



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

**USO DE POLVO DE LLANTA COMO AGREGADO FINO EN UNA MEZCLA
DE CONCRETO PARA ELABORACIÓN DE ADOQUINES**

Sergio Aroldo López Díaz
Asesorado por Ing. Oswaldo Romeo Escobar Álvarez

Guatemala, noviembre de 2010

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**USO DE POLVO DE LLANTA COMO AGREGADO FINO EN UNA MEZCLA
DE CONCRETO PARA ELABORACIÓN DE ADOQUINES**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

SERGIO AROLDO LÓPEZ DÍAZ
ASESORADO POR ING. OSWALDO ROMEO ESCOBAR ÁLVAREZ
AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2010

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero Spínola de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	BR. Luís Pedro Ortiz de León
VOCAL V	P.A. José Alfredo Ortiz Herincx
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

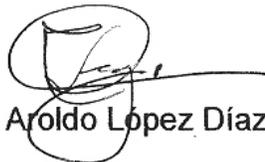
DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Omar Enrique Medrano
EXAMINADOR	Ing. Carlos Salvador Gordillo García
EXAMINADORA	Inga. Sherry Lucrecia Ordóñez Castro
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**USO DE POLVO DE LLANTA COMO AGREGADO FINO EN UNA MEZCLA
DE CONCRETO PARA ELABORACIÓN DE ADOQUINES,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil,
el 06 de marzo de 2008.



Sergio Aroldo López Díaz

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala, 17 de mayo de 2010

Ingeniero

José Gabriel Ordoñez Morales.

Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles

Escuela de Ingeniería Civil

Facultad de Ingeniería

Universidad de San Carlos de Guatemala

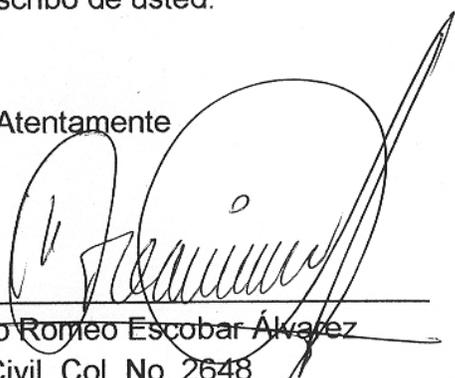
Ingeniero Ordoñez:

Por este medio hago de su conocimiento que he revisado el trabajo de graduación titulado **“USO DE POLVO DE LLANTA COMO AGREGADO FINO EN UNA MEZCLA DE CONCRETO PARA ELABORACIÓN DE ADOQUINES”**, desarrollado por el estudiante universitario Sergio Aroldo López Díaz, con la asesoría del suscrito.

El trabajo en mención satisface los requisitos que exige la facultad, por lo cual recomiendo que se continúe con los trámites para la aprobación de la misma.

Sin otro particular, me suscribo de usted.

Atentamente



Ing. Oswaldo Romeo Escobar Álvarez

Ing. Civil, Col. No. 2648

Asesor



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
www.ingenieria-usac.edu.gt



Guatemala,
5 de octubre de 2010

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

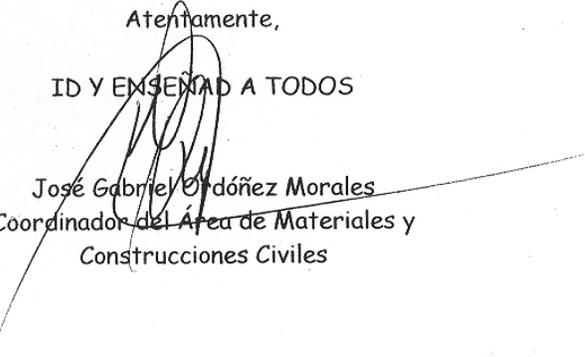
Estimado Ing. Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **USO DE POLVO DE LLANTA COMO AGREGADO FINO EN UNA MEZCLA DE CONCRETO PARA ELABORACIÓN DE ADOQUINES**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Sergio Aroldo López Díaz, quien contó con la asesoría del Ing. Oswaldo Romeo Escobar Álvarez.

Considero que el trabajo realizado por el estudiante López Díaz, satisface los objetivos para los que fue planteado, por lo que recomiendo su aprobación.

Atentamente,

ID Y ENSEÑANZA A TODOS


José Gabriel Ordóñez Morales
Coordinador del Área de Materiales y
Construcciones Civiles



FACULTAD DE INGENIERIA
AREA DE MATERIALES Y
CONSTRUCCIONES CIVILES
USAC

/bbdeb.

Más de 130 Años de Trabajo Académico y Mejora Continua





UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
www.ingenieria-usac.edu.gt



El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Oswaldo Romeo Escobar Álvarez y del Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles, Ing. José Gabriel Ordóñez Morales al trabajo de graduación del estudiante Sergio Aroldo López Díaz, titulado USO DE POLVO DE LLANTA COMO AGREGADO FINO EN UNA MEZCLA DE CONCRETO PARA ELABORACIÓN DE ADOQUINES, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.



Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, noviembre de 2010

/bbdeb.

Universidad de San Carlos
de Guatemala

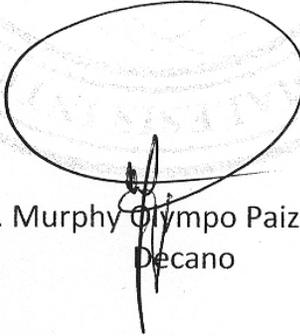


Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 358.2010

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **USO DE POLVO DE LLANTA COMO AGREGADO FINO EN UNA MEZCLA DE CONCRETO PARA ELABORACIÓN DE ADOQUINES**, presentado por el estudiante universitario **Sergio Aroldo López Díaz**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, 5 de noviembre de 2010

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

DIOS

Porque en su infinita misericordia, me dio la vida para alcanzar mis sueños.

MI ESPOSA

Kareen Elizabeth, quien durante todos estos años me ha brindando su apoyo incondicional.

MIS HIJOS

Sergio Alejandro y Víctor Daniel, por quienes demostré que no importa lo difícil de la tarea, lo importante es culminarla.

MIS PADRES

Víctor Hugo y Clarita, quienes siempre me alentaron para terminar mis estudios de ingeniería.

MIS HERMANOS

Rosa María y Francisco Renato.

AGRADECIMIENTOS A:

MI ASESOR

Oswaldo Escobar, por guiarme en el desarrollo de este trabajo.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS

Por todos los conocimientos y enseñanzas brindadas en esta maravillosa casa de estudios.

PROFESIONALES EN INGENIERÍA

Ing. Rolando Morgan,
Inga. Nancy Cossío,
Ing. Julio Rodríguez,
Por todo su apoyo y tiempo para la realización de este trabajo.

CETEC

Centro Tecnológico de Cementos Progreso, por abrir sus puertas para desarrollar ensayos relacionados a este trabajo de graduación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
TABLAS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XIII
OBJETIVOS	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
1. MARCO TEÓRICO	1
1.1 Definición de agregados según Norma ASTM C 125-88	1
1.1.1 Agregado fino	1
1.1.2 Agregado grueso	1
1.2 Análisis de las características físicas de los agregados finos	2
1.2.1 Descripción de la norma ASTM C 33 (<i>Standard Specification for Concrete Aggregates</i>)	2
1.2.1.1 Graduación	3
1.2.1.2 Características del agregado fino	4
1.2.2 Efecto del agregado fino en el concreto	5
1.2.2.1 Manejabilidad	5
1.2.2.2 Segregación	6
1.2.2.3 Exudación	6
1.2.2.4 Temperatura	7
1.2.2.5 Resistencia mecánica	8
1.2.2.6 Permeabilidad	8
1.2.2.7 Durabilidad	9

1.2.2.8 Apariencia	9
1.2.3 Concreto	10
1.2.3.1 Definición	10
1.2.3.2 Composición	10
1.2.3.2.1 Cemento	10
1.2.3.2.2 Agua	12
1.2.3.2.3 Agregados	13
1.2.3.2.4 Aire	13
1.2.3.3 Diseño de mezcla	14
1.2.4 Pavimentos	18
1.2.4.1 Antecedentes	18
1.2.4.2 Especificaciones para adoquines de concreto	19
1.2.4.2.1 Calidad	19
1.2.4.2.2 Adoquín de concreto	20
1.2.4.2.3 Superficie de desgaste	20
1.2.4.2.4 Bisel o chaflán	20
1.2.4.2.5 Espesor	20
1.2.4.2.6 Largo	20
1.2.4.2.7 Ancho	20
1.2.4.2.8 Área	21
1.2.4.2.9 Lote	21
1.2.4.2.10 Muestra	21
1.2.4.3 Especificaciones y características	22
1.2.4.3.1 Generalidades	22
1.2.4.3.2 Características dimensionales	22
1.2.4.3.3 Tolerancias	23

2. TRABAJO DE CAMPO	25
2.1 Recopilación de materia prima	25
2.2 Traslado y preparación de materia prima	26
3. TRABAJO DE LABORATORIO	29
3.1 Definición de proporciones	29
3.2 Características de la mezcla	37
3.2.1 Físicas	37
3.3 Ensayos a mezcla seca	38
3.3.1 Método de prueba normalizada para determinar el revenimiento en el concreto elaborado con cemento hidráulico, ASTM C 143	38
3.3.2 Método de prueba normalizada para la medición de temperatura del concreto recién mezclado. ASTM C 1064	40
3.3.3 Método de prueba normalizado para determinar el peso unitario de un concreto. ASTM C 138	42
3.3.4 Método de prueba normalizado para determinar el contenido de aire del concreto recién mezclado por método de presión. ASTM C 231	45
4. RESULTADOS OBTENIDOS	47
5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	57
CONCLUSIONES	59
RECOMENDACIONES	61
BIBLIOGRAFÍA	63
REFERENCIAS ELECTRÓNICAS	65
APÉNDICE	

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

1	Efecto de la relación agua–cemento en la resistencia a la compresión y a la tensión por flexión a los 28 días	15
2	Llanta en orilla de carretera CA-9-Sur	25
3	Relleno sanitario km 22 CA-9-Sur	26
4	Proceso de esmerilado en llanta de hule	27
5	Muestra del material de hule de llanta ya procesado	28
6	Muestra de mezcla seca para adoquines patrón	30
7	Máquina vibro compactadora para mezclas secas	32
8	Muestra de adoquines patrón	32
9	Muestra A-1 de adoquines con polvo de llanta	33
10	Muestra A-2 adoquines con polvo de llanta	34
11	Muestra A-3 adoquines última bachada	35
12	Muestra de la prueba de revenimiento	40
13	Prueba de temperatura al concreto recién mezclado	42
14	Aparato tipo B (aparato tipo Washington) ASTM C 231-78	47
15	Concreteira del Centro Tecnológico de Cementos Progreso, donde fue realizada la mezcla de concreto que contiene como agregado fino el polvo de llanta	48

