



UNIVERSIDAD  
PRIVADA  
DEL NORTE

# FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

“COMPARACIÓN DE LA RESISTENCIA DE ADOQUINES  
DE CONCRETO Y OTROS ELABORADOS CON VIDRIO  
RECICLADO, CAJAMARCA, 2014”

Tesis para optar el título profesional de:

**Ingeniera Civil**

**Autora:**

Luz Katherine Cabrera Barboza

**Asesor:**

Ing. Hugo Miranda Tejada

Cajamarca – Perú  
2014

## APROBACIÓN DE LA TESIS

El (La) asesor(a) y los miembros del jurado evaluador asignados, **APRUEBAN** la tesis desarrollada por el (la) Bachiller **Luz Katherine Cabrera Barboza**, denominada:

**“COMPARACIÓN DE LA RESISTENCIA DE ADOQUINES DE CONCRETO Y  
OTROS ELABORADOS CON VIDRIO RECICLADO, CAJAMARCA, 2014”**

---

Mg. Ing. Hugo Miranda Tejada  
**ASESOR**

---

Dr. Ing. Orlando Aguilar Aliaga  
**PRESIDENTE**

---

Dra. Ing. Rosa Llique Mondragón

---

Ing. Alejandro Cubas Becerra

## DEDICATORIA

A Dios por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud, y darme lo necesario para seguir adelante día a día para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mis padres, a mi hermano y familiares por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me han permitido ser persona de bien, pero más que nada, por su amor, sus ejemplos de perseverancia y constancia que los caracterizan, por el valor mostrado para salir adelante siendo forjadores de un futuro mejor.

A ustedes les debo todo lo que he logrado en representación de todos los esfuerzos realizados durante la carrera, a mis queridos maestros, mis amigos de la facultad y administrativos de la universidad.

Luz Katherine

## AGRADECIMIENTO

Agradezco a todas aquellas personas e instituciones que colaboraron de una u otra manera en la ejecución de esta tesis.

A la Universidad Privada del Norte, por brindarme sus laboratorios para la elaboración de los adoquines y para el desarrollo de los diferentes ensayos a realizar. También al Sr. Víctor Cuzco Minchan, nuestro guía para el correcto desenvolvimiento en los laboratorios.

Al Ing. Orlando Aguilar Aliaga, director de mi carrera, quien me compartió sus conocimientos y criterios contribuyendo al desarrollo de los diferentes ensayos y teorías, así como también agradecerle por sus sugerencias, las cuales facilitaron la culminación de esta tesis.

De manera particular, agradezco al Ing. Hugo Miranda Tejada por confiar en esta tesis y ser mi mentor y guía durante este proceso de aprendizaje, y fundamentalmente por haber aportado para mi crecimiento y desarrollo profesional.

A mi primo Carlos Alberto Ortiz Torres, por el apoyo que me brindo en la elaboración de los adoquines.

## INDICE DE CONTENIDOS

<b>APROBACIÓN DE LA TESIS</b> .....	<b>ii</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>iii</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>iv</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDOS</b> .....	<b>v</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>vii</b>
<b>ÍNDICE DE GRÁFICOS</b> .....	<b>ix</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>xii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xiii</b>
<b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>14</b>
1.1. Realidad problemática .....	14
1.2. Formulación del problema.....	15
1.3. Justificación.....	15
1.4. Limitaciones .....	15
1.5. Objetivos .....	15
1.5.1. <i>Objetivo General</i> .....	15
1.5.2. <i>Objetivos Específicos</i> .....	15
<b>CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>16</b>
2.1. Antecedentes .....	16
2.2. Bases Teóricas .....	19
2.3. Definición de términos básicos .....	29
<b>CAPÍTULO 3. HIPÓTESIS</b> .....	<b>31</b>
3.1. Formulación de la hipótesis .....	31
3.2. Operacionalización de variables .....	31
<b>CAPÍTULO 4. PRODUCTO DE APLICACIÓN PROFESIONAL</b> .....	<b>32</b>
<b>CAPÍTULO 5. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	<b>34</b>
5.1. Tipo de diseño de investigación.....	34
5.2. Material de estudio.....	34
5.2.1. <i>Unidad de estudio</i> .....	34
5.2.2. <i>Población</i> .....	34
5.2.3. <i>Muestra</i> .....	35
5.3. Técnicas, procedimientos e instrumentos.....	35
5.3.1. <i>Para recolectar datos</i> .....	35
5.3.2. <i>Para analizar información</i> .....	46

<b>CAPÍTULO 6. RESULTADOS .....</b>	<b>47</b>
<b>CAPÍTULO 7. DISCUSIÓN .....</b>	<b>57</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>61</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>62</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>63</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>65</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

- Tabla N° 01: Ensayo de compresión de adoquín convencional
- Tabla N° 02: Ensayo de compresión de adoquines con vidrio reciclado
- Tabla N° 03: Ensayo de compresión de adoquines con vidrio reciclado
- Tabla N° 04: Ensayo de compresión de adoquines con vidrio reciclado
- Tabla N° 05: Ensayo de compresión de adoquines con vidrio reciclado
- Tabla N° 06: Tipos de agregados
- Tabla N° 07: Clasificación general de vidrios según su composición
- Tabla N° 08: Límites generales de los componentes principales de los vidrios silícicos
- Tabla N° 09: Propiedades del vidrio
- Tabla N° 10: Adoquín 8 – Tipo II
- Tabla N° 11: Espesor nominal y resistencia a la compresión
- Tabla N° 12: Absorción
- Tabla N° 13: Límites de granulometría agregado grueso
- Tabla N° 14: Límites de granulometría agregado fino
- Tabla N° 15: Dosificación unitaria con TMN 3/4”
- Tabla N° 16: Dosificación unitaria con TMN 3/8”
- Tabla N° 17: Dosificación para 6 unidades con TMN 3/4”
- Tabla N° 18: Dosificación para 6 unidades con TMN 3/8”
- Tabla N° 19: Análisis granulométrico de agregado grueso
- Tabla N° 20: Otros ensayos realizados al agregado grueso
- Tabla N° 21: Análisis granulométrico de agregado fino
- Tabla N° 22: Otros ensayos realizados al agregado fino
- Tabla N° 23: Análisis granulométrico de vidrio molido (muestra 1)
- Tabla N° 24: Análisis granulométrico de vidrio molido (muestra 2)
- Tabla N° 25: Muestras con TMN 3/4" (sin vidrio)
- Tabla N° 26: Muestras “A” TMN 3/8" (sin vidrio)
- Tabla N° 27: Muestras “B” TMN 3/8" (sin vidrio)
- Tabla N° 28: Muestras TMN 3/8" con 5 % de vidrio

- Tabla N° 29: Muestras TMN 3/8" con 10 % de vidrio
- Tabla N° 30: Muestras TMN 3/8" con 15 % de vidrio
- Tabla N° 31: Muestras TMN 3/8" con 25 % de vidrio
- Tabla N° 32: Muestras TMN 3/8" con 50 % de vidrio
- Tabla N° 33: Absorción de muestras sin vidrio
- Tabla N° 34: Absorción de muestras con vidrio
- Tabla N° 35: Resistencia a la compresión de muestras sin vidrio
- Tabla N° 36: Resistencia a la compresión de muestras con vidrio
- Tabla N° 37: Análisis granulométrico de agregado grueso
- Tabla N° 38: Contenido de humedad de agregado grueso
- Tabla N° 39: Peso específico de agregado grueso
- Tabla N° 40: Peso unitario de agregado grueso
- Tabla N° 41: Absorción de agregado grueso
- Tabla N° 42: Análisis granulométrico de agregado fino
- Tabla N° 43: Contenido de humedad de agregado fino
- Tabla N° 44: Peso específico de agregado fino
- Tabla N° 45: Peso unitario de agregado fino
- Tabla N° 46: Absorción de agregado fino
- Tabla N° 47: Análisis granulométrico de vidrio (muestra 1)
- Tabla N° 48: Análisis granulométrico de vidrio (muestra 2)
- Tabla N° 49: Análisis granulométrico de mezcla son 5% de vidrio
- Tabla N° 50: Análisis granulométrico de mezcla son 10% de vidrio
- Tabla N° 51: Análisis granulométrico de mezcla son 15% de vidrio
- Tabla N° 52: Análisis granulométrico de mezcla son 25% de vidrio
- Tabla N° 53: Análisis granulométrico de mezcla son 50% de vidrio
- Tabla N° 54: Muestras TMN 3/4" (sin vidrio)
- Tabla N° 55: Muestras "A" TMN 3/8" (sin vidrio)
- Tabla N° 56: Muestras "B" TMN 3/8" (sin vidrio)
- Tabla N° 57: Muestras TMN 3/8" con 5 % de vidrio
- Tabla N° 58: Muestras TMN 3/8" con 10 % de vidrio
- Tabla N° 59: Muestras TMN 3/8" con 15 % de vidrio

Tabla N° 60: Muestras TMN 3/8" con 25 % de vidrio

Tabla N° 61: Muestras TMN 3/8" con 50 % de vidrio

Tabla N° 62: Muestras TMN 3/4" (sin vidrio)

Tabla N° 63: Muestras "A" TMN 3/8" (sin vidrio)

Tabla N° 64: Muestras "B" TMN 3/8" (sin vidrio)

Tabla N° 65: Muestras TMN 3/8" (5% vidrio)

Tabla N° 66: Muestras TMN 3/8" (10% vidrio)

Tabla N° 67: Muestras TMN 3/8" (15% vidrio)

Tabla N° 68: Muestras TMN 3/8" (25% vidrio)

Tabla N° 69: Muestras TMN 3/8" (50% vidrio)

## ÍNDICE DE GRAFICOS

### Gráficas:

Gráfica N° 01: Ciclo de vida ideal del vidrio

Gráfica N° 02: Curva Granulométrica de la muestra agregado grueso

Gráfica N° 03: Curva Granulométrica de la muestra agregado fino

Gráfica N° 04: Curva Granulométrica de la muestra 1 de vidrio

Gráfica N° 05: Curva Granulométrica de la muestra 2 de vidrio

Gráfica N° 06: Curvas granulométricas de ambos agregados

Gráfica N° 07: Curvas granulométricas de agregado grueso y vidrio molido

Gráfica N° 08: Resistencia a la compresión vs relación a/c

Gráfica N° 09: Resistencia a la compresión vs % de vidrio reciclado

Gráfica N° 10: Curvas granulométricas de % de vidrio

Gráfica N° 11: Curva granulométrica de mezcla con 5% de vidrio

Gráfica N° 12: Curva granulométrica de mezcla con 10% de vidrio

Gráfica N° 13: Curva granulométrica de mezcla con 15% de vidrio

Gráfica N° 14: Curva granulométrica de mezcla con 25% de vidrio

Gráfica N° 15: Curva granulométrica de mezcla con 50% de vidrio

### Fotografías:

Fotografía N° 01: Detalle de vidrio en adoquín

Fotografía N° 02: Realizando el tamizado

- Fotografía N° 03: Malla 1 ½”
- Fotografía N° 04: Malla 1”
- Fotografía N° 05: Malla ¾”
- Fotografía N° 06: Malla ½”
- Fotografía N° 07: Malla ⅜”
- Fotografía N° 08: Malla N° 04
- Fotografía N° 09: Malla N° 08
- Fotografía N° 10: Malla N° 16
- Fotografía N° 11: Malla N° 50
- Fotografía N° 12: Malla N° 100
- Fotografía N° 13: Malla N° 200
- Fotografía N° 14: Cazoleta
- Fotografía N° 15: Malla 1 ½”
- Fotografía N° 16: Malla 1”
- Fotografía N° 17: Malla ¾”
- Fotografía N° 18: Malla ½”
- Fotografía N° 19: Malla ⅜”
- Fotografía N° 20: Malla N° 04
- Fotografía N° 21: Cazoleta
- Fotografía N° 22: Peso de muestra
- Fotografía N° 23: Muestras de agregado grueso
- Fotografía N° 24: Peso de muestra
- Fotografía N° 25: Muestras de agregado fino
- Fotografía N° 26: Probeta de peso unitario
- Fotografía N° 27: Peso de muestra suelta
- Fotografía N° 28: Peso de muestra compactada
- Fotografía N° 29: Peso de muestra seca
- Fotografía N° 30: Peso de muestra compactada
- Fotografía N° 31: Peso de muestra en el aire
- Fotografía N° 32: Peso de muestra sumergida
- Fotografía N° 33: Paso de material por la malla N°04

- Fotografía N° 34: Ensayo previo
- Fotografía N° 35: Peso fiola
- Fotografía N° 36: Peso muestra + tara
- Fotografía N° 37: Peso fiola + agua
- Fotografía N° 38: Peso fiola + agua + muestra
- Fotografía N° 39: Muestra en el horno
- Fotografía N° 40: Tamizado de los agregados
- Fotografía N° 41: Revisión del molde
- Fotografía N° 42: Materiales y equipo utilizado en la mezcla
- Fotografía N° 43: Materiales en la mezcladora.
- Fotografía N° 44: Mezclado de materiales
- Fotografía N° 45: Colocación de mezcla
- Fotografía N° 46: Compactación de la mezcla
- Fotografía N° 47: Mezcla en el molde antes de vibrar
- Fotografía N° 48: Acomodando el material en el molde
- Fotografía N° 49: Muestra ya vibrada
- Fotografía N° 50: Muestras con TMN  $\frac{3}{4}$ ”
- Fotografía N° 51: Muestras con TMN  $\frac{3}{4}$ ”
- Fotografía N° 52: Muestras de 5% y 10 % de vidrio reciclado
- Fotografía N° 53: Muestras del 15%, 25% y 50 % de vidrio reciclado
- Fotografía N° 54 y 55: Muestras en poza de curado.
- Fotografía N° 56: Pesando muestra
- Fotografía N° 57: Midiendo dimensiones
- Fotografía N° 58: Colocando muestra en poza
- Fotografía N° 59: Anotación de deformaciones
- Fotografía N° 60: Muestra ensayada sin vidrio
- Fotografía N° 61: Muestra ensayada con vidrio
- Fotografía N° 62: Fallas en muestra sin vidrio
- Fotografía N° 63: Fallas en muestra con vidrio

## RESUMEN

La tesis estudia la influencia del vidrio molido sobre la resistencia de adoquines de concreto. Se utiliza la norma NTP 399.604 “UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Métodos de muestreo y ensayo de unidades de albañilería de concreto” y NTP 399.611 “UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Adoquines de concreto para pavimentos. Requisitos”. El vidrio es empleado para el reemplazo parcial del agregado grueso tradicional del concreto. La mezcla utilizada en la fabricación de los adoquines se diseña en base a método ACI<sup>1</sup>, las proporciones al peso de la mezcla incluye cinco, diez, quince, veinticinco y cincuenta por ciento de vidrio. La principal motivación de esta tesis es comparar la resistencia de adoquines de concreto y adoquines con vidrio reciclado; la tesis inicia con la descripción teórica, clasificación y propiedades del vidrio y de los adoquines, para después describir los ensayos a los cuales se someterán los adoquines, para verificar el cumplimiento de la norma NTP 399.604. Se describe también la definición de materiales y equipos, procedimientos y cálculos de los ensayos de resistencia a la compresión, absorción y observación de aspectos visuales de los adoquines realizados artesanalmente. Adicionalmente se detalla los materiales y equipos, así como procedimientos y cálculos de los ensayos de análisis granulométrico, contenido de humedad, peso específico, peso unitario y absorción de los agregados gruesos y finos extraídos de la cantera Chávez, ubicada en el río Mashcon. En este trabajo se realizó el diseño de mezclas para cada porcentaje de vidrio y de acuerdo al tamaño nominal máximo del agregado, se detalla la elaboración de los adoquines en el laboratorio de la Universidad Privada del Norte. Al realizar los ensayos se verificó el cumplimiento de los requisitos mínimos de resistencia a la compresión, absorción y aspectos visuales (dimensiones, peso, textura y color) al reemplazar el agregado grueso por distintos porcentajes de vidrio molido en los pesos utilizados en las mezclas. Finalmente se concluyó que al adicionar el 50% de vidrio reciclado a la mezcla se incrementa el 4.09% la resistencia del adoquín.

---

<sup>1</sup> American Concrete Institute.

## ABSTRACT

The thesis studies the influence of ground glass on the strength of concrete pavers. NTP standard 399 604 "UNIT MASONRY used. Methods of sampling and testing of concrete masonry units "and NTP 399 611" UNIT MASONRY. Concrete pavers paving. Requirements". The glass is used for partial replacement of traditional thick concrete aggregate. The mixture used in making pavers are designed based on method ACI, the weight proportions of the mixture includes five, ten, fifteen, twenty and fifty percent glass. The main motivation of this thesis is to compare the resistance of concrete pavers and pavers with recycled glass; the thesis starts with the theoretical description, classification and properties of glass and pavers, and then describe the tests to which the pavers be submitted, to verify compliance with NTP 399 604 (pavers) standard. The definition of materials and equipment, procedures and calculations testing compressive strength, absorption and observation visual aspects of handcrafted paving is also described. Additionally materials and equipment, and procedures and calculations sieve analysis tests, moisture content, specific gravity, unit weight and absorption of coarse and fine aggregates extracted from the quarry Chavez, located in the river Mashcon detailed. In this work the mix design for each percentage of glass and according to the nominal maximum aggregate size was performed, making the pavers in the laboratory of the Universidad Privada del Norte is detailed. When testing compliance with the minimum compressive strength, absorption and visual aspects (size, weight, texture and color) by replacing the coarse aggregate for different percentages of ground glass in the weights used in the mixtures was verified. Finally it was concluded that the addition of 50% recycled glass to mix the 4.09% increases the strength of cobblestones.

## CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

La fabricación de vidrio data del tercer milenio antes de Cristo, cuando los artesanos de Babilonia y otros asentos culturales mesopotámicos fundían esmaltes separadamente del cuerpo de la cerámica: estaban obteniendo los primeros objetos de vidrio. A su tiempo, las técnicas de fabricación del vidrio (moldeado, núcleo de arena y más tarde el soplado) se expandieron por Egipto, Grecia y el área mediterránea, dando origen más tarde a la importante fabricación de vidrio en Roma. Fabricar vidrio fue, desde el comienzo, una tarea difícil y los objetos de vidrio eran altamente apreciados en la misma forma que las piedras preciosas. Eran usados para guardar ungüentos y aceites caros, como regalos preciosos y como objetos de ritual. (Velásquez, 2005)

El reciclado del vidrio es una práctica común, en muchos países y en especial en las grandes ciudades, hay organizaciones para recolectar desechos de vidrio y enviarlos a las fábricas de vidrio. A partir de la crisis del petróleo de los años 70 el reciclado del casco de vidrio se hizo más importante a raíz de la escasez de energía. (Rigolleau, 2014)

El vidrio es un material 100% reciclable y su recirculación por las cadenas productivas puede hacerse un número infinito de veces sin que se vean afectadas sus propiedades físico-químicas, lo que lo hace un material ambientalmente amigable. (Ministerio de Ambiente, 2008)

En la actualidad en Cajamarca existen un gran porcentaje de residuos de construcción como es el vidrio, con el cual se produce contaminación del medio ambiente, ya que requiere mayor tiempo para su descomposición. (Ecología, Servicios Ambientales & Consultoría, 2008)

En esta investigación los adoquines son elaborados con una composición alternativa a la convencional, se empleó vidrio reciclado reemplazando un porcentaje del agregado grueso, lo cual nos permite contribuir al uso más eficiente del vidrio,

disminuyendo la contaminación y brindando un beneficio ambiental al reciclarlo y reutilizarlo.

La resistencia de un adoquín está en función a los materiales utilizados y la producción del determinado producto.

## **1.2. Formulación del problema**

¿Cuál es la resistencia de adoquines elaborados con un porcentaje de vidrio reciclado y adoquines convencionales de concreto en Cajamarca, 2014?

## **1.3. Justificación**

Este trabajo tiene la finalidad de obtener adoquines con una composición alternativa a la tradicional, empleando el vidrio reciclado como agregado con la finalidad de tener un manejo más eficiente de recursos, disminuir la contaminación y el impacto ambiental.

No existe investigaciones sobre este tema en nuestro país, las pocas que se mencionan con frecuencia son de investigadores extranjeros por eso la información obtenida será muy valiosa.

## **1.4. Limitaciones**

Falta de máquina para moler vidrio de manera más homogénea.

Falta de molde industrial para la confección de adoquines, ya que permitiría el moldeo con dimensiones más exactas.

## **1.5. Objetivos**

### **1.5.1. Objetivo General**

- Comparar la resistencia de adoquines de concreto y otros elaborados con vidrio reciclado.

### **1.5.2. Objetivos Específicos**

- ✓ Elaborar adoquines de concreto que cumplan las especificaciones técnicas indispensables.
- ✓ Elaborar adoquines con vidrio reciclado con características semejantes a los convencionales.
- ✓ Determinar la resistencia a la compresión y la absorción de ambos tipos de adoquines.

## CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes

#### Tesis: Obtención de adoquines fabricados con vidrio reciclado como agregado

Actualmente la disposición de los diversos desechos generados por la actividad humana se ha convertido en un problema debido a una serie de factores posibles consecuencias. En este proyecto se estudia la influencia del vidrio molido sobre la resistencia de adoquines de concreto. La mezcla utilizada en la fabricación de los adoquines se diseña en base a dos granulometrías de vidrio diferentes. (Daniel Estalin Hidalgo Laguna, 2013)

El método de la prueba sugerida por la Portland Cement Association (PCA) fue utilizado en el diseño de mezclas y la norma INEN 1488 fue empleada para definir los requerimientos mínimos de resistencia de los adoquines; se diseñaron tres mezclas con diferentes relación agua-cemento ( $a/c$ ). A partir de los resultados de resistencia a la compresión de los adoquines fabricados en base a estas mezclas se puede, de acuerdo a la recomendación, establecer la relación  $a/c$  que permite obtener la resistencia a la compresión deseada.

