



**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**

**TESIS:**

**UTILIZACION DE CONCRETO RECICLADO COMO AGREGADO  
GRUESO EN PAVIMENTOS RIGIDOS EN LA CIUDAD DE CUSCO**

**PRESENTADO POR:**

**MIRKO CESAR BEJAR GUIZADO**  
Bachiller en Ingeniería Civil

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL.**

**ASESOR TECNICO:**

**GORKI FEDERICO ASCUE SALAS**  
Ingeniero Civil – Magister en Evaluación de Recursos Hídricos

**ASESOR METODOLÓGICO:**

**FERNANDO DIAZ ANCCO**  
Magister en Educación

**CUSCO-PERU**

2018

## DEDICATORIA

Principalmente a Dios por darme salud, y la oportunidad de haber llegado a esta meta que me trace desde el inicio de mi formación profesional.

A mis padres; mi madre Norma Guizado Quispe, mi padre Walter Bejar Mejia y mis dos hermanos por todo el apoyo y todas las herramientas básicas que me brindaron para culminar todas las metas que me trace en mi vida.

A los docentes de la universidad Alas Peruanas, por haberme brindado sus conocimientos y por guiarme a lo largo de toda mi trayectoria universitaria.

El Autor

## AGRADECIMIENTO

Agradecer a mi asesor técnico, Mgt. Ing. Civil Gorki Federico Ascue Salas, por su tiempo, compromiso y buena actitud para absolver mis dudas y consultas a lo largo de mi investigación.

Agradezco al laboratorio Geo Test y el personal, por haberme puesto a disposición sus instalaciones los cuales contribuyeron con la finalización del presente estudio.

A mis dictaminantes el ing. Ambrosio Mamani cutipa y el ing. Walter Giovanni Meza Vera, por el apoyo brindado en todo en este trabajo y su tiempo compartido.

Gracias a los profesores de la Universidad Alas Peruanas de la escuela profesional de Ingeniería Civil, al coordinador de la escuela por su paciencia a nuestro ímpetu, así mismo a todas aquellas personas que de una manera contribuyeron para que mis metas trazadas se hayan concluido.

El Autor

## RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo determinar la factibilidad del uso del concreto reciclado (escombros de pavimentaciones rígidas y testigos de laboratorio) como agregado grueso para pavimentos rígidos (resistencia a la compresión) en la ciudad de cusco.

En la investigación se realizó la recolección de concreto reciclado proveniente de pavimentos rígidos y escombros de testigos de laboratorio así mismo se realizó un diseño de mezcla  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  con agregado grueso de  $\frac{3}{4}$ " proveniente de la trituración del concreto reciclado de pavimentos rígidos y el agregado fino de la cantera de Córdova (Huambutio), se verifico la resistencia a la compresión del concreto con agregado grueso reciclado de pavimentos rígidos presentando una diferencia porcentual de 8.99% respecto al diseño de mezcla, del concreto con agregado grueso reciclado de testigos de laboratorio presentando una diferencia porcentual de 3.27% respecto al diseño de mezcla, del concreto con agregado natural de la cantera de Huambutio presentando una diferencia porcentual de 23.53% respecto al diseño de mezcla.

Se llega a la conclusion que el uso del concreto con agregado grueso reciclado para pavimentos rígidos en la ciudad del cusco es factible, sin embargo el uso de agregado reciclado tiende a necesitar mayor cantidad de cemento. Así mismo las propiedades físico mecánicas del agregado grueso reciclado son aptas para la elaboración de concretos, cumpliendo con la resistencia a la compresión del concreto  $f'c=210\text{kg/cm}^2$  para pavimentos rígidos.

## ABSTRACT

The research aimed to determine the feasibility of the use of recycled concrete (rubble of rigid paving and laboratory witnesses) as a coarse aggregate for rigid pavements (compressive strength) in the city of cusco.

In the investigation was carried out the collection of recycled concrete from rigid pavements and rubble of laboratory witnesses also a design of mixture  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> with aggregate thickness of  $\frac{3}{4}$ " from the crushing of the concrete was made. Recycled of rigid pavements and the fine aggregate of the quarry of huambutio Córdova, we verify the compressive strength of concrete with thick recycled aggregate of rigid pavements presenting a percentage difference of 8.99% with respect to the mixing design, of the concrete with recycled coarse aggregate of laboratory witnesses presenting a percentage difference of 3.27% compared to the mixing design, of the concrete with natural aggregate of the quarry of Huambutio presenting a percentage difference of 23.53% compared to the mix design.

It comes to the conclusión that the use of concrete with recycled thick aggregate for rigid pavements in the city of cusco is feasible, however the use of recycled aggregate tends to need more cement. Likewise the physical mechanical properties of the corarse recycled aggregate are suitable for the elaboration of concretes, complying with the resistance to the compression of the concrete  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> for rigid pavements.

**INDICE DE TESIS  
TABLA DE CONTENIDO**

<b>AGRADECIMIENTO</b>	<b>II</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>III</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>IV</b>
<b>INDICE DE TESIS</b>	<b>V</b>
<b>INDICE DE TABLAS</b>	<b>VIII</b>
<b>INDICE DE GRAFICOS</b>	<b>X</b>
<b>INDICE DEL PANEL FOTOGRAFICO</b>	<b>XI</b>
<b>INDICE DE LABORATORIO</b>	<b>XIII</b>
<b>INTRODUCCION</b>	<b>XIV</b>
<b>CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	<b>15</b>
1.1. DESCRIPCION DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA	15
1.2. FORMULACION DEL PROBLEMA DE INVESTIGACION	18
1.2.1. problema general	18
1.2.2. problema específico	18
1.3. OBJETIVOS DE INVESTIGACION	19
1.3.1. objetivo general	19
1.3.2. objetivo específico	19
1.4. JUSTIFICACION DE INVESTIGACION	19
1.4.1. Justificación	19
1.5. LIMITACION DE LA INVESTIGACION	20
1.5.1. espacial	20
1.5.2. temporal	20
1.5.3. cuantitativa	20
<b>CAPITULO II: MARCO TEORICO</b>	<b>21</b>
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	21
2.2. BASES TEORICAS	24
2.3. MARCO CONCEPTUAL	26
2.3.1. Concreto	26
2.3.2. Propiedades del concreto	32
2.3.3. Clasificación del concreto	34
2.3.4. Factores que afectan el comportamiento compuesto del concreto	35

2.3.5.Características y requisitos de los componentes del concreto hidráulico.	36
2.3.5.1.Cemento portland:	36
2.3.5.2.Agregados:	40
2.3.5.3.Agua	60
2.3.5.4.Aditivos	63
2.3.5.5.Reciclado de materiales de construcción	64
2.3.5.6.El concreto Reciclado	69
2.3.5.7.Industria de concreto reciclado	69
2.3.5.8.Concreto reciclado en la ingeniería	70
2.3.6. Agregado Grueso Reciclado	73
2.3.6.1. Producción del agregado grueso reciclado.	73
2.3.6.2. Reciclado del Agregado grueso	74
2.4. HIPOTESIS DE LA INVESTIGACION	76
2.4.1.Hipótesis general	76
2.4.2.Hipótesis Específicas	76
2.5. VARIABLES	76
2.5.1.Variable independiente	76
2.5.2.Variable dependiente	76
2.5.3.Operacionalización De Variables	77
<b>CAPITULO III: METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION</b>	<b>78</b>
3.1. TIPO DE INVESTIGACION	78
3.2. NIVEL DE INVESTIGACION	78
3.3. METODO DE LA INVESTIGACION	79
3.4. POBLACION Y MUESTRA DE LA INVESTIGACION	79
3.4.1.Población	79
3.4.2.Muestra De Estudio	79
3.4.3.Muestra De Estudio	79
3.5. TECNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS	79
3.5.1.Técnicas	79
3.5.2.Instrumentos.	80
3.6. PLAN DE RECOLECCION Y PROCESAMIENTO DE DATOS	80
3.6.1.Diseño teórico de mezcla	80
3.6.2.Diseño de Mezcla – Método ACI 211	81

3.6.2.Obtención del agregado grueso reciclado	94
3.6.3.Concreto Convencional	95
<b>CAPITULO IV: RESULTADOS</b>	96
4.1.RESULTADO DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO $F'C=210\text{KG}/\text{CM}^2$	96
4.2.RESULTADOS DEL PORCENTAJE DE RESISTENCIA ALCANZADA DURANTE EL TIEMPO DE CURADO.	102
4.3.RESUMEN DEL PROMEDIO DE LA RESISTENCIA OBTENIDAS EN CADA CASO	107
<b>CAPITULO V: DISCUSIÓN</b>	109
<b>CONCLUSIONES</b>	111
<b>RECOMENDACIONES</b>	116
<b>REFERENCIA BIBLIOGRAFICA</b>	117
<b>ANEXO</b>	120
<b>MATRIZ DE CONSISTENCIA</b>	121
<b>LABORATORIO</b>	122
<b>PANEL FOTOGRÁFICO</b>	134

**INDICE DE TABLAS**

Tabla 1 Normas de uso frecuente en concreto hidráulico	26
Tabla 2 Consistencia / Asentamiento	33
Tabla 3 Compuestos Principales del Cemento	37
Tabla 4 Tipos de Cemento de Acuerdo a ASTM C150	39
Tabla 5 Granulometría Del Agregado Grueso Para Concreto Estructural	42
Tabla 6 Requisitos Del Agregado Grueso Para Pavimentos De Concreto Hidráulico	43
Tabla 7 Resistencia Mecánica Del Agregado Grueso	45
Tabla 8 Tabla De Sustancia Dañinas	45
Tabla 9 Perdida Por Ataque De Sulfatos	46
Tabla 10 COMPOSICION GRANULOMETRICA DE LA GRAVA	46
Tabla 11 Requisitos Adicionales De La Grava	47
Tabla 12 Composición Granulométrica De La Arena	47
Tabla 13 Requisitos Adicionales De Arena	47
Tabla 14 Granulometría para el agregado fino para pavimento Hidráulico	48
Tabla 15 Requisitos Del Agregado fino Para Pavimentos De Concreto Hidráulico	48
Tabla 16 Requisitos de la calidad del agua	61
Tabla 17 Requisitos de performance del concreto para el agua de mezcla	62
Tabla 18 Información requerida para el diseño de mezcla	82
Tabla 19 Factor de incremento	83
Tabla 20 Factor de incremento caso 3	84
Tabla 21 Asentamiento recomendados para diversos tipos de estructuras	85
Tabla 22 Asentamiento recomendados para diversos tipos de estructuras	86
Tabla 23 Volumen por m <sup>3</sup> de Agua	87
Tabla 24 Relación a/c por resistencia	87
Tabla 25 Peso del agregado por unidad de volumen del concreto	88
Tabla 26 Resistencias promedio a la Compresión y desviación estándar del concreto con agregado grueso reciclado de pavimentaciones rígidas en deterioro a las distintas edades	96

Tabla 27 Resistencias promedio a la Compresión y desviación estándar del concreto con agregado grueso reciclado con escombros de testigos de laboratorio a las distintas edades	99
Tabla 28 Resistencias promedio a la Compresión y desviación estándar del concreto patrón con agregado de la cantera de Córdova - Huambutio a las distintas edades	101
Tabla 29 Porcentaje de la resistencia a la compresión del concreto con agregado grueso reciclado de pavimentaciones rígidas en deterioro.	103
Tabla 30 Porcentaje de la resistencia del concreto con agregado grueso reciclado con escombros de testigos de laboratorio.	104
Tabla 31 Porcentaje de la resistencia del concreto patrón con agregado de la cantera de Córdova - Huambutio	106
Tabla 32 Promedio de la resistencia a compresión de las diferentes mezclas realizadas	107

**INDICE DE GRAFICOS**

Grafico 1 Curva de resistencia a la compresión del concreto con agregado grueso reciclado de pavimentaciones rígidas en deterioro	97
Grafico 2 Coeficiente de correlación a la resistencia del concreto $f'c= 210\text{kg/cm}^2$ con agregado grueso reciclado de pavimentaciones rígidas en deterioro.	98
Grafico 3 Curva de resistencia a la compresión del concreto con agregado grueso reciclado con escombros de testigos de laboratorio	99
Grafico 4 Coeficiente de correlación a la resistencia del concreto $f'c= 210\text{kg/cm}^2$ con agregado grueso reciclado con escombros de testigos de laboratorio.	100
Grafico 5 Curva de resistencia a la compresión del concreto patrón con agregado de la cantera de Córdoba - huambutio	101
Grafico 6 Coeficiente de correlación a la resistencia del concreto patrón con agregado de la cantera de Córdoba - Huambutio a las distintas edades	102
Grafico 7 Porcentaje de la resistencia a la compresión del concreto con agregado grueso reciclado de pavimentaciones rígidas en deterioro	103
Grafico 8 Porcentaje de la resistencia del concreto con agregado grueso reciclado con escombros de testigos de laboratorio.	105
Grafico 9 Porcentaje de rotura con agregado grueso de 3/4" de la cantera de Huambutio Córdoba	106
Grafico 10 Promedio de la resistencia a compresión de las diferentes mezclas realizadas	107

## INDICE DEL PANEL FOTOGRAFICO

Foto 1 Concreto reciclado de pavimento rígido en deterioro ubicado en la urb. Progreso con la urb. Ttio norte del distrito de wanchaq (punto 01)	142
Foto 2 Concreto reciclado de pavimento rígido en deterioro ubicado en la urb. Progreso con la urb. Ttio norte del distrito de wanchaq (punto 02)	142
Foto 3 Recolección de escombros de testigos de concreto del laboratorio Geo Test	143
Foto 4 Triturado de agregado reciclado de pavimento rígido y escombros de testigos de concreto	143
Foto 5 Granulometría del agregado grueso de 3/4" reciclado de pavimentos rígidos y escombros de testigos de concreto	144
Foto 6 Ensayo de abrasión de los ángeles del agregado grueso reciclado	144
Foto 7 Materiales para la elaboración del concreto $f'c=210$ kg/cm <sup>2</sup> con agregado grueso reciclado de pavimento rígido	145
Foto 8 Tara de agregado grueso de 3/4" reciclado de pavimento rígido	145
Foto 9 Tara de arena gruesa de huambutio cordova	146
Foto 10 Tara de agua	146
Foto 11 Incorporación del agregado grueso reciclado de pavimento rígido	147
Foto 12 Mezcla de componentes	147
Foto 13 Slump de 3 cm; Obtenido en todas la mezclas	148
Foto 14 Moldes de 10 x 20 cm con agregado grueso de 3/4" reciclado de pavimento rígido	148
Foto 15 Materiales para el Vaciado de Concreto $F'C=210$ kg/cm <sup>2</sup> con agregado Grueso de 3/4" reciclado de escombros de testigos de concreto	149
Foto 16 Tara de Agregado Grueso Reciclado de Testigos de Concreto	149
Foto 17 Tara de arena gruesa de humbutio cordova	150
Foto 18 Tara de agua	150
Foto 19 Incorporación del agregado grueso de 3/4" reciclado de escombros de testigos de concreto	151
Foto 20 Mezcla de componentes	151
Foto 21 Slump de 3"; Obtenido en todas la mezclas	152

Foto 22 Moldes de 10 x 20 cm con agregado grueso de 3/4" reciclado con escombros de testigos de concreto	152
Foto 23 Curado de testigos de concreto	153
Foto 24 Rotura de testigos de concreto	153
Foto 25 Rotura de testigos de concreto	154

**INDICE DE LABORATORIO**

Laboratorio 1	Peso específico del agregado grueso reciclado	122
Laboratorio 2	Peso unitario suelto y compactado del agregado grueso reciclado	124
Laboratorio 3	Porcentaje de humedad en el agregado grueso reciclado	126
Laboratorio 4	Porcentaje absorción del agregado grueso reciclado	127
Laboratorio 5	Porcentaje de Abrasión de los Ángeles en el agregado grueso reciclado	128
Laboratorio 6	Granulometría del agregado fino	130
Laboratorio 7	Granulometría del agregado Grueso reciclado	132
Laboratorio 8	Peso específico del agregado grueso cantera Cordova - Huambutio	134
Laboratorio 9	Peso unitario suelto y compactado del agregado grueso cantera de Cordova - Huambutio	136
Laboratorio 10	Porcentaje de humedad en el agregado grueso cantera Cordova - Huambutio	138
Laboratorio 11	Porcentaje de Absorción del agregado grueso cantera Cordova - Huambutio	139
Laboratorio 12	Porcentaje de Abrasión de los Ángeles en el agregado grueso cantera Cordova - Huambutio	140

## INTRODUCCION

Hoy en día la idea de ecología y medio ambiente están alcanzando mayor importancia a nivel Mundial, esto afecta a la industria de la construcción porque el tipo de actividades que involucran a la industria de la construcción pueden tener consecuencias perjudiciales e irreversibles sobre el medio ambiente, teniendo en cuenta de que cada día son más escasos los recursos naturales primarios a extraer. (Cruz, 2004)

Obtenido de las actividades de demolición de estructuras de concreto a renovarse, así como también carpetas de rodadura en pavimentos de concreto rígido y, además, métodos de laboratorio donde se ensayan la rotura de testigos de concreto, se tienen desechos de este material que no es posible verterlos o disponerlos adecuadamente. Los materiales reciclados son normalmente competitivos donde existen problemas para obtener materias primas y lugares de acopio adecuado, la propuesta de un nuevo concreto basado en la sustitución de recursos no renovables por materias primas provenientes del reciclado de escombros es apta, la exigencia de una mejora en la protección del medio ambiente y la preservación, se realice el control de estos residuos por medio de una gestión adecuada, y es posible, minimizar las cantidades de los residuos desechados y que puedan ser reciclados y posteriormente reutilizados. (Cruz, 2004)

Para reutilizar los desechos en elementos nuevos de concreto es imprescindible caracterizar los mismos, analizando muestras obtenidas con resistencias conocidas para después elaborar mezclas para comprender sus características físicas y propiedades mecánicas. (Marroquin, 2012)

El presente proyecto está conformado por él; planteamiento de estudio, marco teórico, hipótesis y variables, metodología de la investigación, resultados y discusión.

## **CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1. DESCRIPCION DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA**

La Tierra ha sido testigo de un continuo crecimiento de su población a través de la historia de la humanidad. De la mano de este crecimiento, se han venido desarrollando actividades fructíferas, las que han permitido mantener este crecimiento. El costo de esta realidad se ha visto en una explotación interrumpida y creciente de los recursos del planeta, sean estos renovables o no (Aguilar, 2005).

Esta situación poco ha significado en el pasado, pero hoy en día las opiniones al respecto han ido cambiado. La gran demanda de recursos básicos ha ocasionado una gran carencia de materias primas, originando una gran inquietud. A lo anterior, se acoge la nueva motivación de la que el mundo ha sido protagonista para proteger y preservar el medio ambiente de un cercano desequilibrio ecológico (Aguilar, 2005).

Cada vez tenemos más recato de la necesidad de ahorrar energía y cuidar el planeta. La construcción de rutas y caminos insume profuso transporte, funcionamiento de maquinarias pesadas, traslado de grandes volúmenes de materiales y personas, esto hace indispensable estudiar diferentes posibilidades para disminuir los costos energéticos y el impacto ambiental. En obras viales, el costo de utilización de nuevos materiales resulta superior en relación a la reutilización de los provenientes de demolición de pavimentos existentes (RCD) y de residuos de procesos industriales (RP), se torna fundamental ante la necesidad mundial de sustentabilidad. Esto reduce el costo del transporte y un ahorro considerable de energía no renovable, ya que un 90% se realiza en camiones. La reparación de carreteras de hormigón y los

procesos industriales de generación de áridos producen una importante cantidad de RCD y RP que actualmente son desechados sin destino cierto. Con un apropiado manejo del residuo se daría la posibilidad de incorporarlo en nuevas obras (Pintos, 2013).

El medio ambiente en las últimas décadas se ha visto perjudicado y afectado negativamente por las acciones del hombre como consecuencia de lograr un crecimiento económico. Una actividad que ayuda a lograr ese crecimiento es propiamente la industria de la construcción, la cual afecta de forma directa al medio ambiente por generar grandes cantidades de residuos de la construcción (Pintos, 2013).

El reciclaje de cemento es un método cada vez más común para reutilizar los escombros productos de la demolición o acondicionamiento de estructuras hechas de este material. El cemento era transportado hasta vertederos para ser desechado, pero el reciclaje tiene un número de beneficios que ha hecho una opción más atractiva en esta época de conciencia medioambiental, leyes medioambientales, y el deseo de mantener los costes de las construcciones lo más bajos posibles (Gorigori, 2013).

Las empresas dedicadas al reciclaje de materiales para la construcción se basa en recibir productos como tabiques, ladrillos, concretos, cerámicos, arcillas, blocks, adocretos y mamposterías, y los transforma en materiales para carpeta asfáltica en frío, tabicón y grava controlada. El tipo de material que contiene diferentes elementos como cerámica, ladrillo o mampostería se pueden usar como base en la construcción, mientras que el material reciclado que se obtiene de la demolición de concreto sirve para capas de base hidráulica. El material reciclado se puede utilizar en cualquier construcción residencial, aunque en edificios todavía no hay suficientes estudios para determinar si se pueden aplicar o no. Las ventajas del material reciclado respecto a los nuevos son muchas (Andrade, 2012).

Un desecho reciclado colabora que no ocasione la contaminación y basura en el medio ambiente, son 50 % más baratos que uno normal e incluso en algunos

casos de mejor calidad, pues tienen componente de cemento que al triturarse se reactiva, y la construcción con este tipo de productos es de más calidad. Según la Secretaría del Medio Ambiente, el empleo de reciclados ayudara a disminuir el derroche de materiales de materia prima en las edificaciones de vivienda y a preservar áreas naturales y comunes, que en algunos casos lo utilizan como acopio de los escombros de concreto (Andrade, 2012).

Así mismo, los desechos también generan ahorros en los acarreos, pues cada vez se traen materiales vírgenes de canteras más lejanas. Por ejemplo, mientras un camión de arena de mina cuesta arriba de 800 pesos mexicanos, en el caso del reciclado el costo no supera los 400 pesos, aun llevándolo al lugar más lejano de la zona metropolitana del Distrito Federal (Andrade, 2012).

En el reciclado se puede dar un círculo virtuoso, cuando se decide desechar alguna construcción se puede encargar a los fleteros que lleven el desecho a la planta y a cambio pueden comprar un producto reciclado en materiales de construcción para volver a edificar (Andrade, 2012).

El problema radica en el desconocimiento del comportamiento físico-mecánico que posee los agregados gruesos producto de la demolición de estructuras de hormigón para ser parte en la fabricación de concreto simple. El conocimiento que existe sobre este tema surgió a raíz de las investigaciones desarrolladas en países europeos, que al sobrevivir a la destrucción de sus ciudades tras la segunda guerra mundial, observaron que el material residuo de construcción era un sustituto aceptable para la reedificación de sus ciudades (Ingeominas, 2009).

Otras investigaciones son llevadas a cabo por instituciones mexicanas, las cuales poseen plantas para el reciclaje de estos materiales y su uso posterior como material de sub-base granular o para mejoramiento de la sub-rasante en la construcción de vías terrestres. Existen también investigaciones aisladas en Brasil, pero en general en América latina, nuestro conocimiento de este material es muy escaso, razón por la cual nuestros profesionales en la

construcción no tienen en cuenta esta alternativa para sus proyectos (Ingeominas, 2009).