TABLAS

I.	Límites de la granulometría para agregado fino según especificaciones de la norma ASTM C-33	3
II.	Rangos de clasificación de la arena según el modulo de finura	4
III.	Datos para diseño de mezclas (calculados para un metro cúbico de concreto fresco)	17
IV.	Proporcionamiento mezcla patrón uso en fábrica de adoquines, Barcenas, Villa Nueva	31
V.	Proporcionamiento mezcla a-1 con un 25% de polvo de llanta	33
VI.	Proporcionamiento mezcla a-2 con un 35% de polvo de llanta	34
VII.	Proporcionamiento mezcla a-3 con un 40% de polvo de llanta	35
VIII.	Proporcionamiento mezcla con un 25% de polvo de llanta	37
IX.	Asentamientos usuales para varios tipos de construcción	39
X.	Resultados ensayo resistencia a flexión efectuado a diseño de mezcla patrón de concreto	49
XI.	Resultados ensayo resistencia a flexión efectuado a diseño de mezcla a-1 adoquín con polvo de llanta	49
XII.	Resultados ensayo resistencia a flexión efectuado a diseño de mezcla a-2 adoquín con polvo de llanta	50
XIII.	Resultados ensayo resistencia a flexión efectuado a diseño de mezcla a-3 adoquín con polvo de llanta	50
XIV.	Resultados ensayo resistencia a compresión efectuado a diseño de mezcla patrón de concreto	51
XV.	Resultados ensayo resistencia a compresión efectuado a diseño de mezcla a-1 adoquín con polvo de llanta	51

XVI.	Resultados ensayo resistencia a compresión efectuado a diseño de mezcla a-2 adoquín con polvo de llanta	51
XVII.	Resultados ensayo resistencia a compresión efectuado a diseño de mezcla a-3 adoquín con polvo de llanta	52
XVIII.	Resultados ensayo resistencia a flexión efectuado a diseño de mezcla a-1 adoquín con polvo de llanta	53
XIX.	Resultados ensayo resistencia a flexión promedio efectuado a diseño de mezcla a-1 adoquín con polvo de llanta	53
XX.	Resultados ensayo resistencia a compresión efectuado a diseño de mezcla a-1 adoquín con polvo de llanta	54
XXI.	Resultados ensayo resistencia a compresión promedio efectuado a diseño de mezcla a-1 adoquín con polvo de llanta	54
XXII.	Resultados ensayo temperatura de mezcla	55
XXIII.	Resultados ensayo de revenimiento	55
XXIV.	Resultados ensayo de peso volumétrico	56
XXV.	Resultados ensayo contenido de aire	56

GLOSARIO

ACI	<i>(American Concrete Institute)</i> Instituto Americano de Concreto.
Adherencia	Adhesión y enlace entre los morteros de pega y de inyección con las unidades de mampostería, el refuerzo y los conectores. Es un indicativo de la capacidad de los morteros para atender esfuerzos normales y tangenciales a las superficies con las cuales se une.
Agregado	Son materiales sujetos a tratamientos de disgregación, tamizado, trituración o lavado, o materiales producidos por expansión, calcinación o fusión excipiente, que se mezclan con cemento portland y agua para formar concreto hidráulico.
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i> (Sociedad Americana de Ensayos y Materiales)
Concreto	Mezcla dosificada, compuesta de agregados (fino y grueso), cemento, agua y aditivos.

COGUANOR	Siglas de la Comisión Guatemalteca de Normas.
Curado	Mantenimiento del concreto en condiciones óptimas de humedad y temperatura durante su proceso de fraguado, para que desarrolle la resistencia y no presente fisuras por contracciones o dilataciones.
Fraguado	Reacción química exotérmica que determina el paulatino endurecimiento de una mezcla de cemento y agua, la cual puede ser un concreto o mortero.
f'c	Resistencia a la compresión del concreto.
ICONTEC	Instituto Colombiano de Normas Técnicas.
ISO	Organización Internacional de Estandarización.
Material pétreo	Son aquellos materiales inorgánicos, naturales o procesados que derivan de la roca.
Muestra	Porción de material tomado de un banco de materiales que sirve para analizar y aportar información con respecto a las características que posea.

Porosidad

Capacidad de un material de absorber líquidos, dado al volumen de huecos que posea.

Trabajabilidad

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

RESUMEN

Por todos es sabido que los neumáticos en desuso son perjudiciales para la salud como también para el planeta, debido al uso irracional que se les ha dado durante muchos años en países como Guatemala. Este trabajo de graduación trata acerca de un uso, con el cual se pretende minimizar el daño ocasionado por los mismos, como material primario en una mezcla de concreto para elaboración de adoquines.

El hule de llanta se procesó, de tal forma que fue llevado hasta un tamaño similar al de la arena de río, para adherirlo a una mezcla de concreto prediseñada y realizarle ensayos para determinar su comportamiento.

Los ensayos experimentales se realizaron con base en especificaciones y procedimientos indicados por las normas de la Sociedad Americana para Ensayo de Materiales (por sus siglas en inglés ASTM), aplicables a mezclas de concreto.

En un inicio se pensó que el material podía ser usado a gran escala para la producción de adoquines para pavimentación de arterias vehiculares, pero los análisis de los resultados determinaron, según normas, que no posee características comparables a un agregado fino pétreo.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

1. Desarrollar un adoquín que cumpla con las características mecánicas y físicas de los que actualmente se encuentran en el mercado de la construcción, a través del uso de una mezcla de concreto que utilice polvo de neumático en determinada proporción como agregado fino.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Lograr, aunque en pequeña escala, por medio del reciclaje de neumáticos una mejora en el medio ambiente de la ciudad.
2. Reutilización de un material que actualmente se encuentra como material de desecho en el país.
3. Recomendar una mezcla que use material reciclado de hule de llanta y genere un valor agregado para compararla contra una mezcla normal en la elaboración de adoquines.

INTRODUCCIÓN

La masiva fabricación de neumáticos y las dificultades para hacerlos reciclar, una vez usados, constituye uno de los más graves problemas medioambientales de los últimos años en todo el mundo. Un neumático necesita grandes cantidades de energía para ser fabricado (ej. medio barril de petróleo crudo para fabricar un neumático de camión) y también provoca, si no es convenientemente reciclado, contaminación ambiental al formar parte, generalmente, de vertederos incontrolados.

En países industrializados como los Estados Unidos y algunos de Europa, las industrias de cemento, alimentos, petróleo y productos de caucho utilizan los neumáticos en desuso como insumo energético o materia prima y, así, reducen costos porque se trata de desechos que obtienen gratis y con ventajas adicionales, de esta forma los neumáticos dejan de ser simple basura arrojada en medio de la naturaleza o en vertederos, donde su descomposición tardaría siglos.

La necesidad de reciclar neumáticos en Guatemala es imperante, para mantener un sano entorno ecológico, ya que por distintas razones éste se ha ido perdiendo; debido a que no hay un control estricto por medio de las autoridades competentes, el país se ha saturado últimamente de los neumáticos usados provenientes de los Estados Unidos y otros países, quienes indirectamente lo han convertido en un basurero mal controlado.

El uso de los neumáticos desechados para usarlos como agregados en las mezclas para fabricar adoquines, permitirá eliminar un foco de contaminación y enfermedades, a cambio encontrarles un uso rentable.

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Definición de agregados según Norma ASTM C 125-88

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

1.1.1 Agregado fino

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

1.1.2 Agregado grueso

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

1.2 Análisis de las características físicas de los agregados finos

Para realizar el análisis del agregado fino, se necesita conocer la densidad o peso específico para determinar, al momento del diseño, si se desea un concreto de alta o baja densidad. Cuando un materia es débil, poroso y de alta absorción, indica que dicho material posee una baja densidad y es necesario hacer correcciones en las dosificaciones del material.

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

El peso unitario representa el peso que ocupa el agregado fino por unidad de volumen conocido. La medida de volumen expresado en porcentaje de los espacios entre las partículas del agregado, es llamado porcentaje de vacíos. Por último se requiere el conocimiento de la cantidad de agua superficial o humedad retenida por la partícula, ya que su influencia concierne en la mayor o menor cantidad de agua necesaria para la mezcla de un concreto.

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

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

1.2.1.1 Graduación

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

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

Tamiz (especificación E11)	Porcentaje que pasa
3/8" (9.5 mm)	100
No. 4 (4.75 mm)	95 a 100
No. 8 (2.36 mm)	80 a 100
No. 16 (1.18 mm)	50 a 85
No. 30 (600 μ m)	25 a 60
No. 50 (300 μ m)	10 a 30
No. 100 (150 μ m)	2 a 10

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

El agregado fino no podrá tener más del 45% del material que pasa por cualquier tamiz y retenido en el tamiz consecutivo siguiente de las indicadas en la tabla I y su módulo de finura no será inferior a 2.3 ni superior a 3.1. A continuación, la tabla II muestra la clasificación de la arena, según su módulo de finura.

Tabla II. Rangos de clasificación de la arena según el modulo de finura

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

1.2.1.2 Características del agregado fino

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

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

- Resistencia.
- Durabilidad.
- Economía.

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

- Dureza
- Resistencia
- Graduación
- Durabilidad
- Limpieza

1.2.2 Efecto del agregado fino en el concreto

1.2.2.1 Manejabilidad

La manejabilidad o trabajabilidad es una capacidad del concreto fresco que precisa la adecuación que posee un concreto para ser colocado, compactado uniformemente y para ser finalizado sin segregación ni exudación; la trabajabilidad se asocia con la plasticidad, ya que ésta le permite moldearse y adecuarse a la forma del encofrado.

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

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

- Bajo contenido de arena con relación al contenido de piedrín determina una mezcla poco manejable, caso contrario, si el contenido de arenas es elevado hay necesidad de agregar agua para que la mezcla sea manejable presentándose también segregación y exudación.

