen con las especificaciones de la DGC para la construcción de Carreteras y Puentes, son los únicos que alcanzan la resistencia requerida para la construcción de pavimentos de concreto hidráulico.

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 Discusión de resultados

Es importante dar a conocer el aporte de este trabajo de investigación a los diferentes sectores sociales, económicos y empresarial, debido a que se determinó que únicamente dos agregados gruesos cumplen con la calidad requerida por la DGC, razón por la cual se debe exigir el uso de este tipo de agregados gruesos para la construcción de pavimentos rígidos y generar la comodidad de todos los usuarios de la red vial, teniendo carreteras en buen estado que no generen daños a los vehículos que circulan por las mismas.

Utilizando los agregados que cumplen con las especificaciones requeridas por la DGC, las obras tienden alcanzar su período de vida útil, evitando los mantenimientos periódicos que las carreteras requieren a corto plazo y aprovechando al máximo los recursos asignados a la red vial del departamento para ejecutar otros proyectos.

Para nuestro Gobierno y el sector público es relevante conocer la calidad de los materiales utilizados en la construcción de pavimentos rígidos, porque somos un país en vías de desarrollo que no se puede dar el lujo de estar haciendo la rehabilitación de carreteras a corto plazo.

A continuación se hace una comparación de cada una de las propiedades de los agregados gruesos producidos en la cabecera departamental de Quetzaltenango, en donde se podrá observar que los agregados gruesos

conocidos como pedrín negro y azul son los que cumplen con todas las características que exige la Dirección General de Caminos para que un agregado se considere de calidad y pueda ser usado ampliamente en la construcción de pavimentos de concreto hidráulico.

Así mismo, se representa gráficamente la tendencia de la resistencia alcanzada por el concreto utilizando los diferentes agregados gruesos de Quetzaltenango, es relevante mencionar que únicamente con los que cumplen con las especificaciones de la DGC alcanzan la resistencia estructural para pavimentos.

Tabla IX. Análisis comparativo de las propiedades de los agregados gruesos producidos en la cabecera departamental de Quetzaltenango 2015

ENSAYO	PIEDRÍN NEGRO	PIEDRÍN AZUL	PIEDRÍN ROSADO	PIEDRÍN DE RIO	BASE TRITURADA	SEGÚN NORMA DE LA DGC	NORMA ASTM C-33 (AASHTO M 80)
Absorción (%)	2.07	2.80	12.5	6.89	8.32	≤ 5	
Humedad (%)	1.10	1.20	4.59	2.39	3.48	≤ 1.5	
Materia Orgánica (Color)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	≤ 5	≤ 3
Pasa Tamiz 0.075mm (%)	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	≤ 1.5	≤ 1.5
Peso Especifico	2.65	2.60	6.34	4.48	5.18	≤ 5	≤ 5
Masa Unitaria Compactada (Kg/m ³)	1508.00	1468.00	1043.12	1349.00	1165.23	1200 - 2000	
Masa Unitaria Suelta (Kg/m ³)	1352.00	1376.00	1127.00	1462.00	1294.58	1200 - 2000	
Resistencia a la Abrasión (%)	34.00	38.00	54.00	44.00	47.89	≤ 40	50
Partículas planas y alargadas (%)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	≤ 15	

Fuente: elaboración propia.

En la tabla anterior, se demuestra ampliamente que los agregados conocidos como piedrín negro y azul son los que cumplen únicamente con todas las características que exige la Dirección General de Caminos. Estos agregados se producen con tamaño máximo de 1", es trascendental que se implemente la producción de agregados de mayor tamaño ya que para carpetas de rodadura se requiere agregados de 1 ½" y 2" debido al paso constante de vehículos pesados, recordando que al utilizar agregados de tamaño apropiado se estará generando una mayor resistencia estructura a nuestro pavimento.

Entre las características más importantes de los agregados que sí cumplen con las especificaciones de la DGC y la norma ASTM C-33 (AASHTO M 80) se puede resaltar su resistencia a la abrasión, es decir su resistencia al desgaste, ya que son partículas completamente solidas que presentan un bajo porcentaje de absorción, lo cual favorece que nuestro concreto presente una menor cantidad de vacíos y menor contenido de aire, lográndose una mejor compactación del mismo.