Los adoquines se ensayan a compresión a fin de verificar si cumplen con los requerimientos de resistencia a la compresión. Los resultados de estos ensayos son:

Tabla 01: Ensayo de compresión de adoquín convencional

Identificación	Mezcla preliminar	
	1	2
Probeta N°	1	2
Fecha de fabricación		
Fecha de rotura	13/06/2012	
Edad (días)	+ 28 días	+ 28 días
Espesor (mm)	94,75	95,00
Área (mm <sup>2</sup> )	47203,00	47203,00
Volumen (mm <sup>3</sup> )	4472484	4484285
Masa (gr)	9410,00	9060,00
Peso Unitario (gr/mm <sup>3</sup> )	2,10	2,02
Carga (kN)	1007,00	938,00
Factor de forma	1,14	1,14
Resistencia (MPa)	24,3	22,7
Resistencia promedio fcm (MPa)	23,5	

Fuente: Poveda R., Hidalgo D., 2013

Tabla N° 02: Ensayo de compresión de adoquines con vidrio reciclado

Identificación	Mezcla con A/C de 0,70			Mezcla con A/C de 0,50			Mezcla con A/C de 0,30		
	o	o	o	-	-	-	+	+	+
Probeta N°									
Fecha de fabricación	19/06/2012			19/06/2012			19/06/2012		
Fecha de rotura	04/07/2012			04/07/2012			04/07/2012		
Edad (días)	15			15			15		
Espesor (mm)	92,00	97,00	95,00	95,00	94,00	96,00	93,00	95,00	96,00
Área (mm <sup>2</sup> )	49132,00	49132,00	49132,00	49132,00	49132,00	49132,00	49132,00	49132,00	49132,00
Volumen (mm <sup>3</sup> )	4520144	4765804	4667540	4667540	4618408	4716672	4569276	4667540	4716672
Masa (g)	9310,00	9490,00	9290,00	9340,00	9380,00	9420,00	9260,00	9310,00	9440,00
Peso Unitario (gr/mm <sup>3</sup> )	2,06	1,99	1,99	2,00	2,03	2,00	2,03	1,99	2,00
Carga (kN)	839,00	968,00	1090,00	1463,00	1346,00	1482,00	1665,00	1809,00	1709,00
Factor de forma	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14
Resistencia (MPa)	19,5	22,5	25,3	33,9	31,2	34,4	38,6	42,0	39,7
Resistencia promedio fcm (MPa)	22,4			33,2			40,1		

Fuente: Poveda R., Hidalgo D., 2013

Tabla N° 03: Ensayo de compresión de adoquines con vidrio reciclado

Identificación	Mezcla tradicional o base (A/C = 0,39)									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
F. fabricación	05/07/2012									
F. de rotura	22/08/2012									
Edad (días)	48									
Espesor (mm)	95,00	95,00	93,00	95,00	97,00	92,00	94,00	95,00	94,00	95,00
Área (mm <sup>2</sup> )	49419,00	49419,00	49419,00	49419,00	49419,00	49419,00	49419,00	49419,00	49419,00	49419,00
Volumen (mm <sup>3</sup> )	4694805	4694805	4595967	4694805	4793643	4546548	4645386	4694805	4645386	4694805
Masa (gr)	9610,00	9120,00	9840,00	9740,00	9480,00	9400,00	9360,00	9890,00	9880,00	9490,00
Peso Unitario (gr/mm <sup>3</sup> )	2,05	1,94	2,14	2,07	1,98	2,07	2,01	2,11	2,13	2,02
Carga (kN)	1726,00	1891,00	1946,00	1959,00	1965,00	1965,00	1966,00	1968,00	1970,00	1970,00
Factor de forma	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14
fi (MPa)	39,8	43,6	44,9	45,2	45,3	45,3	45,4	45,4	45,4	45,4
fcm (MPa)	44,6									
S (MPa)	1,8									
fck (MPa)	42									

Fuente: Poveda R., Hidalgo D., 2013

Tabla N° 04: Ensayo de compresión de adoquines con vidrio reciclado

Identificación	Mezcla con 25% de vidrio fino									
Probeta N°	F6	F5	F7	F2	F8	F10	F1	F12	F3	F4
F. fabricación	01/09/2012									
F. de rotura	10/10/2012									
Edad (días)	39									
Espesor (mm)	97,00	99,00	99,00	100,00	102,00	99,00	100,00	97,00	102,00	101,00
Área (mm <sup>2</sup> )	49502,00	49502,00	49502,00	49502,00	49502,00	49502,00	49502,00	49502,00	49502,00	49502,00
Volumen (mm <sup>3</sup> )	4801694	4900698	4900698	4950200	5049204	4900698	4950200	4801694	5049204	4999702
Carga (kN)	1856,00	1922,00	1927,00	1936,00	1939,00	1956,00	1960,00	1962,00	1963,00	1969,00
Factor de forma	1,16	1,16	1,16	1,16	1,16	1,16	1,16	1,16	1,16	1,16
Resistencia (MPa)	43,5	45,0	45,2	45,4	45,4	45,8	45,9	46,0	46,0	46,1
Resistencia promedio fcm	45,4 (MPa)									
Desviación estándar S	0,8 (MPa)									
Resistencia característica fck	44 (MPa)									

Fuente: Poveda R., Hidalgo D., 2013

Tabla N° 05: Ensayo de compresión de adoquines con vidrio reciclado

Identificación	Mezcla con 15% de vidrio grueso									
Probeta N°	G10	G8	G9	G1	G4	G6	G3	G11	G2	G12
F. fabricación	01/09/2012									
F. de rotura	10/10/2012									
Edad (días)	39									
Espesor (mm)	101,00	99,00	98,00	100,00	99,00	101,00	100,00	99,00	100,00	101,00
Área (mm <sup>2</sup> )	49502,00	49502,00	49502,00	49502,00	49502,00	49502,00	49502,00	49502,00	49502,00	49502,00
Volumen (mm <sup>3</sup> )	4999702	4900698	4851196	4950200	4900698	4999702	4950200	4900698	4950200	4999702
Carga (kN)	1841,00	1871,00	1896,00	1902,00	1927,00	1932,00	1936,00	1947,00	1964,00	1982,00
Factor de forma	1,16	1,16	1,16	1,16	1,16	1,16	1,16	1,16	1,16	1,16
Resistencia (MPa)	43,1	43,8	44,4	44,6	45,2	45,3	45,4	45,6	46,0	46,4
Resistencia promedio fcm	45,0 (MPa)									
Desviación estándar s	1,0 (MPa)									
Resistencia Característica fck	43 (MPa)									

Fuente: Poveda R., Hidalgo D., 2013

Entre los adoquines fabricados con vidrio, se puede afirmar que aquellos son un 25% de vidrio de grano fino presentan una mayor resistencia a la compresión que aquellos con un 15% de vidrio de granulometría gruesa. Se presume, que la resistencia a la compresión es mayor con el uso de vidrio de granulometría fina respecto al de la rigidez dada por las propiedades mecánicas del vidrio, geometría y tamaño. La resistencia a la compresión sugerida por la norma INEN 1488 es alcanzada por los adoquines que incluyen vidrio como agregado (Daniel Estalin Hidalgo Laguna, 2013)

## 2.2. Bases Teóricas

### 2.2.1. Componentes de adoquines convencionales:

- ✓ **Agregados:** (Daniel Estalin Hidalgo Laguna, 2013)

Se tiene dos clases de agregados: agregado fino y agregado grueso. Estos a su vez se clasifican de acuerdo a su origen, modo de fabricación y composición mineralógica.

Tabla N° 06: Tipos de agregados

AGREGADO	FINO	GRUESO
Natural	Arena	Grava
Artificial	Polvo de piedra	Ripio triturado o chispa

Fuente: Hidalgo, 2013

Los materiales empleados para la fabricación de adoquines deben cumplir con los requisitos:

- El agregado fino, entendido como aquel material que pasa por una malla de 5mm, no debe contener más de 25% por masa de material soluble en ácidos, o en la fracción que pasa por una malla de 600  $\mu\text{m}$ .
  - El tamaño máximo nominal del agregado no deberá ser mayor a 1/4 del espesor del adoquín.
- ✓ **Cemento:** (Pacasmayo, 2014)

Es un conglomerante, constituido a partir de una mezcla de caliza y arcilla. Al ser amasado con agua, forma una mezcla maleable y plástica. Esta fragua endurece mediante una reacción química.

Existen cinco tipos de cemento:

**Tipo I:** cemento común, para usos generales, es el que más se emplea para fines estructurales cuando no se requieren de las propiedades especiales especificadas.

**Tipo II:** cemento modificado para usos generales y se emplea cuando se prevé una exposición moderada al ataque por sulfatos o cuando se requiere un moderado calor de hidratación.

**Tipo III:** cemento de alta resistencia inicial, recomendable cuando se necesita una resistencia temprana en una situación particular de construcción.

**Tipo IV:** cemento de bajo calor de hidratación. Los porcentajes de C2S y C4AF son relativamente altos; El bajo calor de hidratación en el cemento tipo IV se logra limitando los compuestos que más influyen en la formación de calor por hidratación, o sea, C3A y C3S.

**Tipo V:** Cemento resistente a los sulfatos. La resistencia al sulfato se logra minimizando el contenido de C3A ( $\leq 5\%$ ), pues este compuesto es el más susceptible al ataque por sulfatos.

✓ **AGUA:** (Daniel Estalin Hidalgo Laguna, 2013)

El agua en el concreto tiene dos funciones. Por un lado, actúa en las reacciones de hidratación del cemento (durante el fraguado y curado): por otro, confiere al concreto la trabajabilidad necesaria para ser transportado y moldeado. No conviene emplear aguas que contienen aceite, grasas o hidratos de carbono. Además se debe evitar la presencia de sulfato en el agua, ya que ocasionan caídas en las resistencias.

En general, las normas obligan a analizar el agua solamente cuando se poseen antecedentes de su utilización o en caso de duda.

### 2.2.2. Procesos de fabricación de adoquines (Daniel Estalin Hidalgo Laguna, 2013)

El proceso de fabricación consta de las siguientes etapas: dosificado, mezclado, moldeado, fraguado y curado.

A continuación se describen brevemente las diferentes etapas:

✓ **Dosificado**

El dosificado es el primer paso en el proceso de fabricación del adoquín. Consiste en diseñar la mezcla, es decir establecer las proporciones de cada uno

de los componentes del concreto. El objetivo es que el producto final adquiriera propiedades adecuadas principalmente cumpliendo con la resistencia a la compresión. La dosificación de cemento, agua y agregados dependen de factores tales como: granulometría, propiedades físico- químicas de los agregados, tipo de cemento, relación agua - cemento, etc. Por la cantidad de variables a controlar, el proceso se toma complejo, y se lo maneja de manera experimental.

✓ **Mezclado**

El objetivo de esta etapa es obtener una mezcla homogénea, misma que puede llevarse a cabo manual o mecánicamente. El método mecánico, que es el más utilizado, parte de colocar los diferentes componentes en la mezcladora, para que se combinen hasta obtener una mezcla de color uniforme.

✓ **Moldeado**

La mezcla es vertida en moldes, previamente limpios, para luego ser vibro compactados. La duración, frecuencia y amplitud de la vibración al igual que la presión de compactación se determinan experimentalmente. Finalmente, se retiran los adoquines del molde evitando fracturarlos o deformarlos.

✓ **Fraguado**

El fraguado es la reacción química entre el cemento y el agua mediante la cual se produce el endurecimiento del concreto. Para que el fraguado ocurra satisfactoriamente, los adoquines deben permanecer protegidos del sol y del viento, a fin de evitar que el agua contenida en estos se evapore y detenga este proceso, en cuyo caso se obtendrá una resistencia a la compresión pobre.

✓ **Curado**

El curado consiste en mantener la humedad del concreto, para lo se agrega periódicamente, consiguiéndose así que la reacción química del cemento continúe. Para esto, los adoquines se agrupan con la separación suficiente para que puedan humedecer totalmente por toda su superficie.

### **2.2.3. Usos, ventajas y propiedades de los adoquines (Adoquines y bloques, 2014)**

#### **2.2.3.1. Usos:**

En el campo de la construcción se lo emplea en calles, aceras, unidades residenciales, áreas peatonales, parques, senderos, centros comerciales, parqueaderos, etc.

El adoquín es usado por ventajas que presenta sobre otros materiales, tales como: asfalto, pavimentos comunes, baldosas, etc.

### **2.2.3.2. Ventajas:**

- Pueden fabricarse en una variedad de formas y colores que dan un mayor resalte visual al pavimento.
- Los adoquines pueden ser reutilizados después de reparaciones o modificaciones.
- No intervienen procesos térmicos ni químicos para su implementación.
- Pueden diseñarse para varios niveles de durabilidad y resistencia a la abrasión del tránsito y acciones de la intemperie.
- Facilidad en su instalación que no requiere de mano de obra especializada.
- Se adaptan a cualquier variación de las vías debido a que son elementos que no están unidos rígidamente.

### **2.2.4. Aspectos visuales de adoquines**

#### **2.2.4.1. Dimensiones:** (Cabezas Fierro, 2014)

Los adoquines pueden tener dimensiones muy variadas según el modelo que se fabrique, pero se debe controlar que cada tipo cumpla con uniformidad en las dimensiones, porque variaciones apreciables perjudican el aspecto del pavimento y afectan la transferencia de cargas a través de las juntas.

Se recomienda que en los adoquines rectangulares la relación longitud/ancho en el plano no sea mayor de 2.0 y la relación espesor/largo no debe ser menor de 0.20 ni mayor de 0.50.

#### **2.2.4.2. Peso:**

Los adoquines tienen un peso característico en función a las dimensiones y materiales utilizados en su fabricación.

#### **2.2.4.3. Textura:** (Daniel Estalin Hidalgo Laguna, 2013)

Debido a los agregados que se emplean en la fabricación de adoquines, se obtiene acabados superficiales con diferente rugosidad, adaptándose a las necesidades específicas del usuario.

#### 2.2.4.4. Color: (Cabezas Fierro, 2014)

El color en los adoquines debe permanecer inalterable con el tiempo y uso y se debe comprobar que el pigmento utilizado no altere las propiedades del concreto.

Dependiendo del fabricante, el color puede colocarse solo en la capa superficial en el caso de adoquines bicapa, o en todo el elemento para el caso de adoquines monocapa.

#### 2.2.5. Clasificación, fabricación y propiedades del vidrio

##### 2.2.5.1. Clasificación: (Fernandez, 2003)

Existen una amplia variedad de vidrios en la actualidad. José Fernández en su libro “El vidrio” los clasifica según la naturaleza química de sus componentes:

Tabla N° 07: Clasificación general de vidrios según su composición

CLASIFICACION		EJEMPLO DE SISTEMAS
INORGANICOS	Elementos	No metálicos S, Se, Te
		Metálicos Au-Si, Pt-Pd, Cu-Au
	Óxidos	SiO <sub>2</sub> , B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , GeO <sub>2</sub>
		SiO <sub>2</sub> - Na <sub>2</sub> O, B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – CaO, TeO <sub>2</sub> - PbO
	Calcogenuros	As <sub>2</sub> S <sub>3</sub> , GeSe <sub>2</sub> , P <sub>2</sub> S <sub>3</sub>
	Halogenuros	Be F <sub>2</sub> , PbCl <sub>2</sub> , AgI
		ZrF <sub>4</sub> – BaF <sub>2</sub>
	Oxihalogenuros	NaF –BeF <sub>2</sub> – Pb (PO <sub>3</sub> )
		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> – BaF <sub>2</sub>
Oxinitruros	Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> – Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - SiO <sub>2</sub> , AlN-Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> –Si <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	
Oxicarburos	MgO- AlO <sub>3</sub> – SiO <sub>2</sub> - SiC	
Oxisales	HKSO <sub>4</sub> , NaS <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , 5H <sub>2</sub> O , Ca (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	
ORGANICOS MIXTOS		Algunas siliconas, ormosiles híbridos
ORGANICOS		Glicoles, azúcares, polímeros (polietileno, polimetacrilatos, poliamidas, etc.)

Fuente: Fernández, J., 2003

La composición no está claramente definida, pues emerge de los procesos de fabricación adoptados por el fabricante y de la aplicación para la cual se produce el vidrio. Sin embargo, en la mayoría de aplicaciones cotidianas se emplea vidrio inorgánico fabricado a base de sílice.

### 2.2.5.2. Fabricación: (Artesacentenaria, 2014)

Es generalmente elaborado con sílice ( $\text{SiO}_2$ ) en forma de arena como vitrificante; sodio en forma de carbonato de sodio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) o sulfato de sodio ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) como fundente; carbonato de calcio o cal ( $\text{CaCO}_3$ ) en forma de caliza como estabilizante. Los componentes y la relación en la que intervienen en su fabricación se suele representar en forma de porcentajes en peso de los óxidos más estables a temperatura ambiente.

Tabla N° 08: Límites generales de los componentes principales de los vidrios silícicos

COMPONENTE	Desde (%)	Hasta (%)
$\text{SiO}_2$	68.0	74.5
$\text{Al}_2\text{O}_3$	0.0	4.0
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	0.0	0.45
CaO	9.0	14.0
MgO	0.0	4.0
$\text{Na}_2\text{O}$	10.0	16.0
$\text{K}_2\text{O}$	0.0	4.00
$\text{SO}_3$	0.0	0.3

Fuente: Artesacenteneria, 2012

### 2.2.5.3. Propiedades: (Saumell, 2014)

Los vidrios pueden tener propiedades ópticas, mecánicas y térmicas, muy diversas según su composición química y tratamientos térmicos. En general, el vidrio se caracteriza por ser un material duro, frágil, transparente y resistente a la corrosión, al desgaste y a la compresión. Las propiedades medias para los vidrios silícicos-cálcicos de uso cotidiano.

Tabla N° 09: Propiedades del vidrio

PROPIEDAD	VALOR	UNIDAD
Punto de Ablandamiento	730	°C
Densidad a 25° C	2.49	g/cm <sup>3</sup>
Dureza	6.50	Mohs
Módulo de elasticidad a 25° C	719	Kbar
Módulo de Poisson a 25° C	0.22	-----
Módulo de Young	720000	Kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia a la tracción a 25° C (aprox.)	900	Bar

Resistencia a la compresión (para tubo 1 cm lado)	10000	Bar
Coefficiente de dilatación lineal a 25 °C	8.72x 10 <sup>-6</sup>	°C <sup>-1</sup>
Calor específico a 25 °C	0.20	cal/g/°C
Conductividad térmica a 25 °C	0.002	cal / cm.s.°C
	1.05	W/mK
Atacabilidad química DIN 12111	13.52	mL de HCl 0.01 N
Tension superficial a 1200° C	319	dinas/cm
Índice de refracción (a 589.3 nm)	1.52	-----

Fuente: Saumell, 2012

### 2.2.6. Usos y aplicaciones del vidrio (Daniel Estalin Hidalgo Laguna, 2013)

El vidrio es un material con múltiples aplicaciones en diversas áreas, como: el campo cotidiano, el industrial y el plano científico. Su uso no solo es estético y comercial, ya que su aplicación ha permitido desarrollar numerosos experimentos claves a lo largo de la historia como: el cultivo de microbios, la invención de tubo de rayos catódicos, y el desarrollo de telescopios, microscopios, lentes fotográficos; por mencionar grupos.

El tipo de vidrio que representa el mayor porcentaje de la producción mundial, es el sílico- sódico- cálcico. Dentro de sus aplicaciones más comunes se tiene su uso como elemento constructivo en ventanas, puertas, vitrinas, espejos, etc.; en recipientes, en elementos decorativos tales como botellas, vasos, jarros, etc.

Otros vidrios ampliamente difundidos son los vidrios de boro silicato, comúnmente conocidos como vidrio pyrex, usados en aplicaciones donde se requiere una elevada resistencia a la temperatura, como en utensilios de cocina y laboratorio.

Se destacan también los vidrios silícicos con cierto porcentaje de óxidos metálicos, empleados para la fabricación de botellas. Adicionalmente se destacan los vidrios de plomo usados en lámparas fluorescentes, ventanas de radiación y vidrios de cristal.

Existen varias aplicaciones adicionales para el vidrio, resaltando sus usos como aislante en forma de lana de vidrio; materiales dieléctricos y no conductores en forma de vitrocerámica; fibra de vidrio en la elaboración de cortinas y tapicería, para la transmisión de señales ópticas; lentes de anteojos, microscopios, y telescopios; equipos de laboratorio; focos y reflectores; elementos decorativos y ornamentales; componente de productos tales como: esmaltes, baldosas y entre otros.

### **2.2.7. Reciclaje y reutilización del vidrio (EPAM: Estudios y Proyectos Ambientales y Mecánicos, 2008)**

Un ciclo de vida ambientalmente adecuado para el vidrio se logra a través de la implementación de un “Sistema de Gestión Ambiental”, en el cual se plantea tres acciones que permiten gestionar los residuos de vidrio:

- Reutilización del vidrio.
- Aprovechamiento para reciclaje.
- Disposición Final Controlada.

#### **Reutilización del vidrio**

La primera acción recomendada para la gestión del vidrio, es la reutilización. Esa etapa se refiere a la acción de utilizar productos de vidrio en múltiples ocasiones.

La reutilización trae consigo ventajas como el ahorro de energía y de materias primas.

Cuando el producto ha cumplido con su vida útil, este puede ser reciclado y utilizado como materia prima para elaborar vidrio nuevamente.

Para que esta etapa se logre materializar, se necesita que las industrias incentiven el diseño de productos reutilizables.

#### **Aprovechamiento para reciclaje**

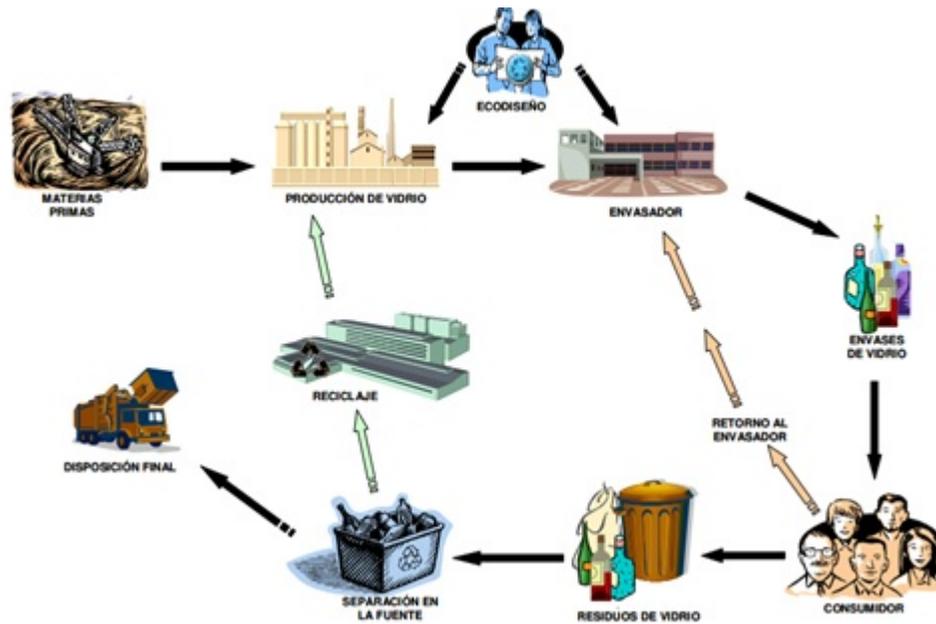
El vidrio es un material que puede ser reciclado al 100% sin que exista pérdida en sus propiedades durante el proceso y sin límites en la cantidad de veces que pueda ser procesado, para su uso como materia prima secundaria en la producción de nuevo vidrio o componentes de otros productos.

#### **Disposición final controlada**

Cuando el vidrio no es susceptible de aprovechar para la reutilización o reciclaje, se procede a su disposición final controlada, es decir destinarlo a un relleno sanitario operado técnicamente y que cumpla con la normativa ambiental vigente del país.

La vida útil del vidrio, así como un cuidado responsable de los recursos naturales, depende fundamentalmente de una correcta gestión del vidrio en sus diferentes etapas.

Gráfica N° 01: Ciclo de vida ideal del vidrio



Fuente: EPAM, 2008

### 2.2.8. Fabricación de adoquines con vidrio como agregado (Daniel Estalin Hidalgo Laguna, 2013)

Los adoquines a obtener emplean vidrio como nuevo agregado. Este se procesa y homogeneiza para así obtener granulometrías diferentes que permitan usarlo como agregado.