1.2.2.2 Segregación

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

1.2.2.3 Exudación

La exudación es donde los sólidos de mayor densidad tienden a asentarse en un concreto recién colocado, o cuando éste está en su proceso de fraguado, por lo cual disminuye la concentración de sólidos a medida que se acerca a la zona superficial; también es producida por la incapacidad de los materiales componentes del concreto para retener la totalidad de la masa de agua incorporada. Esto se puede observar cuando el concreto presenta un abrillantamiento superficial presentado por el agua.

La exudación puede crear problemas en el concreto; cuando la velocidad de la evaporación es menor que la velocidad de la exudación, el agua, que es el material de menor densidad tiende a migrar a la superficie formando una película que aumenta la relación agua-cemento en la superficie y, posteriormente, esta zona queda porosa y de baja resistencia mecánica y al desgaste, provocando una debilidad superficial; pero si la velocidad de evaporación es mayor que la velocidad de la exudación se pueden producir grietas de contracción.

1.2.2.4 Temperatura

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

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

1.2.2.5 Resistencia mecánica

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

- Una granulometría continua permite la máxima compacidad del concreto que está fresco y por lo tanto, la máxima densidad en estado endurecido, obteniendo la máxima resistencia.
- La forma y textura de los agregados es de suma importancia, ya que afecta la adherencia de la interface matriz-agregado, siendo preferible utilizar los de forma cúbica y rugosa, esto conlleva al aumento de la resistencia en relación a agregados de canto rodado y liso.

La resistencia y rigidez de las partículas del agregado también inciden en la resistencia del concreto, ya que es muy diferente la resistencia y módulo de elasticidad de un agregado de baja densidad y poroso, a la de un agregado de baja porosidad y denso.

1.2.2.6 Permeabilidad

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

de la pasta depende de la relación agua–cemento y del agregado, de la hidratación del cemento o duración del curado húmedo. Un concreto de baja permeabilidad requiere de una relación agua–cemento baja y un período de curado húmedo adecuado.

1.2.2.7 Durabilidad

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

1.2.2.8 Apariencia

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

1.2.3 Concreto

1.2.3.1 Definición

El concreto es un material semejante a una roca que se obtiene mediante una mezcla cuidadosamente proporcionada de arena, grava, piedra triturada u otros agregados unidos en una masa rocosa por medio de una pasta de cemento, denominada aglutinante, y agua. En ocasiones, uno o más aditivos se agregan para cambiar ciertas características del concreto, tales como la ductilidad, la durabilidad y el tiempo de fraguado.

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

1.2.3.2 Composición

1.2.3.2.1 Cemento

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

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

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

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

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

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

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

1.2.3.2.2 Agua

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

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

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

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

1.2.3.2.3 Agregados

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

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

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

1.2.3.2.4 Aire

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

1.2.3.3 Diseño de mezcla

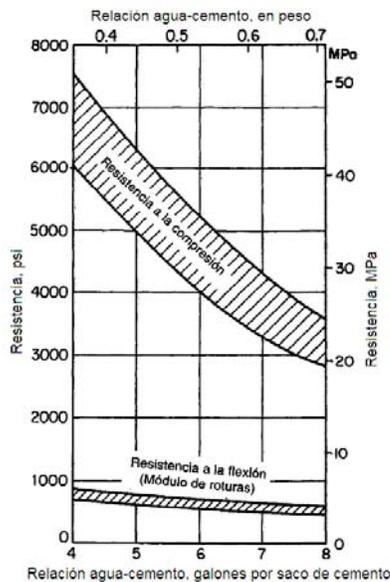
Una vez se tenga la certeza de que las propiedades químicas, físicas y mecánicas de los agregados son aceptables, se procede al diseño de la mezcla de concreto en función éstas.

Los componentes de una mezcla se dosifican de manera que el concreto resultante tenga una resistencia adecuada, una manejabilidad adecuada para su vaciado y un bajo costo. Éste último factor obliga a la utilización mínima en la cantidad de cemento que asegure las propiedades adecuadas. Mientras mejor sea la graduación de los agregados, es decir, mientras menor sea el volumen de vacíos, menor será la pasta de cemento necesaria para llenar estos vacíos. Además se necesita adicionar agua para humedecer a los agregados, un metro cúbico de concreto posee aproximadamente de un 7% a un 15% de pasta cementante, de un 60% a 70% de agregados, agua entre un 14% a 18%, aire atrapado 1% a 3%, puede contener aire incluido intencionalmente de un 1% a 7% y aditivos. A medida que se adiciona agua, la plasticidad y la fluidez de la mezcla aumentan, pero su resistencia disminuye debido al mayor volumen de vacios creados por el agua libre.

Para reducir el agua libre y mantener la manejabilidad, es necesario agregar cemento; de esta manera, desde el punto de vista de la pasta de cemento, la relación agua–cemento es el factor principal que controla la resistencia del concreto. Para una relación agua–cemento dada se selecciona la mínima cantidad de cemento que asegure la manejabilidad deseada.

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

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



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

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

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

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

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

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

Tabla III. Datos para diseño de mezclas (calculados para un metro cúbico de concreto fresco)

Tipo de estructura	Asentamiento (cm).				
Para cimientos, muros reforzados, vigas paredes reforzadas y columnas.	10				
Para pavimentos y losas.	8				
Concreto masivo de poca humedad	5				
Asentamientos en cms.	Tamaño agregado grueso				
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"
	Cantidad de agua lt / m³				
3 – 7	205	200	185	180	175
8 – 12	225	215	200	195	180
13 – 18	240	230	210	205	200
Resistencia. Kg/cm² (psi)	Relación agua / cemento.				
352 (5000)	0.47				
316 (4500)	0.50				
281 (4000)	0.54				
246 (3500)	0.57				
210 (3000)	0.60				
176 (2500)	0.64				
Tamaño máximo del agregado grueso	% Arena sobre agregado total				
3/8"	48				
1/2"	46				
3/4"	44				
1"	42				
1 1/2"	40				

1.2.4 Pavimentos

Un pavimento es una estructura o combinación de elementos que se coloca en una calle o camino, cuya finalidad es permitir un paso de tráfico más seguro, cómodo, con menor desgaste de los vehículos y proporcionando así mismo, ventajas a peatones y habitantes de la población.

Hay varios tipos de pavimentos, por ejemplo: de asfalto, de concreto, de adoquín etc. Este caso en particular se enfoca en la construcción de un adoquín, el cual utiliza polvo de llanta en una pequeña proporción como parte del agregado fino y que se analizará más adelante.

1.2.4.1 Antecedentes

El sistema de pavimentación con adoquines de concreto se originó en Guatemala, como una alternativa de solución al problema de recubrimiento de superficies de rodadura en las calles urbanas. El Instituto de Fomento Municipal (INFOM) ha promocionado dichos pavimentos desde el año de 1972. Por aparte desarrolló varios documentos técnicos como instructivos para pavimentación con adoquines de concreto, 1984; Normas y Especificaciones Técnicas para Pavimentación con Adoquines de Concreto 1987 y otros más.

Actualmente en muchos países de Latinoamérica, se han utilizado los adoquines para pavimentos en calles con tráfico pesado, carreteras, puertos y aeropuertos; además, se han utilizado con gran éxito en la pavimentación de banquetas, parques y plazas, dándole a las ciudades un ambiente arquitectónico más agradable.

Guatemala no ha sido la excepción, ya que se han utilizado para pavimentar banquetas, parques y plazas, esto ha generado una demanda de adoquines con varios diseños en cuanto a forma y colores. Esto hace necesario que los fabricantes tengan una guía de especificaciones para la fabricación de adoquines. En este medio se han comenzado a fabricar adoquines de dos capas o doble capa que son más económicos y permiten tener una gran variedad de colores y formas; sin embargo, no se cuenta con una norma que incluya las especificaciones de los adoquines de concreto por lo que se utilizan normas de otros países como Colombia, España, y Estados Unidos de Norte America para determinar sus características, lo que genera que los diferentes tipos de ensayos que se tienen han creado algunos problemas de aplicabilidad, por ejemplo: cuando se especifica una determinada resistencia a la compresión y se tienen piezas mayores a 400 cm² se ha dificultado realizar los ensayos debido a la disponibilidad de los equipos en la mayoría de los laboratorios del país.

1.2.4.2 Especificaciones para adoquines de concreto

1.2.4.2.1 Calidad

La calidad de un adoquín de concreto se puede definir como el conjunto de propiedades o características (medidas, resistencia, absorción, peso) propias a un adoquín de concreto, que permiten apreciarlo o compararlo como igual, mejor o peor que los otros de su tipo.

1.2.4.2.2 Adoquín de concreto

Elemento macizo de concreto (hormigón) prefabricado, con dos caras planas paralelas e iguales que se llaman bases, y que permiten conformar una superficie completa.

1.2.4.2.3 Superficie de desgaste

Cara superior del adoquín la cual soporta directamente el tráfico.

1.2.4.2.4 Bisel o chaflán

Plano inclinado que corta dos caras adyacentes.

1.2.4.2.5 Espesor

Distancia o medida entre la cara base (parte de abajo) y la cara vista del adoquín (superficie de desgaste).

1.2.4.2.6 Largo

Medida del lado mayor del adoquín.

1.2.4.2.7 Ancho

Medida del lado menor del adoquín.

1.2.4.2.8 Área

Es la medida que resulta de la multiplicación del largo por el ancho del adoquín.

1.2.4.2.9 Lote

Es una cantidad determinada de adoquines que se fabrican bajo condiciones de producción similares y se someten a inspección como un conjunto unitario.

1.2.4.2.10 Muestra

Conjunto de adoquines extraídos de un lote que sirve para obtener la información necesaria que permita apreciar una o más características de ese lote; es decir, si cumplen con las especificaciones de resistencia a la compresión, flexión, resistencia a la abrasión o desgaste, porcentaje de absorción de humedad y dimensiones.

Dependiendo de las normas a que se hagan mención, unas clasifican a los adoquines por su uso y otras por algunas de sus características, como la Norma Española que los clasifica en clases y marcado, es decir por su resistencia climática, resistencia a la abrasión y medidas diagonales; la norma estadounidense ASTM únicamente menciona una resistencia a la compresión mínima y no menciona ningún tipo de clasificación; la norma colombiana no los clasifica y nada más menciona los requerimientos que deben cumplir los adoquines

En Guatemala, se tiene una propuesta de norma Coguanor NGO 41086:95, basada en las normas ASTM C936. ICONTEC 2017 y literatura técnica donde a los adoquines de concreto se les clasifican de acuerdo a su función estructural y a su uso y, por lo general, se clasifican en dos tipos:

Adoquines tipo I: son los adoquines de concreto utilizados para pavimentar calzadas con circulación vehicular

Adoquines tipo II: son los adoquines de concreto utilizados para pavimentar calzadas con circulación peatonal.