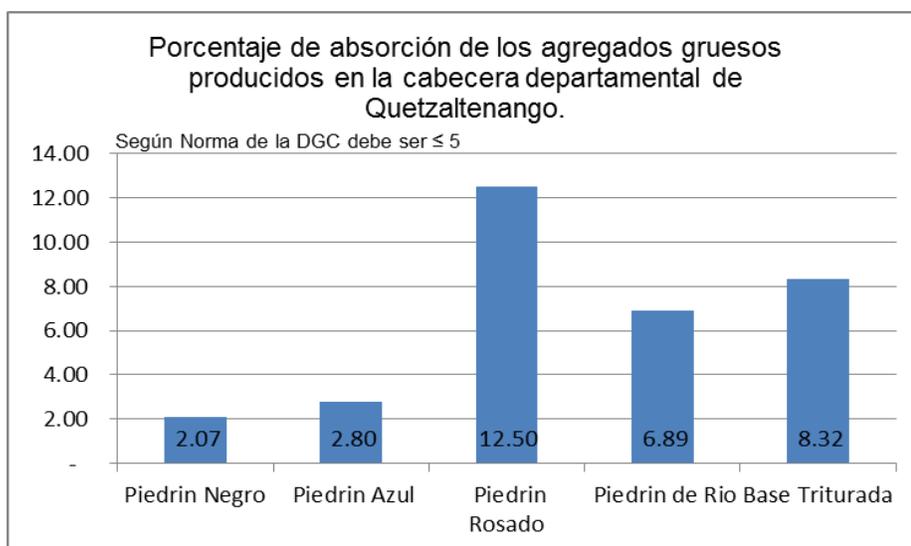
Actualmente (2015) los agregados conocidos como piedrín negro y azul son utilizados para la construcción de pavimentos de concreto hidráulico, sin embargo, se observa que son utilizados en mayores cantidades el piedrín rosado y base triturada debido a su fácil obtención y bajo precio de venta.

Es importante que exista un cumplimiento de calidad en cuanto a los materiales utilizados para la elaboración de las mezclas de concreto, por lo cual debe analizarse si existe una supervisión adecuada o si el procedimiento constructivo es apropiado, generándose así dos temas para futuros trabajos de investigación dentro de la Maestría de Ingeniería Vial. Hoy en día, la Municipalidad de Quetzaltenango en sus contratos solo indica que se debe cumplir con lo estipulado en el libro Azul de Caminos para la construcción de

pavimentos de concreto hidráulico. En efecto, se pudo determinar que la resistencia del concreto a base de los agregados negro y azul utilizando una misma fórmula de trabajo (1:2:2 cemento, arena, piedrín), sobrepasan a los 28 días la resistencia mínima exigida por la DGC utilizando, sucediendo todo lo contrario en los concretos que se elaboran a base de agregado rosado, de río y base triturada. Debido a que son agregados que no tienen una buena resistencia a la abrasión, alto porcentaje de absorción y humedad lo cual genera el fracturamiento de nuestras losas.

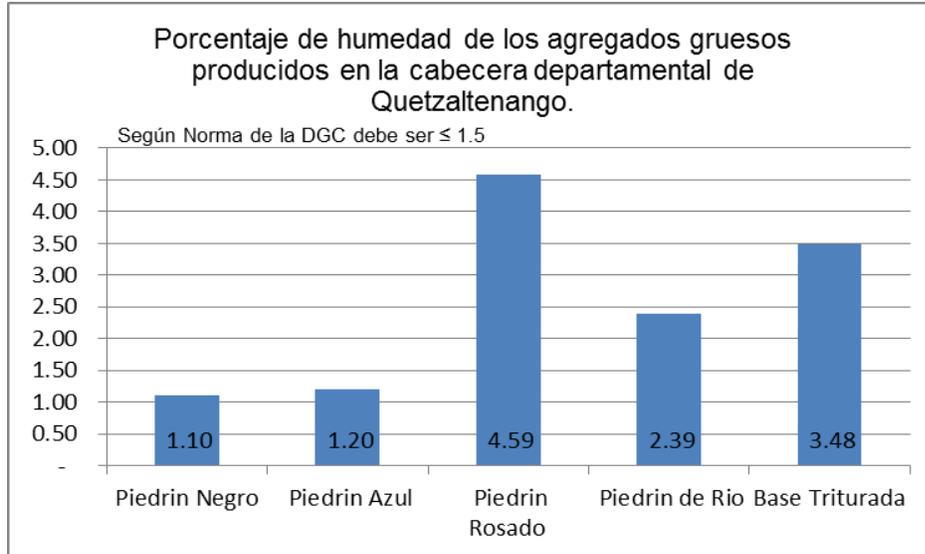
Los agregados que no cumplen con las especificaciones que exige la DGC no deberían ser utilizados para la producción de concreto y menos en la ejecución de pavimentos de concreto hidráulico, a continuación una representación gráfica y comparativa de cada una de las propiedades de los diferentes agregados:

Figura 14. **Porcentaje de absorción de los agregados**



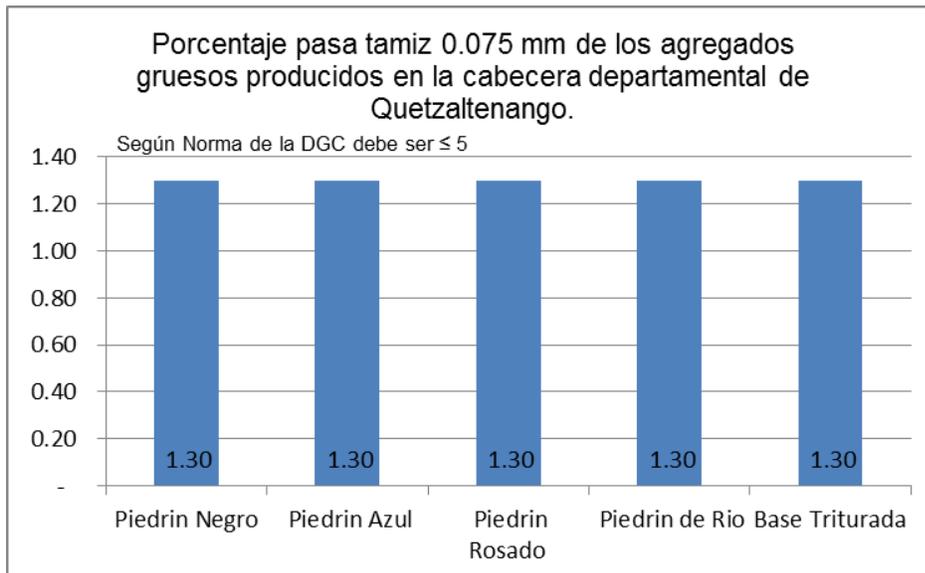
Fuente: elaboración propia.

Figura 15. **Porcentaje de humedad de los agregados**



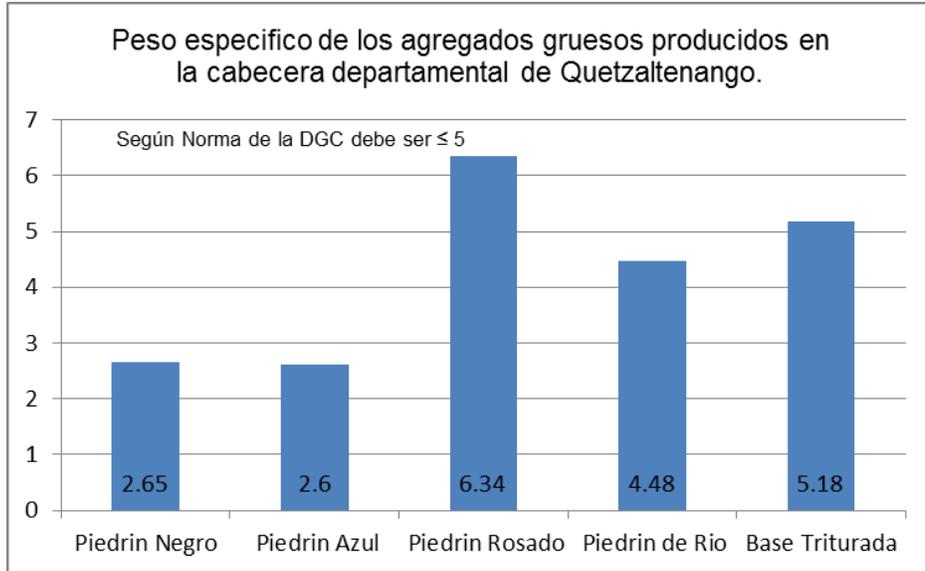
Fuente: elaboración propia.