Durante la realización de una obra civil es habitual que se deba derribar una construcción existente, lo que origina una cantidad importante de residuos en forma de sobrantes y de diversos restos; siendo este uno de los problemas medio ambientales más importantes, el cual provoca la degradación del paisaje cuando se vierten de manera incontrolada (Ingeominas, 2009).

Es por eso que hoy, la exigencia de una mejora en la protección del medio ambiente y la preservación de la naturaleza y del paisaje motivan a que, en el ámbito de la construcción, se controlen estos residuos por medio de una gestión adecuada, minimizando las cantidades de los residuos desechados y haciendo que estos puedan ser reciclados, y en el mejor de los casos, reutilizados. Es por ello que se hace urgente el conocimiento y la comprensión del comportamiento mecánico de los escombros de construcción como el concreto, con el objetivo de poder reutilizarlos, creando obras civiles cómodas, seguras y económicas, y subsanar el problema de la disposición final de escombros (Ingeominas, 2009).

En la actualidad no se tiene demostrado el uso del concreto reciclado como agregado grueso en pavimentos rígidos en la ciudad del Cusco.

## **1.2. FORMULACION DEL PROBLEMA DE INVESTIGACION**

### **1.2.1. Problema General**

- ¿De qué manera es factible el uso de concreto reciclado (escombros de pavimentaciones rígidas, testigos de laboratorio) como agregado grueso para pavimentos rígidos (resistencia a la compresión) en la Ciudad Del Cusco?

### **1.2.2. Problema Específico**

- ¿En qué porcentaje el agregado grueso reciclado mantiene las propiedades físico-mecánicas del agregado natural?

- ¿Cuánto disminuye la resistencia a la compresión del concreto con agregado grueso reciclado en comparación con el agregado natural?

### **1.3. OBJETIVOS DE INVESTIGACION**

#### **1.3.1. Objetivo General**

Determinar la factibilidad del uso de concreto reciclado (escombros de pavimentaciones rígidas y testigos de laboratorio) como agregado grueso para pavimentos rígidos (resistencia a la compresión) en la Ciudad Del Cusco.

#### **1.3.2. Objetivo Especifico**

- Determinar en qué porcentaje el agregado grueso reciclado mantiene las propiedades físico – mecánicas del agregado natural para elaboración de concretos.
- Determinar cuánto disminuye la resistencia a la compresión del concreto con agregado grueso reciclado en comparación con el agregado natural.

### **1.4. JUSTIFICACION DE INVESTIGACION**

#### **1.4.1. Justificación**

El trabajo de investigación a realizarse se justifica en la necesidad de reutilizar el concreto reciclado proveniente de escombros de pavimentaciones rígidas antiguas en desuso y testigos de laboratorio (concreto reciclado) para reemplazar el agregado grueso y poder ser utilizado en un concreto  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  en pavimentos rígidos en la Ciudad Del Cusco.

El trabajo de investigación realizado servirá como un estudio base que pueda ayudar para profundizar el estudio de la incorporación de agregado grueso reciclado a pavimentos rígidos en la ciudad del cusco. Así mismo se podrá determinar en qué porcentaje el agregado grueso reciclado mantiene las propiedades físico-mecánicas del agregado natural.

Actualmente en el campo de la construcción se producen volúmenes de concreto considerables, lo cual hace que se entre en un proceso de mejoras en la tecnología de los materiales de construcción como el concreto. Es por ello que los trabajos de investigación actuales relacionados a la aplicación del concreto adicionando materiales de construcción reciclados toman una importancia en la determinación del desarrollo tecnológico en el rubro de la construcción.

## **1.5. LIMITACION DE LA INVESTIGACION**

### **1.5.1. Espacial**

El desarrollo de la investigación se llevó a cabo en la ciudad del Cusco, Provincia y Departamento de Cusco. Los agregados utilizados fueron de las canteras de Huambutio de la provincia de Paucartambo. Al mismo tiempo se trabajó con el concreto reciclado como agregado grueso de:

- **Pavimento rígido en deterioro** de la calle Perú que se encuentra entre la Urb. Progreso y la Urb. Ttio norte, Distrito de Wanchaq del departamento de cusco, de la obra denominada “Mejoramiento y ampliación del servicio de transitabilidad vehicular y peatonal de la calle Perú del distrito de wanchaq, cusco –cusco”,
- **Testigos de concreto (briquetas)** recolectadas del laboratorio Geotest ubicado en la Urb. Quispicanchis Av. Brasil C-4 en la ciudad del cusco.

### **1.5.2. Temporal**

El trabajo de investigación tuvo una duración de 13 meses, en un periodo comprendido entre Marzo 2017 a Abril del 2018.

### **1.5.3. Cuantitativa**

Para el trabajo de investigación se realizaron un número total de 36 testigos de concreto (briquetas).

## CAPITULO II: MARCO TEORICO

### 2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

AUTOR	AÑO	TITULO	CONCLUSION
Cruz	2004	<b>“CONCRETO RECICLADO”</b>	El concreto de agregado reciclado tiene menos resistencia que el concreto de agregado natural de la misma composición; sin embargo esta puede manipular (por ejemplo, mediante el aumento de contenido de cemento) para producir concreto de agregado reciclado de la misma resistencia que el concreto agregado natural.
García	2009	<b>“CARACTERISTICAS MECANICAS DE CONCRETOS RECICLADOS FABRICADOS CON DESECHOS SOLIDOS DE CONSTRUCCION”</b>	Finalmente, se puede decir que debido al comportamiento equivalente en todas las pruebas tanto en forma de agregado, como en concreto en estado fresco y endurecido, es factible la utilización de agregados gruesos reciclados (pavimentos) en la elaboración de nuevos concretos.

Marroquín	2012	<b>“RECICLAJE DE DESECHOS DE CONCRETO Y VERIFICACION DE CARACTERISTICAS FISICAS Y PROPIEDADES MECANICAS”</b>	Indica que, El agregado grueso reciclado cumple con las especificaciones físicas y mecánicas, sin embargo, posee un alto desgaste a sulfatos, el cual es de 55,70 por ciento mientras que la especificación de la norma es del 12 por ciento como máximo.
Bedoya	2003	<b>“EL CONCRETO RECICLADO CON ESCOMBROS COMO GENERADOR DE HABITATS URBANOS SOSTENIBLES”</b>	El análisis de las características técnicas y económicas del concreto reciclado arroja un panorama alentador. Sus capacidades físicas y mecánicas permiten pensar en la utilización de este material reciclado en la construcción de edificios; en primer lugar como materia prima para elementos que no revistan un alto compromiso estructural, para luego, después de un riguroso estudio en cuanto estabilidad química y física en el tiempo, pasar a ser parte de la estructura de edificios. Además, su costo, un 7% menos comparado con un concreto natural, es un punto de partida positivo si se tiene en cuenta que al industrializar estos procesos de reciclado y masificar su producción el costo del producto terminado disminuye

Arriaga	2013	<b>"UTILIZACION DE AGREGADO GRUESO DE CONCRETO RECICLADO EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE CONCRETO REFORZADO"</b>	<p>De manera general, se comprobó que para una sustitución del 20% del agregado grueso por agregado de concreto reciclado se obtienen comportamientos satisfactorios desde el punto de vista de resistencia mecánica y las diferencias entre el concreto convencional y el concreto con agregado de concreto reciclado no son significativas, permitiendo su utilización en diversos tipos de elementos estructurales sin acarrear consecuencias negativas en contra de la seguridad.</p>
Jordán	2014	<b>"ESTUDIO DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO, UTILIZANDO COMO AGREGADO EL CONCRETO RECICLADO"</b>	<p>Las propiedades físicas del agregado de concreto reciclado; como el peso específico, absorción y los pesos unitarios, dependerán del origen del concreto reciclado.</p>

## 2.2. BASES TEORICAS

Según (Abanto, 1998), define que el concreto es un material moldeable a temperaturas ambiente, lo que permite su adecuación a distintas formas. Presenta elevada resistencia a la compresión y gran capacidad de adherencia a la tracción. Tiene un comportamiento elástico y plástico que puede ser aprovechado en situaciones especiales. Es incombustible, económico, sus insumos son nacionales y requiere de mano de obra especializada.

Para (Gutierrez, 2003), los agregados constituyen un factor determinante en la economía, durabilidad y estabilidad en las obras civiles, pues ocupan allí un volumen muy importante. Por ejemplo el volumen de los agregados en el concreto hidráulico es de un 65% a 85%, en el concreto asfáltico es del 92% al 96%, en los pavimentos del 75% al 90%.

Asimismo (Menendez, 2013), en el capítulo 5 de su libro sostiene que, el concreto de cemento portland (PCC) puede ser definido como la mezcla de un aglomerante (cemento, agua y aire) y agregados. Por lo general, otros aditivos complementarios de cemento y químicos se añaden a la mezcla. La combinación de agua y cemento se conoce como pasta, mientras que la combinación de pasta y agregados finos se conoce como mortero.

(Menendez, 2013), en su libro, "INGENIERIA DE PAVIMENTOS MATERIALES, DISEÑOS Y CONSERVACION", en el capítulo 3 Materiales granulares y agregados, indica que, los agregados se refieren al material derivado de rocas naturales, o son el producto de fabricación de otros materiales (por ejemplo, la fabricación de acero genera escoria como un subproducto que se ha utilizado como un agregado). Los agregados son un ingrediente importante de los materiales utilizados en la construcción de las carreteras. Ellos constituyen el 70% a 85% en peso de concreto hidráulico (PCC) y de mezcla de asfalto caliente (HMA), por volumen, las proporciones correspondientes son de 60% a 75% en el caso del PCC y el 75% a 85% para HMA, respectivamente. Las propiedades físicas, mecánicas y químicas de los agregados desempeñan un papel importante en el rendimiento de ambos

pavimentos rígidos y flexibles. Este capítulo trata sobre las diferentes clasificaciones de los agregados, las propiedades globales, y la influencia de estas propiedades en el desempeño de los pavimentos.

El estándar ASTM D8, define el agregado como un material granular compuesto por minerales tales como arena, grava, conchas, escorias o piedra triturada, usado con algún cementante como medio para formar morteros u hormigón o aplicado solo en bases, balastos de ferrocarril, etc. Los agregados se pueden dividir en tres categorías principales – naturales, procesados y sintéticos (artificiales). Los agregados naturales son extraídos de ríos o depósitos glaciales. La grava y la arena son ejemplos de áridos glaciales. La grava y la arena son ejemplos de áridos naturales. La grava se define normalmente como agregados que pasan la malla 3 pulgadas (75mm) tamiz y son retenidos en el N° 4 (4,75mm). La arena por lo general pasa el 100% por el tamiz N°4.

Los agregados minerales representan el 90% y el 95% de una mezcla de HMA, en peso, o aproximadamente 75% a 85% en volumen. Sus características físicas son responsables de proporcionar una estructura global fuerte para resistir la deformación debido a repetidas aplicaciones de carga.

La composición mineralógica y química de agregado son importantes en la evaluación de características como la dureza, la solidez (durabilidad), la forma y el potencial de extracción.

Los materiales procesados son grava o piedras que han sido triturados, y de ser el caso lavados. Los materiales procesados tienden a ser más angulados y de mejor clasificación. Los agregados sintéticos son fabricados se utilizan para mejorar la resistencia al deslizamiento de la mezcla HMA tales como escoria de altos hornos, arcilla expandida ligera.

## 2.3. MARCO CONCEPTUAL

### 2.3.1. Concreto

El concreto es un material heterogéneo el cual está compuesto principalmente de la combinación del cemento, agua y agregado grueso y fino. El concreto contiene un pequeño volumen de aire atrapado y puede contener también aire intencionalmente incorporado mediante el empleo de un aditivo.

Así mismo, en la mezcla de concreto también se utilizan otros aditivos para propósitos tales como acelerar o retardar el fraguado y el endurecimiento inicial, mejorar la trabajabilidad; reducir los requisitos de agua en la mezcla, incrementar la resistencia o modificar otras propiedades del concreto. (Everard, 1976)

**Tabla 1 Normas de uso frecuente en concreto hidráulico**

<b>NORMA ASTM</b>	<b>TITULO</b>
C29	Método estándar de ensayo de densidad total (peso unitario) y vacíos en los agregados
C31	Practica estándar para la elaboración y curado de especímenes de concreto en el campo
C33	Especificaciones estándar para los agregados para concreto
C39	Método estándar de ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto
C40	Método estándar de ensayo de impurezas orgánicas en agregados finos para concreto
C42	Método estándar de ensayo para obtener y ensayar muestras de núcleos perforados y vigas aserradas de concreto

C50	Muestreo, preparación de muestras, envasado y marcado de productos de cal y caliza
C51	Terminología estándar relacionada con cal y caliza (utilizada en la industria)
C87	Método estándar de ensayo del efecto de las impurezas orgánicas en agregados finos en la resistencia de mortero
C88	Durabilidad de los agregados al sulfato de sodio o sulfato de magnesio
C94	Especificación estándar para concreto pre mezclado
C109	Método estándar de ensayo de resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico (utilizando especímenes cúbicos de Pulg. [50 mm])
C114	Método estándar de ensayo de análisis de ensayo químico de cemento hidráulico
C117	Método estándar de ensayo de materiales más finos que 75 $\mu\text{m}$ (N° 200) en agregados minerales por lavado
C123	Método estándar de ensayo partículas ligeras en agregados
C125	Terminología estándar referida a concreto y agregados para el concreto
C127	Método estándar de ensayo de densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción de agregado grueso
C128	Método estándar de ensayo de densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción de agregado grueso

C131	Método estándar de ensayo de resistencia a la degradación por abrasión de agregados gruesos de tamaño pequeño en la máquina de los Ángeles
C136	Método estándar de ensayo de análisis granulométrico de agregados finos y gruesos
C138	Método estándar de ensayo densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (gravimétrico) del concreto
C142	Método estándar de ensayo de terrones de arcilla y partículas friables en agregados
C143	Método estándar de ensayo de ensayo de revenimiento de concreto con cemento hidráulico
C150	Especificaciones estándar para cemento portland
C151	Método estándar de ensayo de expansión en autoclave del cemento hidráulico
C187	Método estándar de ensayo cantidad de agua requerida para la consistencia normal de la pasta del cemento hidráulico
C188	Método estándar de ensayo para la densidad del cemento hidráulico
C191	Método estándar de ensayo para la determinación del módulo de finura del cemento hidráulico mediante el aparato de permeabilidad al aire
C204	Método estándar de ensayo para la determinación del módulo de finura del cemento hidráulico mediante el aparato de permeabilidad al aire

C230	Especificaciones estándar para la mesa de flujo para su uso en ensayos de cemento hidráulico
C233	Método estándar para el ensayo de aditivos inclusores de aire para el concreto
C260	Especificaciones estándar para aditivos inclusores de aire para el concreto
C289	Método estándar de ensayo
C293	Método estándar de ensayo de resistencia a la flexión del concreto (utilizando una viga simple cargada en el centro)
C359	Método estándar de ensayo de cemento hidráulico de endurecimiento rápido (método del mortero)
C452	Método estándar de ensayo potencial de expansión de morteros de cemento portland expuestos a sulfatos
C457	Método estándar de ensayo para la determinación microscopía de los parámetros del sistema de vacíos en el concreto endurecido
C469	Método estándar de ensayo módulo de elasticidad estático y relación de poisson del concreto en compresión
C494	Especificación estándar de aditivos químicos para el concreto
C496	Método estándar de ensayo de resistencia a la tensión por compresión diámetro de especímenes cilíndricos de concreto

C535	Método estándar de ensayo de resistencia a degradación por abrasión e impacto de agregados gruesos de gran tamaño en la máquina de los Ángeles
C595	Especificaciones estándar de cementos hidráulicos mezclados
C666	Método estándar de ensayo de la resistencia del concreto al congelamiento y descongelamiento rápido
C670	Practica estándar para la preparación de las declaraciones de precisión y desviación de los métodos de ensayo de materiales de construcción
C672	Método estándar de ensayo de resistencia al desprendimiento de superficies de concreto expuestas a químicos anticongelantes
C684	Método estándar de ensayo para elaborar, curar aceleradamente, y ensayar a la compresión especímenes de prueba de concreto
C1012	Método estándar de ensayo cambio en la longitud de morteros de cemento hidráulico expuestos a una solución de sulfato
C1017	Especímenes estándar para los aditivos químicos para producir concreto fluido
C1152	Método estándar de ensayo para determinar el cloruro soluble en ácido en morteros y concreto
C1157	Especificación de rendimiento estándar del cemento hidráulico
C1202	Método estándar de ensayo indicación eléctrica de la habilidad del concreto de resistir la penetración del ion cloruro

C1556	Método estándar de ensayo para determinar el coeficiente aparente de difusión de cloruros en mezclas cementicas por volumen de difusión
C1585	Método estándar de ensayo para la medición de la tasa de absorción de agua de concretos hidráulicos
C1646	Practica estándar para elaborar y curar especímenes de ensayo para evaluar la resistencia de los agregados gruesos al congelamiento y descongelamiento en concreto con aire incorporado
E4	Practica estándar para la verificación de la carga en equipos de prueba
E6	Terminología estándar relacionada con los métodos de ensayo mecánico
E11	Especificaciones estándar para la prueba de tamices de malla de alambre y tamices de prueba
E70	Método estándar de ensayo de pH para soluciones acuosas con electrodos de vidrio
E74	Practica estándar de la calibración de instrumentos de medición de carga para verificación de la carga en equipos de ensayo
E83	Practica estándar para la verificación y clasificación de sistemas de extensómetros
E100	Especificaciones estándar de hidrómetros ASTM
E105	Practica estándar de muestreo probabilístico de materiales

E122	Practica estándar para el cálculo del tamaño de muestra para determinada precisión, y promedio de las características de un proceso por tandas
E141	Practica estándar para la aceptación de evidencia basada en los resultados de muestreo probabilístico

FUENTE (ICG INGENIERIA DE PAVIMENTOS MATERIALES, 2013)

### 2.3.2. Propiedades del concreto

#### I. Trabajabilidad

En esencia, es la facilidad con la cual pueden mezclarse los ingredientes para determinar su capacidad para ser manipulado, transportado, colocado, y consolidados adecuadamente, con un máximo de homogeneidad y un mínimo de trabajo. Así mismo es una propiedad importante para muchas aplicaciones del concreto. (IMCYC, 2004).

#### II. Consistencia

Se denomina la consistencia del concreto una propiedad que a la mayor o menor facilidad que tiene el hormigón fresco para deformarse o adaptarse a una forma específica (Torres, 2004), es decir define la humedad de la mezcla por el grado de fluidez de la misma.

- Granulometría
- Agua de amasado
- Tamaño máximo del agregado
- Forma de los agregados influye mucho el método de compactación. (Torres, 2004).

Tipos de Consistencia:

- SECA – Vibrado enérgico.
- FLUIDA – Barra
- BLANDA – Apisonado
- PLÁSTICA – Vibrado normal (Torres, 2004).

**Tabla 2 Consistencia / Asentamiento**

CONSISTENCIA	ASIENTO ( cm)
SECA	0-2
PLASTICA	3-5
BLANDA	6-9
FLUIDA	10-15

Fuente: Curso Basico de Tecnologia del Concreto , Ing Ana Torre C.,

### III. Durabilidad

El concreto debe soportar aquellas exposiciones que pueden privarlo de su capacidad de servicio como es el enfriamiento, sustancias químicas, ambiente marino, congelación, deshielo, ciclos repetidos de mojado y secado, calentamiento y otras (Torres, 2004), el concreto debe tener la capacidad de endurecer y mantener sus propiedades en el tiempo, aun en aquellas condiciones de exposición que podrían perder o disminuir su capacidad estructural.

Circunstancias que pueden afectan la durabilidad del concreto:

- Químicas Contaminación atmosférica, aguas filtradas, terrenos agresivos.
- Físicas: Oscilaciones térmicas, ciclos de hielo y deshielo, fuego, causas higrométricas.
- Mecánicas: Vibraciones, sobrecargas, impactos, choques.
- Biológicas Vegetación o microorganismos (Torres, 2004).

### IV. Impermeabilidad

Es una propiedad del concreto que puede mejorarse, con frecuencia, reduciendo la cantidad de agua en la mezcla (IMCYC, 2004) Así mismo se puede entender por impermeabilidad como una capacidad que tiene el material para dejar pasar a través de sus poros un fluidos, recordemos que el concreto es un material poroso.

### V. Homogeneidad y uniforme.

- **Homogeneidad:** se puede decir que es una cualidad que adquiere el concreto para que sus componentes se repartan de forma pareja (Torres, 2004).
- **Uniformidad:** Es una propiedad la cual se mantiene durante el tambor de mezclado para adquirir un concreto de propiedades físico-mecánicas y de durabilidad homogénea en toda la masa, se puede decir la que la uniformidad se modifica por los fenómenos de segregación y exudación, la cual depende :
  - Buen transporte.
  - Buen amasado.
  - Buena puesta en obra (Torres, 2004).

## VI. Resistencia

Es una propiedad del concreto el cual es motivo de preocupación, por lo general se determina por la resistencia final de un testigo de laboratorio a compresión, ya que el concreto aumenta la resistencia a los 28 días (Eugenia, 2015) ya que el concreto está destinado principalmente a tomar esfuerzos de compresión el cual se utiliza como su índice de calidad, la resistencia del concreto se puede definir como el máximo esfuerzo que puede ser soportado por dicho material sin fracturarse.

## VII. Dilatación Térmica

Como coeficiente de dilatación térmica del concreto puede aceptarse  $1/100,000$  siempre que no se determine otro valor para casos especiales, dado que el valor real es una magnitud variable que depende del tipo de cemento (Torres, 2004), las propiedades térmicas del concreto son importantes en relación con el mantenimiento en valores mínimos de los cambios de volumen.

### 2.3.3. Clasificación del concreto

#### A. Por el peso específico

- Ligero, cuyo Peso Unitario se encuentre entre 1200 – 2000 Kg/m<sup>3</sup>.
- Normal, cuyo Peso Unitario se encuentre entre 2000 – 2800 Kg/m<sup>3</sup>.
- Pesado, cuyo Peso Unitario se encuentre entre >2800 Kg/m<sup>3</sup> (Torres, 2004).

### **B. Según su Aplicación**

- Simple: Concreto sin ninguna armadura. Buena resistencia a compresión.
- Armado: Con acero. Buena resistencia a compresión y a flexión.
- Pretensado: Resistencia a tracción: viguetas.
- Post tensado: Resistencia a tracción: se introducen fundas (Torres, 2004).

### **C. Por su Composición**

- Ordinario.
- Ciclópeo: con áridos de 50 cm.
- Cascotes: Concreto de desechos y ladrillos.
- Inyectado: en un molde el agregado y le metemos la pasta árido >25 mm.
- Con aire incorporado: en el concreto se le inyecta aire >6% V.
- Ligero: 1,2 – 2 = 2 N/mm<sup>2</sup> Pesado: áridos de densidad muy grande.
- Refractario: resistente a altas temperaturas (cemento de aluminato cálcico), etc (Torres, 2004).

### **D. Por su Resistencia**

- Convencional: 10% agua, 15% cemento, 35% arena, 40% grava.
- De alta resistencia: 5% agua, 20% cemento, 28% arena, 41% grava, 2% adiciones, 2% aditivos (Torres, 2004).

#### **2.3.4. Factores que afectan el comportamiento compuesto del concreto**

El comportamiento del compuesto en general más detalladamente. Para describir un sistema con una o más fases de dispersión (partículas) embutidas en una matriz continua, deben ser consideradas los siguientes parámetros (Cespedes, 2003).