1.2.4.3 Especificaciones y características

1.2.4.3.1 Generalidades

Los adoquines de hormigón (concreto) para pavimentos deberán estar libres de grietas y de otros defectos que puedan afectar de modo adverso su apariencia general o su utilidad (o ambas cosas). La textura de las superficies, la masa, el color y los acabados de los adoquines de hormigón (concreto) deberán ser tal como se ha convenido entre el fabricante y el comprador.

1.2.4.3.2 Características dimensionales

Largo nominal. El largo nominal de los adoquines de concreto para pavimentos, no deberá ser mayor de 250 mm. Y se establecerá de común acuerdo entre comprador y vendedor.

Ancho nominal. El ancho nominal de los adoquines de concreto para pavimentos, no deberá ser mayor de 220 mm. Y se establecerá de común acuerdo entre comprador y vendedor.

Espesor nominal. El espesor de los adoquines del tipo I no deberá ser menor de 100 mm. Y el de los adoquines del tipo II no deberá ser menor de 60 mm; y se preferirán dimensiones múltiplos de 20 mm así: 60, 80, 100, 120 hasta un máximo de 140 mm.

1.2.4.3.3 Tolerancias

Las tolerancias en el largo y en el ancho serán de ± 2 mm de las medidas nominales.

La tolerancia en el espesor será de ± 3 mm del espesor nominal.

2. TRABAJO DE CAMPO

2.1 Recopilación de materia prima

La recopilación de materia prima es muy sencilla ya que basta salir a cualquier carretera del país y fácilmente se encuentra un neumático en sus cercanías o bien en algún basurero o relleno sanitario al que se pueda tener acceso.

Figura 2. Llanta en orilla de carretera CA-9 Sur



Fuente: Fotografía tomada por Sergio López, 2009.

Figura 3. Relleno Sanitario km 22 CA-9 Sur



Fuente: Fotografía tomada por Sergio López, 2009

2.2 Traslado y preparación de materia prima

Luego de obtener la llanta en la orilla de la carretera se procedió a seccionarla en cuatro partes para poder manipularla y así someterla al desgaste con una maquina esmeriladora. Es importante mencionar que las partes de la llanta que se esmerilaron fueron sólo los perfiles, puesto que toda la parte que conforma la banda de rodadura está reforzada fuertemente con hilos de acero, lo cual hace que el trabajo de esmerilado se torne peligroso ya que todo el proceso fue hecho a mano.

El cuello de toda llanta convencional en ambos lados, tal y como las que se usaron en el proceso, está reforzada con un torón de acero de mas o menos un cuarto de pulgada para darle rigidez, parte que no se utilizó tampoco.

Figura 4. Proceso de esmerilado en llanta de hule



Fuente: Fotografía tomada por Sergio López, llantera Amatitlán, 2009.

Figura 5. Muestra del material de hule de llanta ya procesado



Fuente: Fotografía tomada por Sergio López, 2009.

3. TRABAJO DE LABORATORIO

3.1 Definición de proporciones

La proporción de mezcla utilizada en la fabricación de adoquines en los que se practicaron las pruebas de adición de polvo de llanta es la siguiente: 1:1.74:1.16:0.29 (cemento : arena : pedrín : agua). Inicialmente se hizo una producción de adoquines patrón (sin polvo de llanta), con la proporción indicada anteriormente, a los que se les practicó ensayos a flexión y compresión para determinar sus resistencias respectivamente. Luego se hicieron otras producciones que incluyeron polvo de llanta con diferentes porcentajes del mismo, las que se estudiarán adelante para poder establecer diferencias entre las muestras.

La trabajabilidad es la propiedad del concreto que determina la facilidad para ser mezclado y colocado, consolidado y acabado. No existe hoy en día una única prueba para demostrar esta propiedad en términos cuantitativos, básicamente es demostrada por algunos tipos de pruebas para consistencia, para así llegar a definir un índice de trabajabilidad. La consistencia puede ser definida como la trabajabilidad de una mezcla. La prueba de revenimiento es uno de los métodos más conocidos para determinar la consistencia, y representa una de las pruebas básicas según lo establece el ACI. (*American concrete institute*).

Las mezclas sin revenimiento se clasifican de esta manera debido a que poseen un revenimiento menor a 2.5 cm (1 pulg.), dichas mezclas generan una pobre trabajabilidad si son compactadas con técnicas manuales, el uso de una vara, por ejemplo, dicha situación varía con el uso de vibradores mecánicos. El rango de mezclas trabajables puede llegar a ser ampliado por técnicas de consolidación, las cuales imparten gran energía dentro de la masa al ser consolidada.

**Figura 6. Muestra de mezcla seca para adoquines patrón
Planta Bárcenas, Villa Nueva**



Fuente: Fotografía tomada por Sergio López, 2009

Debido a que una de las razones de mayor peso en este trabajo es el reciclaje de llantas en desuso, se adopto una cantidad inicial de polvo de llanta del 25% en volumen de la suma de los agregados grueso y fino, como cantidad base para la primer bachada. El material de polvo de llanta es blando y poco cohesivo después de haber sido reciclado. Al hacer los ensayos respectivos, esto provocó que la resistencia a compresión y a flexión en los adoquines disminuyera.

Luego de ejecutar la primer bachada, se fue variando las siguientes mezclas en rangos del 10% de volumen de contenido de polvo de llanta, hasta llegar a un 35%, exceptuando la ultima bachada que vario sólo en un 5 %, para dar un total del 40% de polvo de llanta, esto debido a que no se cuenta en el país con un parámetro o norma con la que se pueda tomar una referencia en cuanto a porcentajes de hule en mezclas de concreto.

A continuación, se muestra el proporcionamiento de la mezcla patrón con la cual se trabajo el primer lote de adoquines.

TABLA IV PROPORCIONAMIENTO MEZCLA PATRON USO EN FÁBRICA ADOQUINES BARCENAS VILLA NUEVA

MATERIALES	CANTIDAD	CLASE	PROCEDENCIA
Polvo de hule	0.0 kg		
Cemento	4.8 kg	UGC	Progreso.
Arena	8.4 kg	Lavada	Agregua Palin Oeste.
Piedrin	5.7 kg	3/8" Lavado	Agregua Palin Oeste.
Agua	1.4 kg	Pura	Mercado.

No de adoquines por bachada= 4 u.

**Figura 7. Máquina vibro compactadora para mezclas secas
Planta Bárcenas, Villa Nueva**



Fuente: Fotografía tomada por Sergio López, 2009.

Figura 8. Muestra de adoquines patrón



Fuente: Fotografía tomada por Sergio López, 2009

Posterior al desarrollo de la primera bachada se procedió a trabajar ya con un 25% de material reciclado, polvo de llanta, sin variar cemento, arena ni piedrín para adherirlo a la siguiente mezcla que a continuación se muestra:

TABLA V PROPORCIONAMIENTO MEZCLA A-1 CON UN 25% DE POLVO DE LLANTA

MATERIALES	CANTIDAD	CLASE	PROCEDENCIA
Polvo de hule	3.5 kg	Llanta liviana	Desuso.
Cemento	4.8 kg	UGC	Progreso.
Arena	8.4 kg	Lavada de río	Agregua Palin Oeste.
Piedrín	5.7 kg	3/8" Lavado	Agregua Palin Oeste.
Agua	1.4 kg	Pura	Mercado.

No de adoquines por bachada=5u.

Figura 9. Muestra A-1 de adoquines con polvo de llanta



Fuente: Fotografía tomada por Sergio López, 2009.

El procedimiento para la mezcla de los agregados se hizo de la siguiente manera: primero se mezcló la arena y el piedrín por un lapso de 2 minutos conjuntamente con el polvo de llanta hasta conseguir una apariencia homogénea, luego se adhirió el cemento y se volvió a mezclar, para, de último agregar el agua para un mezclado final de 3 minutos y conseguir una mezcla seca, lista para la fundición en los moldes.

TABLA VI. PROPORCIONAMIENTO MEZCLA A-2 CON UN 35% DE POLVO DE LLANTA

MATERIALES	CANTIDAD	CLASE	PROCEDENCIA
Polvo de hule	4.9 kg	Llanta liviana	Desuso.
Cemento	4.8 kg	UGC	Progreso.
Arena	8.4 kg	Lavada de río	Agregua Palin Oeste.
Piedrín	5.7 kg	3/8" Lavado	Agregua Palin Oeste.
Agua	1.4 kg	Pura	Mercado.

No de adoquines por bachada= 6u.

Figura 10. Muestra A-2 adoquines con polvo de llanta



Fuente: Fotografía tomada por Sergio López, 2009.

El procedimiento para la fundición de los adoquines fue el mismo que el relatado con anterioridad, sólo que esta prueba varía con respecto al porcentaje de polvo de llanta en la mezcla, lo cual hace que los adoquines adquieran un color más oscuro.

TABLA VII. PROPORCIONAMIENTO MEZCLA A-3 CON UN 40% DE POLVO DE LLANTA

MATERIALES	CANTIDAD	CLASE	PROCEDENCIA
Polvo de hule	5.6 kg	Llanta liviana	Desuso.
Cemento	4.8 kg	UGC	Progreso.
Arena	8.4 kg	Lavada de río	Agregua Palin Oeste.
Piedrin	5.7 kg	3/8" Lavado	Agregua Palin Oeste.
Agua	1.4 kg	Pura	Mercado.

No de adoquines por bachada= 7u.

Figura No. 11 Muestra A-3 adoquines última bachada



Fuente: Fotografía tomada por Sergio López, 2009

En esta última muestra se puede apreciar que el color de los adoquines es prácticamente negro, esto debido al alto porcentaje de polvo de llanta incluido en la mezcla para la bachada.

Concluidas las fundiciones de los adoquines con sus diferentes proporciones de polvo de llanta, se hicieron los ensayos de laboratorio de compresión y flexión en el Centro Tecnológico CETEC de Cementos Progreso S.A. cuyos resultados se adjuntan en el anexo del trabajo.

Para ratificar resultados se trabajó con una nueva muestra mayor que la inicial ya que ésta era muy pequeña en cantidad y todos los adoquines ensayados a veintiocho días, no darían resultados representativos esperados.