El proporcionamiento del vidrio se lo realiza sobre una dosificación, la misma que debió corregirse a fin de producir adoquines con una resistencia a la compresión que cumpla con los requisitos establecidos por la norma nacional.

#### **El vidrio como componente de la mezcla**

El vidrio usado reemplaza en forma parcial a los agregados tradicionales. Este proviene en su mayoría de vidrierías y botellas desechadas en viviendas. Los materiales ajenos al vidrio se retiran de forma manual, a fin de evitar contaminantes que incidan en las etapas de fabricación o en las propiedades mecánicas finales. El vidrio desechado se encuentra en diversos tamaños, por lo general superando los 50 mm, razón por la cual el vidrio debe ser triturado y/o molido. Se busca alcanzar una granulometría que cumpla los requisitos para ser empleada como agregado en el adoquín.

### 2.2.9. Agua de diseño (NTP 339.088)

El agua de diseño debe cumplir con los siguientes requisitos:

- El contenido máximo de materia orgánica expresada en oxígeno consumido será de 3 ppm.
- El contenido de residuo sólido no será mayor de 5000 ppm.
- El PH estará comprendido entre 5.5 y 8
- El contenido de sulfatos expresado en ion SO<sub>4</sub> será menor de 600 ppm.
- El contenido de cloruros expresado en ion Cl será menor de 1000 ppm.
- El contenido de carbonatos y bicarbonatos alcalinos (alcalinidad total) será mayor de 1000 ppm.

### 2.2.10. Requisitos Básicos

#### 2.2.10.1. Requisitos dados por fabricante:

Tabla N°10: Adoquín 8 – Tipo II

ENSAYO	REQUISITO	NORMA DE REFERENCIA	NORMA DE ENSAYO
DIMENSIONES	Largo: 20cm Ancho: 10 cm Alto : 8 cm	NTP 399.611	NTP 399. 604
ABSORCION, Máx., % (Promedio 3 unidades) Unidad individual	≤ 6 % del peso seco ≤ 7 % del peso seco	NTP 399.611	NTP 399. 604
RESISTENCIA A LA COMPRESION, Min., MPa Respecto al área bruta promedio	37 MPa (380 kg/cm <sup>2</sup> ) 33 MPa ( 340 kg/cm <sup>2</sup> )	NTP 399.611	NTP 399. 604
Usos		Color y textura	
Adoquines de concreto, para pavimento vehicular y peatonal		Conforme a muestra aprobada	

Fuente: Cementos Pacasmayo, 2007

### 2.2.10.2. Requisitos dados por norma NTP 399.611

Tabla 11: Espesor nominal y resistencia a la compresión

Tipo	Espesor nominal (mm)	Resistencia a la compresión, min. MPa(kg/cm <sup>2</sup> )	
		Promedio de 3 unidades	Unidad Individual
I (peatonal) Tipo B,C y D	40	31(320)	31(320)
	60	31(320)	31(320)
II (Vehicular ligero)	60	41 (420)	37 (380)
	80	37(380)	33 (340)
	100	35 (360)	32 (325)
III (Vehicular pesado, patios industriales o de contenedores)	≥ 80	55 (561)	50 (510)

Fuente: NTP 399.611, 2010

Tabla 12: Absorción

Tipo de adoquín	Absorción, máx.	
	Promedio de 3 unidades	Unidad Individual
I y II	6	7.5
III	5	7

Fuente: NTP 399.611, 2010

### 2.3. Definición de términos básicos

- **Absorción:** Etimológicamente la palabra absorción deriva del vocablo latino “absorption” cuyo significado es devorar o tragar. Es una capacidad de las sustancias u organismos de incorporar otras u otros a su interior. (Conceptos Básicos, 2014)
- **Adoquín:** Son elementos prefabricados macizos, elaborados con una mezcla de arena, piedra, agua y cemento a través de un proceso industrial de vibro-compresión en moldes. Las formas y colores de estos productos pueden ser muy diferentes; se utilizan como capa de rodadura en todo tipo de pavimentos (desde patios y veredas hasta pistas de aterrizaje en aeropuertos). (Pacasmayo, 2014)
- **Color:** Sensación producida por los rayos luminosos que impresionan los órganos visuales y que depende de la longitud de onda. (RAE, Diccionario de la Lengua Española, 1780)

- **Concreto:** Mezcla de un material aglutinante (Cemento Portland Hidráulico), con un material de relleno (agregados), agua, y eventualmente aditivos, que al endurecerse forma un todo compacto (piedra artificial) y después de cierto tiempo es capaz de soportar grandes esfuerzos de compresión. (Guzmán, 2001)
- **Comparación:** Figura retórica que consiste en identificar dos entidades por compartir una o varias características (Marco Baroni, 2014)
- **Compresión:** Esfuerzo máximo que presenta un material a la compresión sin romperse. (Parro, 2014)
- **Curado:** es el proceso por el cual el concreto elaborado con cemento hidráulico madura y endurece con el tiempo, como resultado de la hidratación continua del cemento en presencia de suficiente cantidad de agua y de calor (Sika, 2009)
- **Dimensión:** Es un número relacionado con las propiedades métricas o topológicas de un objeto matemático. La dimensión de un objeto es una medida topológica del tamaño de sus propiedades de recubrimiento. (World, 2014)
- **Dosificación:** Especificación de las cantidades de cada uno de los elementos necesarios para producir un hormigón o mortero. (Conceptos Básicos, 2014)
- **Durabilidad:** La durabilidad es la capacidad de materiales y componentes de conservar las características y funcionalidad para la que fue seleccionado durante su vida útil prevista. (Virginia, 2014)
- **Fraguado:** Proceso de solidificación y pérdida de la plasticidad inicial que tiene lugar en el hormigón, mortero, cemento, etc., por la desecación y cristalización. (Marco Baroni, 2014)
- **Granulometría:** Parte de la petrografía que trata de la medida del tamaño de las partículas, granos y rocas de los suelos. (RAE, Diccionario de la Lengua Española, 1780)
- **Peso:** Es la fuerza de la gravedad sobre el objeto y se puede definir como el producto de la masa por la aceleración de la gravedad. (Hyperphysics, 2014)
- **Relación a/c:** es el valor característico más importante de la tecnología del concreto. De ella dependen la resistencia y la durabilidad, así como el coeficiente de fluencia. También determina la estructura interna de la pasta de cemento endurecida. (Instituto del Cemento Portland Argentino, 2014)
- **Resistencia:** La capacidad de un sólido para soportar presiones y fuerzas aplicadas sin quebrarse, deformarse o sufrir deterioros. (Marco Baroni, 2014)
- **Textura:** Es el elemento visual que sirve frecuentemente de "doble" de las cualidades de otro sentido, el tacto. Pero en realidad la textura podemos

apreciarla y reconocerla ya sea mediante el tacto ya mediante la vista, o mediante ambos sentidos. (Arquitectura, 2014)

- **Vidrio:** Solido duro, frágil y transparente o translucido, sin estructura cristalina, obtenido por la fusión de arena silícea con potasa, que es moldeable a altas temperaturas.

## CAPÍTULO 3. HIPÓTESIS

### 3.1. Formulación de la hipótesis

Los adoquines fabricados con un porcentaje de vidrio reciclado son más resistentes que los adoquines de concreto convencionales.

### 3.2. Operacionalización de variables

VARIABLE INDEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS Y UNIDADES DE MEDICION
Adoquines de concreto	Son elementos macizos, prefabricados con forma de prisma recto tal que al colocarlos sobre una superficie encajen unos con otros de manera que solamente queden juntas entre ellos.	Adoquines de concreto	Dosificación	Formatos – kilogramos y litros
			Moldeo	Molde con dimensiones establecidas
			Fraguado	Horas
			Curado	Días

VARIABLE INDEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS Y UNIDADES DE MEDICION
Adoquines con un porcentaje de vidrio reciclado	Son elementos macizos, prefabricados con forma de prisma recto tal que al colocarlos sobre una superficie encajen unos con otros de manera que solamente queden juntas entre ellos.	Adoquines con un porcentaje de vidrio reciclado	Dosificación	Formatos – kilogramos y litros
			Moldeo	Adecuado llenado de moldes y desmolde
			Fraguado	Horas
			Curado	Días

VARIABLE DEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES	INTRUMENTOS Y UNIDADES DE MEDICION
Resistencia	Capacidad de los sólidos para soportar tensiones sin alterarse.	Propiedades estructurales	Resistencia a la compresión	Máquina de ensayo a la compresión y formatos – kg/cm <sup>2</sup>
			Absorción	Balanza, horno, deposito con agua - %
		Aspectos visuales	Dimensiones	Regla graduada - cm
			Peso	Balanza - kg
			Textura	Observación
			Color	Observación

## CAPÍTULO 4. PRODUCTO DE APLICACIÓN PROFESIONAL

En la tesis se desarrolló hojas de cálculo en los ensayos de: análisis granulométrico, contenido de humedad, peso unitario, peso específico y absorción de agregados y vidrio.

En el primer análisis, en las hojas de cálculo granulométrico, nos permitieron calcular el porcentaje de peso retenido y el porcentaje retenido acumulado de agregados finos y gruesos de la cantera del río Mashcon, además como aporte se ha realizado análisis granulométrico a vidrio molido. También en estas hojas se puede graficar lo referente a la curva granulométrica, así como los husos granulométricos para cada agregado y el módulo de fineza.

Se ha desarrollado una hoja de cálculo complementaria al análisis granulométrico donde nos permite comparar las gráficas de las curvas en el análisis en ambos agregados (fino y grueso).

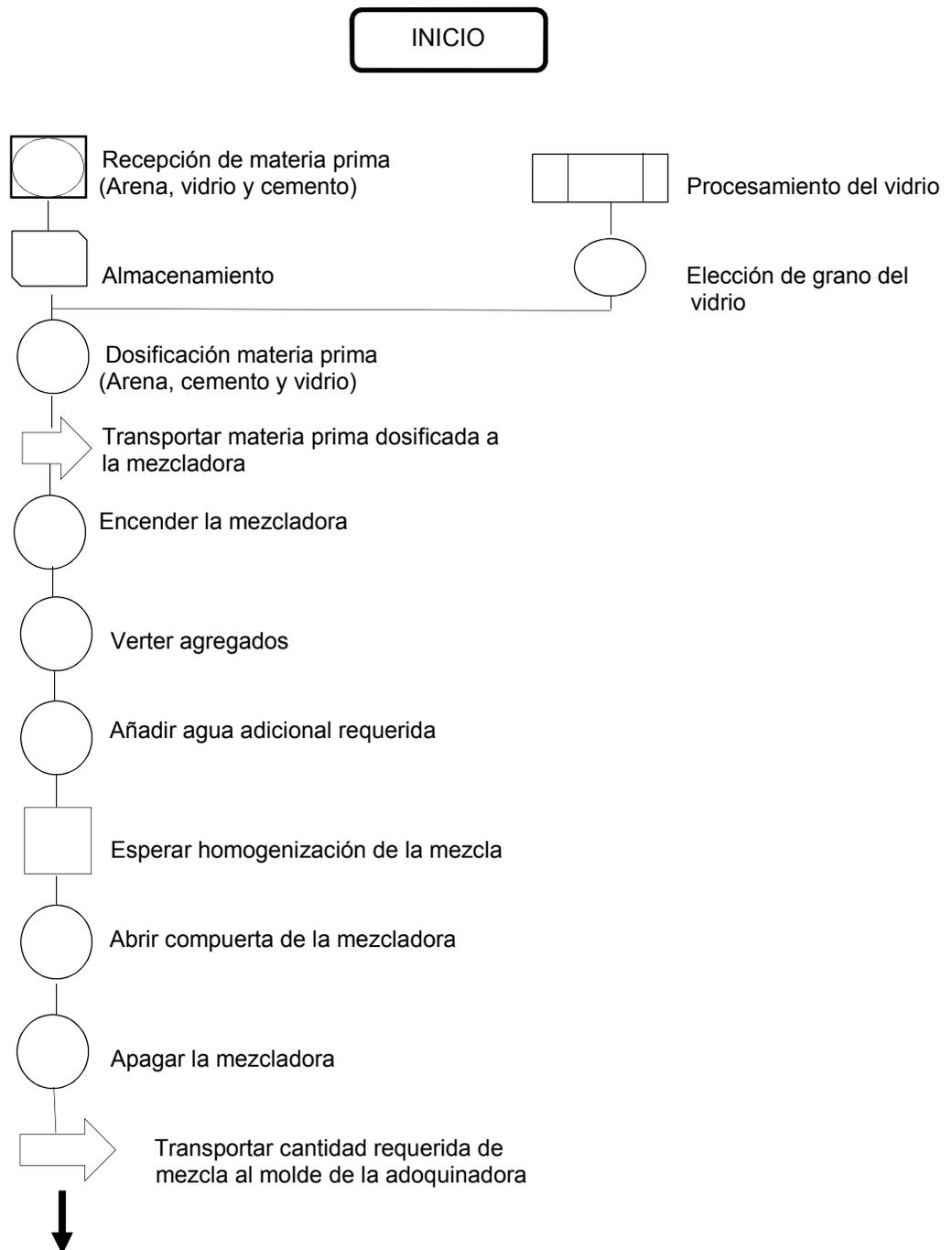
En el ensayo del contenido de humedad, las hojas de cálculo nos permiten calcular el peso seco del suelo, el peso de agua, el contenido de humedad de las muestras y el contenido de humedad promedio de agregados gruesos y finos.

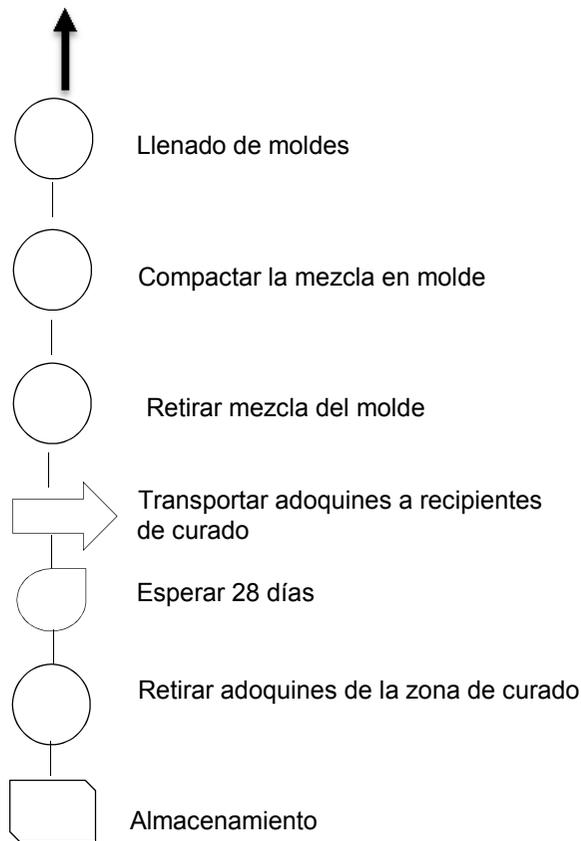
En el ensayo de peso unitario, las hojas de cálculo nos permiten calcular el peso unitario suelto promedio y peso unitario envarillado promedio en las muestras aplicadas.

En el ensayo de peso específico, las hojas de cálculo nos permiten determinar el peso específico del agregado grueso y fino.

En el ensayo de absorción, las hojas de cálculo nos permiten hallar el porcentaje de absorción de los agregados.

También se ha realizado hojas de cálculo para procesar datos en los ensayos de los adoquines, estas nos permiten procesar datos de los ensayos de absorción y resistencia a la compresión de cada muestra, a la cual se somete el ensayo; así como una hoja en la cual se resuman los cálculos y se hallen las resistencias a la compresión promedio y el porcentaje de absorción promedio también. Así como también se realizó un flujograma resumen del proceso de fabricación de adoquines con porcentajes de vidrio:





## CAPÍTULO 5. MATERIALES Y MÉTODOS

### 5.1. Tipo de diseño de investigación.

Es una investigación experimental porque nos permite manipular directamente las variables independientes y medir la variable dependiente comparando la resistencia de adoquines de concreto convencionales y adoquines elaborados con vidrio reciclado en Cajamarca en el año 2014.

### 5.2. Material de estudio.

#### 5.2.1. Unidad de estudio.

Adoquín de concreto convencional y adoquín elaborado con un porcentaje de vidrio reciclado.

#### 5.2.2. Población.

Adoquines de concreto convencionales y adoquines elaborados con un porcentaje de vidrio reciclado.

### 5.2.3. Muestra.

La muestra que se tomó en estudio estuvo en función a las normas de ensayo de adoquines. Se utilizó 18 adoquines de concreto y 30 adoquines elaborados con un porcentaje de vidrio reciclado.

## 5.3. Técnicas, procedimientos e instrumentos.

### 5.3.1. Para recolectar datos.

Se fue a la cantera Mashcon y se recolectó muestras de los agregados a utilizar en la investigación en los siguientes ensayos:

#### I. Ensayos de agregados y vidrio

##### 1. Análisis granulométrico

###### a. Materiales y equipos (NTP 400.012, 2001)

- Agregado fino: arena gruesa de la cantera.
- Agregado grueso: piedra mediana de la cantera
- Vidrio molido
- Juego de Tamices de: 1 ½", 1", ¾", ½", ⅜", N° 4, N° 8, N° 16, N° 30, N° 50, N° 100 Y N° 200.
- Balanza con precisión de tres decimales.
- Horno a 110 °C ± 5° C
- Palas.
- Tara.

###### b. Procedimiento: (NTP 400.012, 2001)

###### a) Agregado grueso:

- Se tomó una muestra de piedra mediana de la cantera.
- Luego se logró obtener dos especímenes de dicha muestra con aproximadamente de unos 2.500 kg.
- Se pesó el espécimen.
- Se armó los tamices según la norma NTP 400.012, para luego introducir nuestro espécimen en el ensayo.
- Se agitó los tamices, para que solo quede el material que en verdad es el retenido.
- Una vez concluido el tamizado se procedió a pesar cada material retenido en cada tamiz (1 ½", 1", ¾", ½", ⅜" y N° 4) y el de la cazoleta.

**b) Agregado fino:**

- Se tomó una muestra de arena gruesa de la cantera.
- Luego se obtuvo un espécimen de dicha muestra con aproximadamente 0.500 kg.
- Se pesó el espécimen.
- Se armó los tamices según la norma NTP 400.012, para luego introducir nuestro espécimen en el ensayo.
- Se agitó los tamices, para que solo quede el material que en verdad es el retenido.
- Una vez concluido el tamizado se procedió a pesar cada material retenido en cada tamiz (N° 4, N° 8, N° 16, N° 30, N° 50, N° 100 Y N° 200).

**c) Vidrio:**

- Se tomó una muestra de vidrio de la cantera.
- Luego se obtuvo un espécimen de dicha muestra con aproximadamente unos 2.500 kg.
- Se pesó el espécimen.
- Se armó los tamices según la norma NTP 400.012, luego se introdujo nuestro espécimen en el ensayo.
- Se agitó los tamices, para que solo quede el material que en verdad es el retenido.
- Una vez concluido el tamizado se procedió a pesar cada material retenido en cada tamiz (1 ½", 1", 3/4", 1/2", 3/8" y N° 4) y el de la cazoleta.

## 2. CONTENIDO DE HUMEDAD<sup>2</sup>

**a. Generalidades:** (NTP 339.185, 2013)

El contenido de humedad en suelo, se definió como la cantidad de agua de un suelo, se representa por la siguiente expresión:

$$W\% = \frac{\text{Peso del agua}}{\text{Peso seco}} \cdot 100 = \frac{W_h - W_s}{W_s} \cdot 100$$

**b. Materiales y equipos:** (NTP 339.185, 2013)

- Agregado con humedad natural de cantera.
- Taras
- Horno

---

<sup>2</sup> W%: contenido de humedad, Wh: peso húmedo, Ws: peso seco

- Balanza

**c. Procedimiento:** (NTP 339.185, 2013)

- Se calculó aproximadamente la cantidad de muestra con la cual se va a trabajar.
- Se pesó correctamente las taras para realizar la práctica.
- Se colocó en las taras el suelo húmedo y pesar (tara + suelo húmedo)
- Se llevó al horno por un tiempo de 24 horas y a una temperatura de 110°C para la eliminación del agua.
- Cumplidas las 24 horas se dejó enfriar las muestras hasta la temperatura de ambiente y pesarlas (tara + suelo seco).
- Luego se calculó el % de contenido de humedad.

### 3. PESO UNITARIO

#### 1. Materiales(NTP 400.017, 1999)

- Cilindro de metal: es un cilindro de metal, el cual debe ser lo suficientemente rígido como para no deformarse en condiciones de uso o trabajo fuerte. La altura será del mismo tamaño del diámetro del cilindro, el cual nunca debe ser menos del 80% de la altura o más del 150%. El borde superior del cilindro deberá ser de un espesor de 0,01 pulgadas.
- Barra redonda: es una barra de acero recta de 5/8 de pulgada, 60 cm de longitud y terminada en una punta semiesférica, la cual es usada para el apisonamiento del material.
- Pala de mano: debe poseer las dimensiones adecuadas para el llenado de los cilindros.
- Balanza: la escala de lectura dependerá del tipo que se use de acuerdo con el tipo de agregado, pues para el agregado fino se necesita una con una incertidumbre de  $\pm 0,1g$  ó 0,1%; y para el agregado grueso debe ser de  $\pm 0,5g$  ó 0,5%.

#### 2. Procedimiento (NTP 400.017, 1999)

**Procedimiento para el agregado en estado suelto (tanto para la piedra como para la arena):**

- ✓ Se tomó la muestra que se encontraba en una bandeja y se llevó al lugar de trabajo.
- ✓ Se pesó el recipiente en el cual se iba a depositar el agregado.
- ✓ Se colocó el recipiente dentro de otra bandeja y con una cuchara pulpera se dejó caer el agregado en el recipiente a una altura de unos 50 mm aproximadamente.
- ✓ En el momento que el recipiente se encontró lleno y con material que sobrepasó su superficie, se procedió a pasar el enrasado para nivelar la superficie.

- ✓ Luego se pesó el recipiente que contenía el agregado y se anotó su valor.
- ✓ Se repitió todo el proceso una vez más, hasta comprobar que el porcentaje de error no superó el 1% respecto del promedio.

**Procedimiento para el agregado en estado envarillado (agregado grueso):**

- ✓ Se tomó la muestra que se encontraba en una bandeja y la lleve al lugar de trabajo.
- ✓ Se pesó el recipiente en el cual se iba a depositar el agregado.
- ✓ Se llenó un tercio de la capacidad del recipiente de forma aproximada.
- ✓ Se compactó el material con 25 golpes que se distribuyó de manera uniforme en la superficie de agregado expuesta.
- ✓ Se llenó un tercio más (sumando con esto dos tercios) de la capacidad del recipiente de forma aproximada.
- ✓ Se compactó el material con 25 golpes que se distribuyó de manera uniforme en la superficie de agregado expuesta.
- ✓ Luego se terminó de llenar el recipiente con el agregado, de tal forma que parte del material sobrepasó la superficie del recipiente.
- ✓ Otra vez, se compactó el material con 25 golpes que se distribuyó de manera uniforme en la superficie de agregado expuesta.
- ✓ Se niveló la superficie con los dedos y con la ayuda de un enrasador.
- ✓ Luego se pesó el recipiente que contenía el agregado y se anotó su valor.
- ✓ Se repitió todo el proceso una vez más, hasta que se comprobó que el porcentaje de error no superó el 1% respecto del promedio.