- Distribución de tamaño de las partículas.
- Concentración y distribución de las partículas.

- Orientación de las partículas.
- Distribución espacial (o topología) de las partículas.
- Composición de la fase dispersa.
- Composición de la fase continúa.
- Enlace entre las fases continuas y las dispersas (Cespedes, 2003).

### **2.3.5. Características y requisitos de los componentes del concreto hidráulico.**

#### **2.3.5.1. Cemento portland:**

Según el libro del (ICG INGENIERIA DE PAVIMENTOS MATERIALES, 2013, págs. 125-126), El cemento portland fue patentado por primera vez por Joseph Aspdin en 1824. Este cemento ha sido elaborado por calcinación de calizas y arcillas finamente molidas hasta que el dióxido de carbono es expulsado. La mezcla resultante es finamente molida y usada como cemento portland. El nombre de "portland" fue acuñado por Aspdin por que el cemento endurecido tenía una apariencia semejante a un edificio de piedra de origen natural extraído en portland Inglaterra. En la modernidad planta de cemento portland se fabrica mediante la pulverización de Clinker que consiste principalmente de silicatos de calcio hidráulico, junto con algo de calcio y aluminatos de calcio con una o más formas de sulfato de calcio con una o más formas de sulfato de calcio (yeso). Los materiales utilizados en el proceso de fabricación deberán contener las proporciones adecuadas de óxido de calcio, sílice, alúmina y óxido de hierro. Los ingredientes pueden ser mezclados con el proceso de seca o vía húmeda (Menendez, 2013).

En el proceso seco, la molienda y mezcla de los ingredientes se hace con los materiales secos. En el proceso húmedo, la molienda y mezcla de los ingredientes se hace con los materiales secos. En el proceso húmedo, la molienda y mezcla se lleva a cabo con los materiales en forma de lodos. Después que la mezcla está completa, la mezcla bruta pasa a través de un horno a

temperaturas de 1430 °C (2606 °F) y 1650 °C (3002 °F) Clinker de cemento. Estos miden aproximadamente 12,5 mm (0.5 pulg) y se dejan enfriar antes de ser pulverizado en cemento portland. El yeso puede ser añadido en este momento para regular el tiempo de fraguado (Menendez, 2013).

El cemento Portland está compuesto por aproximadamente 60 a 65% de cal (CaO), 20 a 25% de sílice (SiO<sub>2</sub>), y 7 a 12 % de óxido de hierro (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) y alúmina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Los porcentajes de los diferentes componentes pueden ser variados para atender los diferentes requerimientos físicos y químicos en función de su uso previsto (Menendez, 2013).

**Tabla 3 Compuestos Principales del Cemento**

<b>GRUPO</b>	<b>COMPUESTO</b>	<b>CANTIDAD (%)</b>	<b>Influencia Primaria Sobre Las Propiedades Del Concreto</b>
Aluminatos	Aluminato Tricalcica (C <sub>3</sub> A)	5-10	Puede causar rigidez prematura
	Aluminoferrita Tetracalcica (C <sub>4</sub> AF)	5-15	
Silicatos	Silicato Tricalcico (C <sub>3</sub> S)	50-70	Contribuye a una resistencia temprana
	Silicato Dicalcico (C <sub>2</sub> S)	15-30	Contribuye a una resistencia a largo plazo

Sulfatos	Sulfato Cálcico Bihidrato o Yeso ( $CSH_2$ )	3.5	Reduce el cambio de la rigidez prematura
	sulfato Cálcico Hermihidrato o Bassanite ( $CS H_{1/2}$ )		
	Hidrato de Anhidro Cálcico (CS)		

En términos de rendimiento, los cementos portland se clasifican en:

Tipo GU: Uso general

Tipo MS: Sulfato de resistencia moderada

Tipo SE: Alta resistencia inicial

Tipo MH: El calor moderado de hidratación

Tipo LH: bajo calor de hidratación

En términos de componentes, cementos compuestos se clasifican en:

Tipo IS: Cemento portland de escoria de alto horno

Tipo IP: Cemento portland - puzolana

Portland

Tipo I (PM) Puzolana modificados de cemento

Tipo S: El cemento de escoria

Tipo I (SM): Escoria de cemento Portland modificada

En la norma ASTM C 150 especificaciones estándar para cemento portland se clasifican ocho tipos principales de cemento. Algunos de estos cuentan además con ciertas variantes (Menendez, 2013).

### ▪ Tipos de Cemento

Según el libro (ICG INGENIERIA DE PAVIMENTOS MATERIALES, 2013, págs. 125-126), El cemento tipo I es de uso general adecuado para uso regular donde se requiere propiedades especiales. El cemento tipo II se utiliza cuando las concentraciones de sulfato en las aguas subterráneas son más altos de los normal, por lo general, producen menos calor que el cemento tipo I. El cemento tipo III tiene la misma composición que el cemento tipo I, pero es más fino y la mayor superficie específica genera una reacción química más rápida y tiene resistencia inicial más alta. El cemento tipo IV se utiliza cuando el calor de hidratación debe ser minimizado. Mientras se desarrolla la resistencia más lentamente que los otros tipos de cemento, puede ser utilizado en estructuras masivas donde el calor excesivo es perjudicial. El cemento tipo V se utiliza cuando los suelos o las aguas subterráneas tienen un alto contenido de sulfatos, el aluminato tricalcico se reduce (C\_3A) y por ende se incrementa la resistencia del cemento a la presencia de sulfatos (Menendez, 2013).

Los cementos más utilizados para pavimentación son el tipo I o normal, y el tipo II, o de bajo calor de hidratación. En algunas reparaciones, por ejemplo en los tramos realizados en condiciones de apertura rápida, se puede emplear el cemento tipo III (Menendez, 2013).

**Tabla 4 Tipos de Cemento de Acuerdo a ASTM C150**

Tipo	Descripción	Opciones
I	Resistencia normal	BA
IA	Normal, con inclusor de aire	BA
II	De resistencia moderada a los sulfatos	MH, BA

IIA	De resistencia moderada a los sulfatos, son incluso de aire	MH, BA
III	De alta resistencia a edad temprana	MS, AS, BA
IIIA	De alta resistencia a edad temprana, con incluso de aire	AS, BA
IV	De bajo calor de hidratación	BA
V	De resistencia elevada a los sulfatos	BA, EXP

Fuente: (ICG INGENIERIA DE PAVIMENTOS MATERIALES, 2013)

BA: Bajo contenido de álcalis ( $< 60\%$ , como  $\text{Na}_2\text{O}$ )

MH: Requisitos alternativos para un moderado calor de hidratación:

$70 \text{ cal/g}$  máximo a 7 días, o  $\text{C}_3\text{S} + \text{C}_3\text{A} \leq 58\%$

MS: resistencia moderada a los sulfatos:  $\text{C}_3\text{A} \leq 8\%$

AS: Resistencia alta de los sulfatos:  $\text{C}_3\text{A} \leq 5\%$

SE: Alta resistencia inicial

EXP: Requisitos opcionales para lograr una alta resistencia a los sulfatos.

Expansión  $\leq 0.040\%$  en ensayo sobre mortero (prueba ASTM C 452, a los 14 días) (Menendez, 2013).

### 2.3.5.2. Agregados:

Los agregados forman aproximadamente del 60 al 85% en peso.

Los agregados finos en general consisten en arenas naturales o piedra triturada con partículas predominantemente más pequeñas que el tamiz N° 4. Los agregados gruesos consisten una combinación de gravas y áridos triturados principalmente con partículas mayores que el tamiz N° 4 (Menendez, 2013).

Los agregados se caracterizan de acuerdo con su distribución de tamaño de partícula, forma de las partículas y la textura de superficie, gravedad específica, absorción y la humedad superficial. En general, cuanto mayor en el tamaño máximo de las

partículas, menos cemento portland es necesaria. La forma de partículas y la textura superficial tiene un mayor impacto en las propiedades del hormigón fresco que en el concreto endurecido. Cuanto más rugosa y más angular son las partículas, más agua se requiere para producir la mezcla de concreto. Sin embargo, cuanto más ásperas y más angulares son las partículas tienden a tener un vínculo más fuerte con el cemento y la mezcla de agua. Los vacíos entre agregados también aumentan con la angulosidad total de los agregados. La gravedad específica generalmente no se considera como una medida de calidad global, pero se requiere en el proceso de diseño de la mezcla. La absorción y la humedad superficial se utilizan para determinar el requerimiento total de agua por la humedad y su condición de humedad actual (Menendez, 2013).

“Material químicamente inactivo, que al mezclarse con el cemento y el agua produce concreto” (Everard, 1976).

#### **A. Requisitos del Agregado Grueso.**

Según el libro **(ICG INGENIERIA DE PAVIMENTOS MATERIALES, 2013, págs. 126-127-128-129)** La nueva norma de diseño de pavimento de MTC (ministerio de transporte y comunicaciones del Perú 2012) establece una serie de requisitos para los materiales y mezclas de concreto hidráulico en concordancia con las especificaciones generales de carreteras de MTC (ministerio de transporte y comunicaciones del Perú 2000) (Menendez, 2013).

**Tabla 5 Granulometría Del Agregado Grueso Para Concreto Estructural**

Tamaño nominal (abertura tamices cuadradas)	% Porcentaje que pasa															
	AG-1 (90 a 37.5 mm)	AG-2 (63 a 37.5 mm)	AG-3 (50 a 4.75 mm)	AG-4 (37.5 a 4.75 mm)	AG-5 (37.5 a 19.0 mm)	AG-6 (25 a 12.5 mm)	AG-7 (25 a 9.5 mm)	AG-8 (19 a 9.5 mm)	AG-9 (12.5 a 4.75 mm)	AG-10 (9.5 a 4.75 mm)	AG-11 (7.5 a 2.36 mm)	AG-12 (4.75 a 2.36 mm)	AG-13 (2.36 a 1.18 mm)	AG-14 (1.18 a 0.75 mm)	AG-15 (0.75 a 0.425 mm)	
100 mm (4")	100															
90 mm (3 ½")	90-100															
75 (3")		100														
63 mm (2 1/5")	25-60	90-100	100	100												
50 mm (2")		35-70	90-100	95-100	100	100										
37.5 mm (1 ½")	0-15	0-15	35-75		90-100	95-100	100	100	100							
25.0 mm (1")			0-15	35-70	20-55		90-100	90-100	95-100	100	100					
19.0 mm(3/4")	0-5	0-5			0-15	35-70	20-55	40-85		90-100	90-100	100				
12.5 mm(1/2")			0-5	10-30			0-10	10-40	25-60	20-55		90-100	100	100		
9.5 mm (3/8")					0-5	10-30	0-5	0-15		0-15	20-55	40-70	85-100	90-100	100	
4.75 mm(N°4)				0-5		0-5		0-5	0-10	0-5	0-10	0-15	10-30	20-55	85-100	
2.36mm(N°8)									0-5		0-5	0-5	0-10	5-30	10-40	
1.18 mm(N°16)													0-5	0-10	0-10	
300µm(N°50)														0-5	0-5	

FUENTE: Sección 501.05 de las EG- Vigentes del MTC

(\*) El tamaño de agregado numero 9 (AG-9) se define en C125 como agregado fino. Se incluye como agregado grueso cuando se combina con el tamaño numero 8 (AG-8) creando el tamaño de material 89 (AG-89), es cuales un agregado de tamaño grueso definido en la C 125 (Menendez, 2013).

Fuente ASTM C 33

(\*\*) NTP400.037 Agregados “Especificaciones normalizadas para agregados en hormigón (concreto)”: se permitirá el uso de agregados que no cumplan con las especificaciones específicas, siempre y cuando existan estudios calificados a satisfacción de las partes, que aseguren que el material producirá hormigón (concreto) de la calidad requerida. Se debe considerar como una (Menendez, 2013).

**Tabla 6 Requisitos Del Agregado Grueso Para Pavimentos De Concreto Hidráulico**

Ensayo Dureza		Norma MTC	Norma NTP	Requisitos
Desgaste en la máquina de los Ángeles		MTC E 207	NTP 400.019 NTP 400.020	40
<b>Durabilidad</b>				
Perdidas en ensayo de solidez en sulfatos, % máximo $\geq$ 3000 msnm	- Sulfato de sodio	<b>MTCE 209</b>	<b>NTP 400.016</b>	<b>12</b>
	- Sulfato de magnesio	<b>MTCE 209</b>	<b>NTP 400.016</b>	<b>18</b>
<b>Limpieza</b>				

Terrones de arcilla y partículas deleznales, % máximo	MTC E2012	<b>NTP 400.015</b>	6	
Carbón y lignito, % máximo	MTC E 211	<b>NTP 400.023</b>	0,5	
<b>Geometría de las partículas</b>				
Partículas fracturadas mecánicamente (una cara), % mínimo	MTC E 210	D – 5821(*)	60	
Partículas chatas y alargadas (relación 5:1) % máximo		NTP 400.040	15	
<b>Características Químicas</b>				
Contenido de sulfatos, expresado como SO <sub>4</sub> , = % máximo		NTP 400.042	1,0	
Contenido de cloruro, expresado como Cl <sup>-</sup> , % máximo		NTP 400.042	0,1	

Fuente: (ICG INGENIERIA DE PAVIMENTOS MATERIALES, 2013)

**Tabla 7 Resistencia Mecánica Del Agregado Grueso**

Métodos	No mayor que
Abrasión Los Ángeles (NTP 400.019:2002)	50%

Fuente: (ICG INGENIERIA DE PAVIMENTOS MATERIALES, 2013)

**Tabla 8 Tabla De Sustancia Dañinas**

Características	Norma	Agregado Fino	Agregado Grueso
Partículas deleznales máximo	MTC E-212(1999)	3%	3%
Materiales más fino que el tamiz normalizado 75 µm (N°200)	NTP 339.132:1998	3%*	1%
Carbón y lignito, máximo	MTC E – 215 (1999)	0,5%	0,5%
Impurezas orgánicas, máximo	NTP 400.024:1999	Placa orgánica N° 1 o 2 color Gardner Estándar N° 5 u 8	N.A. **

Fuente: (ICG INGENIERIA DE PAVIMENTOS MATERIALES, 2013)

\* En el caso de arena obtenida mediante trituradores de rodillos y si el material está libre de limos y arcillas, ese límite podrá ser aumentado a 5% (Menendez, 2013).

\*\* No aplicable.

Los agregados a usarse en la elaboración de concreto hidráulico que va a estar sujeto a ciclos de congelación y deshielo, deben cumplir los requisitos de resistencia a la desagregación por medio de ataque de solución, indicados en el cuadro (Menendez, 2013).

**Tabla 9 Perdida Por Ataque De Sulfatos**

<b>Agregado Fino</b>		<b>Agregado Grueso</b>	
Si se utiliza solución de sulfato de sodio NTP 400.016:1999	Si se utilizan solución de sulfato de magnesio NTP 400.016:1999	Si se utiliza solución de sulfato de sodio NTP 400.016:1999	Si se utiliza solución de sulfato de magnesio NTP 400.016:1999
10%	15%	12%	18%

Fuente: (ICG INGENIERIA DE PAVIMENTOS MATERIALES, 2013)

**Tabla 10 COMPOSICION GRANULOMETRICA DE LA GRAVA**

<b>Denominación de la Malla (de acuerdo a la ASTM)</b>	<b>Porcentajes en peso que pasa, según el tamaño máximo</b>		
	<b>2.5 cm (1 “)</b>	<b>1 ½ cm (4 cm)</b>	<b>5 cm (2”)</b>
2 1/2”	-	-	100
2”	-	100	90-100
1 1/2”	100	90-100	-
1”	90-100	-	35-70
3/4”	-	35-70	-
1/2”	25-60	-	10-30
3/8”	-	10-30	-
N° 4	0-10	0-5	0-5
N° 8	0-5	-	-

Fuente: (ICG INGENIERIA DE PAVIMENTOS MATERIALES, 2013)

**Tabla 11 Requisitos Adicionales De La Grava**

Desgaste Los Ángeles	40% máximo
Materiales que pasa la malla N° 200 (0.074mm)	0.50% máximo
Carbón	1.0% máximo
Otras sustancias y fragmentos blandos	5.0% máximo

Fuente: (ICG INGENIERIA DE PAVIMENTOS MATERIALES, 2013)

### B. Requisitos Del Agregado Fino

**Tabla 12 Composición Granulométrica De La Arena**

Denominación de la malla (de acuerdo a la ASTM)	Porcentajes en peso que pasa, según el tamaño máximo
3/8"	100
N° 4	95-100
N° 8	80-100
N° 16	50-85
N° 30	25-60
N° 50	10-30
N° 100	0-10

Fuente: (ICG INGENIERIA DE PAVIMENTOS MATERIALES, 2013)

**Tabla 13 Requisitos Adicionales De Arena**

Módulo de finura:	2.2 a 3.1
Materiales que pasan la malla N° 200 (0.074 mm)	3% máximo
Carbón:	1.0 %
Partículas deleznales:	3% máximo
Impurezas orgánicas, referidas a color limite según patrón	Amarillo claro
Equivalente de arena	> = 75%

Fuente: (ICG INGENIERIA DE PAVIMENTOS MATERIALES, 2013)

**Tabla 14 Granulometría para el agregado fino para pavimento Hidráulico**

Tamiz		Porcentaje que pasa
Normal	Alternativo	
9,5 mm	3/8"	100
4,75 mm	N° 4	95-100
2,36 mm	N° 8	80-100
1,18 mm	N° 16	50-85
600 µm	N° 30	25-60
300 µm	N° 50	10-30
150 µm	N° 100	0-10

Fuente: Sección 501.03 de las EG-Vigentes del MTC

**Tabla 15 Requisitos Del Agregado fino Para Pavimentos De Concreto Hidráulico**

Ensayo Durabilidad		Norma MTC	Norma NTP	Requisitos
Perdidas en ensayo de solidez	- Sulfato de sodio	MTC E 207	NTP 400.016	10
en sulfatos, % máximo $\geq 3000$ msnm	- Sulfato de magnesio	MTC E 209	NTP 400.016	15
<b>Limpieza</b>				
Índice de plasticidad, % máximo		MTC E 111	NTP 339.129	No plástico
Equivalente de arena, % mínimo	$f'c \leq 21$ MPa (210 kg/cm <sup>2</sup> )	MTC E 114	NTP 339.146	65

	f <sub>c</sub> > 21 MPa (210 kg/cm <sup>2</sup> )	MTC E 114	NTP 339.146	75
Terrones de arcilla y partículas deleznales, % máximo		MTC E 212	NTP 400.015	3
Carbón y lignio, % máximo		MTC E 211	NTP 400.023	0,5
Materia que pasa tamiz de 75 µm (N° 200), % máximo		MTC E 202	NTP 400.018	3
<b>Contenido de materia orgánica</b>				
Color más oscuro permisible		MTC E 213	NTP 400.024	Igual a muestra patrón
<b>Características químicas</b>				
Contenido de sulfatos expresado como SO <sub>4</sub> , = % máximo			NTP 400.042	1,2
Contenido de cloruros, expresado como Cl <sup>-</sup> , % máximo.			NTP 400.42	0,1
Absorción				
Absorción de agua, % máximo			NTP 400.022	4

Fuente: Sección 501.04 de las EG-Vigentes del MTC

**(ICG, Ingeniería de pavimentos materiales, diseño y conservación pág. 126 – 127-128-129).**

### 2.3.5.2.1. Ensayo de laboratorio de los agregados

#### A. Peso específico y absorción en agregados finos

Se determina el peso específico seco, peso específico saturado con superficie seca, el peso Específico aparente y la absorción después de 24 horas de sumergido en agua el agregado fino. El ensayo se desarrolló de acuerdo a la NTP 400.022: Peso Específico y absorción del agregado Fino (**MTC Manual de Ensayo de Materiales, 2016**)

Se tiene como objetivo Determinar el peso específico seco, peso específico saturado con superficie seca, el peso Específico aparente y la absorción después de 24 horas de sumergido en agua el agregado fino (**MTC, Manual De Ensayo de Materiales, 2016**).

#### I. Finalidad y Alcance

- El peso específico (gravedad específica) es la característica generalmente usada para calcular el volumen ocupado por el agregado en varias mezclas que contienen agregados incluyendo concreto de cemento Pórtland, concreto bituminoso, y otras mezclas que son proporcionadas y analizadas en base al volumen. También es usado en el cálculo de vacíos en el agregado del ensayo MTC E 203 (**MTC, Manual De Ensayo de Materiales, 2016**).
- El peso específico aparente y peso específico relativo aparente atañen al material sólido de las partículas constituyentes que no incluyen el espacio poroso dentro de ellas que es accesible al agua. Este valor no es ampliamente usado en la tecnología de agregados de construcción (**MTC, Manual De Ensayo de Materiales, 2016**).

- Los valores de absorción son usados para calcular el cambio en la masa de un agregado debido al agua absorbida entre los espacios de los poros entre las partículas constituyentes, comparado a la condición seca, cuando es estimado que el agregado ha estado en contacto con el agua lo suficiente para satisfacer la mayor absorción potencial **(MTC Manual de Ensayo de Materiales, 2016)**.
- Se aplica para determinar el peso específico seco, peso específico saturado con superficie seca, peso específico aparente y la absorción de agregado fino, a fin de usar estos valores tanto en el cálculo y corrección de diseños de mezclas, como en control de uniformidad de las características físicas **(MTC Manual de Ensayo de Materiales, 2016)**.
- No es aplicable para agregados ligeros por cuanto la inmersión en agua por 24 horas no asegura que los poros se llenen completamente, lo cual es un requisito necesario para poder aplicar el ensayo eficientemente **(MTC Manual de Ensayo de Materiales, 2016)**.

## **II. Muestra:**

- Muestrear el agregado de acuerdo con la MTC E 201. Mezclar uniformemente y reducir por cuarteo hasta obtener un espécimen de ensayo de aproximadamente 1 kg **(MTC Manual de Ensayo de Materiales, 2016)**.
- Colocar el agregado fino obtenido por cuarteo y secado a peso constante a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C en un recipiente y cubrir con agua dejando

reposar durante 24 horas. Decantar el agua evitando pérdida de finos y extender el agregado sobre una superficie plana expuesta a una corriente de aire tibio y remover frecuentemente para el secado uniforme, hasta que las partículas del agregado no se adhieran marcadamente entre sí. Colocar en el molde cónico y golpear la superficie suavemente 25 veces con la varilla para apisonado y levantar luego el molde. Si existe humedad libre el cono de agregado fino mantiene su forma. Seguir secando, revolver constantemente y probar hasta que el cono se derrumbe al quitar el molde, lo que indica que el agregado fino alcanzó una condición de superficie seca (**MTC Manual de Ensayo de Materiales, 2016**).

Peso Unitario:  $P_{em} = W_o / ((V - V_a)) \times 100$

Donde:

$P_{em}$  = Peso específico de masa

$W_o$  = Peso en el aire de la muestra secada en  
El horno gr.

$V$  = Volumen del frasco en  $cm^3$

$V_a$  = Peso en gramos o volumen en  $cm^3$  de agua  
Añadida al frasco.

Absorción  $A_b = (500 - W_o) / W_o \times 100$

Donde:

$A_b$  = Absorción.

$W_o$  = Peso en el aire de la muestra secada en el  
horno gr.