Figura 16. **Porcentaje que pasa tamiz 0.075mm**



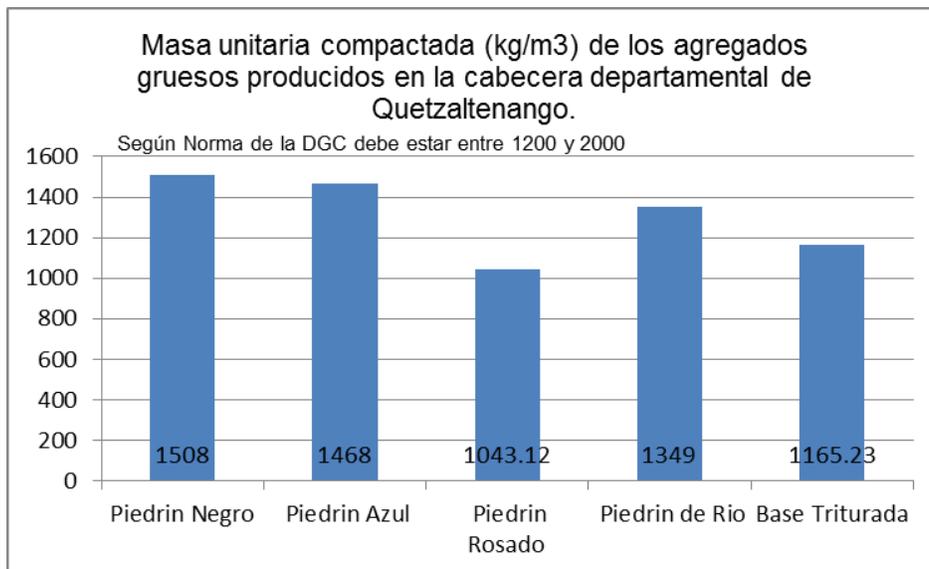
Fuente: elaboración propia.

Figura 17. **Peso específico de los agregados gruesos**



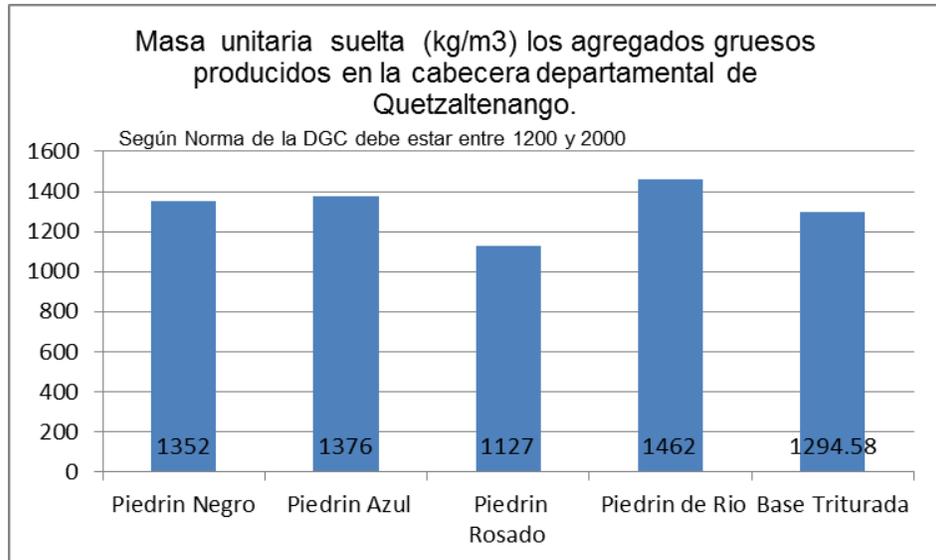
Fuente: elaboración propia.