Esta nueva muestra se efectuó con la proporción usada en la mezcla A-1 pero con un volumen más alto para lograr un mayor número de ejemplares y conseguir así una muestra más representativa, ya que se pudo ensayar a las diferentes edades de siete, catorce y veintiocho días para establecer el comportamiento de los adoquines en los ensayos a flexión y compresión. Con esta bachada también se hicieron los ensayos de asentamiento, temperatura de mezcla, peso unitario y contenido de aire. Todos los resultados obtenidos en el laboratorio se encuentran en el anexo del trabajo.

A continuación, se muestra el cuadro con cantidades de material usado para las pruebas anteriormente descritas, y con el cual se obtuvo un número de 24 adoquines.

TABLA VIII. PROPORCIONAMIENTO MEZCLA CON UN 25% DE POLVO DE LLANTA

MATERIALES	CANTIDAD	CLASE	PROCEDENCIA
Polvo de hule	15.27 kg	Llanta liviana	Desuso.
Cemento	20.80 kg	UGC	Progreso.
Arena	36.40 kg	Lavada de rio	Agregua Palin Oeste.
Piedrín	24.70 kg	3/8" Lavado	Agregua Palin Oeste.
Agua	06.13 kg	Pura	Mercado.

3.2 Características de la mezcla

3.2.1 Físicas

Los adoquines del tipo I deberán tener una resistencia a la compresión promedio, para la muestra no menor de 45 MPa (6500 lb/pulg²), e individual no menor de 40 MPa (5800 lb/pulg²). Según propuesta COGUANOR NGO 41086:95

Los adoquines del tipo II deberán tener una resistencia a la compresión promedio, para la muestra, no menor de 35 MPa (5000 lb/pulg²), e individual no menor de 30 MPa (4350 lb/pulg²). Según propuesta COGUANOR NGO 41086:95

Nota 1. La resistencia a la compresión no expresa realmente una propiedad significativa de un bloque de hormigón. Por el contrario una propiedad de flexión evaluada por medio de un ensayo de resistencia al corte bajo tensión, será más significativa. La ASTM, usando el método 4180 de la ISO, está realizando una evaluación de adoquines para obtener datos de resistencia al corte; cuando se finalicen estos ensayos, los valores de la resistencia a la compresión serán reemplazados por los requerimientos de la resistencia al corte bajo tensión.

3.3 Ensayos a mezcla seca

3.3.1 Método de prueba normalizada para determinar el revenimiento en el concreto elaborado con cemento hidráulico, ASTM C 143

El propósito de la prueba de revenimiento es determinar la consistencia del concreto. Para el procedimiento se humedece un molde cónico metálico y se coloca en una superficie plana rígida no absorbente y húmeda. El molde se debe de sostener firmemente en el lugar durante el llenado, por el operador, quién mantendrá los pies sobre los estribos. Llenar inmediatamente el molde en tres capas, cada una de aproximadamente 1/3 del volumen del molde. Luego de este proceso se debe de compactar cada capa con 25 golpes de la varilla de apisonamiento, distribuir uniformemente los golpes en toda la sección transversal de cada capa. Para la capa del fondo es necesario inclinar la varilla ligeramente y dar aproximadamente la mitad de los golpes cerca del perímetro, continuando con los golpes verticales en forma de espiral hacia el centro. Apisone la capa del fondo en todo su espesor. Compacte la segunda capa y la capa superior en todo su espesor, de tal manera que los golpes apenas penetren en la capa inferior.

Al llenar y compactar la capa superior, haga que el concreto exceda la capacidad del molde antes de empezar a apisonar. Si durante el compactado, la superficie del concreto queda abajo del borde superior del molde, agregue más concreto para mantener en todo momento un exceso de concreto sobre la superficie del molde. Después de haber apisonado la capa superior empareje la superficie del concreto mediante el enrase y rodamiento de la varilla de apisonamiento. Continúe empujando el molde firmemente hacia abajo y remueva el concreto del área que rodea la base del molde para evitar la

interferencia con el movimiento del concreto que se está descargando. De inmediato retire el molde, levantándolo cuidadosamente en dirección vertical. Levante el molde a una altura de 12 pulgadas (300 mm) en 5 ± 2 segundos, con un movimiento ascendente uniforme sin movimientos laterales o de torsión. La prueba se debe realizar sin interrupción desde el inicio del llenado hasta la remoción del molde, en un período de 2 ½ minutos.

De inmediato se procede a medir el revenimiento determinando la diferencia vertical entre la parte superior del molde y el centro original desplazado de la superficie superior del espécimen.

A continuación, se presentan algunos asentamientos adecuados para diferentes estructuras y condiciones de colocación del concreto:

Tabla IX. Asentamientos usuales para varios tipos de construcción

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

Figura 12. Muestra de la prueba de revenimiento



Fuente: fotografía tomada por Sergio López, CETEC, 2009.

Tal y como se observa en la foto el revenimiento de la mezcla es de media pulgada (1/2") y como se había mencionado, las mezclas secas tienen un revenimiento casi nulo.

3.3.2 Método de prueba normalizada para la medición de temperatura del concreto recién mezclado. ASTM C 1064

La temperatura es uno de los factores más importantes que influyen en la calidad, el tiempo de fraguado y la resistencia del concreto. Sin el control de la temperatura del concreto, predecir su comportamiento es muy difícil, si no imposible. Un concreto con una temperatura inicial alta, probablemente tendrá

una resistencia superior a lo normal a edades tempranas y más baja de lo normal a edades tardías. La calidad final del concreto probablemente se verá también disminuida. Por el contrario, el concreto colado y curado a temperaturas bajas desarrollará su resistencia a una tasa más lenta, pero finalmente tendrá una resistencia más alta y será de mayor calidad. La temperatura del concreto se usa para indicar el tipo de curado y protección que se necesitará, así como el lapso de tiempo en que deben mantenerse el curado y la protección.

Al controlar la temperatura del concreto dentro de los límites aceptables se podrán evitar problemas inmediatos y futuros. Cuando hay que evaluar diferentes tipos de concreto, la temperatura de las mezclas de cada concreto debe ser tan idéntica como sea posible. La temperatura del concreto afecta el comportamiento de los aditivos químicos, los aditivos inclusores de aire, los materiales puzolánicos y otros tipos de aditivos y adicicionantes.

Para la prueba, se coloca el aparato medidor de temperatura en la mezcla de concreto recién elaborada, de modo que el sensor de temperatura esté sumergido al menos 3 pulgadas (75 mm.) Presione suavemente la superficie del concreto alrededor del aparato medidor de temperatura de modo que la temperatura ambiental no afecte la medición. El aparato medidor de temperatura se debe dejar en la mezcla de concreto recién mezclado por un período mínimo de dos minutos, o hasta que la lectura se estabilice, entonces registre la misma. La determinación de la temperatura debe realizarse en un tiempo no mayor de cinco minutos a partir de la obtención de la muestra de concreto recién mezclado. Para este caso se determinó que la muestra dio una temperatura inicial de 21.5 °C, y al cabo de los dos minutos de prueba no hubo variación en la misma.

Figura 13. Prueba de temperatura al concreto recién mezclado



Fuente: Fotografía tomada por Sergio López, CETEC, 2009.

3.3.3 Método de prueba normalizado para determinar el peso unitario de un concreto. ASTM C 138

El peso unitario o la densidad del concreto es la masa por unidad de volumen, y varían según la cantidad y densidad de los agregados, la cantidad de aire atrapado o arrastrado, y los contenidos de agua y cemento. Los concretos convencionales utilizados en estructuras, como los edificios y aceras, poseen un peso unitario en el rango de 2,250 a 2,500 kilogramos por metro cúbico (kg/m^3). Para otros tipos de concreto, el peso unitario oscila entre 240 kg/m^3 de concreto ligero a 6,500 kg/m^3 para el concreto de alta resistencia.

La prueba de la densidad es una herramienta muy importante, utilizada para controlar la calidad del concreto recién mezclado. Después de que se ha establecido una proporción para la mezcla de concreto, un cambio en la densidad indicará un cambio en uno o más de los otros requisitos del desempeño del concreto. Una densidad más baja puede indicar: 1.) Que los materiales han cambiado [menor gravedad específica], 2.) Un mayor contenido de aire, 3.) Un mayor contenido de agua, 4.) Un cambio en las proporciones de los ingredientes y/o, 5.) Un menor contenido de cemento. Inversamente, la densidad más alta indicará lo contrario de las características del concreto antes mencionadas.

Una densidad más baja que las proporciones de la mezcla de concreto establecidas, en general indicará un sobrerendimiento. Esto significa que el contenido de cemento requerido para una yarda cúbica de 27 pies cúbicos (1 metro cúbico) se ha diluido ahora para producir un mayor volumen de concreto. Por lo tanto, es de esperarse resistencias más bajas, así como una reducción de las otras cualidades deseables del concreto. Si la reducción del peso unitario del concreto se debe a un incremento en el contenido de aire, posiblemente el concreto será más durable en su resistencia a ciclos de congelación y deshielo, pero las cualidades de resistencia a la compresión, a la abrasión, al ataque de químicos, a la contracción y al agrietamiento del concreto, se verán adversamente afectadas.

La prueba de la densidad se debe usar para controlar concretos ligeros y pesados. Un cambio en el peso unitario podría afectar inversamente la bombeabilidad, colocación, acabado y resistencia de todos los tipos de concreto.

Ya que la prueba de la densidad es tan importante para regular la calidad del concreto, es muy importante que la prueba se realice de acuerdo con los procedimientos estándar especificados. Se debe conocer el volumen exacto del contenedor, y después de que la muestra de concreto se enrase al nivel del recipiente, todo el concreto adherido a la parte exterior del recipiente debe removerse antes de pesar la muestra.

En el laboratorio, la prueba del peso unitario se puede usar también para determinar el contenido de aire (porcentaje de vacíos) del concreto, puesto que se conoce el peso teórico del concreto calculado sobre la base de que se encuentra libre de aire (libras/pie³ o kg/m³).

La densidad teórica se basa, generalmente, en determinaciones de laboratorio. Se supone que su valor se mantiene constante para todas las cargas hechas con componentes idénticos y en las mismas proporciones, se calcula con la siguiente ecuación:

$$T = M / V$$

donde:

T es igual a la densidad teórica del concreto calculado libre de aire, libra/pie³ o kg/m³.

M es igual a la masa total de todos los materiales de la mezcla en libras o kilogramos.