## B. Peso Unitario de los Agregados Finos

El ensayo se desarrolló de acuerdo a la NTP 400.017 Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad (“Peso Unitario”) y los vacíos en los agregados **(MTC Manual de Ensayo de Materiales, 2016)**.

$$\text{Peso Unitario: } M = (G-T)/V$$

Donde:

M = Peso unitario del agregado en kg/m<sup>3</sup> (lb/pie<sup>3</sup>)

G = Peso del recipiente de medida más el agregado  
en kg (lb)

T = Peso del recipiente de medida en kg (lb)

V = Volumen del recipiente de medida en m<sup>3</sup> (pie<sup>3</sup>).

## C. Peso unitario de los agregados gruesos

El ensayo se desarrolló de acuerdo a la NTP 400.017 Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad (“Peso Unitario”) y los vacíos en los agregados **(MTC Manual de Ensayo de Materiales, 2016)**.

El peso unitario o peso volumétrico seco suelto del agregado fino al igual que para el agregado grueso es el peso de agregado necesario para llenar un recipiente de volumen conocido; volumen ocupado por el agregado y los vacíos entre sus partículas **(MTC Manual de Ensayo de Materiales, 2016)**.

El peso unitario aproximada del agregado comúnmente usado para el concreto de peso normal caria de 1200 a 1750 kg/m<sup>3</sup> **(Kosmatka, 2004)**.

### I. Muestra:

- Llenar el recipiente de medida con agua a temperatura ambiente y cubrir con la placa de vidrio para eliminar burbujas y exceso de agua.

- Determinar el peso del agua en el recipiente de medida.
- Medir la temperatura del agua y determinar densidad, de la Tabla 3, interpolando si fuese el caso.

Calcular el volumen (V) del recipiente de medida dividiendo el peso del agua requerida para llenarlo entre la densidad del agua.

- La calibración del recipiente de medida se realiza por lo menos una vez al año o cuando exista razón para dudar de la exactitud de la calibración **(MTC Manual de Ensayo de Materiales, 2016)**.

Peso Unitario:  $M = (G-T)/V$

Donde:

M = Peso unitario del agregado en kg/m<sup>3</sup> (lb/pie<sup>3</sup>)

G = Peso del recipiente de medida más el agregado en kg (lb)

T = Peso del recipiente de medida en kg (lb)

V = Volumen del recipiente de medida en m<sup>3</sup> (pie<sup>3</sup>),  
(MTC, Manual De Ensayo de Materiales, 2016)

#### **D. Peso específico y Absorción de agregados gruesos.**

El ensayo se desarrolló de acuerdo a la NTP 400.021: Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado grueso **(MTC Manual de Ensayo de Materiales, 2016)**.

#### **I. Finalidad y Alcance**

- Una muestra de agregado se sumerge en agua por 24 horas aproximadamente para llenar los poros esencialmente. Luego se retira del agua, se seca el agua de la superficie de las partículas, y se pesa. La muestra se pesa posteriormente mientras es

sumergida en agua (**MTC Manual de Ensayo de Materiales, 2016**).

- Finalmente la muestra es secada al horno y se pesa una tercera vez. Usando los pesos así obtenidos y fórmulas en este modo operativo, es posible calcular tres tipos de peso específico y de absorción (**MTC Manual de Ensayo de Materiales, 2016**).

## II. Equipos

- Balanza
- Horno
- Depósito de agua
- Tamices

## III. Muestra

- Se mezcla la muestra aproximadamente a la cantidad necesaria usando el procedimiento descrito en la ASTM C 702. Se descarta todo el material que pase el N° 4 por tamizado seco y luego se lava el material para remover polvo u otras impurezas superficiales (**MTC Manual de Ensayo de Materiales, 2016**).
- Se secó la muestra a peso constante, a una temperatura de  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , y se ventilo en un lugar fresco hasta que el agregado haya enfriado a una temperatura que sea cómoda al tacto. Inmediatamente se sumergió el agregado en agua a una temperatura ambiente por un período de  $24\text{ h} \pm 4\text{ h}$  (**MTC Manual de Ensayo de Materiales, 2016**).
- Se remueve la muestra del agua y se hace rodar sobre un paño grande y absorbente, hasta hacer desaparecer toda película de agua visible, aunque

la superficie de las partículas aún parezca húmeda. Secar separadamente en fragmentos más grandes. Se obtiene el peso de la muestra bajo la condición de saturación con superficie seca (**MTC Manual de Ensayo de Materiales, 2016**).

- Después de pesar, se coloca de inmediato la muestra saturada con superficie seca en la cesta de alambre y se determina su peso en agua a una temperatura entre  $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1,7\text{ }^{\circ}\text{C}$  (**MTC Manual de Ensayo de Materiales, 2016**).
- Se realiza el secado de la muestra hasta peso constante, a una temperatura entre  $100\text{ }^{\circ}\text{C} + 5^{\circ}\text{C}$  y se deja enfriar hasta la temperatura ambiente, durante 1 a 3 h o hasta que el agregado haya enfriado a una temperatura que sea cómoda al tacto (aproximadamente  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) y se pesa (**MTC Manual de Ensayo de Materiales, 2016**).

Peso Específico:  $P_{\text{esss}} = B / (B - C) \times 100$

Donde:

A = Peso de la muestra seca en el aire, gramos;

B = Peso de la muestra saturada superficialmente  
Seca en el aire, gramos;

C = Peso en el agua de la muestra saturada.

Usando la formula tenemos:

Absorción:  $A (\%) = (B - A) / A \times 100$

Donde:

A = Peso de la muestra seca en el aire, gramos;

B = Peso de la muestra saturada superficialmente  
seca en el aire, gramos.

#### **E. Contenido de humedad total de los agregados**

Para el caso del presente trabajo establecerá los procedimientos para determinar el porcentaje total de

humedad evaporable en una muestra de agregado fino o grueso por secado.

El ensayo se desarrolló de acuerdo a la NTP 339.185: Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado **(MTC Manual de Ensayo de Materiales, 2016)**.

#### **I. Finalidad y Alcance**

- Las partículas más grandes de agregado grueso, especialmente aquellas superiores a 50mm requerirán de más tiempo de secado para que la humedad se desplace del interior de la partícula hasta la superficie. El usuario de este método deberá determinar empíricamente si los métodos por secado rápido suministran la suficiente precisión para el fin requerido, cuando se sequen partículas de tamaños mayores **(MTC Manual de Ensayo de Materiales, 2016)**.
- La humedad evaporable incluye la humedad superficial y la contenida en los poros del agregado, pero no considera el agua que se combina químicamente con los minerales de algunos agregados y que no es susceptible de evaporación por lo que no está incluido en el porcentaje determinado por este método **(MTC Manual de Ensayo de Materiales, 2016)**.

#### **II. Equipos:**

- Balanza
- Horno
- Recipiente

#### **III. Muestra:**

Se procederá a secar la muestra en el recipiente por medio de una fuente de calor, para nuestro trabajo

usamos un horno teniéndose el cuidado de evitar la pérdida de ninguna partícula, Un secado muy rápido puede causar que exploten algunas partículas resultando en pérdidas de partículas. Usar un horno de temperatura controlada cuando el calor excesivo puede alterar las características del agregado o cuando se requiera una medición más precisa. Se determina la masa de la muestra seca después que se haya secado y enfriado lo suficiente para no dañar la balanza de acuerdo con la siguiente fórmula **(MTC Manual de Ensayo de Materiales, 2016)**.

$$\text{Contenido de humedad: } P = \frac{100(W-D)}{D}$$

Donde:

P = Contenido total de humedad total evaporable de la muestra en porcentaje.

W = Masa de la muestra húmeda original en gramos.

D = Masa de la muestra seca en gramo.

Usando la fórmula tenemos para el agregado fino **(MTC Manual de Ensayo de Materiales, 2016)**.

## F. Composición granulométrica

Es la determinación de la distribución de partículas de agregados gruesos y finos en una muestra seca de peso conocido por una serie de tamices de abertura cuadrada **(MTC Manual de Ensayo de Materiales, 2016)**.

La granulometría se desarrolló de acuerdo a la NTP 400.012: Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global.

### I. Finalidad y Alcance

- Se aplica para determinar la gradación de materiales propuestos para uso como agregados o los que están siendo usados como tales. Los

resultados serán usados para determinar el cumplimiento de la distribución del tamaño de partículas con los requisitos exigidos en la especificación técnica.

- La determinación del material que pasa el tamiz de 75  $\mu\text{m}$  (N° 200) no se obtiene por este ensayo. El método de ensayo a emplear será: "Cantidad de material fino que pasa el tamiz de 75  $\mu\text{m}$  (N° 200) por lavado" (MTC E 202). **(MTC Manual de Ensayo de Materiales, 2016).**

## II. Equipos:

- Balanza
- Estufa

## III. Materiales:

- Tamices

## IV. Muestras:

- **Agregado Fino.** - Del análisis de granulometría de la arena se complementa su módulo de finura, que es igual a la centésima parte de la suma de los porcentajes retenidos acumulados en cada una de las mallas de las series estándar, se considera que la arena presenta un módulo de finura adecuado si no es menor de 2.3 ni mayor de 3.1 **(MTC Manual de Ensayo de Materiales, 2016).**
- **Agregado Grueso.**- Se busca que el agregado grueso posea de forma integrada continuidad de tamaños en su composición granulométrica. Para analizar la composición granulométrica de la grava en conjunto, se le criba por mallas cuyas

aberturas se seleccionan de acuerdo con el intervalo dimensional dado por su tamaño máximo, buscando dividir este intervalo en suficientes fracciones que permitan juzgar su distribución de tamaños a fin de compararlas con los límites granulométricos que le sean aplicables **(MTC Manual de Ensayo de Materiales, 2016)**.

### 2.3.5.3. Agua

Según el libro **(ICG INGENIERIA DE PAVIMENTOS MATERIALES, 2013, págs. 126-129-130)**, indica que por lo general si el agua es apta para el consumo humano lo es también para la elaboración de la mezcla de concreto.

El agua de dudosa calidad puede ser usada si previamente se han realizado ensayos de resistencia con probetas y la resistencia obtenida es al menos 90 % de la resistencia del concreto elaborado con agua destilada o potable. Además ASTM C 191 “Método Estándar de Ensayo de tiempo de fraguado del cemento hidráulico mediante la aguja Vicat” debe llevarse a cabo para garantizar que las impurezas en el agua de mezcla que no tenga efectos en acortar y alargar el tiempo de fraguado. Los criterios para el agua aceptable se pueden encontrar en la norma ASTM C94 “Especificación estándar para concreto premezclado”. El agua que contiene impurezas excesivas podría afectar el tiempo de fraguado y resistencia del concreto, así como disminuir la duración y/o resistencia a la corrosión del refuerzo **(ICG INGENIERIA DE PAVIMENTOS MATERIALES, 2013, págs. 126,128,129)**.

El contenido y la calidad del agua utilizada en un concreto hidráulico dado influyen mucho en el comportamiento a corto y mediano plazo del mismo. Ello es particularmente cierto en caso de aplicaciones en pavimentos rígidos, las impurezas contenidas

en el agua no solo afectan los tiempos de fraguado y el desarrollo de las resistencias en el concreto hidráulico, si no que tienen fuerte impacto en su durabilidad, crea manchas permanentes, promueven la corrosión en elementos de refuerzo y originan inestabilidad volumétrica. Con el fin de minimizar los efectos nocivos para el concreto, es común fijar límites tolerables de algunas sustancias tales como sulfatos, cloruros álcalis y sólidos en el agua en general. En la siguiente tabla se presentan algunos criterios de aceptación de la calidad del agua (**ICG INGENIERIA DE PAVIMENTOS MATERIALES, 2013, págs. 126,128,129**).

**Tabla 16 Requisitos de la calidad del agua**

<b>Producto Químico y/o material</b>	<b>Concentración máxima, ppm</b>	<b>Método de ensayo</b>
* cloruro, como Cl:		
- concreto pre esforzado o el destinado a cubiertas para puentes	500**	ASTM D 512
- Otros concretos reforzados en ambiente húmedo, o que contengan insertos de aluminio metales diferentes, o cimbras permanentes de metal galvanizado	1000**	ASTM D 512

* Sulfato como $SO_4$	3000	ASTM D 516
* Álcalis como $(Na_2O + 0.658 K_2O)$	600	ASTM D 2790
* Solidos totales	50,000	AASTHO T 16

\* Se pueden emplear otros métodos de prueba, siempre y cuando se demuestre que arrojan resultados comparables.

\*\*Cuando en un caso dado se permita el empleo de cloruro de calcio ( $CaCl_2$ ) como aditivo, podrá hacerse caso omiso de la restricción sobre cloruros.

**Tabla 17 Requisitos de performance del concreto para el agua de mezcla**

Ensayo	Limites	Método de ensayo
Ph	5.5-8.5	NTP 339.073
Resistencia a compresión, mínimo, % del control a 7 días <sup>A</sup>	90	NTP 339.033 NTP 339.034
Tiempo de fraguado, desviación respecto al control, horas: minutos <sup>A</sup>	De 1h más temprano a 1, 5h mas tarde	NTP 339.082

Fuente: Sección 501.01 de las EG-Vigentes del MTC

- A. Las comparaciones estarán basadas en proporciones fijas para un diseño de mezcla de concreto representativo con abastecimiento de agua cuestionable y una mezcla de control utilizando agua 100% potable o agua destilada.
- B. Cuando el producto puede demostrar que estos límites para el agua de mezcla pueden ser excedidos, los requerimientos para el concreto código ACI 318 regirán. Para condiciones que permiten utilizar cloruro de calcio ( $\text{CaCl}_2$ ) como aditivo acelerador, se permitirá que el comprador pueda prescindir de la limitación del cloruro **(ICG INGENIERIA DE PAVIMENTOS MATERIALES, 2013, págs. 126-128-129).**

#### 2.3.5.4. Aditivos

Se define a un aditivo como un componente del concreto y que se añade a este antes o durante el mezclado a fin de modificar una o algunas de sus propiedades, es un material distinto del agua, del agregado, o del cemento. Los aditivos que serán empleados en las mezclas de concreto deben cumplir con los requisitos de la Norma NTP 334.089. Su uso está limitado por lo indicado en las especificaciones técnicas del proyecto y por la autorización de la inspección **(Rivva, 2010)**

De acuerdo con su función principal se clasifica a los aditivos para el concreto de la siguiente manera:

- **Aditivo reductor de agua/plastificante:** Aditivo que, sin modificar la consistencia, permite reducir el contenido de agua de un determinado concreto, sin modificar el contenido de agua, aumenta el asiento (cono de Abrams)/escurrimiento, o que produce ambos efectos a la vez **(Canovas, 2017).**
- **Aditivo reductor de agua de alta actividad/aditivo superplastificante:** Aditivo que, sin modificar la consistencia del concreto, o que sin modificar el contenido de agua, aumenta considerablemente el asiento (cono de Abrams)/

escurrimiento, o que produce ambos efectos a la vez **(Canovas, 2017)**.

- **Aditivo reductor de agua:** Disminuye la exudación del concreto, reduciendo la pérdida de agua **(Canovas, 2017)**.
- **Aditivo inclusor de aire:** Permite incorporar durante el amasado una cantidad determinada de burbujas de aire, uniformemente repartidas, que permanecen después del endurecimiento **(Canovas, 2017)**.
- **Aditivo acelerador de fraguado:** Reduce el tiempo de transición de la mezcla para pasar del estado plástico al rígido **(Canovas, 2017)**.
- **Aditivo acelerador del endurecimiento:** Aditivo que aumenta la velocidad de desarrollo de resistencia iniciales del concreto, con o sin modificación del tiempo de fraguado **(Canovas, 2017)**.
- **Aditivo retardador de fraguado:** Aditivo que aumenta el tiempo del principio de transición de la mezcla para pasar del estado plástico al estado rígido **(Canovas, 2017)**.
- **Aditivo hidrófugo de masa:** Aditivo que reduce la absorción capilar del concreto endurecido **(Canovas, 2017)**.
- **Aditivo multifuncional:** Aditivo que afecta a diversas propiedades del concreto fresco y/o endurecido actuando sobre más de una de las funciones principales definidas en los aditivos mencionados anteriormente **(Canovas, 2017)**.

#### **2.3.5.5. Reciclado de materiales de construcción**

La cuantificación del volumen de producción y composición de los RCD todavía se enfrenta al problema de la falta de datos o estadísticas viables en muchos países, lo que ha obligado hasta el momento (salvo en casos contados) a manejar estimaciones efectuadas a través de cálculos indirectos o basadas en muestras de limitada representatividad **(Cruz, 2004)**.

Por otra parte, existen diversos factores que influyen claramente en el volumen y composición de los RCD generados en un

determinado momento y ámbito geográfico. Entre ellos cabe destacar los siguientes:

- TIPOS DE ACTIVIDAD QUE ORIGINA LOS RESIDUOS: Construcción, demolición o reparación / rehabilitación.
- TIPO DE CONSTRUCCION QUE GENERA LOS RESIDUOS: Edificios residenciales, industriales, de servicios, carreteras, obras hidráulicas, etc.
- EDAD DEL EDIFICIO O INFRAESTRUCTURA: Que determina los tipos y calidad de los materiales obtenidos en os casos de demolición o reparación.
- VOLUMEN DE ACTIVIDAD EN EL SECTOR DE LA CONSTRUCCION EN UN DETERMINADO PERIODO: Que afecta indudablemente a la cantidad de RCD generados.
- POLITICAS VIGENTES EN MATERIAL DE VIVIENDA: Que condicionan la distribución relativa de las actividades de promoción de nuevas construcciones y rehabilitación de existentes o consolidación de cascos antiguos **(Cruz, 2004)**.

#### **A. Historia del reciclado de materiales de construcción**

El uso del concreto reciclado empieza de tiempos posteriores a la segunda guerra mundial, cuando los países europeos enfrentaban la destrucción de las ciudades y así la acumulación de escombros, esta problemática motivo a que los desechos se utilizaran en la elaboración de concreto nuevo para la reconstrucción de ciudades, especialmente en países como Gran Bretaña y Alemania. Los reportes realizados en esas épocas por rusos, ingleses y alemanes hablaban de las propiedades de concreto reciclado y de sus buenos resultados, esto incentivo a que los Estados Unidos investigaran sobre el tema. **(Gluzhge, 2010)**.

En 1973, A. D. Buck, del Canada”, realizo un estudio de las resistencias a la compresión del concreto que contiene concreto reciclado como agregados, con una relación constante agua / cemento y trabajabilidad constante. Por lo general, encontró resistencias disminuidas, comparadas con las de una mezcla de control. Sin embargo, pudo demostrar que la resistencia del concreto nuevo puede ser más alta que la resistencia original del concreto demolido que se incluye como agregado **(Gluzhge, 2010)**.

Tras realizar un análisis del modo de construcción y la gestión de residuos actual así como del evidente fracaso de dicho sistema, es fácil cuestionar cuál es el camino a seguir o las alternativas que tenemos. Los materiales lo diseñan para ser usados una sola vez, pero se fabrican con materiales duraderos y con altas características que podrían aguantar más ciclos de uso o vida. Su final inmediato es la escombrera o vertedero de desechos. Los esfuerzos se centran en el reciclaje de todo ese material. En este proceso no existe una etapa intermedia. Seguro que la gran mayoría de los materiales de construcción que se desechan en una demolición mantiene niveles de calidad y resistencia suficientes como para ser reutilizados **(Campo, 2010)**.

### **I. Los primero usos del concreto reciclado**

En 1975, afirmó la posibilidad de obtener concretos aceptables y de buena calidad usando desechos de concreto como agregado grueso, cuya resistencia será del orden de 90% de la que se obtendría con un agregado natural para una relación agua/cemento determinada. Dicha afirmación se basó en ensayos realizados con un agregado grueso reciclado de 6.06 % de absorción **(Marroquin, 2012)**.

En 1983 en su investigación “Strength of concrete made from crushed concrete coarse aggregate” afirmó que técnicamente era factible producir concretos de baja resistencia sin importar la fuente de concreto de la cual se obtuvo el agregado reciclado y así mismo se podía producir concretos de mayor resistencia que el concreto original, aunque aumentando el contenido de cemento **(Gluzhge, 2010)**.

En 2006, I.E. Martínez–Soto y C.J. Mendoza–Escobedo, determinaron que los concretos reciclados pueden ser usados como concretos clase dos, determinando que su mayor economía y resistencia a la tensión y flexión se da para consumos de cemento menores a 300 kg/m, Dentro del contexto latinoamericano México D.F, en 1994 nace la empresa CONCRETOS RECICLADOS, S.A, la cual se dedica al reciclaje, trituración y clasificación de los desechos de la construcción y/o demolición. El 22 de abril de 2009, en la región de Valencia, en la carretera que une Manises y Paterna, se inauguró el primer puente atirantado a nivel internacional construido sólo con concreto reciclado, con 165 m de longitud, para desplazar 14.000 vehículos diarios, se usó 348 m<sup>3</sup> de agregado reciclado **(Soto, 2006)**.

## **II. En la actualidad el reciclado de materiales de construcción**

En la actualidad la alternativa para la eliminación de estos residuos de construcción y/o demolición es el vertido en botaderos. Es importante tener en cuenta que estos ocupan un gran volumen dentro de los vertederos municipales, lo cual reduce el tiempo de vida útil de los mismos, generando un gran problema debido a la falta de

lugares de depósito apropiados. Por otra parte, frecuentemente son empleados por parte de particulares para realizar rellenos, sin considerar los daños ocasionados desde el punto de vista ecológico **(Nataline, 2000)** .

El reciclado de materiales de construcción en la actualidad es ya una realidad, con esto se pretende ofrecer una visión global de la problemática y situación referente a los residuos de construcción y demoliciones (RCD), tras presentar algunas de las principales características (generación y composición) de tales residuos, se pasa a revisar de forma genérica las soluciones comúnmente adoptadas para su tratamiento y eliminación, incidiendo especialmente en las posibilidades de reciclado de los mismos, los problemas con que esta actividad habitualmente se encuentra y las tendencias de futuro. Dichas consideraciones se complementan con las de carácter medioambiental asociado a la producción y gestión de estos residuos **(Montilla, 2016)**.

En una aproximación genérica, se puede realizar una clasificación de los RCD de acuerdo al tipo de actividad y objeto de obra que los genera, los materiales factibles de reciclar son los que provienen de demoliciones y desechos de la industria de la construcción (edificaciones, excavaciones, vialidades, urbanizaciones, caminos etc.) **(Montilla, 2016)**.

Es importante recalcar el cuidado que se debe tener de no contaminar los productos a reciclar, ya que, para poder llevar a cabo esta actividad, estos deberán entregarse libres de materiales tales como: basura, papel, madera, textiles y materiales tóxicos.

Los materiales aceptados son:

- Arcillas
- Cerámicos
- Concreto armado
- Concreto simple
- Frizado de carpeta asfáltica **(Montilla, 2016)**

#### **2.3.5.6. El concreto Reciclado**

La generación de residuos sólidos de concreto hidráulico, considerados como desecho, está convirtiéndose en un problema medioambiental. El material de construcción mayormente fabricado es el cemento Portland (CP), pero un problema es su alta temperatura de fabricación, que genera contaminantes. El uso de agregados triturados provenientes de demolición de concreto hidráulico se aprovecha para generar Concreto Hidráulico Reciclado, un material que puede abatir costos, disminuir la contaminación y abaratar la edificación. Sin embargo, la elaboración de concreto reciclado se enfrenta a la búsqueda de diseños óptimos para lograr el mayor desempeño mecánico bajo solicitaciones estáticas y dinámicas **(Merida, 2015)**.