#### 4. PESO ESPECÍFICO

##### 1. Agregado grueso

❖ **Material y equipo** (NTP 400.021, 2002)

- ✓ Muestra de agregado
- ✓ Agua
- ✓ Balanza

❖ **Procedimiento** (NTP 400.021, 2002)

- ✓ Se pesó la tara.
- ✓ Luego se pesó la muestra con la tara.
- ✓ Luego se colocó la muestra en un balde de metal y se colocó en un gancho para después sumergirla totalmente.
- ✓ Finalmente se anotó el peso sumergido de la muestra.

## 2. Agregado fino

- ❖ **Material y equipo** (NTP 400.022, 2002)
  - ✓ Muestra seca
  - ✓ Agua
  - ✓ Balanza con aproximación de 0.01 gr.
  - ✓ Fiola de 500 ml
  
- ❖ **Procedimiento** (NTP 400.022, 2002)
  - ✓ Se pesó la muestra seca
  - ✓ Se llenó la fiola con agua
  - ✓ Se colocó la muestra seca ya pesada en la fiola vacía y vertí agua hasta cubrir la muestra y agitar.
  - ✓ Luego se agregó agua hasta la marca de 500 ml y pesar
  - ✓ Finalmente se determinó el peso específico:

## 5. ABSORCION

### A. Agregado grueso

- ❖ **Materiales y equipos** (NTP 400.021, 2002)
  - ✓ Tamiz N° 4
  - ✓ Muestra de agregado grueso
  - ✓ Bandeja
  - ✓ Tara
  - ✓ Horno
  - ✓ Balanza
  
- ❖ **Procedimiento** (NTP 400.021, 2002)
  - ✓ Se cogió una muestra de agregado grueso la cual se procedió a realizar el cuarteo, se realizó tres veces este procedimiento.
  - ✓ Esa muestra seleccionada se zarandeó con la malla N°04 y lo retenido corresponde al agregado grueso adecuado y que se utilizó para el ensayo.
  - ✓ Ahora se tomó una muestra, el cual se procedió a lavarla hasta que el agua alcance una transparencia y luego se dejó sumergida en agua durante 24 horas.
  - ✓ Una vez lavada la muestra del agregado grueso, se dejó la muestra en una bandeja hasta al siguiente día en el laboratorio. Entonces al día siguiente saturado la muestra, se cogió el recipiente del agregado. Solo se tomó un parte de la muestra y la otra se eliminó. Debido a las partículas grandes del agregado sólo se secó con una franela o trapo. Así se obtuvo la muestra parcialmente seca.
  - ✓ Se colocó la muestra en una tara, la cual se llevó al horno a una temperatura de 110°C durante 24 horas.

- ✓ Después de haber pasado las 24 horas, se secó la muestra y se pesó.
- ✓ Se tomó los respectivos datos y se calculó los resultados para el porcentaje de absorción.

## **B. Agregado fino**

### ❖ **Materiales y equipos**(NTP 400.022, 2002)

- ✓ Tamiz N° 200
- ✓ Muestra de agregado fino
- ✓ Bandeja
- ✓ Tara
- ✓ Horno
- ✓ Balanza

### ❖ **Procedimiento**(NTP 400.022, 2002)

- ✓ Se cogió una muestra de agregado grueso la cual procedió a realizar el cuarteo, se realizó tres veces este procedimiento.
- ✓ Esa muestra seleccionada se zarandeó con la malla N°200 y lo retenido corresponde al agregado grueso adecuado y que se utilizó para el ensayo.
- ✓ Ahora se tomó una muestra, la cual se procedió a lavarla hasta que el agua alcance una transparencia y luego se dejó sumergida en agua durante 24 horas.
- ✓ Una vez lavada la muestra del agregado fino, se dejó la muestra en una bandeja hasta al siguiente día en el laboratorio. Entonces al día siguiente saturado la muestra, se cogió el recipiente del agregado y se dejó secar al sol.
- ✓ Luego se tomó sólo un parte de la muestra y la otra se eliminó.
- ✓ Se colocó la muestra en una tara, la cual se llevó al horno a una temperatura de 110 ° C durante 24 horas.
- ✓ Después de haber pasado las 24 horas, se tomó la muestra y se pesó.
- ✓ Se tomó los respectivos datos y se calculó los resultados para el porcentaje de absorción.

## II. Elaboración de adoquines

### 1. Procedimiento

- ✓ Se realizó la recepción de la materia prima de los adoquines: cemento, agregado grueso (piedra mediana), agregado fino (arena gruesa) y agua.
- ✓ Se realizó la molienda del vidrio de manera manual, luego se seleccionó el grano de vidrio a utilizar en la mezcla.
- ✓ Se dosificó cada materia prima para cada una de las mezclas sin vidrio y con 5%, 10 %, 15%, 25% y 50 % de vidrio reciclado.
- ✓ Se transportó las materias primas dosificada a la mezcladora y se encendió la mezcladora,
- ✓ Se vertió las materias primas y se añadió el agua necesaria para cada mezcla, espero hasta la homogenización de la mezcla.
- ✓ Se transportó la cantidad requerida de mezcla al molde y se llenó los moldes.
- ✓ Se vibrocompactó la mezcla en el molde y se retiró el molde de la máquina.
- ✓ Se desmoldó los adoquines en un lugar limpio y adecuado donde se realizó el proceso de fraguado.
- ✓ Cumplido el proceso de fraguado, se transportó los adoquines al recipiente de curado.
- ✓ Se repitió los procesos anteriormente hasta realizar el total de muestras necesarias (sin vidrio y con 5%, 10 %, 15%, 25% y 50 % de vidrio reciclado).
- ✓ Se esperó 28 días cumpliendo el proceso de curado.
- ✓ Se retiró adoquines de la poza de curado.
- ✓ Se transportó los adoquines a un lugar adecuado hasta que se realizó los ensayos respectivos.

### 2. Materiales

#### **Cemento:**

El cemento para la producción de adoquines cumplió con la norma NTP 334.009 “Cemento. Cemento Portland. Requisitos”, se utilizó cemento gris.

El cemento empacado en sacos se almacenó en un lugar seco, preferiblemente cerrado o cubierto con telas impermeables o plásticos que impidieron que humedezca.

### Agregados:

#### Requisitos generales:

Los agregados cumplieron con los requisitos establecidos en la norma NTP 400.010 “AGREGADOS. Extracción y preparación de las muestras” y NTP 400.012 “AGREGADOS. Análisis Granulométrico del agregado grueso, fino y global”.

Para la fabricación de adoquines se utilizó un agregado grueso con un tamaño máximo de 9,51 mm (3/8”) y que en ningún momento sobrepasó los 12,7 mm (1/2”).

#### Granulometría de los agregados

Los agregados cumplieron con la granulometría completa siguiente:

Tabla N°13: Límites de granulometría agregado grueso

LIMITE INFERIOR ASTM.		LIMITE SUPERIOR ASTM.	
Cazuela	-----	Cazuela	-----
1 1/2”	95	1 1/2”	100
3/4”	35	3/4”	70
3/8”	10	3/8”	30
N° 4	0	N° 4	5

Fuente: NTP 400.012, 2014

Tabla N°14: Límites de granulometría agregado fino

LIMITE INFERIOR ASTM.		LIMITE SUPERIOR ASTM.	
cazuela	-----	cazuela	-----
N° 200	0	N° 200	0
N° 100	2	N° 100	10
N° 50	10	N° 50	30
N°30	25	N°30	60
N°16	50	N°16	85
N°8	80	N°8	100
N°4	95	N°4	100

Fuente: NTP 400.012, 2014

#### Agua de diseño: (NTP 339.088)

El agua de diseño cumplió con los requisitos establecidos en la norma NTP 339.088.

Se utilizó el agua potable tanto como agua de mezclado y de curado.

Se utilizó en la mezcla una **relación agua/ cemento** cercana a **0.423**.

### 3. Proporciones

#### DOSIFICACION UNITARIA CON METODO ACI

Tabla N°15: Dosificación unitaria con TMN ¾”

Porcentaje de vidrio	0%
Cemento (kg)	0.776
Agregado Grueso (kg)	1.514
Agregado Fino (kg)	0.773
Agua de diseño (lt)	0.328
Vidrio Molido Grueso (kg)	0.000

Fuente: elaboración propia

Tabla N°16: Dosificación unitaria con TMN 3/8”

Porcentaje de vidrio	0% (A)	0% (B)	5%	10%	15%	25%	50%
Cemento (kg)	0.818	0.818	0.818	0.818	0.818	0.818	0.818
Agregado Grueso (kg)	1.360	0.888	1.292	1.224	1.156	1.020	0.680
Agregado Fino (kg)	0.888	1.360	0.888	0.888	0.888	0.888	0.888
Agua de diseño (lt)	0.338	0.338	0.233	0.283	0.308	0.333	0.375
Vidrio Molido Grueso (kg)	0.000	0.000	0.068	0.136	0.204	0.340	0.680

Fuente: elaboración propia

**Nota:** La diferencia entre la muestra tipo “A” y tipo “B” reside en la dosificación de cada adoquín; la muestra “A” tiene como dosificación de agregado grueso una cantidad establecida, así como en el caso de la dosificación del agregado fino. En cambio en la muestra “B” se tendrá como dosificación del agregado grueso la cantidad establecida para el agregado fino de la muestra tipo “A” y para el caso del agregado fino se tomara la cantidad establecida para el agregado grueso de la muestra “A”. Véase tabla anterior (Tabla 16) para su diferenciación.

#### DOSIFICACION POR 6 UNIDADES DE ADOQUIN CON METODO ACI

Tabla N°17: Dosificación para 6 unidades con TMN 3/4”

Porcentaje de vidrio	0%
Cemento (kg)	4.656
Agregado Grueso (kg)	9.084
Agregado Fino (kg)	4.638
Agua de diseño (lt)	1.968
Vidrio Molido Grueso (kg)	0.000

Fuente: elaboración propia

Tabla N°18: Dosificación para 6 unidades con TMN 3/8”

Porcentaje de vidrio	0% (A)	0% (B)	5%	10%	15%	25%	50%
Cemento (kg)	4.906	4.906	4.906	4.906	4.906	4.906	4.906
Agregado Grueso (kg)	8.160	5.328	7.752	7.344	6.936	6.120	4.080
Agregado Fino (kg)	5.328	8.160	5.328	5.328	5.328	5.328	5.328
Agua de diseño (lt)	2.026	2.026	1.398	1.698	1.848	1.998	2.250
Vidrio Molido Grueso (kg)	0.000	0.000	0.408	0.816	1.224	2.040	4.080

Fuente: elaboración propia

### III. Ensayos

#### A. Ensayos realizados en ambos tipos de adoquines

##### Ensayo de resistencia a la compresión:

- **Materiales / Equipos** (NTP 399. 604)
  - ✓ Máquina para ensayo a compresión axial, marca Forney, serie: 10165, capacidad: 250000 lbs., debiendo estar provista para la aplicación de la carga de un rodillo de metal endurecido de asiento esférico y solidario con el cabezal superior de la máquina.
  - ✓ Tres unidades de adoquines de concreto artesanales
  - ✓ Tres unidades de adoquines de concreto artesanales fabricados con porcentajes de vidrio reciclado.
- **Preparación de las muestras** (NTP 399. 604)
  - a. Se cubrió ambas caras opuestas del adoquín con solución alcohólica de goma laca, las dejó secar perfectamente.
  - b. Se aplicó un refrenado con yeso, no excediendo de 3.2 mm como espesor medio extendiéndola hasta obtener una superficie plana y uniforme.
  - c. Se repitió el procedimiento en la otra cara del adoquín. Luego se comprobó de que ambas caras sean aproximadamente paralelas y se esperó 2 horas, antes de efectuarse el ensayo.
- **Procedimiento** (NTP 399. 604)
  1. Se ensayó los especímenes con el centroide de sus superficies de apoyo alineada verticalmente con el centro de empuje de la rótula de la máquina de ensayo, la carga se aplicó en la dirección de su menor dimensión.
  2. Se unió la carga hasta la mitad de la máxima prevista a cualquier velocidad proveniente, después se ajustó los controles de la máquina para dar un recorrido uniforme del cabezal móvil.
- **Cálculos** (NTP 399. 604)
  - a. La resistencia a la compresión se calculó por la ecuación siguiente:

$$\sigma = \frac{P_{\text{máx}}}{A}$$

Siendo:

$\sigma$  = La resistencia a la compresión.

P = La carga de rotura

A = Área bruta de la sección

b. La superficie A se calculó por la ecuación siguiente:

$$A = a \times l$$

Siendo:

a = ancho de la muestra, en centímetros.

l = largo de la muestra, en centímetros.

### Absorción:

- **Materiales** (NTP 399. 604)

- ✓ Tres unidades de adoquines de concreto artesanales
- ✓ Tres unidades de adoquines de concreto artesanales fabricados con porcentajes de vidrio reciclado.
- ✓ Balanza con una precisión de 0,5 g.
- ✓ Recipiente de agua.
- ✓ Horno con libre circulación de aire que permita mantener una temperatura comprendida entre 110°C y 115°C.

- **Procedimiento** (NTP 399. 604)

1. Se sumergió los adoquines en un recipiente lleno de agua, manteniéndolos completamente sumergidos durante 24 h, se aseguró que la temperatura del baño estuvo comprendida entre 15°C y 30°C.
2. Transcurrido el lapso indicado, se sacó del agua y se retiró el agua superficial de los adoquines secando con paño húmedo, se pesó y se obtuvo el peso saturado.
3. Se secó los adoquines en el horno entre 110°C y 115°C por 24 horas y se pesó luego de enfriarlos a temperatura ambiente. Se repitió el tratamiento hasta que dos pesadas sucesivas en intervalos de dos horas muestren un incremento de la pérdida no mayor que 0.2 % del peso último previamente determinado del adoquín y se registró el peso secado al horno del adoquín.

4. Se calculó la absorción A(%) de la siguiente manera:

$$A (\%) = \left( \frac{W_s - W_d}{W_d} \right) * 100$$

9Donde:

Ws=peso saturado del adoquín

Wd=peso seco al horno del adoquín

### 5.3.2. Para analizar información.

Se analizó la información adquirida en los ensayos realizados a los agregados (grueso, fino) y al vidrio, los cuales son: análisis granulométrico, contenido de humedad, peso unitario, peso específico y absorción. Se realizó diferentes hojas de cálculo para el procesamiento de datos en cada uno de ellos.

Para el caso de análisis granulométrico se realizó el procesamiento del tamizado y también se realizó su respectiva curva granulométrica.

Para la determinación de las dosificaciones se utilizó el método ACI, se definió la cantidad de cada elemento (agregado grueso y fino, cemento, agua) y también la cantidad necesaria en función al porcentaje de vidrio.

Se analizó también los ensayos realizados a los adoquines, que fueron el de resistencia a la compresión y absorción, también se realizó hojas de cálculos para el procesamiento de datos de cada uno.

En el ensayo de resistencia a la compresión se determinó la deformación y el esfuerzo producido por la carga ultima. Así mismo se determinó la resistencia la compresión de cada una de las muestras y la resistencia promedio para cada tipo de adoquín.

## CAPITULO 6. RESULTADOS

En este capítulo se presenta los resultados de la caracterización mecánica de adoquines fabricados artesanalmente y adoquines fabricados con vidrio como agregado. Los aspectos visuales que llegamos a distinguir (dimensiones, peso, textura y color), así como la absorción y la resistencia a la compresión.

Adicionalmente se muestra los resultados de los ensayos realizados a las materias primas de las mezclas utilizadas en la fabricación de los adoquines, a los cuales se les realizó los siguientes ensayos: análisis granulométrico, contenido de humedad, peso específico, peso unitario y absorción.

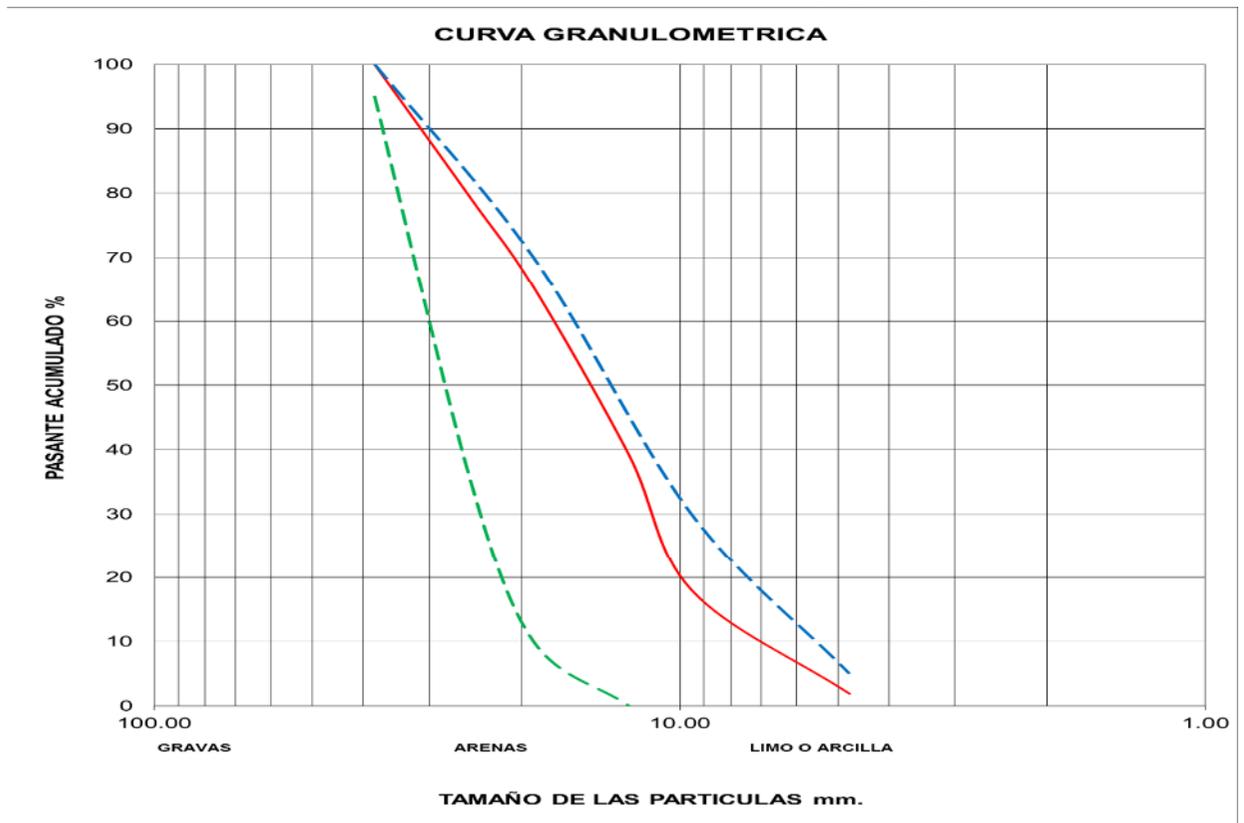
### A. Ensayos de agregado grueso

Tabla N° 19: Análisis granulométrico de agregado grueso

MUESTRA:	2.021 Kg	
N° TAMIZ	ABER. TAMIZ (mm)	% PASANTE ACUMULADO
3"	75.00	-
2 1/2"	63.00	-
2"	50.00	100.000
1 1/2"	38.10	100.000
1"	25.00	79.218
3/4"	19.00	65.364
1/2"	12.50	39.238
3/8"	9.50	18.011
N° 4	4.75	1.880
CAZOLETA	-----	0.000

Fuente: elaboración propia, 2014

Gráfica N° 02: Curva Granulométrica de la muestra agregado grueso



Fuente: elaboración propia, 2014

Tabla 20: Otros ensayos realizados al agregado grueso

<b>Contenido de humedad promedio (%)</b>	1.67
<b>Peso específico (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	2.32
<b>Peso unitario suelto promedio (kg/m<sup>3</sup>)</b>	1391.98
<b>Peso unitario envarillado promedio (kg/m<sup>3</sup>)</b>	1569.00
<b>Absorción promedio (%)</b>	1.25

Fuente: elaboración propia, 2014

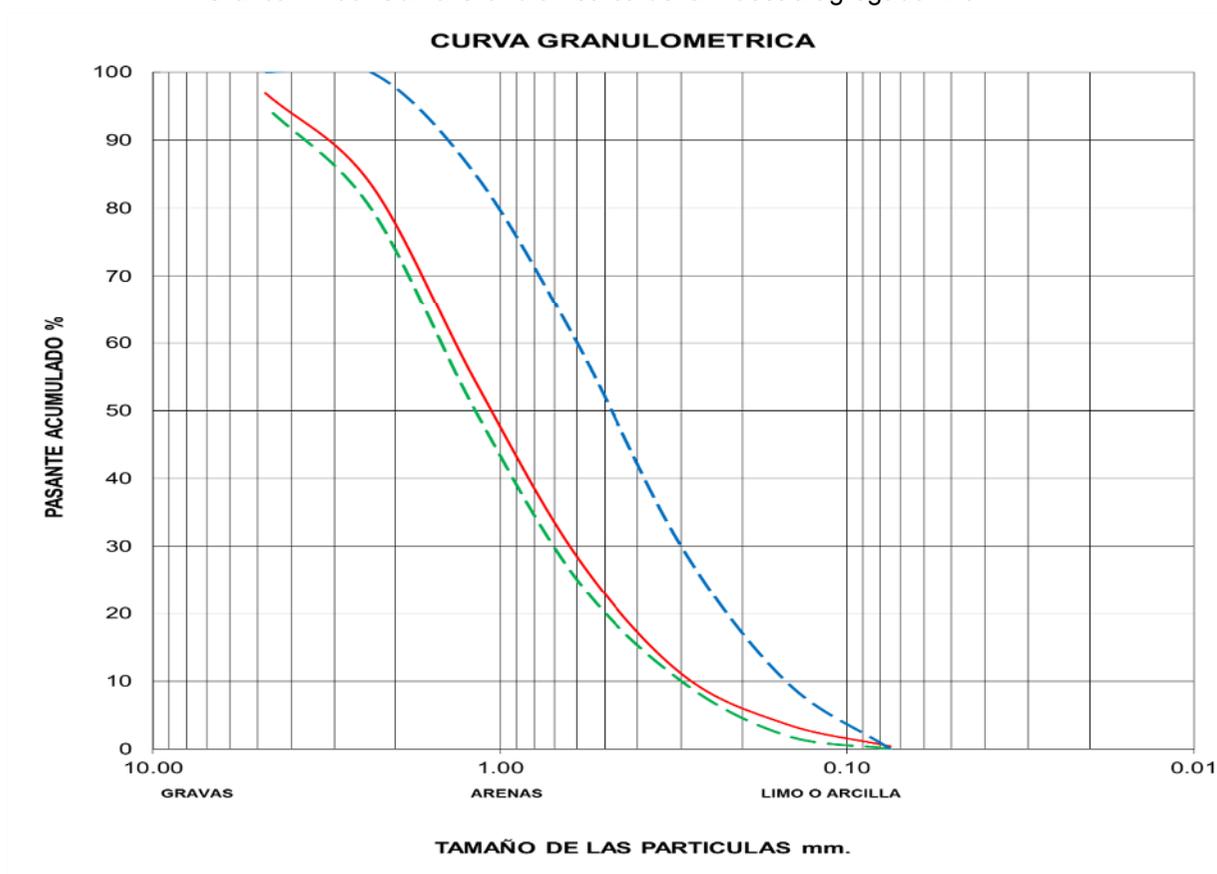
## B. Ensayos de agregado fino

Tabla N° 21: Análisis granulométrico de agregado fino

<b>MUESTRA: 0.450 Kg</b>		
<b>N° TAMIZ</b>	<b>ABER. TAMIZ (mm)</b>	<b>% PASANTE ACUMULADO</b>
N° 4	4.75	96.914
N° 8	2.36	85.539
N° 16	1.18	54.321
N° 30	0.60	28.395
N° 50	0.30	11.111
N° 100	0.15	3.704
N° 200	0.075	0.412
<b>FONDO</b>		0.000