V es igual al volumen total absoluto de los ingredientes de la mezcla en pie³ o m³.

El volumen absoluto de cada ingrediente en pies cúbicos es igual al cociente del peso del ingrediente entre el producto de su peso específico por 62.4. El volumen absoluto de cada ingrediente en metros cúbicos es igual a la masa de los ingredientes en kilogramos, divididos entre mil veces su peso específico.

3.3.4 Método de prueba normalizado para determinar el contenido de aire del concreto recién mezclado por método de presión. ASTM C 231

Este método de prueba se puede usar para determinar el contenido de aire de los concretos normal y pesado. Sin embargo, no se puede usar con agregados altamente porosos como los que se encuentran en el concreto ligero. Con éste método también se determina la cantidad de vacíos de aire en el concreto, tanto incluido como atrapado.

La inclusión de aire es necesaria en el concreto que estará expuesto a ciclos de congelación y deshielo, y a químicos descongelantes. Los vacíos microscópicos de aire incluido aportan una fuente de alivio a la presión interna dentro del concreto para acomodar las presiones que se desarrollan cuando se forman los cristales de hielo en los poros y en los capilares del concreto. Sin el contenido de aire apropiado en el mortero del concreto, el concreto normal que está expuesto a ciclos de congelación y deshielo, se escamará y/o astillará, dando como resultado una falla en la durabilidad del concreto.

Sin embargo, se debe ser cuidadosos de no tener demasiado aire incluido en el concreto. En concretos diseñados para alcanzar 3000 a 5000 lb/pulgada² (20 a 35 MPa), conforme se incrementa el contenido de aire (digamos en más de un 5%), habrá una reducción correspondiente en la resistencia de concreto. Típicamente, esta reducción de resistencia será del orden del 3% al 5%, por cada uno por ciento de contenido de aire por arriba del valor de diseño. Por ejemplo, un concreto proporcionado para 5% de aire será aproximadamente de 15% al 25% menor en resistencia, si el contenido de aire se eleva al 10%.

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

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

El método de prueba se desarrolla colocando el concreto dentro del recipiente por tercios, aplicando en cada tercio 25 apisonadas por capa, evitando tocar la capa anterior o en caso del primer tercio el fondo, acumulando así 75 apisonamientos en total.

Después de apisonar, se golpean los costados del recipiente de 10 a 15 veces con un mazo de goma. Luego se limpia todo el borde del recipiente y en especial la goma de sello, para poder colocar la tapa y ajustar herméticamente con las llaves. Posterior a esto cerrar las válvulas para aire y abrir las llaves para agua. Mediante una bombita de hule o jeringa introducir agua por una de las llaves de agua hasta que fluya por la otra llave. Golpear lateralmente con un mazo para expulsar burbujas de aire atrapadas en el agua introducida.

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

Figura 14. Aparato tipo B (aparato tipo Washington) ASTM C 231-78



Fuente: Fotografía tomada por Sergio López, CETEC, 2010

Figura 15. Concretera del Centro Tecnológico de Cementos Progreso en donde fue realizada la mezcla de concreto que contenía como agregado fino el polvo de llanta



Fuente: Fotografía tomada por Sergio López, CETEC, 2010.

4. RESULTADOS OBTENIDOS

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en los distintos ensayos realizados a la mezcla patrón y a las mezclas propuestas de concreto con adición de polvo de llanta, procediendo al análisis respectivo de los mismos.

Ensayos de flexión y compresión:

Tabla X. Resultados ensayo resistencia a flexión efectuado a diseño de mezcla patrón de concreto

Identificación de adoquín	Proporción	Tipo cemento utilizado	Módulo de rotura kg/cm ²	Edad en días
1 Patrón	1:1.75:1.19	UGC	59	28
2 Patrón	1:1.75:1.19	UGC	56	28

Tabla XI. Resultados ensayo resistencia a flexión efectuado a diseño de mezcla A-1 adoquín con polvo de llanta

Identificación de adoquín	Proporción	Tipo cemento utilizado	Módulo de rotura kg/cm ²	Edad en días
5 A-1	1:1.75:1.19	UGC	21	28
6 A-1	1:1.75:1.19	UGC	10	28
7 A-1	1:1.75:1.19	UGC	9	28

Tabla XII. Resultados ensayo resistencia a flexión efectuado a diseño de mezcla A-2 adoquín con polvo de llanta

Identificación de adoquín	Proporción	Tipo cemento utilizado	Módulo de rotura kg/cm ²	Edad en días
10 A-2	1:1.75:1.19	UGC	4	28
11 A-2	1:1.75:1.19	UGC	5	28
12 A-2	1:1.75:1.19	UGC	5	28

Tabla XIII. Resultados ensayo resistencia a flexión efectuado a diseño de mezcla A-3 adoquín con polvo de llanta

Identificación de adoquín	Proporción	Tipo cemento utilizado	Módulo de rotura kg/cm ²	Edad en días
16 A-3	1:1.75:1.19	UGC	2	28
17 A-3	1:1.75:1.19	UGC	3	28

Los resultados obtenidos en los ensayos efectuados a los adoquines demuestran: que hay una incidencia a la baja en la resistencia a flexión, con lo cual se puede afirmar que a mayor cantidad de material de polvo de llanta adherido a la mezcla de concreto, menor resistencia a la flexión. De acuerdo con la norma Colombiana ICONTEC 2017, la resistencia a la flexión que arrojaron los adoquines con material polvo de llanta, no satisface el requerimiento técnico para la resistencia a flexión, excepto los adoquines de muestra patrón que están por encima del requerimiento de la norma.

Tabla XIV. Resultados ensayo resistencia a compresión efectuado a diseño de mezcla patrón de concreto

Identificación de adoquín	Proporción	Tipo cemento utilizado	Resistencia a compresión kg/cm ²	Edad en días
3 Patrón	1:1.75:1.19	UGC	313	28
4 Patrón	1:1.75:1.19	UGC	372	28

Tabla XV. Resultados ensayo resistencia a compresión efectuado a diseño de mezcla A-1 adoquín con polvo de llanta

Identificación de adoquín	Proporción	Tipo cemento utilizado	Resistencia a compresión kg/cm ²	Edad en días
8 A-1	1:1.75:1.19	UGC	27	28
9 A-1	1:1.75:1.19	UGC	33	28

Tabla XVI. Resultados ensayo resistencia a compresión efectuado a diseño de mezcla A-2 adoquín con polvo de llanta

Identificación de adoquín	Proporción	Tipo cemento utilizado	Resistencia a compresión kg/cm ²	Edad en días
13 A-2	1:1.75:1.19	UGC	9	28
14 A-2	1:1.75:1.19	UGC	7	28
15 A-2	1:1.75:1.19	UGC	9	28

Tabla XVII. Resultados ensayo resistencia a compresión efectuado a diseño de mezcla A-3 adoquín con polvo de llanta

Identificación de adoquín	Proporción	Tipo cemento utilizado	Resistencia a compresión kg/cm ²	Edad en días
18 A-3	1:1.75:1.19	UGC	8	28
19 A-3	1:1.75:1.19	UGC	8	28

El ensayo de compresión efectuado a los diseños de adoquines con material de polvo de llanta, mostró que disminuye considerablemente la resistencia a la compresión y esto se debe a que conforme se fue adicionando más material de hule en cada mezcla de concreto, los espacios intergranulares fueron llenados con material de hule, desplazando a los agregados gruesos y finos dando como resultado la disminución de la resistencia.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de un segundo grupo de adoquines de mayor número, al que se le efectuó los mismos ensayos de flexión y compresión, con el objeto de ratificar los datos obtenidos en el primer grupo y, además, los ensayos de temperatura de mezcla, revenimiento, peso unitario y contenido de aire. Es importante mencionar que estos nuevos ensayos se realizaron con la proporción de la mezcla patrón y los ensayos de flexión y compresión con la proporción de la mezcla A-1.

Tabla XVIII. Resultados ensayo resistencia a flexión efectuado a diseño de mezcla A-1 adoquín con polvo de llanta

Identificación de adoquín	Proporción	Tipo cemento utilizado	Resistencia a la flexión kg/cm ²	Edad en días
1	1:1.75:1.19	UGC	17	7
2	1:1.75:1.19	UGC	13	7
3	1:1.75:1.19	UGC	19	7
4	1:1.75:1.19	UGC	19	7
5	1:1.75:1.19	UGC	19	14
6	1:1.75:1.19	UGC	15	14
7	1:1.75:1.19	UGC	17	14
8	1:1.75:1.19	UGC	19	14
9	1:1.75:1.19	UGC	21	28
10	1:1.75:1.19	UGC	18	28
11	1:1.75:1.19	UGC	17	28
12	1:1.75:1.19	UGC	20	28

Tabla XIX. Resultados ensayo resistencia a flexión promedio efectuado a diseño de mezcla A-1 adoquín con polvo de llanta

Identificación de adoquín	Proporción	Tipo cemento utilizado	Resist. prom a la flexión kg/cm ²	Edad en días
1 - 4	1:1.75:1.19	UGC	17	7
5 - 8	1:1.75:1.19	UGC	17.5	14
9 - 12	1:1.75:1.19	UGC	19	28

Tabla XX. Resultados ensayo resistencia a compresión efectuado a diseño de mezcla A-1 adoquín con polvo de llanta

Identificación de adoquín	Proporción	Tipo cemento utilizado	Resistencia a la compresión kg/cm ²	Edad en días
1	1:1.75:1.19	UGC	40	7
2	1:1.75:1.19	UGC	42	7
3	1:1.75:1.19	UGC	35	7
4	1:1.75:1.19	UGC	42	7
5	1:1.75:1.19	UGC	59	14
6	1:1.75:1.19	UGC	53	14
7	1:1.75:1.19	UGC	43	14
8	1:1.75:1.19	UGC	56	14
9	1:1.75:1.19	UGC	69	28
10	1:1.75:1.19	UGC	73	28
11	1:1.75:1.19	UGC	73	28
12	1:1.75:1.19	UGC	60	28

Tabla XXI. Resultados ensayo resistencia a compresión promedio efectuado a diseño de mezcla A-1 adoquín con polvo de llanta

Identificación de adoquín	Proporción	Tipo cemento utilizado	Resistencia a la compresión kg/cm ²	Edad en días
1 - 4	1:1.75:1.19	UGC	39.75	7
5 - 8	1:1.75:1.19	UGC	52.75	14
9 - 12	1:1.75:1.19	UGC	68.75	28

El ensayo de flexión y el de compresión, efectuados a los adoquines con mezcla A-1, mostraron que en ninguno de los dos casos se logró llegar a las especificaciones requeridas por la norma colombiana ICONTEC 2017, ni por la guatemalteca COGUANOR NGO 41 086:95, de tal manera que podría sugerirse para un nuevo proyecto de este tipo, proponer un nuevo diseño de mezcla en el cual se tendría que pensar en utilizar mayor cantidad de cemento para lograr satisfacer las necesidades técnicas de las normas.