#### **2.3.5.7. Industria de concreto reciclado**

Al mirar a nuestro alrededor podemos observar que el concreto está en todos lados. Colegios, viviendas, hospitales, estadios, carreteras e infinidad de obras emplean este material. Según el WBCSD (2009), el concreto es el segundo material más consumido en el sector construcción, después del agua. Se estima que aproximadamente 25 billones de toneladas de concreto son producidos globalmente cada año **(Montoya, 2014)**.

Según estudios, alrededor de 1.300 millones de toneladas de residuos son generados en Europa cada año, de los cuales el 40% o 510 millones de toneladas de residuos son provenientes de la construcción y demolición. Estados Unidos produce alrededor de 325 millones de toneladas de éste residuo y Japón

alrededor de 77 millones. Debido a que China e India ahora producen y emplean más del 50% del concreto del mundo, su generación de residuos será también significativa mientras continúe el desarrollo. 53 Existe una vasta diferencia en los procesos constructivos alrededor del mundo, pero se estima que el contenido de concreto en los residuos de la construcción y demolición (C&DW, siglas en inglés) se encuentra entre 20 a 80% (WBCSD, 2009). La recolección de datos acerca de reciclaje de concreto se ha visto extendida debido al creciente interés y preocupación por el desarrollo sostenible. El reciclaje de concreto y la generación de residuos del sector no son un tema reciente, más bien es una problemática que debería estar analizada en cada proyecto que emplee el material en cuestión. Se requiere una evaluación de todos los beneficios de desarrollo sostenible que brinda el reciclado de concreto. Es decir, se debe ampliar la visión y colocar al concreto en el contexto del impacto ambiental de otros materiales. El concreto posee un alto impacto ambiental con respecto a los materiales empleados en su fabricación, como la fase de producción del cemento **(Montoya, 2014)**.

El transporte y en todas las etapas de producción es la segunda causa de impacto. El concreto puede emplearse en una variedad de aplicaciones constructivas. Una opción es su aplicación como agregado. Su uso como agregado grueso en base de carreteras, pavimentos y en sub-base es el más común. Investigaciones han concluido que el concreto reciclado de una cierta calidad y composición incorporado en las capas de la sub-base y base permite que el grosor de éstas se reduzca debido a las buenas propiedades de rodamiento del material **(Montoya, 2014)**.

#### **2.3.5.8. Concreto reciclado en la ingeniería**

El concreto está en todas partes. Es el segundo material más consumido después del agua y moldea nuestro entorno. Hogares,

escuelas, hospitales, oficinas, vías y aceras, todos se hacen a partir del concreto. El concreto es extremadamente perdurable y puede conservarse por cientos de años en muchas aplicaciones. No obstante, las necesidades humanas cambian y se generan desechos – más de 900 millones de toneladas por año tan solo en Europa, los estados Unidos y Japón, y otro tanto desconocido en el resto del mundo. El concreto puede ser recuperado – el concreto puede ser triturado y reutilizado como agregado en nuevos proyectos. Como parte de la Iniciativa por la Sostenibilidad del Cemento (CSI, por sus siglas en inglés), la industria del cemento ha venido considerando el reciclaje de concreto como un componente de las mejores prácticas para el desarrollo sostenible. Este reporte proporciona información general sobre la situación al respecto desde una perspectiva global (Consejo Mundial Empresarial Para el Desarrollo Sostenible, 2004).

En algunos países se logra una recuperación casi completa del concreto, en tanto que en otros países el potencial de recuperación de concreto es ignorado y termina como desecho innecesario en basureros municipales. Adicionalmente, las estadísticas sobre desecho de concreto no son fáciles de encontrar, en parte, por el relativamente bajo peligro que dicho desecho representa en comparación a otros tipos de desechos y por el poco interés del público al respecto. Aunque el concreto es un desecho relativamente inofensivo, la industria del cemento apoya iniciativas para recuperar este recurso y minimizar la generación de desechos. El reciclaje o recuperación del concreto presenta dos ventajas principales: (1) reduce la utilización de nuevos agregados vírgenes y los costos ambientales de explotación y transporte y asociados, y (2) reduce el desecho innecesario de materiales valiosos que pueden ser recuperados y reutilizados. A pesar de estas ventajas, el reciclaje de concreto no tiene un impacto significativo en la reducción de la huella de carbono (además de algunas reducciones que pueden ser

logradas en transporte). La principal fuente de emisiones de carbono en el concreto está en la producción del cemento (cemento y agregados se mezclan para hacer concreto) (Consejo Mundial Empresarial Para el Desarrollo Sostenible, 2004).

No es viable separar el contenido de cemento en el concreto para su reciclaje o reutilización como nuevo cemento, por lo que no es posible reducir las emisiones de carbono por medio del reciclaje de concreto. Para cada una de las iniciativas de reciclaje de concreto es necesario realizar un completo análisis del ciclo de vida, aunque muchas veces la meta es el reciclaje total, el impacto global y la utilización óptima de los materiales siempre deben ser considerados. Refinar la recuperación puede resultar en un producto de alto grado, pero a un mayor costo ambiental. En la actualidad, la mayoría del concreto recuperado es utilizado como subbase vial y en proyectos de ingeniería civil. Desde la perspectiva de la sostenibilidad, actualmente estos usos de grados relativamente bajos proporcionan los mejores resultados. El objetivo principal de este informe es promover el reciclaje de concreto como un tema de interés e invitar a la reflexión en esta área. El reporte presenta algunos temas claves de discusión sin profundizar demasiado en detalles técnicos (Consejo Mundial Empresarial Para el Desarrollo Sostenible, 2004)

El reporte principalmente promueve la meta de “cero vertimiento de desechos de concreto”. Es importante anotar que los productores de cemento sólo ejercen una influencia indirecta en el apoyo de esta meta. El desarrollo sostenible es posible utilizando concreto si se emplean buenos diseños y planeación inicial y renovaciones y demoliciones cuidadosas. El reporte recomienda que todos los actores involucrados adopten una actitud sostenible en lo que al concreto se refiere. También recomienda una serie de indicadores clave. Hay un vacío de estadísticas confiables y consistentes. Mejores técnicas de reporte, junto con el establecimiento de objetivos claros

producirán, al final, un mejor desempeño y menos desechos de concreto (**Consejo Mundial Empresarial Para el Desarrollo Sostenible, 2004**)

### **2.3.6. Agregado Grueso Reciclado**

Los agregados reciclados están constituidos de partículas graduadas y chancadas, provenientes de materiales que han sido usados en construcción (como concreto o albañilería de ladrillo), los agregados de concreto reciclado, limitan el contenido de la albañilería a no más de 5%, estos últimos tipos de agregado tienen muy pocas restricciones de uso en las normas británicas (como la BS 8500-2), cuya orientación es cubrir solo materiales gruesos. También se restringen los usos a aplicaciones en cimentaciones, pavimentos, y concreto reforzado o pre-esforzado en condiciones ambientales que no sean severas (**Montilla, 2016**).

Para la producción, pueden emplearse las típicas chancadoras primarias y secundarias para la obtención del agregado reciclado con calidad suficiente según las normas. Antes y con posterioridad al chancado, es necesario remover los materiales extraños para conseguir un producto limpio (**Montilla, 2016**).

#### **2.3.6.1. Producción del agregado grueso reciclado.**

Según La cuantificación del volumen de producción y composición de los RCD todavía se enfrenta al problema de la falta de datos o estadísticas viables en muchos países, lo que ha obligado hasta el momento (salvo en casos contados) a manejar estimaciones efectuadas a través de cálculos indirectos o basadas en muestras de limitada representatividad, Por otra parte, existen diversos factores que influyen claramente en el volumen y composición de los RCD generados en un determinado momento y ámbito geográfico (**Montilla, 2016**), entre ellos cabe destacar los siguientes

Tipo de actividad que origina los residuos: construcción, demolición o reparación/rehabilitación.

Tipo de construcción que genera los residuos: edificios residenciales, industriales, de servicio, carreteras, obras hidráulicas, etc. **(Montilla, 2016).**

Edad del edificio o infraestructura: son los que determinan los tipos y calidad de los materiales obtenidos en los casos de demolición o reparación, volumen de actividad en el sector de la construcción en un determinado periodo: son los que afectan indudablemente a la cantidad de RCD generados, políticas vigentes en materia de viviendas: son aquellos que condicionan la distribución relativa de las actividades de promoción de nuevas construcciones y rehabilitación de existentes o consolidación de cascos antiguo **(Montilla, 2016).**

#### **2.3.6.2. Reciclado del Agregado grueso**

El concreto es un material durable de construcción el cual puede ser recuperado, se estima que, en el mundo, se fabrican alrededor de 25 billones de toneladas de concreto cada año. Esto representa más de 1.7 billones de cargas de camiones anuales, o cerca de 6.4 millones de cargas diarias, o más de 3.8 toneladas por persona en el mundo cada año (Consejo Mundial Empresarial Para el Desarrollo Sostenible, 2004)

En el mundo, la cantidad de concreto utilizado en construcción duplica la cantidad del resto de materiales utilizados incluyendo acero, acero, plástico, y madera, Cerca de 1,300 millones de toneladas de desechos son generadas en Europa cada año, de las cuales el 40%, o 510 millones de toneladas, corresponden a residuos de construcción y demolición (RCD). Los Estados Unidos producen cerca de 325 millones de toneladas de RCD y Japón unos 77 millones. Dado que China e India están produciendo y consumiendo más del 50% del concreto en el mundo, su

generación de desechos también será significativa a medida que su desarrollo avanza (Consejo Mundial Empresarial Para el Desarrollo Sostenible, 2004).

La mayoría de países tienen esquemas de reciclaje para RCD y se alcanzan altos niveles de recuperación en países como Holanda, Japón, Bélgica y Alemania. En algunos países el concreto de desecho usualmente se destina a vertederos municipales, los diferentes métodos de cálculo y la disponibilidad de información dificultan la comparación entre países, el concreto recuperado a partir de RCD puede ser triturado y utilizado como agregado. Su uso más común es como subbase vial. También puede ser utilizado en concreto nuevo (Consejo Mundial Empresarial Para el Desarrollo Sostenible, 2004).

Las devoluciones de concreto (concreto fresco, húmedo, devuelto a la planta de premezclado como exceso) también pueden ser recicladas exitosamente. Existen instalaciones de recuperación en muchos sitios de producción en el mundo desarrollado. Más de 125 millones de toneladas son generadas cada año, el reciclaje de concreto reduce la explotación de recursos naturales y los costos asociados de transporte; también reduce el desecho de concreto en vertederos de basura. No obstante, su impacto sobre la reducción de emisiones de gases con efecto invernadero es muy limitada ya que la mayoría de las emisiones ocurren durante la fabricación del cemento, y no es posible reciclar cemento por sí solo (Consejo Mundial Empresarial Para el Desarrollo Sostenible, 2004)

Los esquemas de construcción verde reconocen la recuperación de RCD y apoyan la utilización de materiales reciclados incluyendo concreto reciclado (Consejo Mundial Empresarial Para el Desarrollo Sostenible, 2004)

## **2.4. HIPOTESIS DE LA INVESTIGACION**

### **2.4.1. Hipótesis general**

Es factible el uso de concreto reciclado (escombros de pavimentaciones rígidas, testigos de laboratorio) como agregado grueso para pavimentos rígidos (resistencia a la compresión) en la ciudad del cusco.

### **2.4.2. Hipótesis Específicas**

- El agregado grueso reciclado mantiene las propiedades físico – mecánicas del agregado natural mayor a un 85%.
- La resistencia a la compresión del concreto con agregado grueso reciclado en comparación con el agregado natural disminuye como máximo un 15%.

## **2.5. VARIABLES**

### **2.5.1. Variable independiente**

- Concreto reciclado como agregado grueso.

### **2.5.2. Variable dependiente**

- Resistencia a la compresión del concreto en pavimentos rígidos.

### 2.5.3. Operacionalización De Variables

VARIABLE	DEFINICION	DIMENCION	COMPONENTES	INDICADORES
CONCRETO RECICLADO COMO AGREGADO GRUESO	ELEMENTO QUE SERA OBTENIDO Y PROCESADO PARA PODER REEMPLAZAR AL AGREGADO GRUESO EN UN CONCRETO DE $F' C = 210 \text{ kg/cm}^2$	CONCRETO RECICLADO	AGREGADO GRUESO RECICLADO	TRITURADO
				GRANULOMETRIA
				CONTENIDO DE HUMEDAD
				PESO ESPECIFICO Y ABSORCION
				PESO UNITARIO SUELTO
				PESO UNITARIO COMPACTO
				DESGASTE POR ABRASION
RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL CONCRETO EN PAVIMENTOS RIGIDOS	MEDIDA QUE SE OBTENDRA AL PONER A PRUEBA LA CAPACIDAD DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DE LAS BRIQUETAS FABRICADAS CON CONCRETO PATRON Y CONCRETO CON AGREGADO GRUESO RECICLADO, A LAS EDADES DE 3, 7, 14 Y 28 DIAS RESPECTIVAMENTE	TECNOLOGIA DEL CONCRETO	AGREGADO GRUESO	GRANULOMETRIA
				CONTENIDO DE HUMEDAD
				PESO ESPECIFICO Y ABSORCION
				PESO UNITARIO SUELTO
				PESO UNITARIO COMPACTO
				DESGASTE POR ABRASION
			AGREGADO FINO	GRANULOMETRIA
				CONTENIDO DE HUMEDAD
				PESO ESPECIFICO Y ABSORCION
				PESO UNITARIO SUELTO
		AGUA	CANTIDAD PESO-VOLUME	
		CEMENTO	TIPO	
		ESFUERZO DE COMPRESION AXIAL	RESISTENCIA A COMPRESION AXIAL	FABRICACION DE BRIQUETAS
				LLENADO Y CURADO DE BRIQUETAS
				RESISTENCIA A LA COMPRESION

## **CAPITULO III: METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION**

### **3.1. TIPO DE INVESTIGACION**

El presente trabajo de investigación titulado “UTILIZACION DE CONCRETO RECICLADO COMO AGREGADO GRUESO EN PAVIMENTOS RIGIDOS EN LA CIUDAD DE CUSCO”, es una “Investigación Aplicada”, porque intenta resolver el problema planteado en la investigación. Así mismo según su naturaleza es una Investigación cuantitativa, porque se observó y se recoleto datos numéricos.

### **3.2. NIVEL DE INVESTIGACION**

El trabajo de investigación tiene un “Nivel Experimental”, porque responderá a la pregunta ¿De qué manera es factible el uso de concreto reciclado (escombros de pavimentaciones rígidas, testigos de laboratorio) como agregado grueso para pavimentos rígidos (resistencia a la compresión) en la ciudad del cusco?, ¿Cuáles son las propiedades físico – mecánicas del agregado grueso de concreto para elaboración de concretos? y ¿Cuál es el diseño de mezclas utilizando agregado grueso de concreto reciclado para

resistencia a la compresión del concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> para pavimentos rígidos?

### **3.3. METODO DE LA INVESTIGACION**

La metodología será Hipotética- Deductiva; porque se ha planteado una hipótesis que se demostrara a través de medidas o deducciones que se realizaran en laboratorio.

### **3.4. POBLACION Y MUESTRA DE LA INVESTIGACION**

#### **3.4.1 Población**

Porque es una investigación experimental, la población estará constituida por los testigos de concreto simple (briquetas) elaboradas en la ciudad del cusco y se realizara el estudio experimental al concreto con la finalidad de obtener un diseño con un comportamiento requerido a la compresión utilizando concreto reciclado como agregado grueso.

#### **3.4.2 Muestra De Estudio**

La muestra representativa con la cual se desarrolló el trabajo de investigación fue de 36 briquetas elaboradas con SUSTITUCION DE agregado grueso reciclado proveniente de pavimentaciones rígidas en deterioro y escombros de testigos de laboratorio y agregado fino de la cantera Cordova-Humabutio

#### **3.4.3 Muestra De Estudio**

Se realizará el ensayo de resistencia a la compresión, mediante las rupturas de las probetas en sus diferentes edades de 3, 7, 14, y 28 días. Se romperán las probetas consecutivamente por edades requeridas y así mismo para se trabajara con un promedio sacado de las rupturas para obtener resultados más precisos.

### **3.5. TECNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS**

#### **3.5.1. Técnicas**

La técnica que se usó en la investigación es la observación para determinar incidencias adicionales que mostrara el concreto  $f'c=210$ kg/cm<sup>2</sup> a los 3, 7, 14 y 28 con el agregado grueso natural y el agregado grueso reciclado.

### 3.5.2. Instrumentos.

- Los formatos de recolección de datos para cada uno de los ensayos de laboratorio que se usaron.
- Instrumentos e equipos utilizados para evaluar las unidades de estudio.

## 3.6. PLAN DE RECOLECCION Y PROCESAMIENTO DE DATOS

### 3.6.1. Diseño teórico de mezcla

La selección de las proporciones de los materiales integrantes de la unidad cubica de concreto, conocida usualmente como diseño de mezcla, puede definirse como un proceso de selección con los materiales adecuados y de la combinación conveniente y económica de los mismos, con la finalidad de obtener un producto que en el estado no endurecido obtenga la trabajabilidad y consistencia adecuada, y que endurecido cumpla con los requisitos establecidos por el diseñador o indicados en los planos y/o las especificaciones de obra **(Rivva, 2010)**.

Existen diferentes métodos de diseño de mezcla; algunos pueden ser muy complejos como consecuencia a la existencia de múltiples variables de las que depende los resultados dichos métodos, aun así se desconoce el método que ofrezca resultados perfectos sin embargo existe la posibilidad de seleccionar alguno según sea la ocasión **(Bartz, 2006)**.

Las mezclas de concreto deberán cumplir con los siguientes Requisitos básicos:

- La mezcla recién preparada deberá tener la trabajabilidad, consistencia y cohesividad que permitan su adecuada colocación en los encofrados .Esta mezcla deberá estar libre de segregación y tener exudación mínima.
- La mezcla endurecida deberá tener las propiedades especificadas en función del uso que se va a dar a la estructura.
- El costo de la unidad cúbica de concreto endurecido deberá ser el mínimo compatible con la calidad deseada.

Así mismo el método a desarrollar en el presente trabajo de investigación será el usado por el COMITÉ ACI 211.

### **3.6.2. Diseño de Mezcla – Método ACI 211**

#### **Definición:**

El comité 211 del ACI ha desarrollado un procedimiento de diseño de mezclas bastante simple el cual, basándose en algunas de las tablas presentadas a continuación, permite obtener valores de los diferentes materiales que integran la unidad cubica de concreto, el procedimiento para la selección de las proporciones de se presentan a continuación es aplicable a concretos de peso normal y a las condiciones que para cada una de las tablas se indican en ellas, aunque los mismos datos básicos y procedimientos pueden ser empleados en el diseño de concretos pesados y concretos ciclópeos, al tratar estos se da la información complementaria. Es usual que las características de obra establezcan limitaciones a quien tiene la responsabilidad de diseñar la mezcla se puede tener las siguientes limitaciones; relación agua/cemento, contenido mínimo de cemento, contenido máximo de aire, asentamiento, tamaño máximo nominal del agregado grueso, resistencia en compresión mínima, requisitos especiales relacionados con la resistencia promedio, el empleo de aditivos, o la utilización de tipos especiales de cemento o agregados. Así mismo la estimación de las cantidades de materiales requeridas para preparar una unidad cubica de concreto implica una secuencia cuyo cumplimiento permite, en función de las características de los materiales, preparar la mezcla adecuada para el trabajo que se va efectuar **(Rivva, 2010)**.

#### **Pasos para el diseño de una mezcla de concreto**

##### **1. Recaudar el siguiente conjunto de información:**

**Tabla 18 Información requerida para el diseño de mezcla**

Información Requerida para realizar el diseño de mezcla
-Los materiales.
-El elemento a vaciar, tamaño y forma de las estructuras.
-Resistencia a la compresión requerida.
-Condiciones ambientales Durante El vaciado.
-Condiciones a la que estará expuesta la estructura.

*Fuente: Curso Básico de Tecnología del Concreto, Ing Ana Torre C., UNI*

#### **A. Determinar la resistencia requerida.**

Se presenta tres casos:

- **Caso a):** Si se contarán con datos estadísticos de producción en obra así como resultados de la rotura de probetas.
- **Caso b):** No contamos con suficientes datos estadísticos (entre 15 y 30 resultados).
- **Caso c):** Contamos con escasos (menos de 15 ensayos) o ningún dato estadístico.

#### **Desarrollo:**

- **Caso a): Si se contarán con datos estadísticos de producción en obra así como resultados de la rotura de probetas.**

En este caso, se utilizarán las siguientes fórmulas para calcular el  $f'_{cr}$

$$f'_{cr} = f'_{c} + 1.34Ds \quad (1)$$

$$f'_{cr} = f'_{c} + 2.33Ds - 35 \quad (2)$$

Donde:

$f'_{c}$ : Resistencia a la compresión especificada (Kg/cm<sup>2</sup>)

$f'_{cr}$ : Resistencia a la compresión requerida (Kg/cm<sup>2</sup>)

Ds: Desviación estándar en obra (Kg/cm<sup>2</sup>)

De ambos resultados se escogerá el mayor valor de las fórmulas, siendo este el  $f'_{cr}$  requerido con el cual vamos a diseñar.

- **Caso b): No contamos con suficientes datos estadísticos (entre 15 y 30 resultados).**

En este caso se utilizarán las fórmulas anteriores, donde al valor de  $D_s$  se amplificará por un factor de acuerdo a la siguiente tabla:

**Tabla 19 Factor de incremento**

<b>N° ENSAYOS</b>	<b>FACTOR DE INCREMENTO</b>
Menos de 15	Usar tabla Caso 3
15	1.16
20	1.08
25	1.03
30 o mas	1

Fuente: curso básico de tecnología del concreto – ing Ana de la torre- UNI

Entonces para calcular el  $f'_{cr}$  tendremos:

$$f'_{cr} = f'_{c} + 1.34(\alpha D_s).$$

$$f'_{cr} = f'_{c} + 2.33(\alpha D_s) - 35.$$

Dónde:  $\alpha$  = factor de amplificación.

Entonces para calcular el  $f'_{cr}$  tendremos:

$$f'_{cr} = f'_{c} + 1.34(\alpha D_s).$$

$$f'_{cr} = f'_{c} + 2.33(\alpha D_s) - 35.$$

Dónde:  $\alpha$  = factor de amplificación.

- **Caso c): Contamos con escasos (menos de 15 ensayos) o ningún dato estadístico.**

Para este caso el Comité del ACI nos indica aplicar la siguiente tabla para determinar el  $f'_{cr}$ .

**Tabla 20 Factor de incremento caso 3**

<i>f'c especificado</i>	<i>f'cr (Kg/cm<sup>2</sup>)</i>
< 210	f'c + 70
210 a 350	f'c + 85
> 350	f'c + 98

Fuente: curso básico de tecnología del concreto – Ing., Ana de la torre - UNI

## 2. Seleccionar el tamaño máximo nominal del agregado grueso (TNM).

En la mayoría de veces son las condiciones de refuerzo de las estructuras y las características geométricas la que limitan el tamaño máximo del agregado a utilizarse, a la vez existen también consideraciones a tomar en cuenta como la colación de concreto, el transporte y productividad que también pueden influir en limitarlo, la norma NTP 400.037 indica al tamaño máximo como aquel que corresponde al menor tamiz por el que pasa toda la muestra de agregado grueso (Menendez, 2013).