Fuente: elaboración propia, 2014

Gráfica N° 03: Curva Granulométrica de la muestra agregado fino



Fuente: elaboración propia, 2014

Tabla 22: Otros ensayos realizados al agregado fino

<b>Contenido de humedad promedio (%)</b>	2.37
<b>Peso específico (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	2.09
<b>Peso unitario suelto promedio (kg/m<sup>3</sup>)</b>	1719.90
<b>Peso unitario envarillado promedio (kg/m<sup>3</sup>)</b>	1805.03
<b>Absorción promedio (%)</b>	2.46

Fuente: elaboración propia, 2014

### C. Ensayos de vidrio

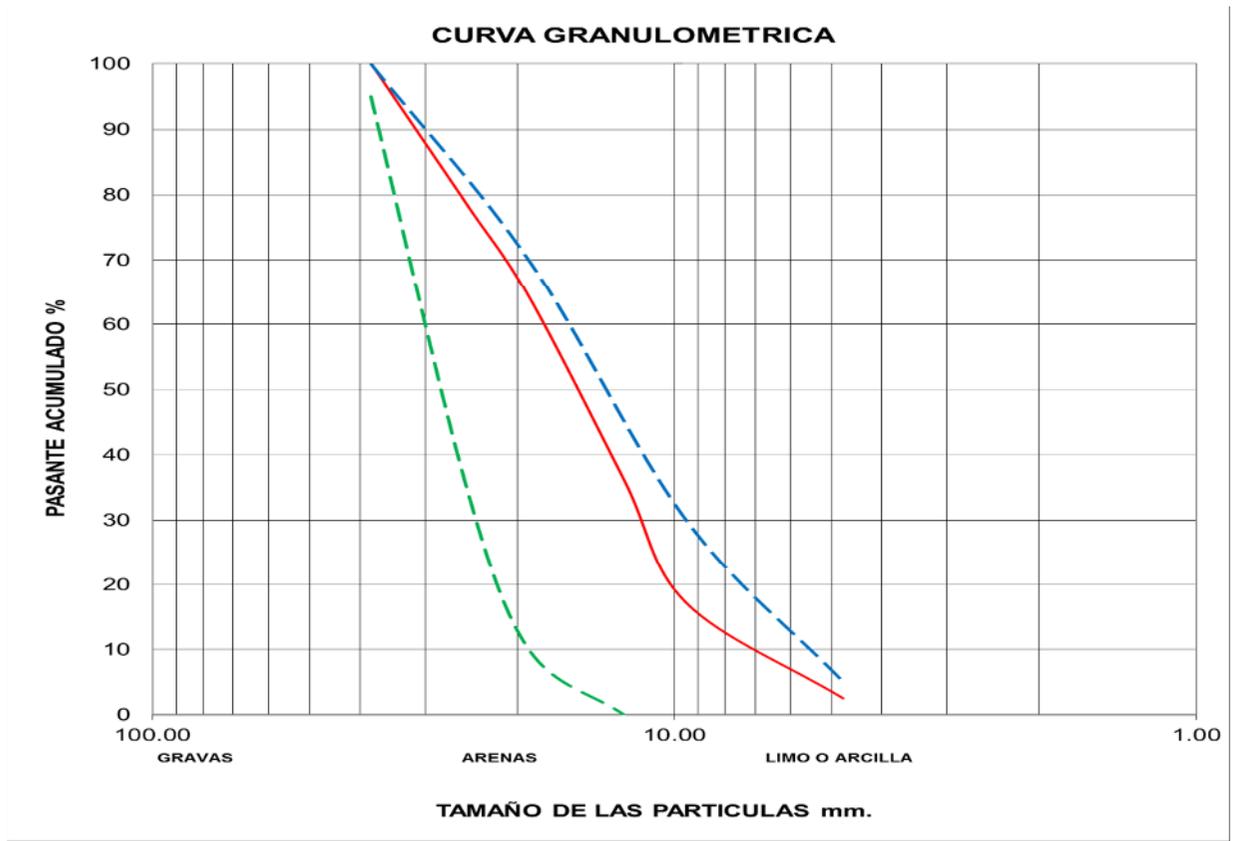
Se realizó el ensayo de análisis granulométrico al vidrio molido, para comparar los resultados obtenidos con los resultados del agregado grueso.

Tabla N° 23: Análisis granulométrico de vidrio molido (muestra 1)

<b>MUESTRA 01: 2.140 Kg</b>		
<b>N° TAMIZ</b>	<b>ABER. TAMIZ (mm)</b>	<b>% PASANTE ACUMULADO</b>
3"	75.00	-
2 1/2"	63.00	-
2"	50.00	-
1 1/2"	38.10	100.000
1"	25.00	78.571
3/4"	19.00	64.286
1/2"	12.50	36.250
3/8"	9.50	17.232
N° 4	4.75	2.500
<b>FONDO</b>		<b>0.000</b>

Fuente: elaboración propia, 2014

Gráfica N° 04: Curva Granulométrica de la muestra 1 de vidrio



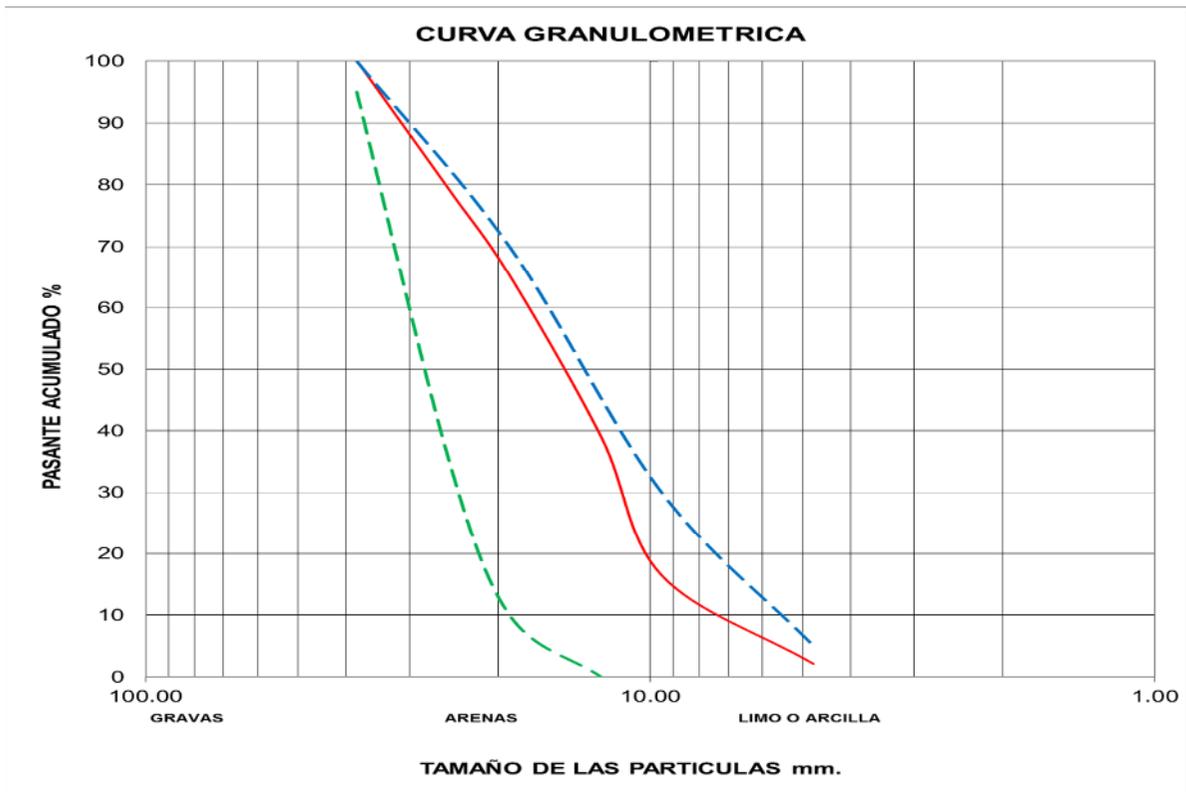
Fuente: elaboración propia, 2014

Tabla N° 24: Análisis granulométrico de vidrio molido (muestra 2)

<b>MUESTRA 02: 2.160 Kg</b>		
<b>N° TAMIZ</b>	<b>ABER. TAMIZ (mm)</b>	<b>% PASANTE ACUMULADO</b>
3"	75.00	-
2 1/2"	63.00	-
2"	50.00	-
1 1/2"	38.10	100.000
1"	25.00	79.167
3/4"	19.00	65.278
1/2"	12.50	38.981
3/8"	9.50	16.481
N° 4	4.75	2.130
<b>FONDO</b>		<b>0.000</b>

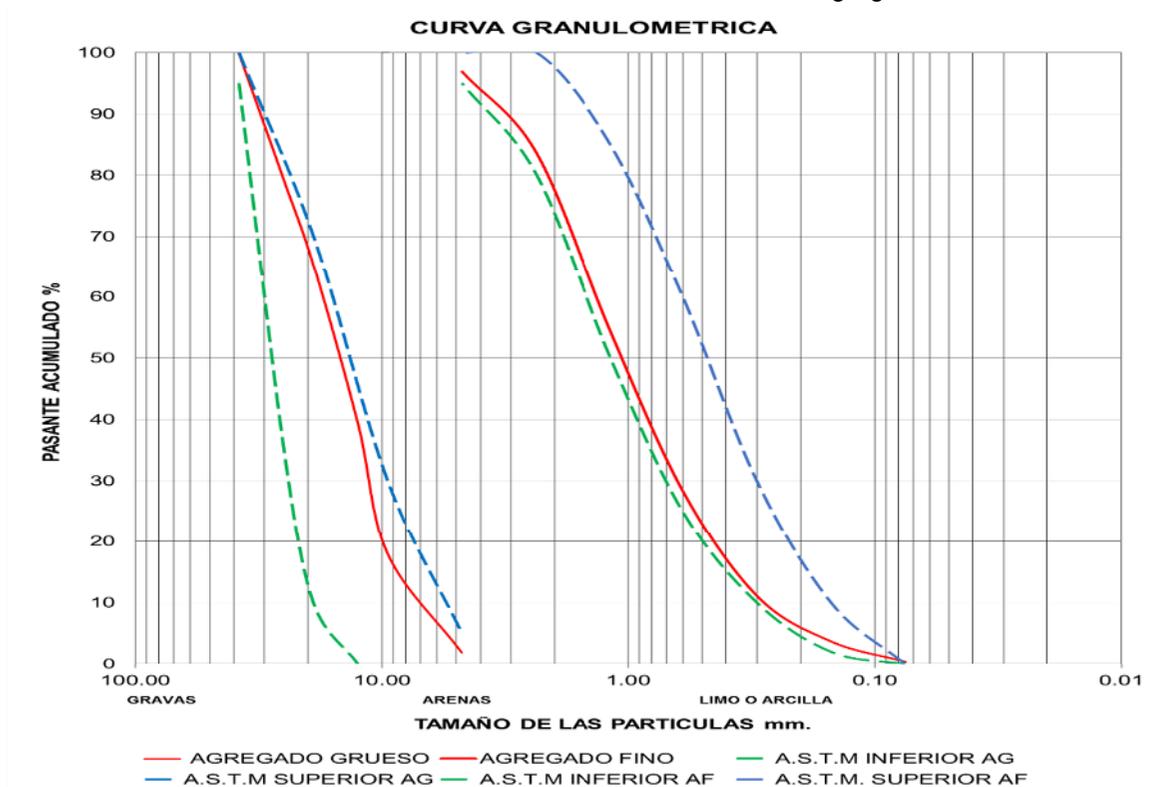
Fuente: elaboración propia, 2014

Gráfica N° 05: Curva Granulométrica de la muestra 2 de vidrio



Fuente: elaboración propia, 2014

Gráfica N° 06: Curvas Granulométricas de ambos agregados



Fuente: elaboración propia, 2014

## D. Ensayos de adoquines

### ✓ Aspectos visuales

Tabla N° 25: Muestras con TMN 3/4" (sin vidrio)

MUESTRA N°	CARACTERISTICAS					
	DIMENSIONES			Peso (Kg)	Textura	Color
	Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)			
01	20.30	10.30	8.20	3.6969	Rugosa	Gris oscuro
02	20.20	10.20	7.80	3.5598	Rugosa	Gris oscuro
03	20.70	10.50	7.50	3.4239	Rugosa	Gris oscuro
04	19.50	10.20	7.70	3.4642	Rugosa	Gris oscuro
05	19.50	9.80	7.50	3.6517	Rugosa	Gris oscuro
06	20.30	10.20	7.80	3.7053	Rugosa	Gris oscuro

Fuente: elaboración propia, 2014

Tabla N° 26: Muestras "A" TMN 3/8" (sin vidrio)

MUESTRA N°	CARACTERISTICAS					
	DIMENSIONES			Peso (Kg)	Textura	Color
	Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)			
01 A	19.70	10.80	7.50	3.4905	Rugosa	Gris oscuro
02 A	19.80	10.20	8.10	3.5799	Rugosa	Gris oscuro
03 A	19.90	10.50	7.30	3.6513	Rugosa	Gris oscuro
04 A	20.25	10.05	7.80	3.4307	Rugosa	Gris oscuro
05 A	19.70	10.10	7.90	3.4942	Rugosa	Gris oscuro
06 A	19.70	10.00	7.80	3.3731	Rugosa	Gris oscuro

Fuente: elaboración propia, 2014

Tabla N° 27: Muestras "B" TMN 3/8" (sin vidrio)

MUESTRA N°	CARACTERISTICAS					
	DIMENSIONES			Peso (Kg)	Textura	Color
	Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)			
01 B	19.70	10.10	7.30	3.4278	Rugosa	Gris oscuro
02 B	19.70	10.30	7.90	3.5485	Rugosa	Gris oscuro
03 B	19.50	9.90	7.50	3.3112	Rugosa	Gris oscuro
04 B	19.70	9.80	8.10	3.6001	Rugosa	Gris oscuro
05 B	19.70	9.80	7.50	3.3506	Rugosa	Gris oscuro
06 B	19.80	10.50	7.80	3.4772	Rugosa	Gris oscuro

Fuente: elaboración propia, 2014

Tabla N° 28: Muestras TMN 3/8" con 5 % de vidrio

MUESTRA N°	CARACTERISTICAS					
	DIMENSIONES			Peso (Kg)	Textura	Color
	Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)			
01	19.70	10.30	7.50	3.4610	Rugosa	Gris oscuro
02	19.50	9.90	7.60	3.5290	Rugosa	Gris oscuro
03	19.80	10.20	8.10	3.7427	Rugosa	Gris oscuro
04	19.30	10.20	7.60	3.5929	Rugosa	Gris oscuro
05	19.70	10.20	7.80	3.6163	Rugosa	Gris oscuro
06	19.80	10.40	7.30	3.7101	Rugosa	Gris oscuro

Fuente: elaboración propia, 2014

Tabla N° 29: Muestras TMN 3/8" con 10 % de vidrio

MUESTRA N°	CARACTERISTICAS					
	DIMENSIONES			Peso (Kg)	Textura	Color
	Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)			
01	19.70	9.80	7.80	3.5281	Rugosa	Gris oscuro
02	20.10	10.20	7.80	3.7777	Rugosa	Gris oscuro
03	19.80	10.40	8.20	3.6061	Rugosa	Gris oscuro
04	20.20	10.00	7.80	3.6148	Rugosa	Gris oscuro
05	19.70	9.90	7.70	3.4962	Rugosa	Gris oscuro
06	19.70	10.20	7.80	3.5579	Rugosa	Gris oscuro

Fuente: elaboración propia, 2014

Tabla N° 30: Muestras TMN 3/8" con 15 % de vidrio

MUESTRA N°	CARACTERISTICAS					
	DIMENSIONES			Peso (Kg)	Textura	Color
	Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)			
01	20.30	20.40	7.80	3.5708	Rugosa	Gris oscuro
02	19.90	10.30	7.80	3.4897	Rugosa	Gris oscuro
03	19.80	10.20	8.10	3.5342	Rugosa	Gris oscuro
04	20.20	10.30	7.90	3.4184	Rugosa	Gris oscuro
05	20.20	10.30	7.80	3.5082	Rugosa	Gris oscuro
06	19.80	10.20	7.90	3.6051	Rugosa	Gris oscuro

Fuente: elaboración propia, 2014

Tabla N° 31: Muestras TMN 3/8" con 25 % de vidrio

MUESTRA N°	CARACTERISTICAS					
	DIMENSIONES			Peso (Kg)	Textura	Color
	Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)			
01	20.20	10.30	8.10	3.6436	Rugosa	Gris oscuro
02	19.90	10.10	7.50	3.5492	Rugosa	Gris oscuro
03	19.80	10.10	7.90	3.6313	Rugosa	Gris oscuro
04	20.20	10.30	8.10	3.7347	Rugosa	Gris oscuro
05	20.20	10.10	7.50	3.5245	Rugosa	Gris oscuro
06	19.80	10.10	7.70	3.3969	Rugosa	Gris oscuro

Fuente: elaboración propia, 2014

Tabla N° 32: Muestras TMN 3/8" con 50 % de vidrio

MUESTRA N°	CARACTERISTICAS					
	DIMENSIONES			Peso (Kg)	Textura	Color
	Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)			
01	20.20	9.80	7.80	3.5545	Rugosa	Gris oscuro
02	20.30	10.30	7.80	3.5283	Rugosa	Gris oscuro
03	19.90	10.20	8.10	3.6014	Rugosa	Gris oscuro
04	20.20	10.10	7.80	3.6592	Rugosa	Gris oscuro
05	19.90	10.30	7.90	3.7137	Rugosa	Gris oscuro
06	20.20	10.10	8.10	3.5482	Rugosa	Gris oscuro

Fuente: elaboración propia, 2014

### ✓ Absorción

Tabla N° 33: Absorción de muestras sin vidrio

Muestra (sin vidrio)	Absorción Promedio (%)
TMN 3/4"	4.46
"A" TMN 3/8"	3.92
"B" TMN 3/8"	4.59

Fuente: elaboración propia, 2014

Tabla N° 34: Absorción de muestras con vidrio

<b>Muestra (con vidrio)</b>	<b>Absorción Promedio (%)</b>
5% de vidrio reciclado	4.14
10% de vidrio reciclado	3.40
15% de vidrio reciclado	3.78
25% de vidrio reciclado	4.07
50% de vidrio reciclado	3.78

Fuente: elaboración propia, 2014

✓ **Resistencia a la compresión**

Tabla N° 35: Resistencia a la compresión de muestras sin vidrio

<b>Muestra (sin vidrio)</b>	<b>Resistencia a la compresión promedio</b>	
	<b>Kg /cm<sup>2</sup></b>	<b>MPa</b>
TMN 3/4"	376.82	36.95
"A" TMN 3/8"	373.93	36.67
"B" TMN 3/8"	374.53	36.73

Fuente: elaboración propia, 2014

Tabla N° 36: Resistencia a la compresión de muestras con vidrio

<b>Muestra (con vidrio)</b>	<b>Resistencia a la compresión promedio</b>	
	<b>(Kg /cm<sup>2</sup>)</b>	<b>MPa</b>
5% de vidrio reciclado	342.42	33.58
10% de vidrio reciclado	362.86	35.58
15% de vidrio reciclado	377.94	37.06
25% de vidrio reciclado	384.93	37.75
50% de vidrio reciclado	389.26	38.17

Fuente: elaboración propia, 2014

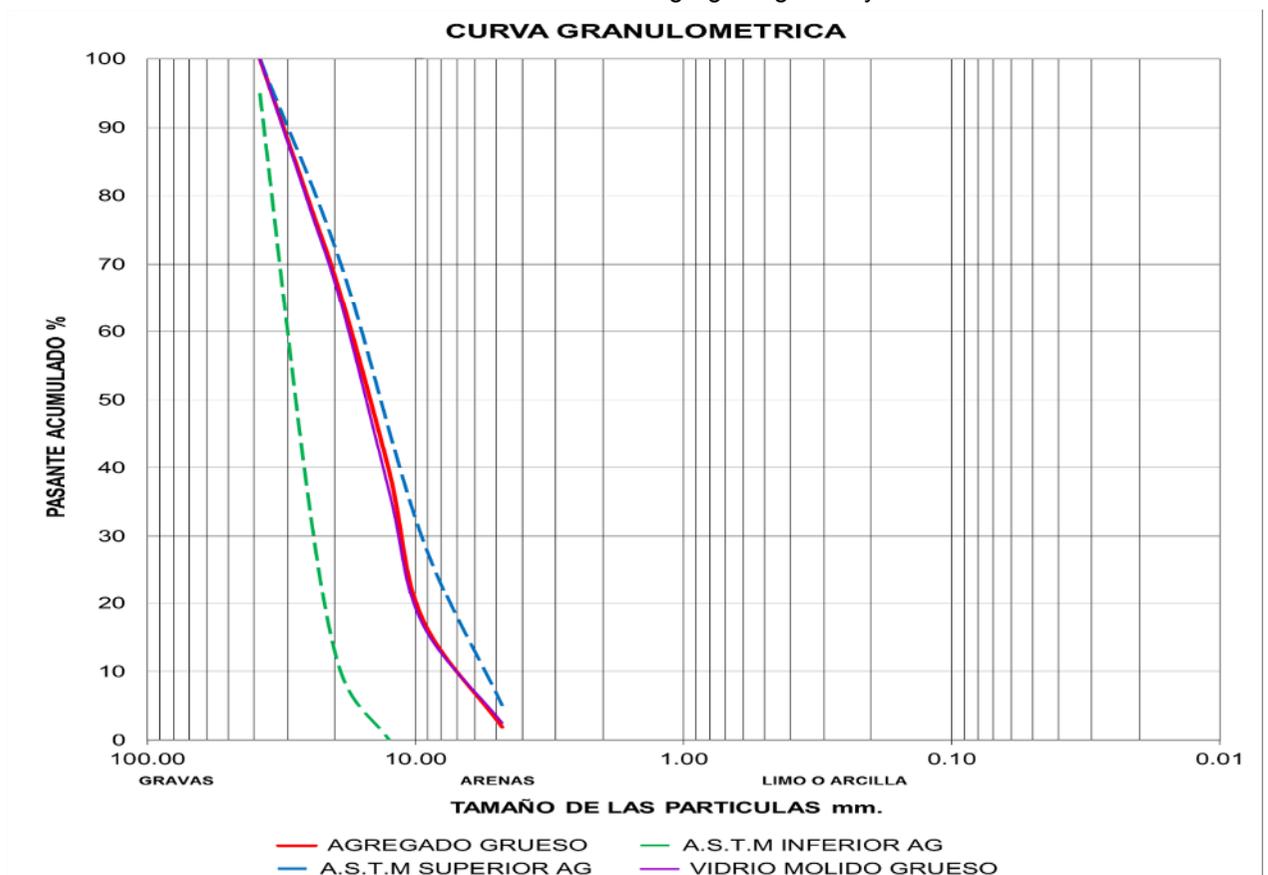
## Capítulo 7. DISCUSIÓN

Se evaluó la resistencia de compresión y absorción de cada muestra de adoquín sin vidrio y con un % de vidrio. También, se analizó los resultados de los ensayos realizados a los agregados y al vidrio y la dosificación de los materiales componentes de la mezcla.