Figura 18. **Masa unitaria compactada**



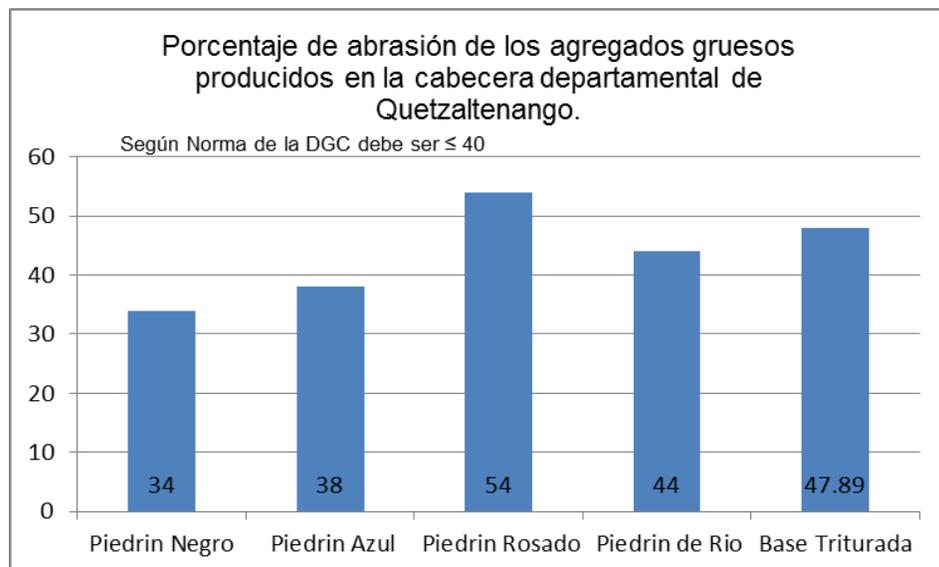
Fuente: elaboración propia.

Figura 19. **Masa unitaria suelta**



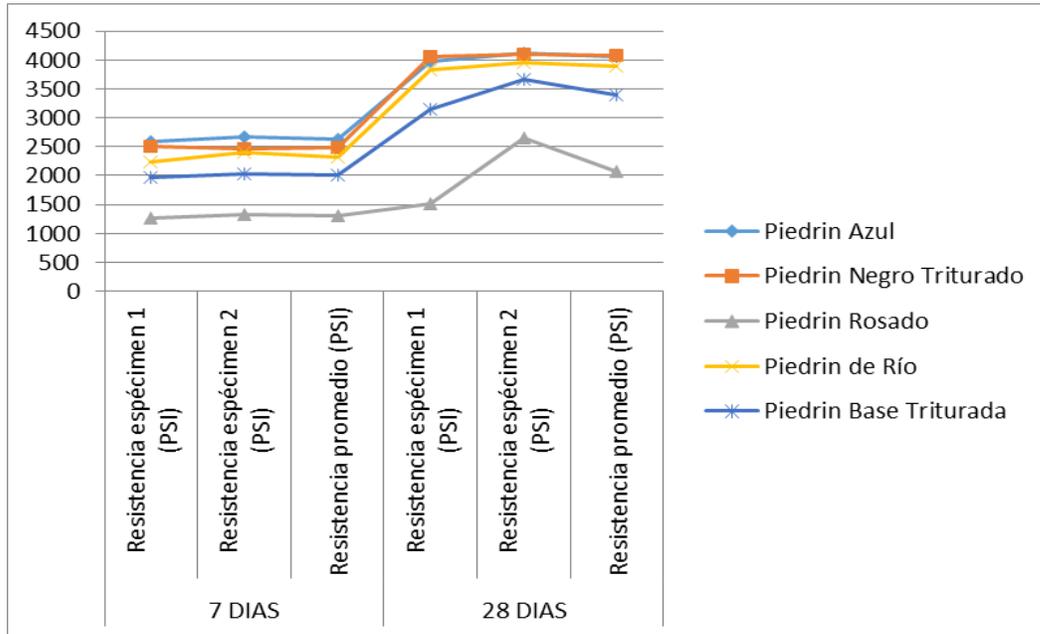
Fuente: elaboración propia.

Figura 20. **Resistencia a la abrasión (Máquina de los Ángeles)**



Fuente: elaboración propia.

Figura 21. Resistencia del concreto utilizando agregados gruesos de Quetzaltenango, 2015



Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar en la gráfica anterior, la resistencia de los diferentes concretos mantuvo una tendencia constante durante los primeros siete días, alcanzando en si la mayor resistencia el concreto elaborado a base de pedrín azul, siendo todo lo contrario el concreto elaborado a base de pedrín rosado.

El incremento de la resistencia se observa a partir de los siete días en adelante, establece que el concreto a base de pedrín rosado presenta un bajo incremento en su resistencia, es importante observar que la resistencia final del concreto a base de pedrín negro a los 28 días tiene una resistencia más alta respecto a la mezcla de pedrín azul, contrario a lo que venía siendo a una edad de 7 días, por lo que se consideran dos agregados de calidad que cumplen con

las características que exige la DGC y la resistencia mínima para la construcción de pavimentos de concreto hidráulico.

Esto confirma nuevamente que el agregado conocido como pedrín rosado no posee buenas características para que sea utilizado en mezclas de concreto para la fabricación de pavimentos rígidos.