El TNM del agregado grueso no deberá ser mayor de uno de estos puntos:

- 1/5 de la menor dimensión entre las caras de encofrados.
- 3/4 del espacio libre mínimo entre barras o alambres individuales de refuerzo.
- Paquetes de barras, torones o ductos de presfuerzo.
- 1/3 del peralte de las losas.
- 

## 3. Selección del asentamiento

Si el asentamiento no se encuentra especificado entonces se puede partir con los valores indicados en la tabla 21 (Tipo de Estructura).

**Tabla 21 Asentamiento recomendados para diversos tipos de estructuras**

<b>Tipo de Construcción</b>	<b>SLUMP</b>	
	<b>Máximo (pulg)</b>	<b>Mínimo (pulg)</b>
<b>*Zapatas y muros de cimentación reforzada</b>	3"	1"
<b>*Zapatas simples , caissons y muros de Sub estructura</b>	3"	1"
<b>*Vigas y Muros reforzados</b>	4"	1"
<b>*Columnas de edificios</b>	4"	2"
<b>*Pavimentos y losas</b>	3"	1"
<b>*Concreto masivo</b>	2"	1"
Los valores máximos pueden ser incrementados en 1" para métodos de consolidación. Diferentes de vibración.		

Fuente: Curso Básico de tecnología del concreto – Ing. Ana de la Torre– UNI.

#### 4. Determinación del contenido de aire.

El ACI 211 establece una tabla la cual aproximadamente proporciona el porcentaje de contenido de aire atrapado en una mezcla de concreto en función del tamaño máximo nominal del agregado grueso, La tabla 22 indica la cantidad aproximada de contenido de aire atrapado que se espera encontrar en concretos sin aire incluido. Así mismo en el caso del contenido de aire incorporado también presenta una tabla el cual nos indica valores aproximados en función a las condiciones de exposición, severa, suave y moderada, estos valores señalados pueden discrepar con algunas especificaciones técnicas. Pero muestra los niveles recomendables del contenido promedio de aire para el concreto, cuando el aire se incluye a propósito por razones de durabilidad. En los concretos se encuentra una pequeña cantidad de porcentaje de aire atrapado, el cual se relaciona según el aporte de los materiales, la granulometría, tamaño máximo del agregado y las condiciones de operación, las burbujas de aire atrapado se caracterizan por un diámetro cercano de 1mm y su perfil regular (Torres, 2004).

**Tabla 22 Asentamiento recomendados para diversos tipos de estructuras**

<b>TABLA B</b>	
<b>Contenido de aire atrapado</b>	
<b>TNM del agregado Grueso</b>	<b>Aire Atrapado %</b>
3/8"	3
1/2"	2.5
3/4"	2
1"	1.5
1 1/2"	1
2 "	0.5
3 "	0.3
4 "	0.2

Fuente: Curso Básico de tecnología del concreto – Ing. Ana de la Torre–UNI.

### **5. Determinación del volumen de agua.**

La selección del volumen unitario de agua indica una determinación de la cantidad de agua que se debe incorporar a la mezcladora por unidad cubica de concreto y así poder obtener una consistencia determinada cuando los agregados estén en estado seco en la tabla 23 proporciona estimaciones de la cantidad de agua requerida en la mezcla de concreto en función del tamaño máximo de agregado y del asentamiento con aire incluido y sin él. Según la textura y forma del agregado, los requisitos de agua en la mezcla pueden ser mayores o menores que los valores tabulados, pero estos ofrecen suficiente aproximación para una primera mezcla de Prueba. (Torres, 2004).

**Tabla 23 Volumen por m<sup>3</sup> de Agua**

Asentamiento	Agua en lt/m <sup>3</sup> , para TNM agregados y consistencia indicadas							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
<b>Concreto sin aire incorporado</b>								
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	-
<b>Concreto con aire incorporado</b>								
1" a 2"	181	175	168	160	150	142	122	107
3" a 4"	202	193	184	175	165	157	133	119
6" a 7"	216	205	187	184	174	166	154	-

Fuente: Curso Básico de tecnología del concreto – Ing. Ana de la Torre– UNI.

## 6. Seleccionar la relación agua/cemento.

La relación a/c el cual se requiere no se determina solo por los requisitos de resistencia, sino también por el factor de durabilidad y propiedades para el acabado. Ya que distintos cementos y agregados producen por lo generalmente resistencias diferentes con la misma relación a/c, es necesario conocer o desarrollar la relación entre la resistencia y la relación a/c de los materiales que se usaran realmente, Para condiciones severas de exposición, la relación a/c deberá mantenerse baja, aun cuando los requisitos de resistencia puedan cumplirse con un valor más alto. Las tablas 24 muestran estos valores límites (Torres, 2004).

**Tabla 24 Relación a/c por resistencia**

f'c kg/cm <sup>2</sup>	Relación a/c en peso	
	Concreto sin aire incorporado	Concreto con aire incorporado
150	0.8	0.71
200	0.7	0.61
250	0.62	0.53
300	0.55	0.46
350	0.48	0.4
400	0.43	-
450	0.38	-

Fuente: Curso Básico de tecnología del concreto – Ing. Ana de la Torre– UNI.

## 7. Cálculo del contenido de cemento

Se obtiene dividiendo los valores hallados en los pasos (f) / (g)

## 8. Cálculo de los pesos de los agregados.

Está en función del método de diseño específico a emplear o basado puntualmente en alguna teoría de combinación de agregados.

## 9. Determinación del peso del agregado grueso

**Tabla 25 Peso del agregado por unidad de volumen del concreto**

TNM del agregado Grueso	Peso del agregado grueso seco y compactado por unidad			
	2.4	2.6	2.8	3
3/8"	0.5	0.48	0.46	0.44
1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4"	0.66	0.64	0.62	0.6
1"	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2"	0.76	0.74	0.72	0.7
2"	0.78	0.76	0.74	0.72
3"	0.81	0.79	0.77	0.75
6"	0.87	0.85	0.83	0.81

Fuente: Curso Básico de tecnología del concreto – Ing. Ana de la Torre– UNI.

## 10. Ajuste por el contenido de humedad

Corrección por humedad del diseño de mezcla en estado seco Hay que tener en cuenta la humedad de los agregados para pesarlos correctamente (Torres, 2004). Por lo general los agregados están húmedos y a su peso seco se le sumara el peso del agua que contiene, absorbida como superficial.

Peso agregado húmedo = Peso agregado seco (1 + Cont. humedad del agregado (%))

### **Referencias Normativas**

NTP 339.183 CONCRETO. Practica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de concreto en el laboratorio.

ASTM C 192 Standard Practices for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory.

### **I. Toma de muestra de concreto fresco**

Para recoger las muestras del concreto fresco, se utilizan recipientes de materiales no absorbentes y de preferencias metálicas, de forma y tamaños adecuados a fin de impedir la segregación del concreto, se debe contar una pala o cucharón para homogeneizar la muestra, antes de realizar los ensayos.

Al sacar las muestras se tomaron las precauciones necesarias para conseguir que sean realmente representativas del concreto a trabajar, para ello la descarga de la mezcladora se dirige para que caiga al recipiente, teniendo cuidado de que la velocidad de descarga no fuera tan mínima como para producir una segregación del concreto. (Sanchez, 2015).

### **II. Ensayo de Consistencia o Slump Mediante Cono de Abrams**

El denominado ensayo de asentamiento o slump, llamado también de revenimiento o “slump test”, se encuentra ampliamente difundido y su empleo es aceptado para caracterizar el comportamiento del concreto fresco.

El ensayo consistió en consolidar una muestra de concreto fresco en un molde troncocónico, midiendo el asiento del concreto luego de desmoldarlo. El comportamiento del concreto en la prueba, indica su consistencia o sea la capacidad para adaptarse al encofrado o molde con facilidad, manteniéndose homogéneo con un mínimo de vacíos.

La consistencia se modifica fundamentalmente por variaciones del contenido de agua en la mezcla.

En los concretos bien proporcionados, el contenido de agua necesario para producir un asentamiento determinado depende de varios factores: se requiere de más agua con agregados de forma angular y textura rugosa; reduciéndose su contenido al incrementarse el tamaño máximo del agregado.

Para realizar el ensayo de consistencia utilizamos un molde troncocónico y una varilla de 5/8" con punta de bala, el molde descansa sobre una superficie plana no absorbente, dicho molde se llenó en tres capas, luego se compacta cada capa mediante 25 golpes con la varilla de acero, estos golpes se les propinan en forma distribuida y en forma de espiral, se tuvo cuidado que la barra solo compacte la capa ensayada. La última capa se enrasa con ayuda de una espátula para luego levantar el molde verticalmente y con mucho cuidado; el ensayo culmina al medir el asiento del concreto que es la diferencia entre la altura del molde y la cara superior central de la mezcla (Sanchez, 2015).

### **III. Elaboración de Probetas Cilíndricas de Concreto**

La resistencia del concreto se ve afectada por el efecto de tamaño, el cual es un fenómeno en el que se observa que entre menor es el tamaño del espécimen, mayor es su resistencia. La forma del espécimen también influye en el resultado de resistencia. Por ejemplo, un cilindro de concreto de 150x300 mm alcanza una resistencia aproximada del 80% de la que se obtiene con un espécimen cúbico de 150 mm de lado, por el efecto de restricción de placas. En concretos de alta resistencia el factor de 80% aumenta (Sanchez, 2015).

Por las razones anteriores, la norma ASTM C 39 define una forma (cilíndrica) y dos tamaños (150x300 mm y 100x200 mm) para el espécimen normalizado. La forma cilíndrica se ha preferido debido a una mayor uniformidad por un efecto menor de la restricción de placas, mejor distribución de los esfuerzos en planos horizontales y menor efecto de pared del agregado grueso en la resistencia.

La diferencia de resistencia entre los dos tamaños de cilindros no es significativa y su escogencia depende del tamaño máximo del agregado. Es recomendable utilizar el tamaño de 100x200 mm siempre que sea posible, pues tiene ventajas como facilidad de manipulación, menos propensos a daños, menor costo de moldes, utilización de una máquina de menor capacidad, menos concreto y menos espacio para almacenamiento y curado (Gonzales, 2011) .

#### **IV. Curado**

La cura y protección de los especímenes moldeados tanto en su estado fresco como endurecido, son importantes para que no se vean afectados los resultados de resistencia obtenidos a partir de la falla de los mismos. Cabe destacar que en la etapa de curado los especímenes de concreto desarrollan la resistencia con el tiempo, y este desarrollo de resistencia depende mucho del proceso de hidratación del cemento dentro de la masa de concreto. Si se cuenta con un curado apropiado, el cemento puede hidratarse continuamente y desarrollar la reacción química que genera la resistencia con el tiempo. Si el curado es deficiente, el cemento no se hidrata adecuadamente y la resistencia de diseño es probable que no se llegue a alcanzar (Gonzales, 2011).

Igual que con el moldeo, existen estándares establecidos para realizar protecciones y curados apropiados a los especímenes. Para el caso de los especímenes moldeados en campo, estos parámetros se especifican en la norma ASTM C31 (Gonzales, 2011).

En esta norma, se indican las condiciones de humedad relativa y temperatura que se deben controlar para generar las condiciones ambientales apropiadas para que los especímenes moldeados de concreto, desarrollen la resistencia requerida para la aceptación de un concreto muestreado en obra, estas condiciones se deben tomar en cuenta tanto en la etapa del curado inicial como en la etapa del curado final (Gonzales, 2011).

## V. Velocidad de Ruptura

El concreto es un material visco elástico, lo cual quiere decir que su deformación aumenta con el tiempo para un esfuerzo constante. Este fenómeno se conoce como flujo plástico y provoca que la resistencia aumente conforme aumenta la velocidad de deformación. La figura 7 muestra la variación de la resistencia del concreto en compresión con la velocidad de esfuerzo.

La norma ASTM C 39 establece la velocidad de deformación en términos de velocidad de esfuerzo, la cual debe mantenerse entre 0.2 MPa/s y 0.3 MPa/s en la segunda mitad de la fase de carga estimada. Por ejemplo, un espécimen de 150×300 mm y 28 MPa de resistencia estimada debe durar entre 47 y 70 segundos en la segunda fase de carga (a partir de 14 MPa). En la primera fase de carga, la velocidad no está establecida pero hay que asegurarse que la carga sea continua y sin golpes.

En máquinas con servo control, se programa la velocidad en términos de esfuerzo o de carga. En este caso, se puede mantener la velocidad constante durante todo el proceso. Para el espécimen del ejemplo anterior, la velocidad de carga estaría entre 3.53 kN/s y 5.30 kN/s. Sin embargo, se recomienda programar la velocidad en términos de esfuerzo, pues en este caso se puede utilizar para cualquier tamaño de espécimen.

En máquinas con control manual, existe la posibilidad de introducir el diámetro del espécimen y observar en la pantalla del indicador la velocidad en términos de esfuerzo (MPa/s). En este caso, la primera mitad de la fase de carga (de 0 MPa a 14 MPa) sirve para ajustar la velocidad manualmente y aproximarla a los valores indicados en el rango.

Para las máquinas que solo tienen indicador analógico de carga, es necesario fallar un cilindro de prueba para ajustar la velocidad al tiempo requerido. Para el espécimen del ejemplo, se debería durar entre 47 y 70 segundos entre la carga de 247 kN (mitad de la carga estimada) y 495 kN (carga de falla estimada). Para este tipo de máquinas, cuando la carga de falla estimada difiere significativamente de la carga estimada, se debe calcular de nuevo el tiempo con la carga obtenida (Gonzales, 2011).

## **VI. Condición de humedad del espécimen**

La norma ASTM C 39 especifica que una vez que los especímenes son retirados de la cámara húmeda, deben fallarse lo antes posible y en condición húmeda. Lo anterior se debe a que si el espécimen pierde humedad su resistencia disminuye y es más sencillo mantener el espécimen húmedo que definir algún grado de sequedad (Gonzales, 2011).

También se ha observado que un espécimen seco al horno resiste más que un espécimen húmedo, y que si el espécimen seco al horno se humedece hasta obtener la condición de humedad inicial, se obtiene la misma resistencia que se hubiera obtenido si se fallara al sacarlo de la cámara húmeda (Gonzales, 2011).

Se recomienda que cuando se fallen muchos cilindros a la vez, se mantengan bien húmedos con un rociador de agua y que en el momento de la falla se asegure que el espécimen se encuentra totalmente húmedo (Gonzales, 2011).

## **VII. Ensayo de la Resistencia a la Compresión**

La calidad del concreto se establece generalmente por referencia a su resistencia a la compresión.

La resistencia a la compresión del concreto es la capacidad de soportar cargas y esfuerzos, siendo su mejor comportamiento en compresión en comparación con la tracción, debido a las propiedades adherentes de la pasta de cemento.

La resistencia depende principalmente de la concentración de la pasta de cemento la cual se expresa en términos de la relación a/c en peso.

La resistencia se ve influenciada por el tipo de curado inicial, el tamaño de la probeta, la velocidad de descarga, la esbeltez de la probeta, el estado de humedad, el refrendado, etc.

La máquina de ensayo a utilizar es una prensa manual de uso corriente, la maquina está provista de dos bloques de acero de superficie endurecida, entre los cuales se comprimen las probetas sometidas a ensayo, el cabezal inferior sobre el que descansa la probetas sometidas a

ensayo, el cabezal inferior sobre el que descansa la probeta es rígido y plano, el cabezal superior está provisto de un dispositivo a rotula que le permite rotar libremente e inclinarse pequeños ángulos en cualquier dirección.

El diámetro de la superficie plana de cada uno de los calzados es mayor que el diámetro de la probeta.

Las probetas se ensayan inmediatamente después de ser retirados se la poza de curado, el ensayo de compresión de probetas de concreto se realizaran con la probeta en estado húmedo.

Antes de realizar el ensayo a la compresión, primeramente los moldes fueron pesados y tomados sus diámetros a fin de poder obtener el área de contacto, luego se hizo el refrentado o “capping”, el cual permite eliminar ciertas irregularidades que pudieran existir en las bases de las probetas y obtener el paralelismo de ambas bases el cual es un requisito fundamental para la realización de dicho ensayo (Sanchez y Tapia, 2015).

### **3.6.2. Obtención del agregado grueso reciclado**

#### **A. Recolección del concreto reciclado**

Se realizó la recolección del concreto reciclado de pavimento rígido durante el proceso de demolición de la pavimentación de la calle Perú que se encuentra entre la Urb. Progreso y la Urb. Ttio norte, Distrito de Wanchaq el cual se encontraba en deterioro se tomó dos puntos de muestreo de la vía con la ayuda de una retroexcavadora y un volquete de 5m<sup>3</sup> para llevar al lugar de acopio para el triturado, de igual forma se recolecto los testigos de concreto después de su ruptura del laboratorio geotest ubicado en la urb. Quispicanchis Av. Brasil de la ciudad del cusco hacia el lugar de acopio.

#### **B. Limpieza preliminar y reducción de tamaño**

El concreto reciclado que se llevó al lugar de acopio está compuesto por concreto con incrustaciones de varillas de refuerzo y de mallas de temperatura con acero de ¼” y pequeñas cantidades de material clasificado para base, en la etapa de limpieza preliminar se realizó

separar los escombros que son de concreto, fue necesario reducir el tamaño de los trozos de concreto de pavimento rígido para que puedan ser separados en el sistema de reciclado manual.

### **C. Triturado Primario**

Posterior a las operaciones de limpieza preliminar y de reducción de tamaño, se seleccionó el escombro en un área de trabajo el cual se separó en dos categorías para el triturado primario: escombros mayores a 15 cm y escombros menores de 15 cm que no lo necesitan, el equipo de trabajo consto de 2 personas que realizaron el triturado primario con comba de 25 libras, durante el procedimiento las varillas de aceros son separadas manualmente del concreto.

### **D. Triturado secundario**

Posterior al triturado primario se realizó el triturado secundario con combas de 8 libras quedando el agregado grueso reciclado en tamaño de  $\frac{3}{4}$ " que pasa la malla de 1" y queda retenida en malla de  $\frac{3}{4}$ "

### **3.6.3. Concreto Convencional**

Se realizó la mezcla con las características:

- Resistencia nominal: 210 Kg/cm<sup>2</sup>
- Resistencia promedio requerida: 295 kg/cm<sup>2</sup>
- Asentamiento: 1 a 3"
- Relación agua/cemento:  
✓ F'C= 210 kg/cm<sup>2</sup> = 0.44

## CAPITULO IV: RESULTADOS

### 4.1. RESULTADO DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO F'C=210KG/CM2

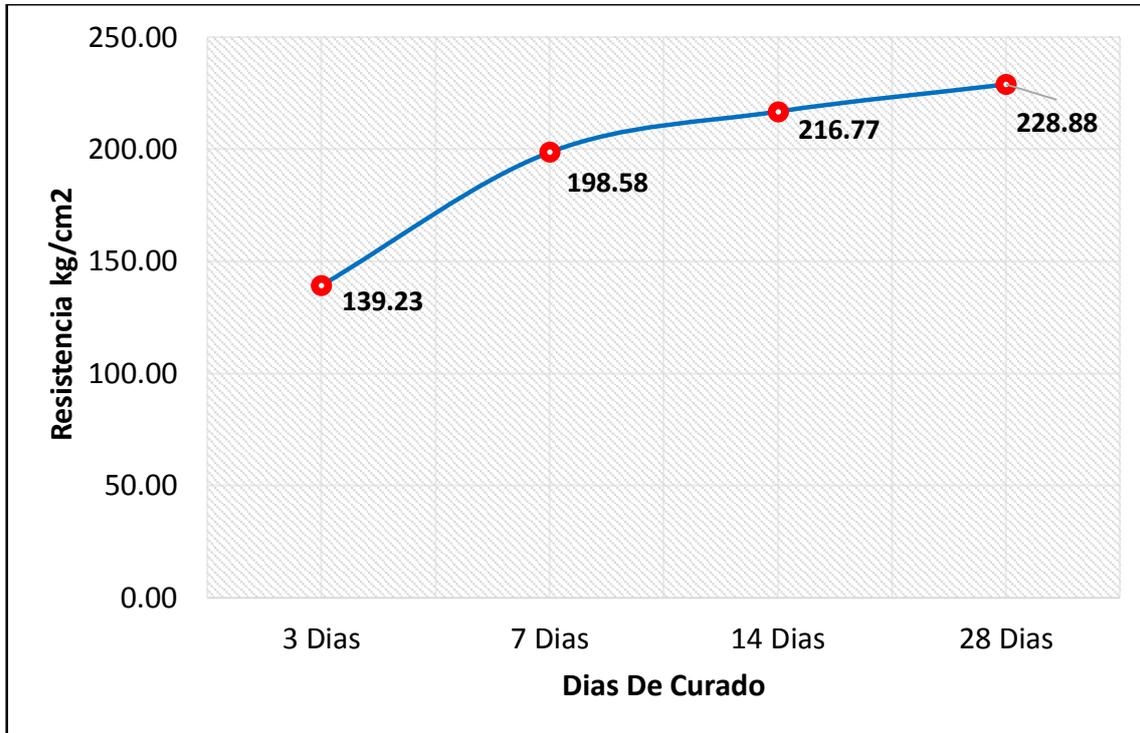
A. Resultado de la resistencia del concreto  $f'_c = 210\text{kg/cm}^2$  con agregado grueso reciclado de pavimentaciones rígidas en deterioro.

**Tabla 26 Resistencias promedio a la Compresión y desviación estándar del concreto con agregado grueso reciclado de pavimentaciones rígidas en deterioro a las distintas edades**

Días Curado y Rotura	Dimensiones		Esfuerzo Ultimo ( kgf/cm <sup>2</sup> )	Promedio Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	% Resistencia	Desviación Estándar
	Diámetro	Altura				
3	10	20	139.23	139.23	66.30%	0.33
3	10	20	139.56			
3	10	20	138.90			
7	10	20	198.25	198.58	94.56%	0.53
7	10	20	198.30			
7	10	20	199.20			
14	10	20	216.56	216.77	103.22%	0.18
14	10	20	216.90			
14	10	20	216.85			
28	10	20	228.65	228.88	108.99%	0.28
28	10	20	228.80			
28	10	20	229.20			

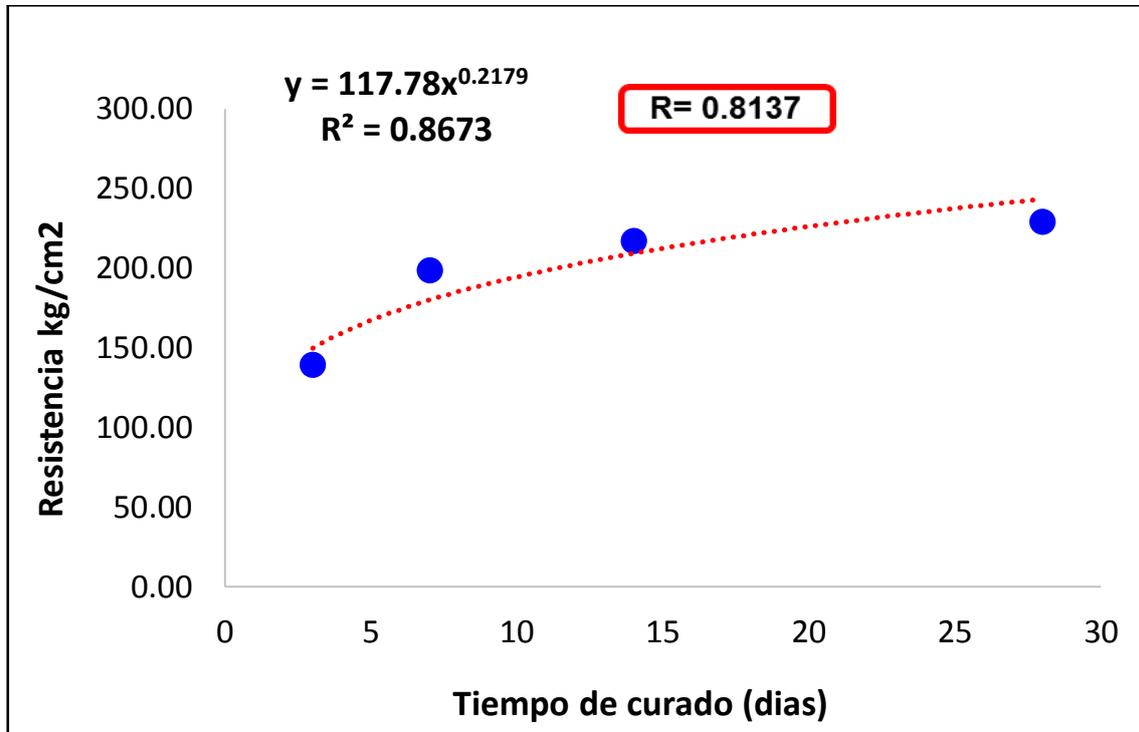
Fuente: Elaboración Propia

**Grafico 1 Curva de resistencia a la compresión del concreto con agregado grueso reciclado de pavimentaciones rígidas en deterioro**



Fuente: Elaboracion Propia

**Grafico 2 Coeficiente de correlación a la resistencia del concreto  $f'c=210\text{kg/cm}^2$  con agregado grueso reciclado de pavimentaciones rígidas en deterioro.**



Fuente: Elaboración Propia.