### Materia Prima: Agregados y vidrio

En esta tesis se emplea el vidrio para reemplazar parcialmente al agregado grueso convencional y analizamos las ventajas y desventajas de su inclusión en la respuesta mecánica de cada adoquín. La primera propiedad fundamental analizada es la distribución granulométrica, esta propiedad se resumen en la gráfica siguiente:

Gráfica N° 07: Curvas Granulométricas de agregado grueso y vidrio molido



Fuente: elaboración propia, 2014

Al comparar las granulometrías del vidrio con el agregado grueso tradicional se determina, que la curva granulométrica del vidrio posee una similitud con la curva del agregado grueso, además de cumplir con los límites de curva granulométrica establecidos en la norma NTP 400.012, como se aprecia en la gráfica N° 07.

En las siguiente fotografía se visualiza como el vidrio, presente en diversos tamaños y formas, se adhiere sin inconveniente con el conjunto de agregados a través de la pasta cementante, independientemente de su tamaño de grano o forma geométrica, tal cual el resto de agregados convencionales.

Fotografía 01: Detalle de vidrio en adoquín

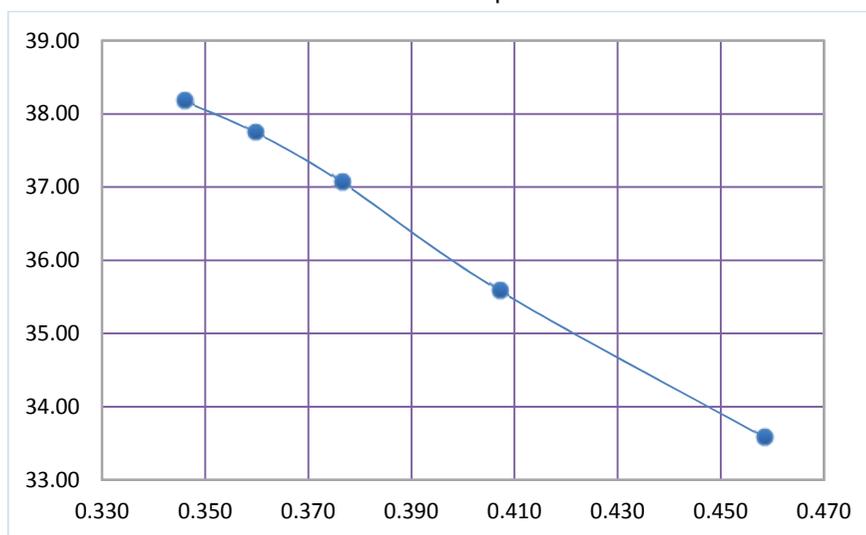


Fuente: elaboración propia, 2014

### Dosificación de la mezcla

Se visualiza en la gráfica N° 08 que la relación entre la resistencia a la compresión y la relación a/c es inversamente proporcional.

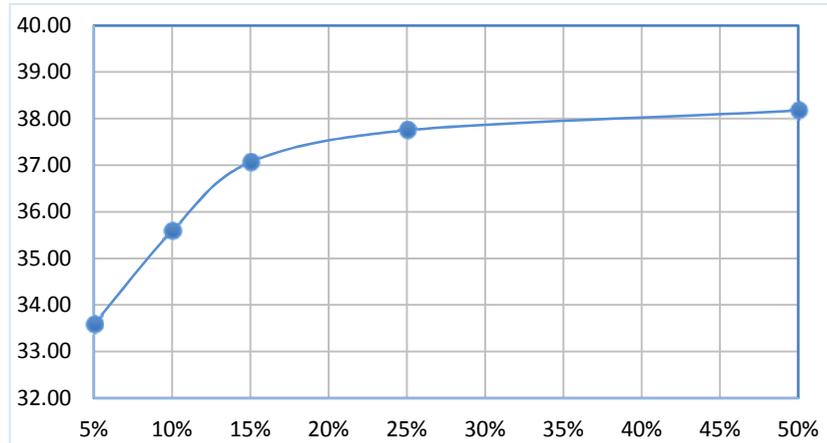
Gráfica N° 08: Resistencia a la compresión vs relación a/c



Fuente: elaboración propia, 2014

En la gráfica N° 09 se observa que al incrementarse el % de vidrio reciclado, el cual reemplaza al agregado grueso, la resistencia también se incrementa produciéndose una relación directamente proporcional.

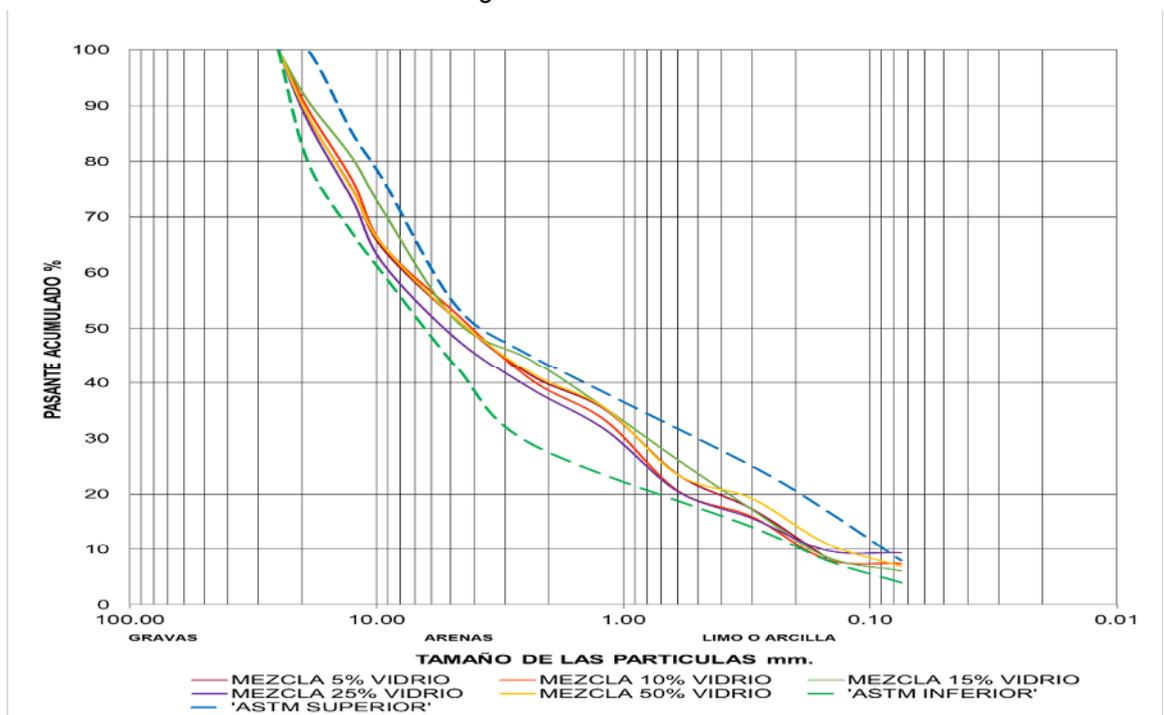
Gráfica N° 09: Resistencia a la compresión vs % de vidrio reciclado



Fuente: elaboración propia, 2014

En la gráfica N° 10, se muestra las diferentes curvas granulométricas que corresponden a las distintas dosificaciones utilizadas en la mezcla base con adición de un % de vidrio como agregado grueso, empleada en la fabricación de adoquines. Se observa la variación en la distribución granulométrica al sustituir parcialmente el agregado grueso por vidrio.

Gráfica N° 10: Curvas granulométricas con % de vidrio



Fuente: elaboración propia, 2014

### **Resistencia a la compresión**

La resistencia a la compresión promedio de los adoquines fabricados sin vidrio son de 36.95 MPa (376.82 kg/cm<sup>2</sup>), 36.67 MPa (373.93 kg/cm<sup>2</sup>) y 36.73 MPa (374.53 kg/cm<sup>2</sup>). Con estos valores hallados se cumple lo establecido en la norma NTP 399.611 de 33 MPa (340 kg/cm<sup>2</sup>) para adoquines de tipo II de tráfico vehicular ligero.

En el caso de adoquines con porcentaje de vidrio los valores del ensayo de resistencia a la compresión son de 33.58 MPa (342.42 kg/cm<sup>2</sup>), 35.58 MPa (362.86 kg/cm<sup>2</sup>), 37.06 MPa (377.94 kg/cm<sup>2</sup>), 37.75 MPa (384.93 kg/cm<sup>2</sup>) y 38.17 MPa (389.26 kg/cm<sup>2</sup>). Con estos valores hallados se cumple en la mayoría lo establecido como mínimo en la norma NTP 399.611 de 33 MPa (340 kg/cm<sup>2</sup>) para adoquines de tipo II de tráfico vehicular ligero.

### **Absorción**

En lo referente al % de absorción promedio de los adoquines fabricados sin vidrio son 4.46% (muestra sin vidrio), 3.92% (muestra tipo A) y 4.59% (muestra tipo B), con lo que se cumple lo establecido en la norma NTP 399.611.

En el caso de adoquines con porcentaje de vidrio los valores del % de absorción promedio son 4.14% (5% de vidrio), 3.40% (10% de vidrio), 3.78% (15% de vidrio), 4.07% (25% de vidrio) y 3.78% (50% de vidrio), con lo que se cumpliría también lo establecido en la norma NTP 399.611 donde el máximo % de absorción es 7.5 % para adoquines de tipo II de tráfico vehicular ligero.

## CONCLUSIONES

- ✓ Los agregados de la cantera Chávez cumplen con los husos granulométricos establecidos en la norma NTP 400.012, verificándose que pueden ser utilizados en la fabricación de los adoquines.
- ✓ El vidrio al tener una granulometría similar al agregado grueso, constituye un buen sustituto de éste, permitiendo tener una distribución continua y adecuada en la mezcla.
- ✓ Entre los adoquines fabricados con un porcentaje de vidrio, se puede afirmar que aquellos con un 25% y 50 % de vidrio de grano grueso presentan una mayor resistencia que aquellos sin vidrio.
- ✓ Los adoquines con un porcentaje de vidrio cumplen con el porcentaje de absorción establecido en la norma NTP 399.611.
- ✓ Al adicionar vidrio a la mezcla se genera un efecto positivo sobre la resistencia a la compresión axial.

## RECOMENDACIONES

- ✓ Se recomienda que se realice adoquines con otros porcentajes de vidrio reciclado.
- ✓ Se recomienda realizar una investigación complementaria debido a que la textura de los adoquines podría afectar a los neumáticos, si es que se usan en pavimentos.

## REFERENCIAS

- Adoquines y bloques. (1998). *Usos del vidrio*. Argentina. Recuperado el 20 de septiembre del 2014, de <http://www.adoquinesybloques.com.ar>
- Arquitectura., E. (2008). *Características de la textura*. Estudia Arq. Chile. Recuperado el 19 de septiembre del 2014, de <http://r-estudiarq.blogspot.com/2008/07/textura-en-la-arquitectura.html>
- Artesacentenaria. (2011). *Historia del Vidrio*. Barcelona, España. Recuperado el 19 de septiembre del 2014, de <http://www.artesacentenaria>.
- Baroni M. & Zancheta E. (2005). Diccionario de la Real Academia de la Lengua Española. Significado: "Comparación". Recuperado el 20 de septiembre del 2014. de: <http://www.wordreference.com/definicion/comparaci%C3%B3n>.
- Baroni M. & Zancheta E. (2005). Diccionario de la Real Academia de la Lengua Española. Significado: "Absorción". Recuperado el 19 de septiembre del 2014, de <http://deconceptos.com/ciencias-naturales/absorcion#ixzz3EIFJAadw>
- Cabezas, M. (2014). Elaboración de un manual de procesos constructivos del adoquinado. Quito: Universidad Politécnica Nacional.
- Casa Saumell. (2010). Propiedades del vidrio. Recuperado el 25 de septiembre del 2014, de <http://www.casasaumell.com.ar/pdf/InformeTecnicoVidrio>
- Cementos Pacasmayo. (2007). Especificación Técnica Adoquín 8 - Tipo II. Lima, Perú.
- Cemento Pacasmayo. (2010). Adoquines de concreto. Perú. Recuperado el 20 de septiembre del 2014, de <http://www.cementospacasmayo.com.pe/productos-y-servicios/prefabricados/adoquines>
- Ecología, Servicios Ambientales & Consultoría. (2008). Estudio de caracterización de los residuos sólidos domiciliarios. Cajamarca, Perú.
- EPAM. (2008). Estudios y Proyectos Ambientales y Mecánicos. Colombia
- Fernández, J. (2003). Textos Universitarios: El Vidrio. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas - Departamento de Publicaciones.
- Guzmán, D. (2001). Tecnología del Concreto y del Mortero. Colombia: Bhandar Editores Ltda.
- Hidalgo Laguna, D. (2013). Obtención de Adoquines Fabricados Con Vidrio Reciclado como Agregado. (Tesis de ingeniería mecánica). Universidad Politécnica Nacional, Quito.

- INDECOPI. (2001). NTP 400.012 AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global. (2a ed.). Lima, Perú
- INDECOPI. (1999). NTP 400.017. AGREGADOS. Método de ensayo para determinar el peso unitario del agregado. (2a ed.). Lima, Perú
- INDECOPI (2010). NTP 399.611 UNIDADES DE ALBAÑILERIA. Adoquines de concreto para pavimentos. Requisitos. (2a ed.). Lima, Perú
- INDECOPI (2002). NTP 399.604 UNIDADES DE ALBAÑILERIA. Métodos de muestreo y ensayo de unidades de albañilería de concreto. (1a ed.). Lima, Perú
- Instituto del Cemento Portland Argentino. (2004). Significado “Relación agua /cemento”. Argentina. Recuperado el 19 de septiembre del 2014, de <http://www.icpa.org.ar/publico/files/relacion%20agua%20cemento.pdf>
- Ministerio de Ambiente. (2008). Construcción de criterios técnicos para el aprovechamiento y valorización de residuos sólidos orgánicos con alta tasa de biodegradación, plásticos, vidrio, papel y cartón. Bogotá, Colombia
- Nave R. (2000). Significado: “Peso”. Canadá. Recuperado el 20 de septiembre del 2014, de <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/mass.html>
- Parro. (2012). Significado de “Compresión”. Diccionario de Arquitectura y Construcción. Recuperado el 15 de agosto de 2014, de <http://www.parro.com.ar/definicion-de-compresión>
- Sika. (2009). Curado de Concreto. Informaciones Técnicas.
- RAE. (1780). Significado de “Granulometría”. Diccionario de la Lengua Española. Recuperado el 19 de septiembre de 2014, de <http://lema.rae.es/drae/?val=granulometría>
- RAE. (1780). Significado de “Color”. Diccionario de la Lengua Española. Recuperado el 19 de septiembre de 2014, de <http://lema.rae.es/drae/?val=color>
- RAE. (1780). Significado de “Vidrio”. Diccionario de la Lengua Española. Recuperado el 19 de septiembre de 2014, de <http://lema.rae.es/drae/?val=vidrio>
- Rigolleau. (2009). Reciclado del vidrio. Recuperado el 20 de septiembre de 2014, de [http://www.rigolleau.com.ar/reciclado\\_vidrio.php](http://www.rigolleau.com.ar/reciclado_vidrio.php)
- Velásquez, C. (2005). Fabricacion de vidrio. Trujillo, Perú
- Virginia, U. (2012). Significado: “Durabilidad”. Recuperado el 20 de septiembre del 2014, de [https://www5.uva.es/guia\\_docente/uploads/2012/474/46049/1](https://www5.uva.es/guia_docente/uploads/2012/474/46049/1)

## ANEXOS

### ANEXO N° 01: FORMATOS UTILIZADOS EN LOS ENSAYOS DE LOS AGREGADOS Y VIDRIO

#### ANALISIS GRANULOMETRICO

Material:.....

Tamizado:.....

MUESTRA:		(gr)			
TAMIZ		PRP (gr)	%RP	%RA	% QUE PASA
N°	ABER. (mm)				
3"	75.00				
2 1/2"	63.00				
2"	50.00				
1 1/2"	38.10				
1"	25.00				
3/4"	19.00				
1/2"	12.50				
3/8"	9.50				
N°4	4.75				
N°08	2.36				
N°16	1.18				
N°30	0.60				
N°50	0.30				
N°100	0.15				
N°200	0.075				
CAZOLETA	.-				
TOTAL					

OBSERVACIONES:.....

.....

Característica	Resultado
Tamaño Máximo Nominal (TMN)	
Módulo de Fineza (Mf)	

### CONTENIDO DE HUMEDAD

**Tesis:**.....

.....

**Material:**.....

**Condición de muestra:**.....

**Fecha de muestreo:**.....

**Fecha de ensayo:**.....

METODO SECADO AL HORNO			
MUESTRA N°			
Peso recipiente (gr)			
Peso recipiente + muestra húmeda (gr)			
Peso recipiente + muestra seca (gr)			
Peso muestra seca (gr)			
Peso agua			
Contenido de humedad (%)			

OBSERVACIONES:.....

.....

.....

.....

### PESO ESPECÍFICO

**Tesis:**.....

.....

**Material:**.....

**Condición de muestra:**.....

**Fecha de muestreo:**.....

**Fecha de ensayo:**.....

MUESTRA N°			
Peso de la muestra + recipiente (gr)			
Peso de la muestra (gr)			
Peso del recipiente (gr)			
Volumen de la muestra + recipiente (cm <sup>3</sup> )			
Volumen del recipiente (cm <sup>3</sup> )			
Volumen de la muestra (cm <sup>3</sup> )			
Peso específico (gr/cm <sup>3</sup> )			

**OBSERVACIONES:**.....

.....

.....

.....

### PESO UNITARIO

**Tesis:**.....

.....

**Material:**.....

**Condición de muestra:**.....

**Fecha de muestreo:**.....

**Fecha de ensayo:**.....

MUESTRA N°			
Peso recipiente (kg)			
Peso suelto (muestra + recipiente) (kg)			
Peso envarillado (muestra + recipiente) (kg)			
Volumen del recipiente (m <sup>3</sup> )			
Peso unitario suelto: (kg/m <sup>3</sup> )			
Peso unitario envarillado: (kg/m <sup>3</sup> )			

**OBSERVACIONES:**.....

.....

.....

.....

### ABSORCIÓN

**Tesis:**.....

.....

**Material:**.....

**Condición de muestra:**.....

**Fecha de muestreo:**.....

**Fecha de ensayo:**.....

MUESTRA N°	
Peso de recipiente (gr)	
Peso de tara y muestra SSS (saturada y superficialmente seca) (gr)	
Peso de tara y agregado seco (gr)	
Absorción (%)	

**OBSERVACIONES:**.....

.....

.....

.....

### PESO ESPECÍFICO – AGREGADO GRUESO

**Tesis:**.....

.....

**Material:**.....

**Condición de muestra:**.....

**Fecha de muestreo:**.....

**Fecha de ensayo:**.....

MUESTRA N°			
Peso de la muestra en el aire (gr)			
Peso de la muestra sumergida (gr)			
Peso específico (gr/cm <sup>3</sup> )			

**OBSERVACIONES:**.....

.....

.....

.....

.....

### PESO ESPECÍFICO – AGREGADO FINO

**Tesis:**.....

.....

**Material:**.....

**Condición de muestra:**.....

**Fecha de muestreo:**.....

**Fecha de ensayo:**.....

MUESTRA N°			
Peso suelo seco (Ws) (gr)			
Peso fiola + agua (Wfw) (gr)			
Peso fiola + agua + suelo (Wfws) (gr)			
Peso específico (gr/cm <sup>3</sup> )			

OBSERVACIONES:.....

.....

.....

.....

## PESO UNITARIO

**Tesis:**.....

.....

**Material:**.....

**Condición de muestra:**.....

**Fecha de muestreo:**.....

**Fecha de ensayo:**.....

MUESTRA N°			
Peso suelto (muestra + recipiente) (kg)			
Peso recipiente (kg)			
Peso muestra suelta (kg)			
Peso del agua + recipiente (kg)			
Peso del agua (kg)			
Factor de calibración del recipiente			
Peso unitario suelto			

MUESTRA N°			
Peso suelto (muestra + recipiente) (kg)			
Peso recipiente (kg)			
Peso muestra suelta (kg)			
Peso del agua + recipiente (kg)			
Peso del agua (kg)			
Factor de calibración del recipiente			
Peso unitario compactado			

**OBSERVACIONES:**.....

.....

.....

.....



### ENSAYO DE ABSORCION

Probeta N°: .....

Tipo de muestra: .....

DENOMINACION	DESCRIPCION	PESO (Kg)
A	Masa de la muestra seca al horno (Wd)	
B	Masa de la muestra en estado saturado (Ws)	
Absorción	Porcentaje de Absorción (%)	

Calculo de Absorción:

$$\text{Absorción (\%)} = \left[ \frac{(B-A)}{A} \right] \times 100$$

Absorción (%) =
-----------------

### ASPECTOS VISUALES

Tipo de muestra: .....

N° de muestra: .....

Dimensiones:

Largo (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)

Peso:

Textura:

Color:

Observaciones:

.....  
.....  
.....