Ensayos a mezcla:

Tabla XXII. Resultados ensayo temperatura de mezcla

Identificación de mezcla	Proporción	cemento utilizado	Temp. Ini G cent	Temp. final G cent
A - 1	1:1.75:1.19	UGC	21.5	21.5

Tabla XXIII. Resultados ensayo de revenimiento

Identificación de mezcla	Proporción	cemento utilizado	Asentamiento
A - 1	1:1.75:1.19	UGC	½ "

Tabla XXIV. Resultados ensayo de peso volumétrico

Identificación de mezcla	Proporción	cemento utilizado	PV. kg/m ³
A - 1	1:1.75:1.19	UGC	1535.4

Tabla XXV. Resultados ensayo contenido de aire

Identificación de mezcla	Proporción	cemento utilizado	% inicial	% final
A - 1	1:1.75:1.19	UGC	9	33

5. DISCUSION DE RESULTADOS

Se observa que los resultados obtenidos para el ensayo de resistencia a compresión de un adoquín con polvo de llanta, están muy por debajo de lo requerido por la norma propuesta COGUANOR NGO 41 086:95 para un adoquín tipo I de uso vehicular, cuyo valor individual de resistencia mínima a compresión deberá ser de 40 Mpa (408 Kg/cm²); incluso, muy por debajo también a los resultados de la resistencia a compresión de los adoquines hechos con mezcla patrón (sin polvo de llanta) utilizada por el Grupo Pescara.

En cuanto al ensayo de resistencia a flexión, la norma propuesta por COGUANOR no hace mención alguna, de manera que se toma como base la norma Colombiana ICONTEC 2017, que menciona que la resistencia a flexión o modulo de rotura de un adoquín individual mínima, deberá ser de 3.6 Mpa (36.72 Kg/cm²), dicho resultado es también alto en comparación de los resultados alcanzados en el ensayo de resistencia a la flexión de los adoquines hechos con mezcla de polvo de llanta.

Referente a los ensayos realizados a la mezcla seca hecha con polvo de llanta, se tiene que la temperatura no tuvo variación alguna durante el período de ensaye, el resultado de la prueba de revenimiento fue de ½”, de lo cual se puede interpretar que el comportamiento de la mezcla con polvo de llanta es bastante similar a las mezclas con bajo asentamiento hechas con cemento Portland y agregados convencionales. Para el ensayo de densidad del concreto se puede decir que éste, está entre el rango de concretos ligeros debido al resultado que dio el ensayo a pesar de la inclusión de polvo de llanta.

El ensayo de contenido de aire en la mezcla es tal vez el más importante de este trabajo, sin restar importancia a los demás, ya que es posible que debido al alto contenido de aire que se reportó al final del mismo, sea la razón de mayor peso en la disminución de la resistencia a compresión y flexión de los adoquines con polvo de llanta.

CONCLUSIONES

1. El uso de polvo de llanta en una mezcla de concreto demostró ser no compatible en el desarrollo de las características mecánicas de la misma, porque disminuye la capacidad de la resistencia a la compresión y la flexión, según estándares de la norma propuesta COGUANOR y de la norma colombiana ICONTEC.
2. Debido a la disminución de la resistencia tanto a flexión como a compresión en edades tempranas y tardías, no se recomienda el uso de este tipo de adoquín en arterias vehiculares.
3. Si bien el uso de llantas como adición en la mezcla es de provecho para el medio ambiente, se necesita tener o buscar una mejor alternativa para la transformación del material de hule de llanta, ya que el utilizado en este trabajo fue hecho completamente a mano y es un proceso lento y por ende de poca producción.
4. Se concluye que de los ensayos hechos a la mezcla seca bajo normas ASTM, sólo el de contenido de aire presenta un aumento debido a la inclusión de polvo de llanta.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda el uso de esta clase de adoquines con polvo de llanta para calles peatonales, parques y en general áreas que no sean afectadas por cargas vehiculares.
2. Es necesario analizar el uso de polvo de llanta para otras condiciones de la ingeniería como paneles aislantes para sonido.
3. Determinar los posibles efectos dañinos para la salud, tanto en la manipulación como en la utilización de polvo de llanta por largos periodos.
4. Se debe utilizar equipo de seguridad para vías respiratorias y ojos, al momento de la transformación de la materia prima de polvo de llanta.

BIBLIOGRAFÍA

1. Álvarez Muralles, Luis Mariano. Evaluación de la escoria de ferroníquel como agregado fino para concreto, trabajo de graduación Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de ingeniería, noviembre de 2009, 57 p.p.
2. **American Society for Testing and Materials. Annual Book of ASTM Standards.** Volume 04.02 EEUU. 1990.
3. COGUANOR. Propuesta Adoquines de Hormigón (concreto). Guatemala, C. A.
4. INFOM. División de Obras Municipales. Instructivo para Pavimentación con Adoquines de Concreto. Guatemala: Tercera edición, 1984.
5. Instituto Colombiano de Productores de Cemento. Normas y Especificaciones para Adoquines de Concreto en Países Latinoamericanos, 3 p.p.
6. Morgan, Rolando. Especificación de normas aplicables y usos recomendados del adoquín de concreto, 20 p.p.

REFERENCIAS ELECTRÓNICAS

1. Concreto online,

http://www.cocretonline.com/index2.php?option=comcontenido&do_pdf=1&id=209

Fecha de consulta: octubre 2008.

2. Reciclaje de neumáticos,

<http://www.enbuenasmanos.com/articulos/muestra.asp?art=1300>

Fecha de consulta: octubre 2008.

3. Cementos Progreso,

http://www.cementosprogreso.com/main.php?id=75&show_item=1&id_area=116

Fecha de consulta: enero 2009.

http://www.cementosprogreso.com/main.php?id=141&show_item=1&id_area=116

Fecha de consulta: enero 2009.

4. Wikipedia,

<http://es.wikipedia.org/wiki/adoquin>

Fecha de consulta: abril 2009.

APÉNDICE



OT 11429-2
FECHA

INFORME

CLIENTE: Centro Tecnológico
CONTACTO: Ing. Rolando Morgan
MUESTRA: Adoquines
PROYECTO: Tesis de adoquin con polvo de llanta
PROCEDENCIA: Barcenás, Villa Nueva
ENSAYO: Resistencia a la Flexión.

RESULTADOS

Identificación Cliente	Medidas (cm.) LargoXAnchoXGrosor	Masa kg	Módulo de Rotura		Fecha Hechura	Fecha Rotura	Edad Días
			N/mm ²	kg/cm ²			
1 Patron	25x13x08	5.180	5.795	59	2008-07-01	2008-07-29	28
2 Patron	25x13x08	5.330	5.536	56	2008-07-01	2008-07-29	28
5 A-1	25x13x08	4.880	2.018	21	2008-07-01	2008-07-29	28
6 A-1	25x13x08	4.110	0.997	10	2008-07-01	2008-07-29	28
7 A-1	25x13x08	4.260	0.874	9	2008-07-01	2008-07-29	28
10 A-2	25x13x08	3.670	0.401	4	2008-07-01	2008-07-29	28
11 A-2	25x13x08	3.460	0.455	5	2008-07-01	2008-07-29	28
12 A-2	25x13x08	3.630	0.452	5	2008-07-01	2008-07-29	28
16 A-3	25x13x08	2.880	0.187	2	2008-07-01	2008-07-29	28
17 A-3	25x13x08	2.980	0.254	3	2008-07-01	2008-07-29	28

Atentamente,

Laboratorio de Prefabricados
CENTRO TECNOLÓGICO, CEMPRO

Laboratorio

MDL/cf


Ing. Mario de León
Jefe de Laboratorio



OT 11429-1
FECHA 2008-08-01

INFORME

CLIENTE: Centro Tecnológico
CONTACTO: Ing. Rolando Morgan
MUESTRA: Adoquines
PROYECTO: Tesis de adoquin con polvo de llanta
PROCEDENCIA: Barcenás, Villa Nueva
ENSAYO: Resistencia a Compresión.

RESULTADOS

Identificación Cliente	Medidas (cm.) AnchoXAltoXLargo	Masa kg	Resistencia Compresión		Fecha Hechura	Fecha Rotura	Edad Días
			N/mm ²	kg/cm ²			
3 PATRON	25x07x08	3.090	30.670	313	2008-07-01	2008-07-29	28
4 PATRON	25x07x08	3.220	36.460	372	2008-07-01	2008-07-29	28
8 A-1	25x07x08	2.390	2.606	27	2008-07-01	2008-07-29	28
9 A-1	25x07x08	2.440	3.260	33	2008-07-01	2008-07-29	28
13 A-2	25x07x08	2.100	0.874	9	2008-07-01	2008-07-29	28
14 A-2	25x07x08	2.070	0.684	7	2008-07-01	2008-07-29	28
15 A-2	25x07x08	1.810	0.902	9	2008-07-01	2008-07-29	28
18 A-3	25x07x08	1.820	0.786	8	2008-07-01	2008-07-29	28
19 A-3	25x07x08	2.020	0.751	8	2008-07-01	2008-07-29	28

Atentamente,

Laboratorio de Prefabricados
CENTRO TECNOLÓGICO, CASAPRO

Laboratorio
MDL/cf


Ing. Mario de León
Jefe de Laboratorio



OT 12466-2
FECHA 2009-03-12

INFORME

CLIENTE: CETEC
CONTACTO: Ing. Rolando Morgan
MUESTRA: Adoquin Patron
PROYECTO: Tesis de adoquin con polvo de llanta
PROCEDENCIA: Barcnas Villa Nueva
ENSAYO: Resistencia a la Flexión.