El gráfico 02, indica que para el caso del concreto reciclado de pavimento rígido como agregado grueso incorporada al concreto, presenta un coeficiente de correlación de 81%, existiendo una relación aceptable entre las dos variables. Así mismo la desviación estándar muestra que los resultados de rotura son casi homogéneas variación entre 0.18 hasta 0.53 kg/cm<sup>2</sup> en cada una de las roturas.

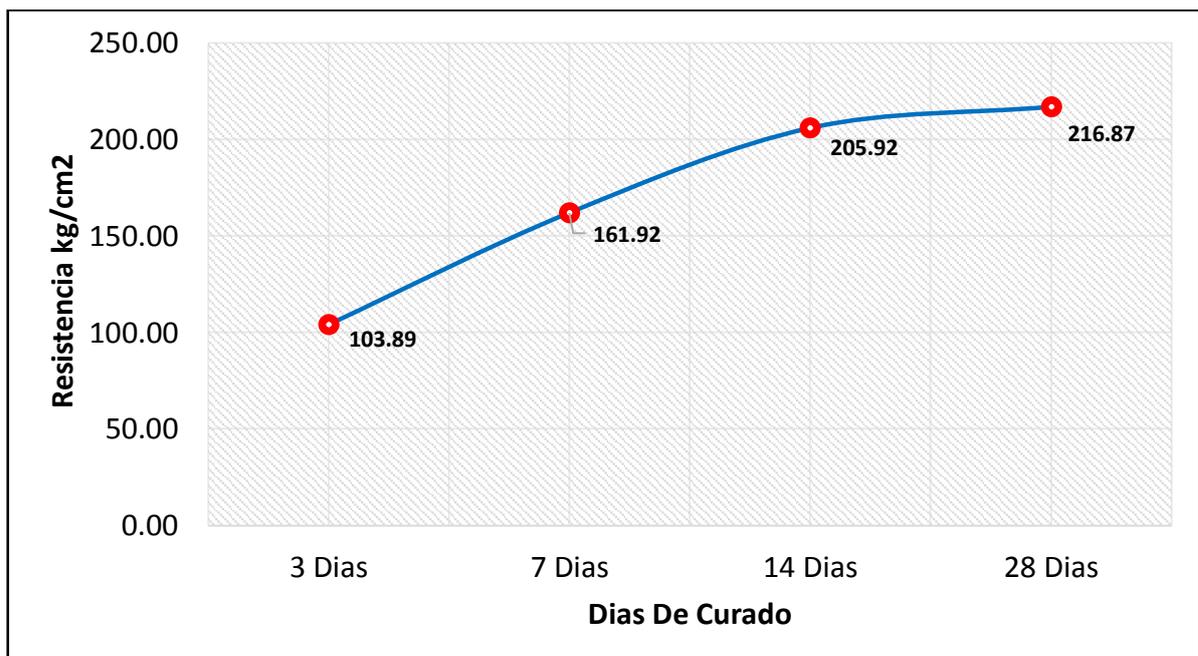
**B. Resultado de la resistencia del concreto  $f'c= 210\text{kg/cm}^2$  con agregado grueso reciclado con escombros de testigos de laboratorio.**

**Tabla 27 Resistencias promedio a la Compresión y desviación estándar del concreto con agregado grueso reciclado con escombros de testigos de laboratorio a las distintas edades**

Días Curado y Rotura	Dimensiones		Esfuerzo Ultimo ( kgf/cm <sup>2</sup> )	Promedio Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	% Resistencia	Desviación Estándar
	Diámetro	Altura				
3	10	20	103.52	103.89	49.47%	0.34
3	10	20	104.20			
3	10	20	103.95			
7	10	20	162.56	161.92	77.10%	0.63
7	10	20	161.30			
7	10	20	161.90			
14	10	20	205.55	205.90	98.05%	0.33
14	10	20	206.20			
14	10	20	205.95			
28	10	20	216.50	216.87	103.27%	0.40
28	10	20	217.30			
28	10	20	216.80			

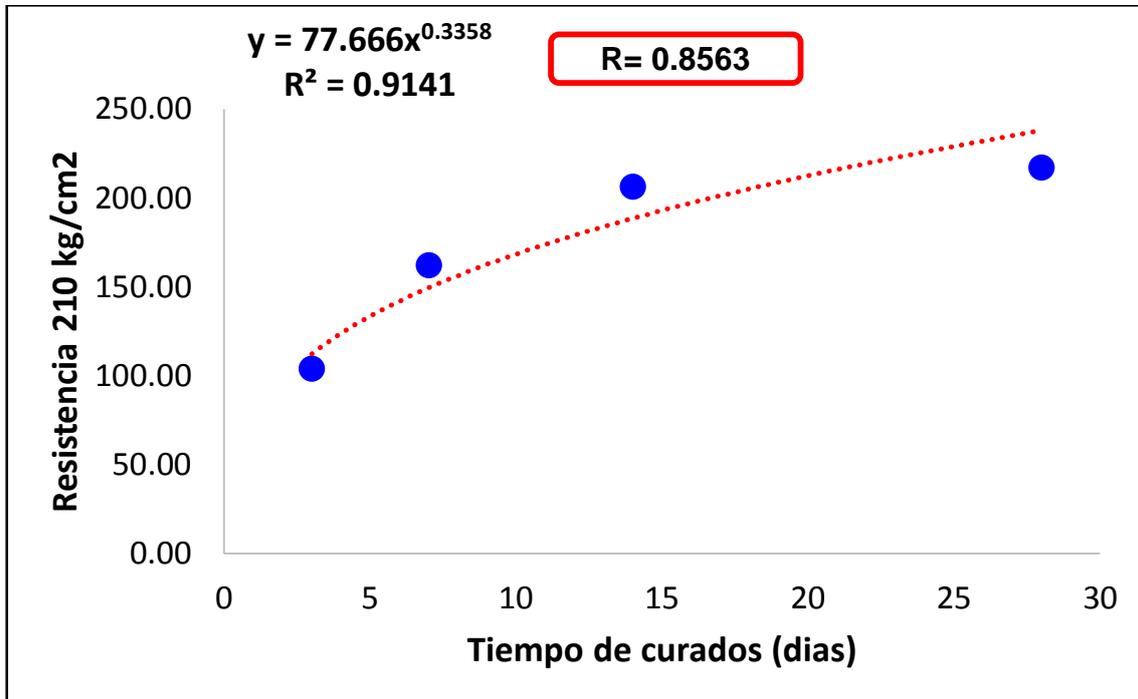
Fuente: Elaboración Propia

**Grafico 3 Curva de resistencia a la compresión del concreto con agregado grueso reciclado con escombros de testigos de laboratorio**



Fuente: Elaboración Propia.

**Grafico 4 Coeficiente de correlación a la resistencia del concreto  $f'c=210\text{kg/cm}^2$  con agregado grueso reciclado con escombros de testigos de laboratorio.**



Fuente: Elaboración Propia

El grafico 04 para el concreto reciclado con testigos de concreto como agregado grueso de  $\frac{3}{4}$ ", incorporadas al concreto esta muestra un coeficiente de correlación de 86 %, existiendo relación entre las dos variables. La desviación estándar muestra que los resultados de rotura son casi homogéneas teniendo diferencia entre 0.33 hasta 0.63 kg/cm<sup>2</sup>.

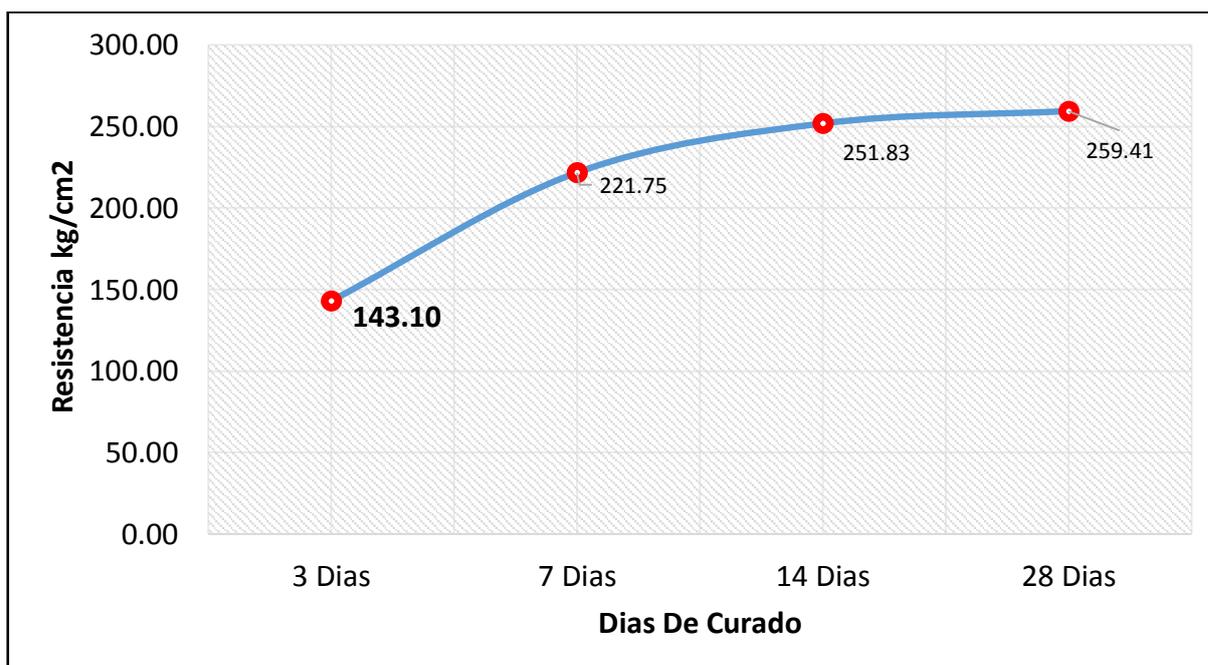
**C. Resultados de la resistencia del concreto patrón  $f'c= 210\text{kg/cm}^2$  con agregado de la cantera de Córdoba - Huambutio.**

**Tabla 28 Resistencias promedio a la Compresión y desviación estándar del concreto patrón con agregado de la cantera de Córdoba - Huambutio a las distintas edades**

Días Curado y Rotura	Dimensiones		Esfuerzo Ultimo ( kgf/cm <sup>2</sup> )	Promedio Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	% Resistencia	Desviación Estándar
	Diámetro	Altura				
3	10	20	142.45	143.10	68.14%	0.56
3	10	20	143.46			
3	10	20	143.38			
7	10	20	221.98	221.75	105.60%	0.55
7	10	20	222.15			
7	10	20	221.12			
14	10	20	252.25	251.83	119.92%	0.45
14	10	20	251.35			
14	10	20	251.90			
28	10	20	259.20	259.41	123.53%	0.39
28	10	20	259.18			
28	10	20	259.86			

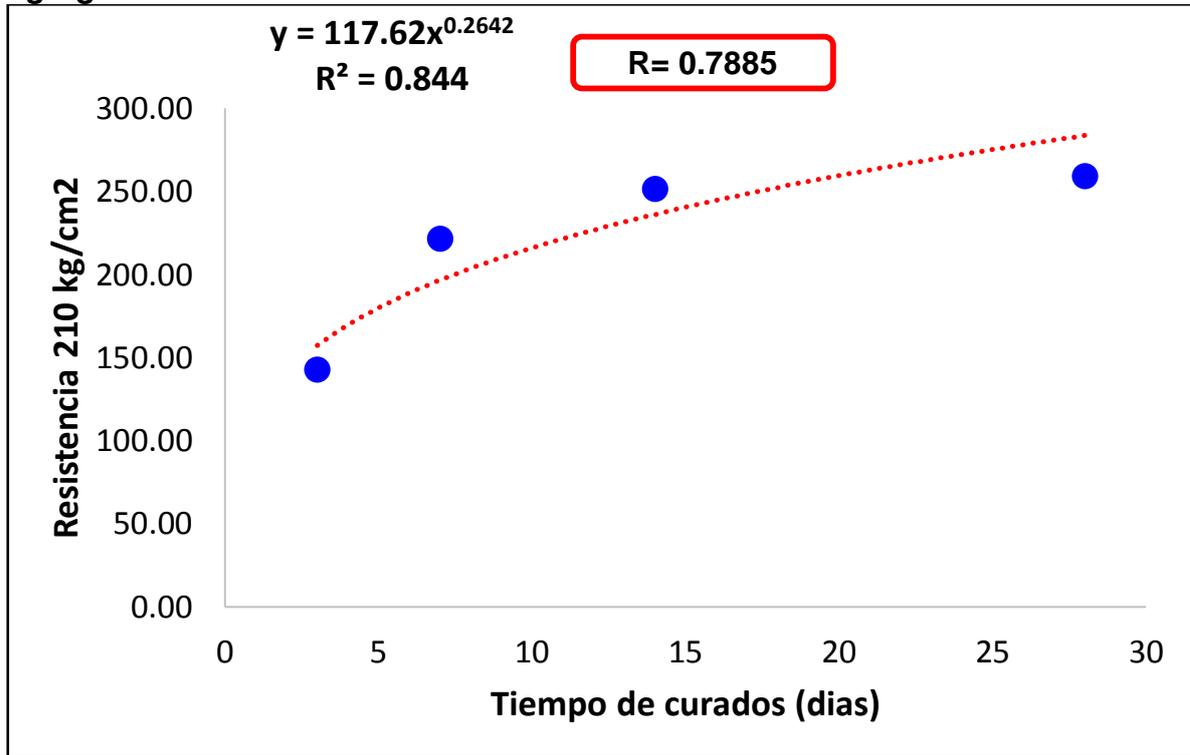
Fuente: Elaboración Propia

**Grafico 5 Curva de resistencia a la compresión del concreto patrón con agregado de la cantera de Córdoba - huambutio**



Fuente: Elaboración Propia

**Grafico 6 Coeficiente de correlación a la resistencia del concreto patrón con agregado de la cantera de Córdoba - Huambutio a las distintas edades**



Fuente: Elaboración Propia

En el grafico 06 podemos apreciar que para el caso de las briquetas testigo, esta muestra un coeficiente de correlación de 79 %, existe relación entre las dos variables. La desviación estándar muestra que las roturas presentan variación, tendiendo diferencia significativas entre 0.39 hasta 0.56 kg/cm2.

#### **4.2. RESULTADOS DEL PORCENTAJE DE RESISTENCIA ALCANZADA DURANTE EL TIEMPO DE CURADO.**

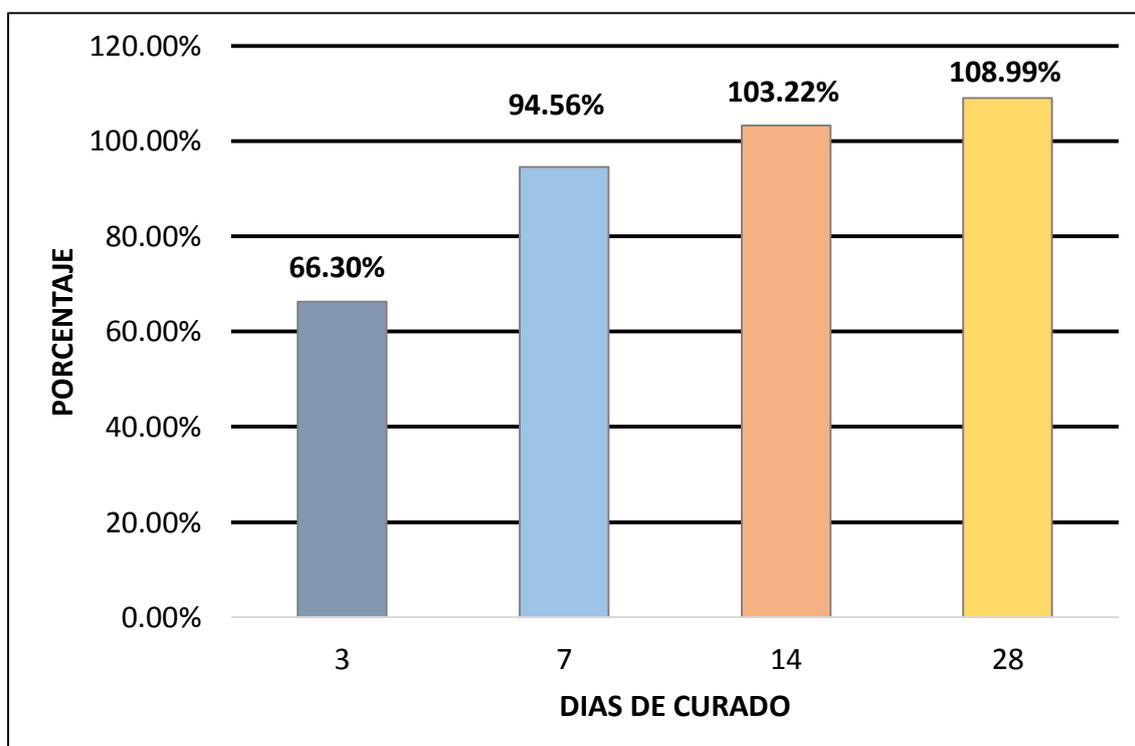
##### **A. Porcentaje de resistencia a la compresión del concreto con agregado grueso reciclado de pavimentaciones rígidas en deterioro**

**Tabla 29 Porcentaje de la resistencia a la compresión del concreto con agregado grueso reciclado de pavimentaciones rígidas en deterioro.**

Días Curado y Rotura	Dimensiones		Esfuerzo Ultimo ( kgf/cm2)	Promedio Esfuerzo (kg/cm2)	% Resistencia
	Diámetro	Altura			
3	10	20	139.23	139.23	66.30%
3	10	20	139.56		
3	10	20	138.90		
7	10	20	198.25	198.58	94.56%
7	10	20	198.30		
7	10	20	199.20		
14	10	20	216.56	216.77	103.22%
14	10	20	216.90		
14	10	20	216.85		
28	10	20	228.65	228.88	108.99%
28	10	20	228.80		
28	10	20	229.20		

Fuente: Elaboración Propia

**Grafico 7 Porcentaje de la resistencia a la compresión del concreto con agregado grueso reciclado de pavimentaciones rígidas en deterioro**



Fuente: Elaboración Propia

Se puede observar en el grafico 07 el promedio de las resistencias alcanzadas en la rotura de testigos de concreto, a las cuales se les incorporo concreto reciclado de pavimento rígido como agregado grueso de  $\frac{3}{4}$ ", a los 3 días de curado alcanzando una resistencia de 139.23 kg/cm<sup>2</sup> haciendo un porcentaje de 66.30%, presentando un crecimiento exponencial a los 28 días de curado con una resistencia promedio de 228.88 kg/cm<sup>2</sup> haciendo un porcentaje de 108.99%

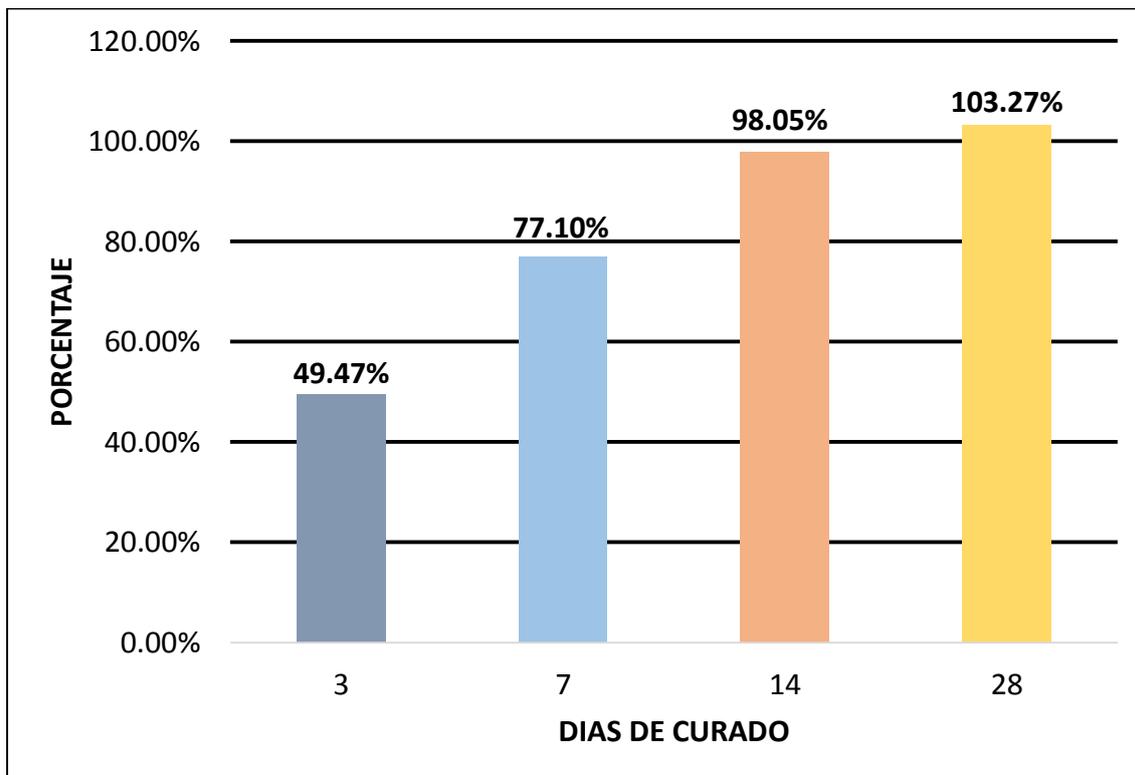
**B. Porcentaje de la resistencia del concreto con agregado grueso reciclado con escombros de testigos de laboratorio.**

**Tabla 30 Porcentaje de la resistencia del concreto con agregado grueso reciclado con escombros de testigos de laboratorio.**

<b>Días Curado y Rotura</b>	<b>Dimensiones</b>		<b>Esfuerzo Ultimo ( kgf/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Promedio Esfuerzo (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>% Resistencia</b>
	<b>Diámetro</b>	<b>Altura</b>			
<b>3</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>103.52</b>	<b>103.89</b>	<b>49.47%</b>
<b>3</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>104.20</b>		
<b>3</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>103.95</b>		
<b>7</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>162.56</b>	<b>161.92</b>	<b>77.10%</b>
<b>7</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>161.30</b>		
<b>7</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>161.90</b>		
<b>14</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>205.55</b>	<b>205.90</b>	<b>98.05%</b>
<b>14</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>206.20</b>		
<b>14</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>205.95</b>		
<b>28</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>216.50</b>	<b>216.87</b>	<b>103.27%</b>
<b>28</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>217.30</b>		
<b>28</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>216.80</b>		

Fuente: Elaboración Propia

**Grafico 8 Porcentaje de la resistencia del concreto con agregado grueso reciclado con escombros de testigos de laboratorio.**



Fuente: Elaboración Propia

Se puede observar en el grafico 08 el promedio de las resistencias alcanzadas en la rotura de testigos de concreto con escombros de testigos de laboratorio como agregado grueso de  $\frac{3}{4}$ ", a los 3 días de curado alcanzando una resistencia de 103.89 kg/cm<sup>2</sup> haciendo un porcentaje de 49.47%, presentando un crecimiento exponencial a los 28 días de curado con una resistencia promedio de 216.87 kg/cm<sup>2</sup> haciendo un porcentaje de 103.27%, siendo menor en comparación a los testigos de concreto con concreto reciclado de pavimento rígido como agregado grueso.