### ANEXO N° 03: PROCESAMIENTO DE DATOS DE LOS ENSAYOS

#### Agregado Grueso

Tabla N° 37: Análisis granulométrico de agregado grueso

MUESTRA:	2.021	Kg			
N° TAMIZ	ABER. TAMIZ (mm)	PESO PARCIAL	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE ACUMULADO
3"	75.00	-	-	-	-
2 1/2"	63.00	-	-	-	-
2"	50.00	0.000	0.000	0.000	100.000
1 1/2"	38.10	0.000	0.000	0.000	100.000
1"	25.00	0.420	20.782	20.782	79.218
3/4"	19.00	0.280	13.855	34.636	65.364
1/2"	12.50	0.528	23.126	60.762	39.238
3/8"	9.50	0.429	21.227	81.989	18.011
N° 4	4.75	0.326	16.131	98.120	1.880
<b>CAZOLETA</b>	-----	0.038	1.880	100.000	0.000
<b>TOTAL</b>		<b>2.021</b>	100.000		

Fuente: elaboración propia, 2014

Tabla N° 38: Contenido de humedad de agregado grueso

METODO SECADO AL HORNO			
MUESTRA N°	1	2	3
Peso recipiente (gr)	154.00	154.00	154.00
Peso recipiente + muestra húmeda (gr)	1380.00	1320.00	1510.00
Peso recipiente + muestra seca (gr)	1362.00	1302.0000	1484.0000
Peso suelo seco (gr)	1208.00	1148.00	1330.00
Peso agua (gr)	18.00	18.00	26.00
Contenido de Humedad (%)	<b>1.49</b>	<b>1.57</b>	<b>1.95</b>
Contenido de Humedad Promedio (%)	<b>1.67</b>		

Fuente: elaboración propia, 2014

Tabla N° 39: Peso específico de agregado grueso

<b>MUESTRA N°</b>	<b>1</b>
Peso de la muestra en el aire (gr)	5025.60
Peso de la muestra sumergida (gr)	2860.70
Peso específico (gr/cm <sup>3</sup> )	<b>2.32</b>

Fuente: elaboración propia, 2014

Tabla N° 40: Peso unitario de agregado grueso

<b>MUESTRA N°</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Peso recipiente (kg)	4.78	4.78	4.78
Peso suelto (recipiente + muestra) (kg)	17.13	17.56	17.06
Peso envarillado (recipiente + muestra) (kg)	18.84	18.75	18.92
Volumen del recipiente (m <sup>3</sup> )	0.00896	0.00896	0.00896
Peso unitario suelto (kg/m <sup>3</sup> )	<b>1378.66</b>	<b>1426.43</b>	<b>1370.85</b>
Peso unitario suelto promedio (kg/m <sup>3</sup> )	<b>1391.98</b>		
Peso unitario envarillado (kg/m <sup>3</sup> )	<b>1569.30</b>	<b>1559.25</b>	<b>1578.45</b>
Peso unitario envarillado promedio (kg/m <sup>3</sup> )	<b>1569.00</b>		

Fuente: elaboración propia, 2014

Tabla N° 41: Absorción de agregado grueso

<b>MUESTRA N°</b>	<b>1</b>
Peso de recipiente (gr)	185.90
Peso de tara y muestra SSS (saturada y superficialmente seca) (gr)	5025.60
Peso de tara y agregado seco (gr)	4966.00
Absorción (%)	<b>1.247</b>

Fuente: elaboración propia, 2014

## Agregado fino

Tabla N° 42: Análisis granulométrico de agregado fino

MUESTRA: 0.486 Kg					
N° TAMIZ	ABER. TAMIZ (mm)	PESO PARCIAL	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE ACUMULADO
N° 4	4.75	0.015	3.086	3.086	96.914
N° 8	2.36	0.065	13.374	16.461	83.539
N° 16	1.18	0.142	29.218	45.679	54.321
N° 30	0.60	0.126	25.926	71.605	28.395
N° 50	0.30	0.084	17.284	88.889	11.111
N° 100	0.15	0.036	7.407	96.296	3.704
N° 200	0.075	0.016	3.292	99.588	0.412
<b>FONDO</b>		0.002	0.412	100.000	0.000
<b>TOTAL</b>		<b>0.486</b>	100.000		

Fuente: elaboración propia, 2014

Tabla N° 43: Contenido de humedad de agregado fino

METODO SECADO AL HORNO			
MUESTRA N°	1	2	3
Peso recipiente (gr)	70.00	70.00	70.00
Peso recipiente + muestra húmeda (gr)	970.00	780.00	982.00
Peso recipiente + muestra seca (gr)	950.00	762.00	962.00
Peso suelo seco (gr)	880.00	692.00	892.00
Peso agua (gr)	20.00	18.00	20.00
Contenido de Humedad (%)	<b>2.27</b>	<b>2.60</b>	<b>2.24</b>
Contenido de Humedad Promedio (%)	<b>2.37</b>		

Fuente: elaboración propia, 2014

Tabla N° 44: Peso específico de agregado fino

MUESTRA N°	1
Peso suelo seco (Ws) (gr)	569.70
Peso fiola + agua (Wfw) (gr)	1375.90
Peso fiola + agua + muestra (Wfws) (gr)	1673.00
Peso específico (gr/cm <sup>3</sup> )	<b>2.0899</b>

Fuente: elaboración propia, 2014

Tabla N° 45: Peso unitario de agregado fino

MUESTRA N°	1	2	3
Peso recipiente (kg)	4.78	4.78	4.78
Peso suelto (recipiente + muestra) (kg)	20.07	20.11	20.38
Peso envarillado (recipiente + muestra) (kg)	20.55	21.14	21.17
Volumen del recipiente (m3)	0.00896	0.00896	0.00896
Peso unitario suelto (kg/m3)	<b>1707.03</b>	<b>1711.49</b>	<b>1741.18</b>
Peso unitario suelto promedio (kg/m3)	<b>1719.90</b>		
Peso unitario envarillado (kg/m3)	<b>1760.16</b>	<b>1825.79</b>	<b>1829.13</b>
Peso unitario envarillado promedio (kg/m3)	<b>1805.03</b>		

Fuente: elaboración propia, 2014

Tabla N° 46: Absorción de agregado fino

MUESTRA N°	1
Peso de recipiente (gr)	69.70
Peso de tara y muestra SSS (saturada y superficialmente seca) (gr)	564.30
Peso de tara y agregado seco (gr)	552.40
Absorción (%)	<b>2.465</b>

Fuente: elaboración propia, 2014

## Vidrio

Tabla N° 47: Análisis granulométrico de vidrio molido (muestra 1)

<b>MUESTRA 01:</b>		<b>2.140</b>	<b>Kg</b>		
<b>N° TAMIZ</b>	<b>ABER. TAMIZ (mm)</b>	<b>PESO PARCIAL</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>% RETENIDO ACUMULADO</b>	<b>% PASANTE ACUMULADO</b>
3"	75.00	-	-	-	-
2 1/2"	63.00	-	-	-	-
2"	50.00	-	-	-	-
1 1/2"	38.10	0.000	0.000	0.000	100.000
1"	25.00	0.480	21.429	21.429	78.571
3/4"	19.00	0.320	14.286	35.714	64.286
1/2"	12.50	0.628	28.036	63.750	36.250
3/8"	9.50	0.426	19.018	82.768	17.232
N° 4	4.75	0.330	14.732	97.500	2.500
<b>FONDO</b>		0.056	2.500	100.000	0.000
<b>TOTAL</b>		<b>2.140</b>	100.000		

Fuente: elaboración propia, 2014

Tabla N° 48: Análisis granulométrico de vidrio molido (muestra 2)

<b>MUESTRA 02:</b>		<b>2.160</b>	<b>Kg</b>		
<b>N° TAMIZ</b>	<b>ABER. TAMIZ (mm)</b>	<b>PESO PARCIAL</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>% RETENIDO ACUMULADO</b>	<b>% PASANTE ACUMULADO</b>
3"	75.00	-	-	-	-
2 1/2"	63.00	-	-	-	-
2"	50.00	-	-	-	-
1 1/2"	38.10	0.000	0.000	0.000	100.000
1"	25.00	0.450	20.833	20.833	79.167
3/4"	19.00	0.300	13.889	34.722	65.278
1/2"	12.50	0.568	26.296	61.019	38.981
3/8"	9.50	0.486	22.500	83.519	16.481
N° 4	4.75	0.310	14.352	97.870	2.130
<b>FONDO</b>		0.046	2.130	100.000	0.000
<b>TOTAL</b>		<b>2.160</b>			

Fuente: elaboración propia, 2014

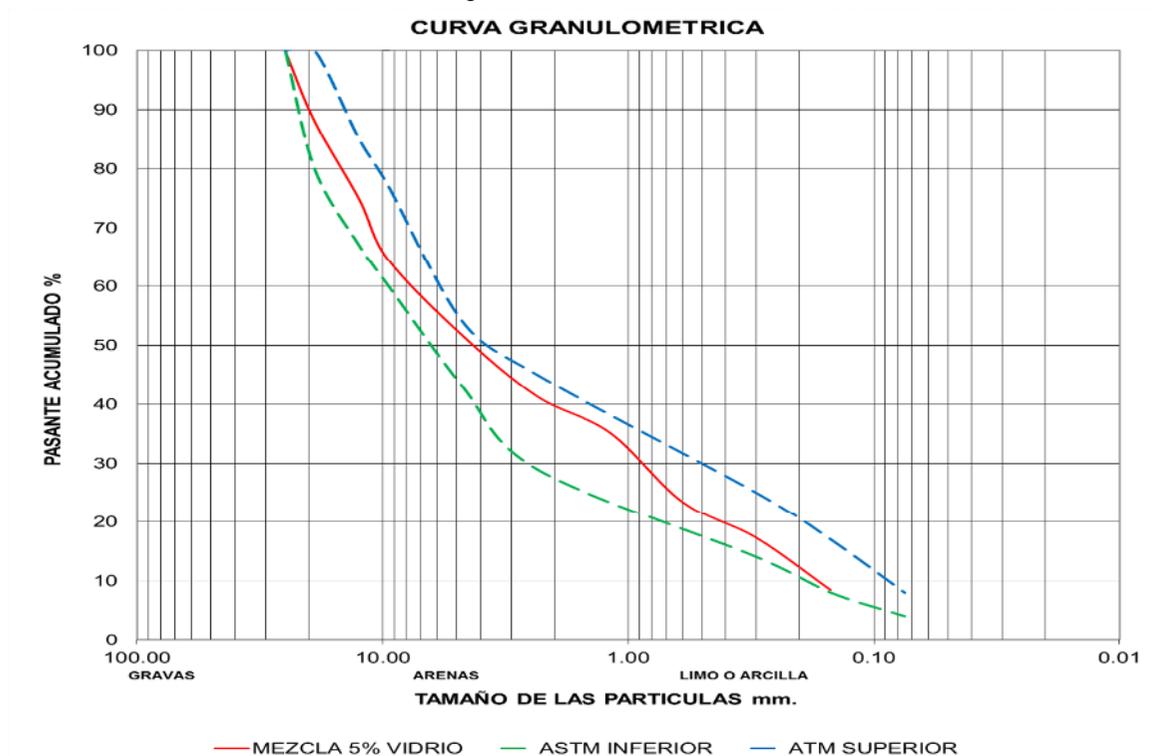
### Análisis Granulométrico de Mezclas

Tabla N° 49: Análisis granulométrico de mezcla son 5% de vidrio

MUESTRA: 2.930		Kg			
N° TAMIZ	ABER. TAMIZ (mm)	PESO PARCIAL	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE ACUMULADO
3"	75.00	-	0.000	0.000	100.000
2 1/2"	63.00	-	0.000	0.000	100.000
2"	50.00	-	0.000	0.000	100.000
1 1/2"	38.10	-	0.000	0.000	100.000
1"	25.00	-	0.000	0.000	100.000
3/4"	19.00	0.348	11.877	11.877	88.123
1/2"	12.50	0.388	13.242	25.119	74.881
3/8"	9.50	0.304	10.375	35.495	64.505
N° 4	4.75	0.376	12.833	48.328	51.672
N° 8	2.36	0.302	10.307	58.635	41.365
N° 16	1.18	0.182	6.212	64.846	35.154
N° 30	0.60	0.342	11.672	76.519	23.481
N° 50	0.30	0.182	6.212	82.730	17.270
N° 100	0.15	0.258	8.805	91.536	8.464
N° 200	0.075	0.012	0.410	91.945	8.055
<b>FONDO</b>		0.236	8.055	100.000	0.000
<b>TOTAL</b>		<b>2.930</b>	100.000	11.877	

Fuente: elaboración propia, 2014

Grafica N° 11: Curva granulométrica de mezcla con 5% de vidrio



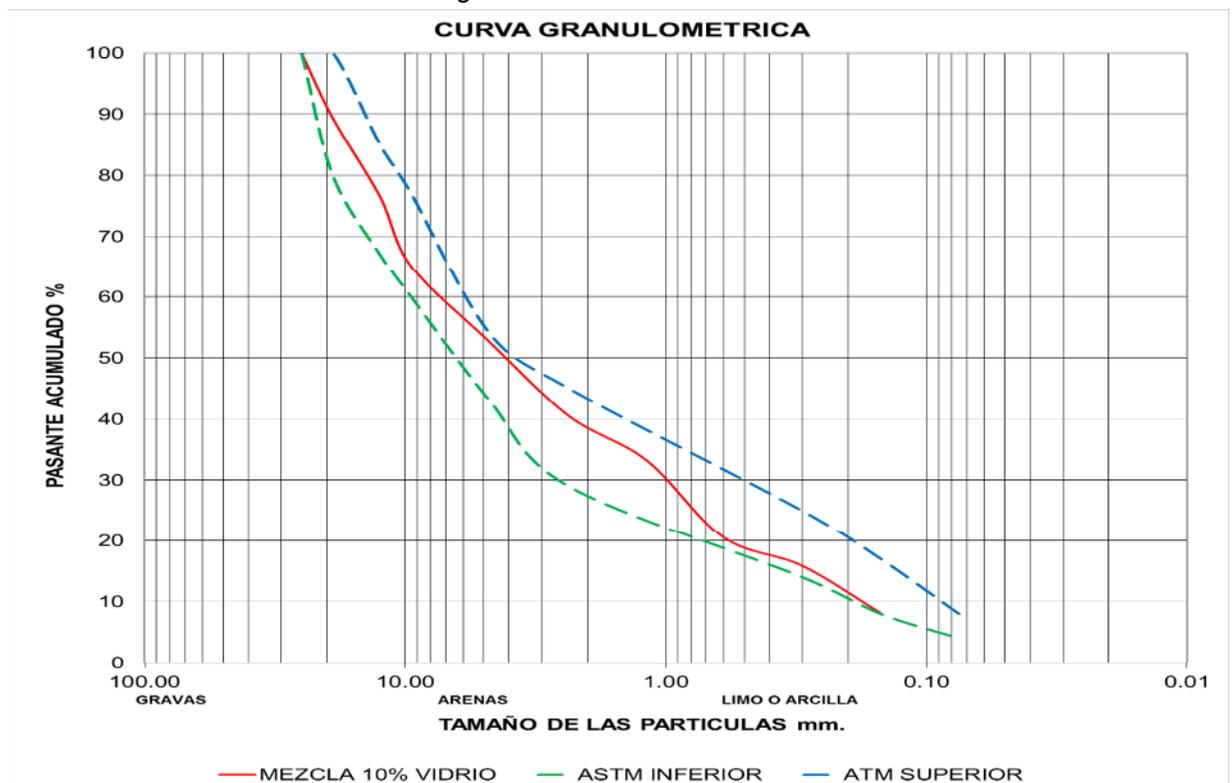
Fuente: elaboración propia, 2014

Tabla N° 50: Análisis granulométrico de mezcla son 10% de vidrio

MUESTRA: 1.970		Kg			
N° TAMIZ	ABER. TAMIZ (mm)	PESO PARCIAL	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE ACUMULADO
3"	75.00	-	0.000	0.000	100.000
2 1/2"	63.00	-	0.000	0.000	100.000
2"	50.00	-	0.000	0.000	100.000
1 1/2"	38.10	-	0.000	0.000	100.000
1"	25.00	-	0.000	0.000	100.000
3/4"	19.00	0.208	10.558	10.558	89.442
1/2"	12.50	0.254	12.893	23.452	76.548
3/8"	9.50	0.225	11.421	34.873	65.127
N° 4	4.75	0.246	12.487	47.360	52.640
N° 8	2.36	0.238	12.081	59.442	40.558
N° 16	1.18	0.145	7.360	66.802	33.198
N° 30	0.60	0.249	12.640	79.442	20.558
N° 50	0.30	0.092	4.670	84.112	15.888
N° 100	0.15	0.152	7.716	91.827	8.173
N° 200	0.075	0.015	0.761	92.589	7.411
<b>FONDO</b>		0.146	7.411	100.000	0.000
<b>TOTAL</b>		<b>1.970</b>	<b>100.000</b>		

Fuente: elaboración propia, 2014

Gráfica N° 12: Curva granulométrica de mezcla con 10% de vidrio



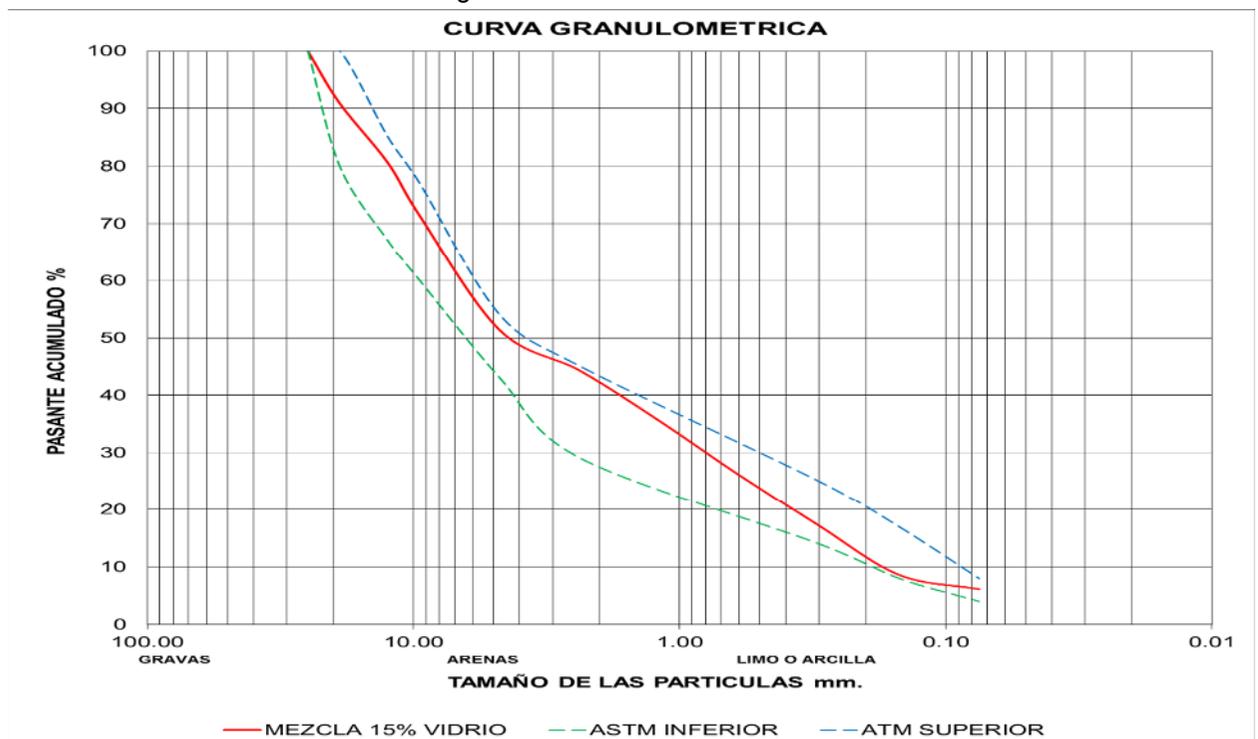
Fuente: elaboración propia, 2014

Tabla N° 51: Análisis granulométrico de mezcla son 15% de vidrio

MUESTRA: 3.428 Kg					
N° TAMIZ	ABER. TAMIZ (mm)	PESO PARCIAL	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE ACUMULADO
3"	75.00	-	0.000	0.000	100.000
2 1/2"	63.00	-	0.000	0.000	100.000
2"	50.00	-	0.000	0.000	100.000
1 1/2"	38.10	-	0.000	0.000	100.000
1"	25.00	-	0.000	0.000	100.000
3/4"	19.00	0.310	9.043	9.043	90.957
1/2"	12.50	0.356	10.385	19.428	80.572
3/8"	9.50	0.314	9.160	28.588	71.412
N° 4	4.75	0.688	20.070	48.658	51.342
N° 8	2.36	0.244	7.118	55.776	44.224
N° 16	1.18	0.303	8.839	64.615	35.385
N° 30	0.60	0.318	9.277	73.891	26.109
N° 50	0.30	0.306	8.926	82.818	17.182
N° 100	0.15	0.294	8.576	91.394	8.606
N° 200	0.075	0.085	2.480	93.874	6.126
<b>FONDO</b>		0.210	6.126	100.000	0.000
<b>TOTAL</b>		<b>3.428</b>	<b>100.000</b>		

Fuente: elaboración propia, 2014

Gráfica N° 13: Curva granulométrica de mezcla con 15% de vidrio



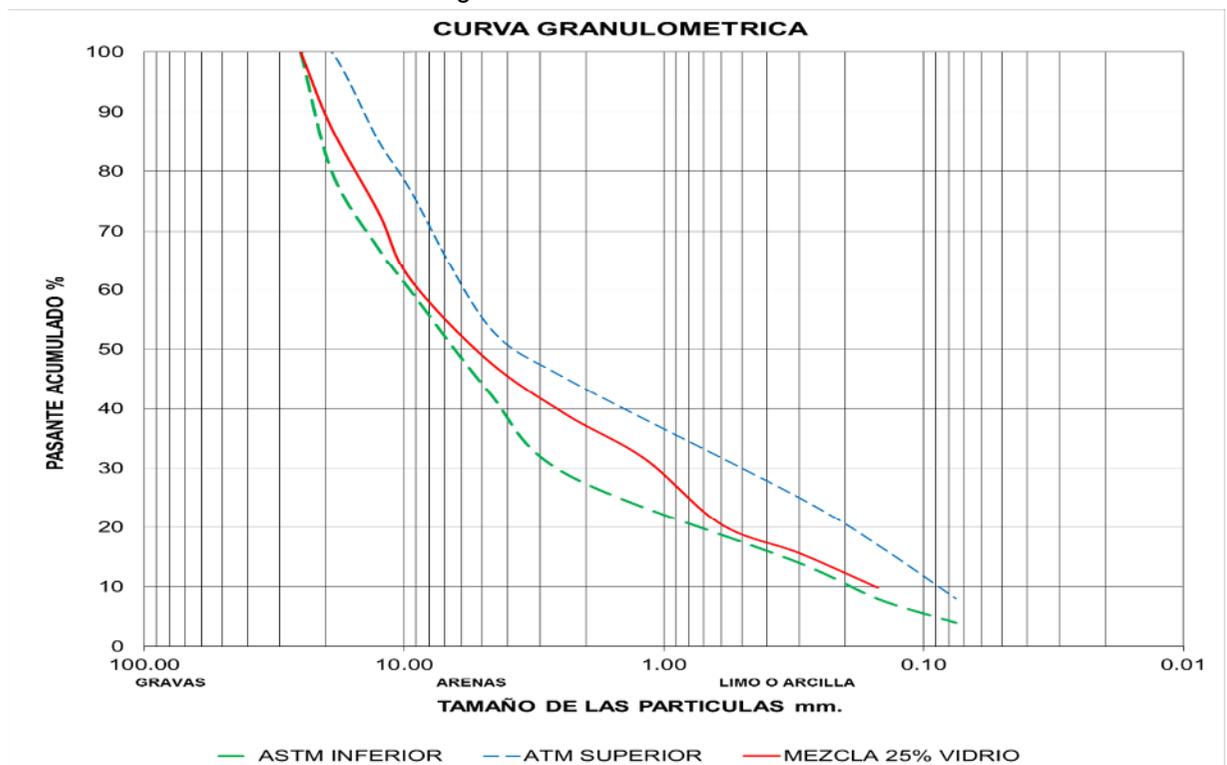
Fuente: elaboración propia, 2014

Tabla N° 52: Análisis granulométrico de mezcla son 25% de vidrio

MUESTRA: 2.728		Kg			
N° TAMIZ	ABER. TAMIZ (mm)	PESO PARCIAL	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE ACUMULADO
3"	75.00	-	0.000	0.000	100.000
2 1/2"	63.00	-	0.000	0.000	100.000
2"	50.00	-	0.000	0.000	100.000
1 1/2"	38.10	-	0.000	0.000	100.000
1"	25.00	-	0.000	0.000	100.000
3/4"	19.00	0.348	12.757	12.757	87.243
1/2"	12.50	0.388	14.223	26.979	73.021
3/8"	9.50	0.304	11.144	38.123	61.877
N° 4	4.75	0.376	13.783	51.906	48.094
N° 8	2.36	0.250	9.164	61.070	38.930
N° 16	1.18	0.202	7.405	68.475	31.525
N° 30	0.60	0.302	11.070	79.545	20.455
N° 50	0.30	0.132	4.839	84.384	15.616
N° 100	0.15	0.158	5.792	90.176	9.824
N° 200	0.075	0.012	0.440	90.616	9.384
<b>FONDO</b>		0.256	9.384	100.000	0.000
<b>TOTAL</b>		<b>2.728</b>	<b>100.000</b>		