RESULTADOS

Identificación Cliente	Medidas (cm.) AnchoXAltoXLargo	Masa kg	Módulo de Rotura		Fecha Hechura	Fecha Rotura	Edad Días
			N/mm ²	kg/cm ²			
1	24x12.5x7	3.740	1.622	17	2009-02-11	2009-02-18	7
2	24x12.5x7	3.910	1.321	13	2009-02-11	2009-02-18	7
3	24x12.5x7	4.290	1.869	19	2009-02-11	2009-02-18	7
4	24x12.5x7	3.930	1.871	19	2009-02-11	2009-02-18	7
5	24x12.5x7	3.960	1.852	19	2009-02-11	2009-02-25	14
6	24x12.5x7	3.990	1.466	15	2009-02-11	2009-02-25	14
7	24x12.5x7	3.910	1.652	17	2009-02-11	2009-02-25	14
8	24x12.5x7	4.010	1.911	19	2009-02-11	2009-02-25	14
9	24x12.5x7	3.980	2.033	21	2009-02-11	2009-03-11	28
10	24x12.5x7	4.210	1.812	18	2009-02-11	2009-03-11	28
11	24x12.5x7	3.780	1.665	17	2009-02-11	2009-03-11	28
12	24x12.5x7	4.210	1.927	20	2009-02-11	2009-03-11	28

Atentamente,

Analista

La responsabilidad de los resultados de los ensayos realizados en el laboratorio pertenece al cliente.

Ing. Mario de León M.
Jefe de Laboratorio

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.



OT 12466-1
FECHA 2009-03-12

INFORME

CLIENTE: CETEC
CONTACTO: Ing. Rolando Morgan
MUESTRA: Adoquin Patron
PROYECTO: Tesis de adoquin con polvo de llanta
PROCEDENCIA: Barcnas Villa Nueva
ENSAYO: Resistencia a Compresión.

RESULTADOS

Identificación Cliente	Medidas (cm.) AnchoXAltoXLargo	Masa kg	Resistencia Compresión		Fecha Hechura	Fecha Rotura	Edad Días
			N/mm ²	kg/cm ²			
1	24x6.5x7	1.830	3.907	40	2009-02-11	2009-02-18	7
2	24x6.5x7	1.980	4.102	42	2009-02-11	2009-02-18	7
3	24x6.5x7	1.810	3.428	35	2009-02-11	2009-02-18	7
4	24x6.5x7	1.780	4.153	42	2009-02-11	2009-02-18	7
5	24x6.5x7	1.970	5.766	59	2009-02-11	2009-02-25	14
6	24x6.5x7	1.990	5.240	53	2009-02-11	2009-02-25	14
7	24x6.5x7	1.860	4.223	43	2009-02-11	2009-02-25	14
8	24x6.5x7	1.950	5.524	56	2009-02-11	2009-02-25	14
9	24x6.5x7	2.120	6.730	69	2009-02-11	2009-03-11	28
10	24x6.5x7	2.020	7.195	73	2009-02-11	2009-03-11	28
11	24x6.5x7	1.940	7.192	73	2009-02-11	2009-03-11	28
12	24x6.5x7	2.070	5.840	60	2009-02-11	2009-03-11	28

Atentamente,



Analista

Laboratorio de Pruebas
Centro Nacional de Cemento



Ing. Mario de León M.
Jefe de Laboratorio

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.

15 Avenida 18-01, Zona 6 C. A. PBX: 2286-4100 Fax: 2338-9112/13
www.cementosprogreso.com



OT 11530
FECHA 2008-08-08

INFORME

CLIENTE: Asesoría CETEC
CONTACTO: Ing. Rolando Morgan
MUESTRA: Concreto fresco
PROYECTO: Tesis Sergio López
ENSAYO: Resistencia a compresión

RESULTADOS MEZCLA

Temperatura de Mezcla: Inicial = 21.5° y Final = 21.5°, no hubo variación.
Slump: ½ Pulgada
Consistometro Vebe: Se hizo cintura, 14.2 mm en 1 minuto 38 segundos de vibración.
Densidad de Concreto fresco: 1535.4 kg/m³
Contenido de Aire: 9% Inicio y 33% final.

Atentamente,

Laboratorio de Prefabricados
Cemento Progreso S.A.S.

Analista

X 
Ing. Mario de León M.
Jefe de Laboratorio

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.

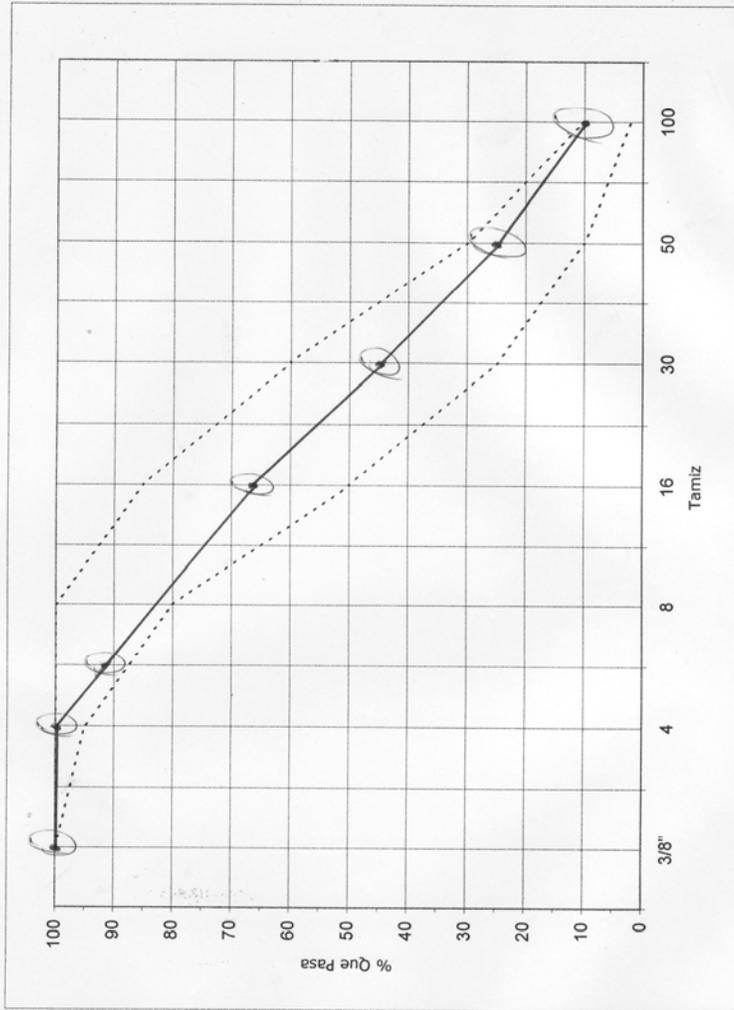
15 Avenida 18-01, Zona 6 C. A. PBX: 2286-4100 Fax: 2338-9112/13
www.cementosprogreso.com

AGREGADO : **Arena Lavada**
 MUESTRA : **572**
 FECHA DE ANÁLISIS : **21/04/08**
 OBSERVACIONES :

% Absorción	0.46%
Peso Específico	2.676
P.U.S. Kg/m³	1231.59
P.U.C. Kg/m³	1438.45
% Pasa Tamiz No. 200	2.38%
% Material Liviano	
Modulo de Finura	2.63

Observaciones :

Granulometría
ASTM C-33



Tamiz	3/8"	4	8	16	30	50	100
% Que Pasa	100	100	91	67	44	25	10

Laboratorista
David.H.

AGREGADO : Piedrin 3/8" # 8 Lavado

MUESTRA :

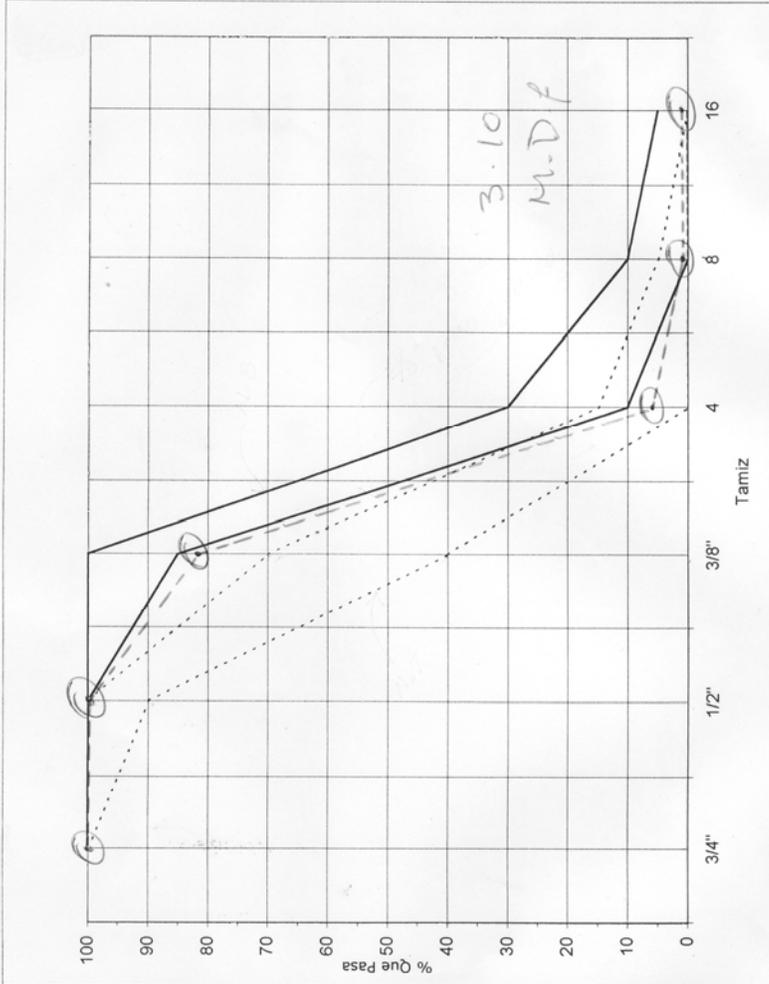
FECHA DE ANÁLISIS :

OBSERVACIONES :

% Absorción	0.44%
Peso Específico	2.657
P.U.S. Kg/m³	1369.5094
P.U.C. Kg/m³	1412.1445
% Pasa Tamiz No. 200	0.16%
% Part. Plan y Alarg.	2.0%
% de Vacíos	
% Material Liviano	
% Abrasión	
% Desgaste / Sulfato de Sodio	

Observaciones :

Granulometría
ASTM C-33
No. 7 y No.8



Tamiz	3/4"	1/2"	3/8"	4	8	16
% Que Pasa	100	100	82	6	1	1

Laboratorista