Con respecto al concreto que se fabricó utilizando pedrín de río y base triturada se obtuvieron resultados que no cumplen con la resistencia mínima para un uso en pavimentos de concreto hidráulico, pero alcanzan resistencias mayores a los 3000 PSI a los 28 días, por lo que se consideran mezclas que pueden ser utilizadas para la fundición de elementos no estructuras o donde se requiera una resistencia menor a la alcanzada.

CONCLUSIONES

1. Únicamente dos agregados gruesos procedentes de la cabecera departamental de Quetzaltenango, cumplieron con las especificaciones requeridas por la Dirección General de Caminos y la norma ASTM C-33 (AASHTO M 80), los cuales se conocen como pedrín negro y azul producidos en las empresas Asfaltera de Occidente y Agregados de Centroamérica.
2. Se logró determinar mediante la ejecución de pruebas de materiales cada una de las propiedades físicas de los diferentes agregados gruesos, estableciendo que únicamente el pedrín negro y azul poseen características apropiadas para un uso en pavimentos de concreto hidráulico.
3. En los puntos de trituración de agregados gruesos que existen en la cabecera departamental de Quetzaltenango, el tamaño máximo que se produce es de 1" y es el que utilizan para la construcción de pavimentos de concreto hidráulico, lo cual afecta la resistencia a compresión del concreto utilizado en pavimentos, ya que para este tipo de trabajos se recomienda utilizar agregado grueso hasta de 1 ½" o 2".
4. Los resultados de resistencia a compresión indican que utilizando una misma fórmula de trabajo (1:2:2 cemento, arena, pedrín) para las mezclas con pedrín negro y azul se logra alcanzar la resistencia mínima requerida para la construcción de carpetas rígidas (4000 PSI).

RECOMENDACIONES

1. Utilizar agregados gruesos de 1 ½" y 2" para pavimentos de concreto hidráulico.
2. Evitar el uso de pedrín rosado, de río y de base triturada, debido a que poseen características de mala calidad que afectan la resistencia final del concreto.
3. Que los productores de agregados gruesos mejoren el control de calidad en la producción, tanto en la explotación como en el manejo durante la trituración de los mismos.
4. Dar a conocer a través las entidades contratistas de los diferentes proyectos, la calidad de los agregados gruesos existentes, a fin de conocer los usos que pueden darle a cada uno de ellos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Alvarado, F. (2008). *Generalidades y Definiciones sobre los Pavimentos*. Guatemala.
2. Álvarez Valencia, L. (2012). *Tecnología del Concreto. En congreso del Instituto del Cemento y Concreto de Guatemala (ICCG)*. Quetzaltenango.
3. Caballeros, C. (2007). *Evaluación de Pavimentos de Concreto Hidráulico*. Monterrey.
4. Castillo, B. (2012). *Manual para Control de Calidad del Concreto. Mixto Listo*. Salcaja, Quetzaltenango.
5. Dirección General de Caminos. (2001). *Especificaciones Generales para Construcción de Carreteras y Puentes*. Guatemala.
6. Escobar, J. (2015). *Orientación Profesional e Inserción Laboral a Estudiantes Universitarios*, Quetzaltenango.
7. Garnica, F. (2002). *Mecánica de Materiales para Pavimentos*. Querétaro, Mexico.
8. Lobos, F. (2012). *Manual de Control de Calidad para Agregados Gruesos*. Agregados de Centroamérica, Quetzaltenango.

9. Montejo, A. (2010). *Ingeniería de Pavimentos*. (3ra. Ed.) Bogotá, Colombia.
10. Mora, C. (2012). *Generalidades de los Agregados para Pavimentos Rígidos*. Universidad de Perú. Lima, Perú.
11. Salguero, Raúl. (2004). *Evaluación de calidad de los agregados*. Quetzaltenango, Guatemala.
12. Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales. (1898). *Propiedades Físicas de los Agregados para Concreto (ASTM C 33)*. Estados Unidos.
13. Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales. (1898). *Pruebas a realizar al Concreto Fresco (ASTM C 31)*. Estados Unidos.
14. Valle, A. (2009), *Proceso de Obtención de Agregados*. Agregados de Centroamérica, Quetzaltenango.
15. Velásquez, M. (2011). *Evolución de la Industria del Concreto en Guatemala*. (Única Ed.) Guatemala.

APÉNDICE

Elaboración de cilindros de concreto.







Fuente: elaboración propia.