Fuente: elaboración propia, 2014

Gráfica N° 14: Curva granulométrica de mezcla son 25% de vidrio



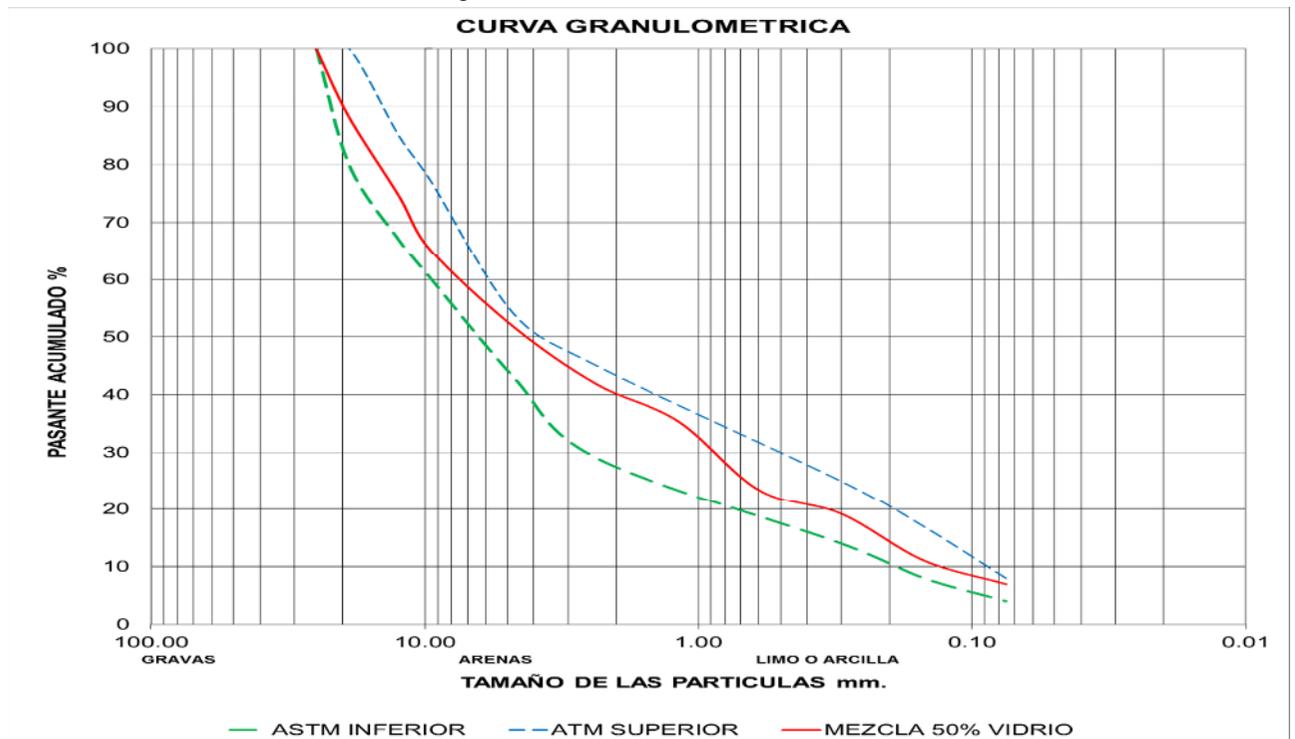
Fuente: elaboración propia, 2014

Tabla N° 53: Análisis granulométrico de mezcla son 50% de vidrio

MUESTRA: 2.091		Kg			
N° TAMIZ	ABER. TAMIZ (mm)	PESO PARCIAL	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE ACUMULADO
3"	75.00	-	0.000	0.000	100.000
2 1/2"	63.00	-	0.000	0.000	100.000
2"	50.00	-	0.000	0.000	100.000
1 1/2"	38.10	-	0.000	0.000	100.000
1"	25.00	-	0.000	0.000	100.000
3/4"	19.00	0.245	11.717	11.717	88.283
1/2"	12.50	0.284	13.582	25.299	74.701
3/8"	9.50	0.202	9.660	34.959	65.041
N° 4	4.75	0.278	13.295	48.254	51.746
N° 8	2.36	0.208	9.947	58.202	41.798
N° 16	1.18	0.135	6.456	64.658	35.342
N° 30	0.60	0.249	11.908	76.566	23.434
N° 50	0.30	0.089	4.256	80.823	19.177
N° 100	0.15	0.170	8.130	88.953	11.047
N° 200	0.075	0.086	4.113	93.066	6.934
<b>FONDO</b>		0.145	6.934	100.000	0.000
<b>TOTAL</b>		<b>2.091</b>	<b>100.000</b>		

Fuente: elaboración propia, 2014

Gráfica N° 15: Curva granulométrica de mezcla son 50% de vidrio



Fuente: elaboración propia, 2014

## Ensayos en Adoquines

### Absorción

Tabla N° 54: Muestras TMN 3/4" (sin vidrio)

Probeta N°:	4	5	6
Peso seco Wd (kg):	3.3252	3.3145	3.5723
Peso saturado Ws (kg):	3.4651	3.4960	3.7039
Absorción (%):	4.21	5.48	3.68
Absorción promedio (kg/m <sup>3</sup> )	<b>4.46</b>		

Fuente: elaboración propia, 2014

Tabla N° 55: Muestras "A" TMN 3/8" (sin vidrio)

Probeta N°:	4A	5A	6A
Peso seco Wd (kg):	3.3572	3.3332	3.2238
Peso saturado Ws (kg):	3.4321	3.4963	3.3731
Absorción (%):	2.23	4.89	4.63
Absorción promedio (kg/m <sup>3</sup> )	<b>3.92</b>		

Fuente: elaboración propia, 2014

Tabla N° 56: Muestras "B" TMN 3/8" (sin vidrio)

Probeta N°:	4B	5B	6B
Peso seco Wd (kg):	3.4283	3.2578	3.2883
Peso saturado Ws (kg):	3.6022	3.3531	3.4784
Absorción (%):	5.07	2.93	5.78
Absorción promedio (kg/m <sup>3</sup> )	<b>4.59</b>		

Fuente: elaboración propia, 2014

Tabla N° 57: Muestras TMN 3/8" con 5 % de vidrio

Probeta N°:	4	5	6
Peso seco Wd (kg):	3.4524	3.4521	3.5822
Peso saturado Ws (kg):	3.5941	3.6163	3.7094
Absorción (%):	4.10	4.76	3.55
Absorción promedio (kg/m <sup>3</sup> )	<b>4.14</b>		

Fuente: elaboración propia, 2014

Tabla N° 58: Muestras TMN 3/8" con 10 % de vidrio

Probeta N°:	4	5	6
Peso seco Wd (kg):	3.4875	3.3856	3.4489
Peso saturado Ws (kg):	3.6162	3.4982	3.5591
Absorción (%):	3.69	3.33	3.20
Absorción promedio (kg/m <sup>3</sup> )	<b>3.40</b>		

Fuente: elaboración propia, 2014

Tabla N° 59: Muestras TMN 3/8" con 15 % de vidrio

Probeta N°:	4	5	6
Peso seco Wd (kg):	3.2726	3.3987	3.4875
Peso saturado Ws (kg):	3.4215	3.5102	3.6095
Absorción (%):	4.55	3.28	3.50
Absorción promedio (kg/m <sup>3</sup> )	<b>3.78</b>		

Fuente: elaboración propia, 2014

Tabla N° 60: Muestras TMN 3/8" con 25 % de vidrio

Probeta N°:	4	5	6
Peso seco Wd (kg):	3.5648	3.3889	3.2945
Peso saturado Ws (kg):	3.7415	3.5237	3.4020
Absorción (%):	4.96	3.98	3.26
Absorción promedio (kg/m <sup>3</sup> )	<b>4.07</b>		

Fuente: elaboración propia, 2014

Tabla N° 61: Muestras TMN 3/8" con 50 % de vidrio

Probeta N°:	4	5	6
Peso seco Wd (kg):	3.5296	3.5846	3.4286
Peso saturado Ws (kg):	3.6656	3.7205	3.5554
Absorción (%):	3.85	3.79	3.70
Absorción promedio (kg/m <sup>3</sup> )	<b>3.78</b>		

Fuente: elaboración propia, 2014

## Resistencia a la compresión

Tabla N° 62: Muestras TMN 3/4" (sin vidrio)

Probeta N°:	01	02	03
Fecha de rotura:	09.12.14	09.12.14	09.12.14
Edad (días):	28	28	28
Espesor (cm):	8.2	7.8	7.5
Área (cm <sup>2</sup> ):	209.09	206.04	217.35
Volumen (cm <sup>3</sup> ):	1714.54	1607.11	1630.13
Masa (gr):	377.23	363.24	349.38
Peso unitario (gr/cm <sup>3</sup> ):	0.22	0.23	0.21
Carga ultima (KN):	85427	70982	82025
Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> ):	408.57	344.51	377.39
Resistencia (Mpa):	40.07	33.78	37.01

**Resistencia promedio**      **376.82 (Kg/cm<sup>2</sup>)**      =      **36.95 (Mpa)**  
**(fcm):**

Fuente: elaboración propia, 2014

Tabla N° 63: Muestras "A" TMN 3/8" (sin vidrio)

Probeta N°:	1A	2A	3A
Fecha de rotura:	09.12.14	09.12.14	09.12.14
Edad (días):	28	28	28
Espesor (cm):	7.5	8.1	7.3
Área (cm <sup>2</sup> ):	212.76	201.96	208.95
Volumen (cm <sup>3</sup> ):	1595.70	1635.88	1525.34
Masa (gr):	356.17	365.30	372.58
Peso unitario (gr/cm <sup>3</sup> ):	0.22	0.22	0.24
Carga ultima (KN):	75568	77641	79856
Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> ):	355.18	384.44	382.18
Resistencia (Mpa):	34.83	37.70	37.48

**Resistencia promedio**      **373.93 (Kg/cm<sup>2</sup>)**      =      **36.67 (Mpa)**  
**(fcm):**

Fuente: elaboración propia, 2014

Tabla N° 64: Muestras "B" TMN 3/8" (sin vidrio)

Probeta N°:	1B	2B	3B
Fecha de rotura:	09.12.14	09.12.14	09.12.14
Edad (días):	28	28	28
Espesor (cm):	7.5	8.1	7.3
Área (cm <sup>2</sup> ):	198.97	201.96	208.95
Volumen (cm <sup>3</sup> ):	1492.28	1635.88	1525.34
Masa (gr):	349.78	365.30	372.58
Peso unitario (gr/cm <sup>3</sup> ):	0.23	0.22	0.24
Carga ultima (KN):	72698	69101	86940
Resistencia (Kg/cm <sup>2</sup> ):	365.37	342.15	416.08
Resistencia (Mpa):	35.83	33.55	40.80

**Resistencia promedio      374.53 (Kg/cm<sup>2</sup>)                      36.73 (Mpa)**  
**(fcm):**

Fuente: elaboración propia, 2014

Tabla N° 65: Muestras TMN 3/8" (5% vidrio)

Probeta N°:	1	2	3
Fecha de rotura:	09.12.14	09.12.14	09.12.14
Edad (días):	28	28	28
Espesor (cm):	7.5	7.6	8.1
Área (cm <sup>2</sup> ):	202.91	193.05	201.96
Volumen (cm <sup>3</sup> ):	1521.83	1467.18	1635.88
Masa (gr):	353.16	360.10	381.91
Peso unitario (gr/cm <sup>3</sup> ):	0.23	0.25	0.23
Carga ultima (KN):	71698	64593	68531
Resistencia (Kg/cm <sup>2</sup> ):	353.35	334.59	339.33
Resistencia (Mpa):	34.65	32.81	33.28

**Resistencia promedio      342.42 (Kg/cm<sup>2</sup>)                      33.58 (Mpa)**  
**(fcm):**

Fuente: elaboración propia, 2014

Tabla N° 66: Muestras TMN 3/8" (10% vidrio)

Probeta N°:	1	2	3
Fecha de rotura:	09.12.14	09.12.14	09.12.14
Edad (días):	28	28	28
Espesor (cm):	7.8	7.8	8.2
Área (cm <sup>2</sup> ):	193.06	205.02	205.92
Volumen (cm <sup>3</sup> ):	1505.87	1599.16	1688.54
Masa (gr):	360.01	385.48	367.97
Peso unitario (gr/cm <sup>3</sup> ):	0.24	0.24	0.22
Carga ultima (KN):	73657	69424	75868
Resistencia (Kg/cm <sup>2</sup> ):	381.52	338.62	368.43
Resistencia (Mpa):	37.41	33.21	36.13

**Resistencia promedio      362.86 (Kg/cm<sup>2</sup>)                      35.58 (Mpa)**  
**(fcm):**

Fuente: elaboración propia, 2014

Tabla N° 67: Muestras TMN 3/8" (15% vidrio)

Probeta N°:	1	2	3
Fecha de rotura:	09.12.14	09.12.14	09.12.14
Edad (días):	28	28	28
Espesor (cm):	7.8	7.8	8.1
Área (cm <sup>2</sup> ):	211.12	204.97	201.96
Volumen (cm <sup>3</sup> ):	1646.74	1598.77	1635.88
Masa (gr):	364.37	356.09	360.63
Peso unitario (gr/cm <sup>3</sup> ):	0.22	0.22	0.22
Carga ultima (KN):	80786	75582	77234
Resistencia (Kg/cm <sup>2</sup> ):	382.65	368.75	382.42
Resistencia (Mpa):	37.53	36.16	37.50

**Resistencia promedio      377.94 (Kg/cm<sup>2</sup>)                      37.06 (Mpa)**  
**(fcm):**

Fuente: elaboración propia, 2014

Tabla N° 68: Muestras TMN 3/8" (25% vidrio)

Probeta N°:	1	2	3
Fecha de rotura:	09.12.14	09.12.14	09.12.14
Edad (días):	28	28	28
Espesor (cm):	8.1	7.5	7.9
Área (cm <sup>2</sup> ):	208.06	200.99	199.98
Volumen (cm <sup>3</sup> ):	1685.29	1507.43	1579.84
Masa (gr):	371.80	362.16	370.54
Peso unitario (gr/cm <sup>3</sup> ):	0.22	0.24	0.23
Carga ultima (KN):	78284	80721	75375
Resistencia (Kg/cm <sup>2</sup> ):	376.26	401.62	376.91
Resistencia (Mpa):	36.90	39.39	36.96

**Resistencia promedio**                      **384.93 (Kg/cm<sup>2</sup>)**                      **37.75 (Mpa)**  
**(fcm):**

Fuente: elaboración propia, 2014

Tabla N° 69: Muestras TMN 3/8" (50% vidrio)

Probeta N°:	1	2	3
Fecha de rotura:	09.12.14	09.12.14	09.12.14
Edad (días):	28	28	28
Espesor (cm):	7.8	7.8	8.1
Área (cm <sup>2</sup> ):	197.96	209.09	202.98
Volumen (cm <sup>3</sup> ):	1544.09	1630.90	1644.14
Masa (gr):	362.70	360.03	367.49
Peso unitario (gr/cm <sup>3</sup> ):	0.23	0.22	0.22
Carga ultima (KN):	83360	78536	75322
Resistencia (Kg/cm <sup>2</sup> ):	421.10	375.61	371.08
Resistencia (Mpa):	41.30	36.83	36.39

**Resistencia promedio**                      **389.26 (Kg/cm<sup>2</sup>)**                      **38.17 (Mpa)**  
**(fcm):**

Fuente: elaboración propia, 2014

## ANEXO N° 04: FOTOGRAFÍAS

### Análisis granulométrico del agregado grueso

Fotografía N° 02: Realizando el tamizado



Fuente: Elaboración propia, 2014

Fotografía N° 03: Malla 1 ½”



Fuente: Elaboración propia, 2014

Figura N° 06: Malla ½”



Fuente: Elaboración propia, 2014

Figura N° 04: Malla 1”



Fuente: Elaboración propia, 2014

Fotografía N° 07: Malla 3/8”



Fuente: Elaboración propia, 2014

Fotografía N° 05: Malla 3/4”



Fuente: Elaboración propia, 2014

Figura N° 08: Malla N° 04



Fuente: Elaboración propia, 2014

Fotografía N° 09: Malla N° 08



Fuente: Elaboración propia, 2014

Fotografía N° 10: Malla N° 16



Fuente: elaboración propia, 2014

### Análisis granulométrico del agregado fino

Fotografía N° 11: Malla N° 50



Fuente: Elaboración propia, 2014

Fotografía N° 12: Malla N° 100



Fuente: Elaboración propia, 2014

Fotografía N° 13: Malla N° 200



Fuente: Elaboración propia, 2014

Fotografía N° 14: Cazoleta



Fuente: Elaboración propia, 2014

### Análisis granulométrico del vidrio reciclado

Fotografía N° 15: Malla 1 ½”



Fuente: Elaboración propia, 2014

Fotografía N° 16: Malla 1”



Fuente: Elaboración propia, 2014

**Fotografía N° 17: Malla 3/4"**



Fuente: Elaboración propia, 2014

**Fotografía N° 18: Malla 1/2"**



Fuente: Elaboración propia, 2014

**Fotografía N° 19: Malla 3/8"**



Fuente: Elaboración propia, 2014

**Fotografía N° 20: Malla N° 04**



Fuente: Elaboración propia, 2014

**Fotografía N° 21: Cazoleta**



Fuente: Elaboración propia, 2014

**Contenido de humedad del agregado grueso:**

**Fotografía N° 22: Peso de muestra**



Fuente: Elaboración propia, 2014

**Fotografía N° 23: Muestras de agregado grueso**



Fuente: Elaboración propia, 2014

### Contenido de humedad agregado fino:

Fotografía N° 24: Peso de muestra



Fuente: Elaboración propia, 2014

Fotografía N° 25: Muestras de agregado fino



Fuente: Elaboración propia, 2014

### Peso unitario del agregado grueso

Fotografía N° 26: Probeta de peso unitario



Fuente: Elaboración propia, 2014

Fotografía N° 27: Peso de muestra suelta



Fuente: Elaboración propia, 2014

Fotografía N° 28: Peso de muestra compactada



Fuente: Elaboración propia, 2014

### Peso unitario del agregado fino

Fotografía N° 29: Peso de muestra suelta



Fuente: Elaboración propia, 2014

Fotografía N° 30: Peso de muestra compactada



Fuente: Elaboración propia, 2014

### Peso específico del agregado grueso

Fotografía N° 31: Peso de muestra en el aire



Fuente: Elaboración propia 2014

Fotografía N° 32: Peso de muestra sumergida



Fuente: Elaboración propia, 2014

### Peso específico del agregado fino

Fotografía N° 33: Material en la malla N°04



Fuente: Elaboración propia, 2014

Fotografía N° 34: Ensayo previo



Fuente: Elaboración propia, 2014

Fotografía N° 35: Peso fiola



Fuente: Elaboración propia, 2014

Fotografía N° 36: Peso muestra + tara



Fuente: Elaboración propia, 2014

Fotografía N° 37: Peso fiola + agua



Fuente: Elaboración propia, 2014

Fotografía N° 38: Peso fiola + agua + muestra



Fuente: Elaboración propia, 2014

## Absorción en agregado grueso

Fotografía N° 39: Muestra en el horno



Fuente: Elaboración propia, 2014

## Elaboración de los adoquines

### Dosificación

Fotografía N° 40: Tamizado de los agregados



Fuente: Elaboración propia, 2014

Fotografía N° 41: Revisión del molde



Fuente: Elaboración propia, 2014

Fotografía N° 42: Materiales y equipo utilizado en la mezcla



Fuente: Elaboración propia, 2014

### Mezclado

Fotografía N° 43: Materiales en la mezcladora.



Fuente: Elaboración propia, 2014

Fotografía N° 44: Mezclado de materiales



Fuente: Elaboración propia, 2014

## Moldeado

Fotografía N° 45: Colocación de mezcla



Fuente: Elaboración propia, 2014

Fotografía N° 46: Compactación de la mezcla



Fuente: Elaboración propia, 2014

Fotografía N° 47: Mezcla en el molde antes de vibrar



Fuente: Elaboración propia, 2014

Fotografía N° 48: Acomodando el material en el molde



Fuente: Elaboración propia, 2014

Fotografía N° 49: Muestra ya vibrada



Fuente: Elaboración propia, 2014

### Fraguado

Fotografía N° 50: Muestras con TMN  $\frac{3}{4}$ ”



Fuente: Elaboración propia, 2014

Fotografía N° 51: Muestras con TMN  $\frac{3}{4}$ ”



Fuente: Elaboración propia, 2014

Fotografía N° 52: Muestras del 5% y 10 % de  
vidrio reciclado



Fuente: Elaboración propia, 2014

Fotografía N° 53: Muestras de 15%, 25% y  
50 % de vidrio reciclado



Fuente: Elaboración propia, 2014

### Curado

Fotografía N° 54 y 55: Muestras en poza de curado.



Fuente: Elaboración propia, 2014



Fuente: Elaboración propia, 2014

## Ensayos

### Aspectos visuales

Fotografía N°56: Pesando muestra



Fuente: elaboración propia, 2014

Fotografía N° 57: Midiendo dimensiones



Fuente: elaboración propia, 2014

### Absorción

Fotografía N° 58: Colocando muestra en poza



Fuente: elaboración propia, 2014

## Resistencia a la compresión

Fotografía N° 59: Anotación de deformaciones



Fuente: elaboración propia, 2014

Fotografía N° 60: Muestra ensayada sin vidrio



Fuente: elaboración propia, 2014

Fotografía N° 61: Muestra ensayada con vidrio



Fuente: elaboración propia, 2014

Fotografía N° 62: Fallas en muestra sin vidrio



Fuente: elaboración propia, 2014

Fotografía N° 63: Fallas en muestra con vidrio



Fuente: elaboración propia, 2014