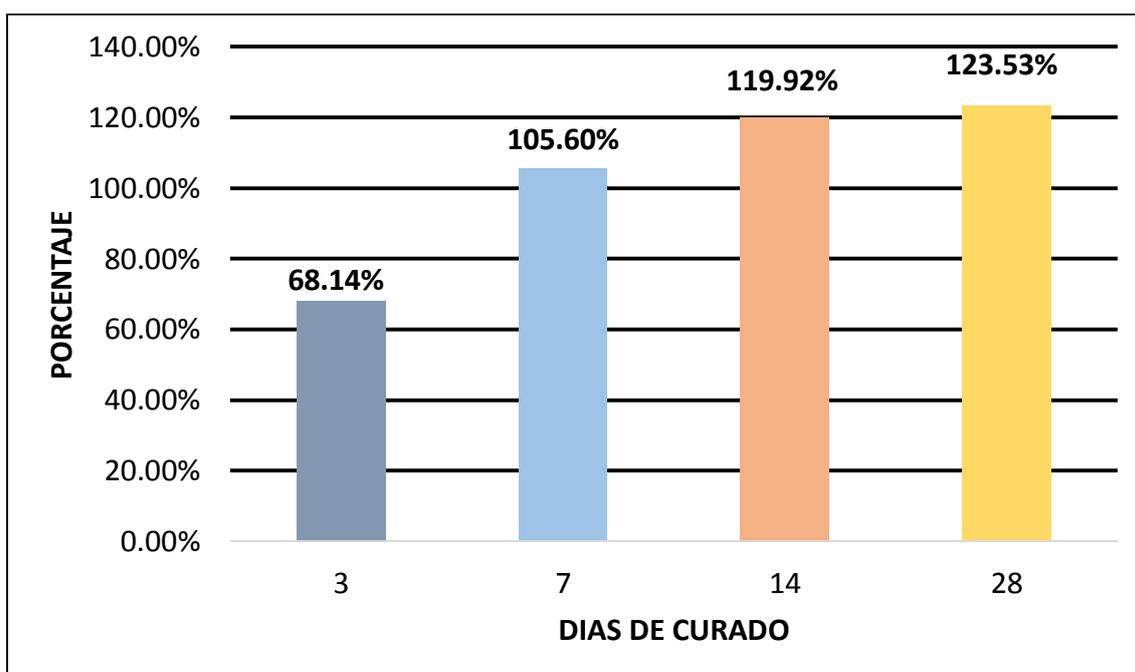
**C. Porcentaje de la resistencia del concreto patrón con agregado de la cantera de Córdova - Huambutio.**

**Tabla 31 Porcentaje de la resistencia del concreto patrón con agregado de la cantera de Córdova - Huambutio**

<b>Días Curado y Rotura</b>	<b>Dimensiones</b>		<b>Esfuerzo Ultimo ( kgf/cm2)</b>	<b>Promedio Esfuerzo (kg/cm2)</b>	<b>% Resistencia</b>
	<b>Diámetro</b>	<b>Altura</b>			
3	10	20	142.45	143.10	68.14%
3	10	20	143.46		
3	10	20	143.38		
7	10	20	221.98	221.75	105.60%
7	10	20	222.15		
7	10	20	221.12		
14	10	20	252.25	251.83	119.92%
14	10	20	251.35		
14	10	20	251.90		
28	10	20	259.20	259.41	123.53%
28	10	20	259.18		
28	10	20	259.86		

Fuente: Elaboración Propia

**Grafico 9 Porcentaje de rotura con agregado grueso de 3/4" de la cantera de Huambutio Córdova**



Fuente: Elaboración Propia

Se puede apreciar en el grafico 09 el promedio de las resistencias alcanzadas en la ruptura de testigos de concreto, las cuales se trabajaron sin incorporación de concreto reciclado como agregado grueso, llegando a alcanzar una resistencia promedio a los 3 días de curado de 143.10 kg/cm<sup>2</sup> haciendo un 68.14%, incrementándose hasta alcanzar a los días de curado una resistencia de 259.41 haciendo un 123.53%.

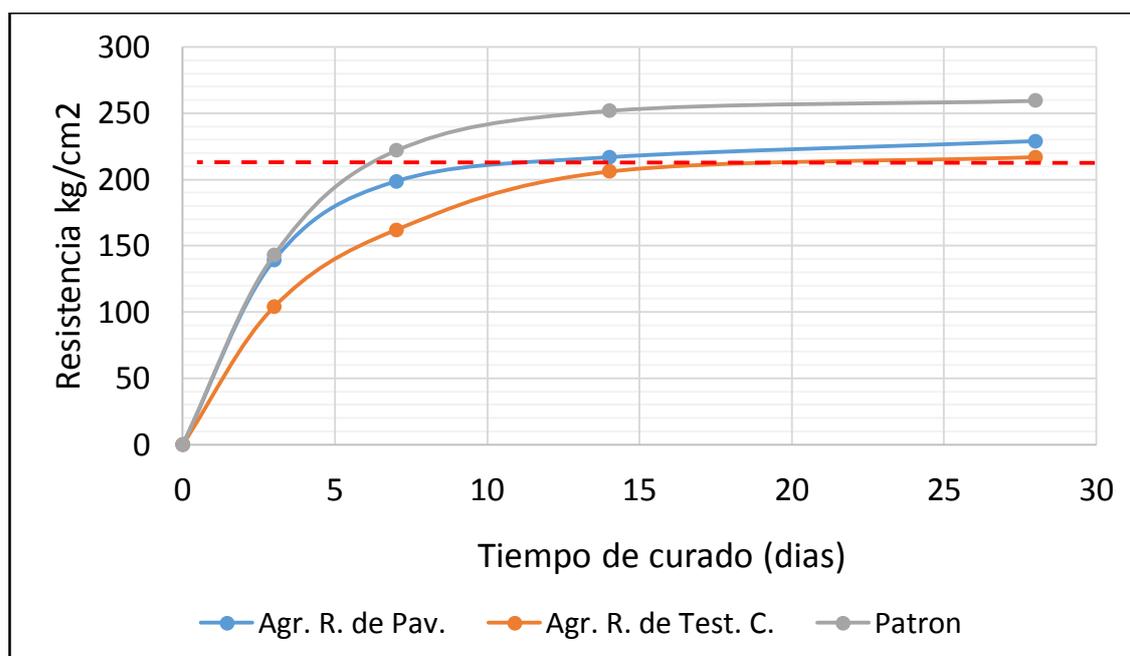
#### 4.3. RESUMEN DEL PROMEDIO DE LA RESISTENCIA OBTENIDAS EN CADA CASO

**Tabla 32 Promedio de la resistencia a compresión de las diferentes mezclas realizadas**

Días de Curado y Rotura	Agr. R. de Pavimento	Agr. R de Test. Lab.	Testigos Patrón
3	139.23	103.89	143.10
7	198.58	161.92	221.75
14	216.77	205.90	251.83
28	228.88	216.87	259.41

Fuente: Elaboración Propia

**Grafico 10 Promedio de la resistencia a compresión de las diferentes mezclas realizadas**



Fuente: Elaboración Propia

Del grafico 10 se observa que el concreto reciclado de pavimento rígido con el cual se elaboró el diseño de mezcla en los 28 días de curado alcanzo 228.88 kg/cm<sup>2</sup>, teniendo por debajo al concreto reciclado de testigos de concreto como agregado grueso con un 216 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días de curado y por encima a los testigos con agregado de Huambutio con 259 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días de curado superando todas las muestras.

## CAPITULO V: DISCUSIÓN

Con el trabajo de investigación realizado se tiene como resultado la factibilidad del uso del concreto reciclado (escombros de pavimentaciones rígidas, testigos de laboratorio) como agregado grueso para pavimentos rígidos (resistencia a la compresión) en la ciudad del cusco. Lo cual concuerda con las conclusiones formuladas por el Ing. Carlos García Landa en su trabajo de investigación “Características mecánicas de concretos reciclados fabricados con desechos sólidos de construcción” en la **UNIVERSIDAD DE VERACRUZANA**, en el que afirma “Finalmente, se puede decir que debido al comportamiento equivalente en todas las pruebas tanto en forma de agregado, como en concreto en estado fresco y endurecido, es factible la utilización de agregados gruesos reciclados (pavimentos) en la elaboración de nuevos concretos”.

De los resultados; alcanzando la resistencia requerida por el diseño de mezcla con el concreto reciclado como agregado grueso y en comparación con el concreto con agregados naturales propio de la cantera de Córdoba- Huambutio se obtiene una diferencia de 13.34% a favor del concreto con agregado natural lo cual concuerda con las recomendaciones elaboradas por el Ing. Jorge Arturo Cruz Garcia-Ramon Velázquez Yáñez en su trabajo de investigación “Concreto reciclado” en la **ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA E.S.I.A UNIDAD ZACATENCO**, en el que afirma “El concreto de agregado reciclado tiene menos resistencia que el concreto de agregado natural de la misma composición; sin

embargo esta puede manipular (por ejemplo, mediante el aumento de contenido de cemento) para producir concreto de agregado reciclado de la misma resistencia que el concreto agregado natural”

## CONCLUSIONES

1. Tras realizar el proyecto de investigación, vemos que la resistencia a la compresión del concreto con agregado grueso reciclado alcanza la resistencia requerida por el diseño de mezcla.

La resistencia a la compresión del concreto con agregado grueso reciclado (pavimentaciones en desuso) a los 28 días de curado fue de 228.88 kg/cm<sup>2</sup> lo que representa un 108.99%

La resistencia a la compresión del concreto con agregado grueso reciclado (testigo de laboratorios) a los 28 días de curado fue de 216.87 kg/cm<sup>2</sup> lo que representa un 103.27%

Por lo tanto es factible la utilización del concreto reciclado como agregado grueso para pavimentos rígidos en la ciudad del cusco. Sin embargo el uso de concreto con agregado grueso reciclado tiende a necesitar mayor cantidad de cemento.

PROPORCIONES FINALES M3		
Materiales	CANTIDAD	UNIDAD
Cemento	407.00	Kg/m <sup>3</sup>
Agua	210.00	litros
Agregado Grueso	894.00	Kg/m <sup>3</sup>
Agregado Fino	848.00	Kg/m <sup>3</sup>

2. Las propiedades físico – mecánicas del agregado grueso de concreto son:

CARACTERISTICAS	Agr. Fino	Agr. Grueso reciclado	Agr. Grueso Huambutio	Unidad	NTP
Peso específico	2544	2.496	2.618	Gr/m <sup>3</sup>	400.021
P.U. Seco suelto	1615	1412.08	1456.70	kg/m <sup>3</sup>	400.017
P.U. Seco comp.	1667	1537.33	1578.16	kg/m <sup>3</sup>	400.017
% Humedad	2.26	2.00	0.33	%	339.185
% de Absorción	3.30	4.54	0.80	%	400.021
% de Abrasión	-----	29.00	22.00	%	400.019

- El análisis para el peso específico y absorción del agregado grueso se realizó bajo los parámetros de la NTP 400.021.

El análisis realizado al agregado grueso reciclado arrojó un peso específico de 2.496 gr/m<sup>3</sup>, mientras que el agregado natural obtuvo un 2.618 gr/m<sup>3</sup>, lo cual indica que el agregado grueso reciclado alcanzó solo un 95.34% respecto al peso específico del agregado natural.

Así mismo el análisis realizado al agregado grueso reciclado arrojó un porcentaje de absorción de 4.54%, mientras que el agregado natural obtuvo 0.80%, lo cual indica que el agregado grueso reciclado alcanzó mayor porcentaje de absorción respecto al agregado natural

- El análisis de peso unitario seco suelto del agregado grueso se realizó bajo los parámetros de la NTP 400.017.

El análisis realizado al agregado grueso reciclado arrojó un peso unitario seco suelto de 1412.08 kg/m<sup>3</sup>, mientras que el agregado natural obtuvo un 1456.70 kg/m<sup>3</sup>, lo cual indica que el agregado reciclado alcanzó solo un 96.94% respecto al peso unitario seco suelto del agregado natural.

Así mismo el análisis realizado al agregado grueso reciclado arrojó un peso unitario seco compactado de 1537.33 gr/m<sup>3</sup>, mientras que el agregado natural obtuvo un 1578.16 gr/m<sup>3</sup>, lo cual indica que el agregado grueso reciclado alcanzó solo un 97.41% respecto al peso unitario seco compactado del agregado natural.

- El análisis del contenido de humedad del agregado grueso se realizó bajo los parámetros de la NTP 339.185.

El análisis realizado al agregado grueso reciclado arrojó un porcentaje de humedad de 2.00%, mientras que el agregado natural obtuvo 0.33%, lo cual indica que el agregado grueso reciclado alcanzó mayor porcentaje de humedad respecto al agregado natural.

- El análisis del desgaste por abrasión en la máquina de los ángeles del agregado grueso se realizó bajo los parámetros de la NTP 400.019.

El análisis realizado al agregado grueso reciclado arrojó un porcentaje de abrasión del 29.00%, mientras que el agregado natural obtuvo un 22.00%, lo cual indica que el agregado grueso reciclado alcanzó un 68.18% de las propiedades del agregado natural.

- Por lo tanto el agregado grueso reciclado mantiene las propiedades físico-mecánicas solo en un 89% respecto al agregado natural proveniente de la cantera Córdova (huambutio).

**3. La resistencia a compresión del concreto a las distintas edades y con las distintas dosificaciones alcanzadas fueron:**

A los 3 días:

- Con las dosificaciones del concreto con agregado grueso reciclado (pavimento rígido en desuso) fue de  $139.23 \pm 0.33$  kg/cm<sup>2</sup>, lo que representa un 66.30%.
- Con las dosificaciones del concreto con agregado grueso reciclado (escombros de testigos de laboratorios) fue de  $103.89 \pm 0.34$  kg/cm<sup>2</sup>, lo que representa un 49.47%.
- Con las dosificaciones del concreto con agregado natural proveniente de la cantera Córdova (Huambutio) fue de  $143.10 \pm 0.56$  kg/cm<sup>2</sup>, lo que representa un 68.14%.

A los 7 días:

- Con las dosificaciones del concreto con agregado grueso reciclado (pavimento rígido en desuso) fue de  $198.58 \pm 0.53$  kg/cm<sup>2</sup>, lo que representa un 94.56%.
- Con las dosificaciones del concreto con agregado grueso reciclado (escombros de testigos de laboratorios) fue de  $161.92 \pm 0.63$  kg/cm<sup>2</sup>, lo que representa un 77.10%.

- Con las dosificaciones del concreto con agregado natural proveniente de la cantera Córdova - Huambutio fue de  $221.75 \pm 0.55$  kg/cm<sup>2</sup>, lo que representa un 105.60%.

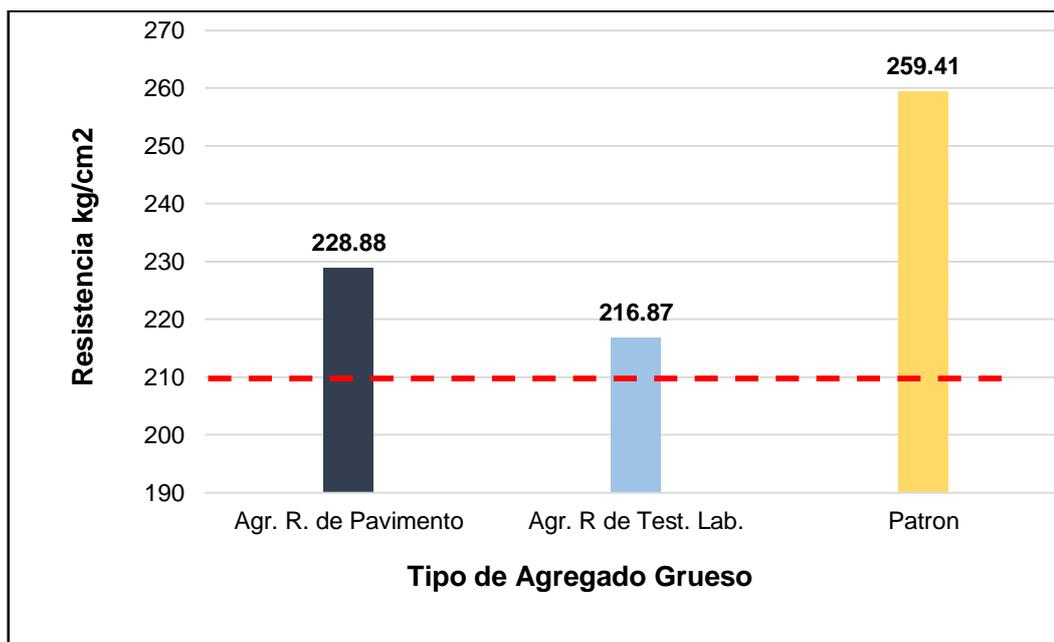
A los 14 días:

- Con las dosificaciones del concreto con agregado grueso reciclado (pavimento rígido en desuso) fue de  $216.77 \pm 0.18$  kg/cm<sup>2</sup>, lo que representa un 103.22%.
- Con las dosificaciones del concreto con agregado grueso reciclado (escombros de testigos de laboratorios) fue de  $205.90 \pm 0.33$  kg/cm<sup>2</sup>, lo que representa un 98.05%.
- Con las dosificaciones del concreto con agregado natural proveniente de la cantera Córdova - Huambutio fue de  $251.83 \pm 0.45$  kg/cm<sup>2</sup>, lo que representa un 119.92%.

A los 28 días:

- Con las dosificaciones del concreto con agregado grueso reciclado (pavimento rígido en desuso) fue de  $228.88 \pm 0.28$  kg/cm<sup>2</sup>, lo que representa un 108.99%.
- Con las dosificaciones del concreto con agregado grueso reciclado (escombros de testigos de laboratorios) fue de  $216.87 \pm 0.34$  kg/cm<sup>2</sup>, lo que representa un 103.27%.
- Con las dosificaciones del concreto con agregado natural proveniente de la cantera Córdova - Huambutio fue de  $259.41 \pm 0.39$  kg/cm<sup>2</sup>, lo que representa un 123.53%.

Días Curado Y Rotura	Agr. R. de Pavimento	Agr. R de Test. Lab.	Patrón
	Esfuerzo promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo promedio (kg/cm <sup>2</sup> )
28	$228.88 \pm 0.28$	$216.87 \pm 0.34$	$259.41 \pm 0.39$



El concreto reciclado de pavimentaciones rígidas en desuso como agregado grueso alcanzó una resistencia de  $228.88 \pm 0.28$  kg/cm<sup>2</sup> presentando una diferencia porcentual de 8.99% respecto al diseño de mezcla de  $f'c=210$ kg/cm<sup>2</sup>, el concreto reciclado de testigos de laboratorio como agregado grueso alcanzó una resistencia de  $216.87 \pm 0.34$  kg/cm<sup>2</sup> presentando una diferencia porcentual de 3.27% respecto al diseño de mezcla de  $f'c=210$ kg/cm<sup>2</sup> y el patrón que se utiliza con agregados naturales propios de la cantera Córdova (Huambutio) alcanzó una resistencia de  $259.41 \pm 0.39$  kg/cm<sup>2</sup> presentando una diferencia porcentual de 23.53% respecto al diseño de mezcla de  $f'c=210$ kg/cm<sup>2</sup>, por lo tanto la resistencia a la compresión del concreto con agregado grueso reciclado en comparación con el agregado natural disminuye en un 11.77%.

## RECOMENDACIONES

1. Según a los resultados de este trabajo de investigación se llega a recomendar el uso del concreto reciclado como agregado grueso en un concreto  $f'c=210\text{kg/cm}^2$  para pavimentos rígidos en la ciudad del cusco.
2. Se recomienda la utilización de plantas procesadoras para la comercialización del agregado de concreto reciclado. Debido a que la ciudad del Cusco no cuenta con una planificación y orden en botaderos sobre los escombros de concreto los cuales pueden ser reciclados.
3. Se recomienda este proyecto de investigación como una fuente de ayuda para la disminución de la contaminación ambiental.
4. El concreto elaborado con agregado reciclado tiene menos resistencia que el concreto elaborado con agregado natural de la misma composición, lo cual no quiere decir que el concreto con agregado grueso reciclado no logre la resistencia requerida por el diseño de mezcla.
5. Se recomienda realizar ensayos de laboratorio en las propiedades físicas y mecánicas del agregado grueso reciclado para una adecuada elaboración de diseño de mezcla.

## REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

- Abanto, F. C. (1998). TECNOLOGIA DEL CONCRETO. Lima.
- Aguilar, c. (2005). UTILIZACION DE HORMIGON RECICLADO COMO MATERIAL DE REEMPLAZO DE ARIDO GRUESO PARA LA FABRICACION DE HORMIGONES . Santiago.
- Andrade, E. (2012). RECICLAJE EN LA CONSTRUCCION . Lima.
- Bartz, R. (2006). DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO. Lima. Obtenido de <https://es.linkedin.com/pulse/dise%C3%B1o-de-mezclas-concreto-rodrigo-coelho-bartz>
- Campo. (2010). REUTILIZACION DE MATERIALES DE CONSTRUCCION. Lima.
- Canovas, F. (2017). ADITIVOS PARA CONCRETO. Lima. Obtenido de [https://es.wikipedia.org/wiki/Aditivos\\_para\\_concreto](https://es.wikipedia.org/wiki/Aditivos_para_concreto)
- Cespedes, M. A. (2003). RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL CONCRETO A PARTIR DE LA VELOCIDAD DE PULSOS DE ULTRASONIDO. Piura.
- Consejo Mundial Empresarial Para el Desarrollo Sostenible. (2004). RECICLANDO CONCRETO. Lima.
- Cruz, J. A. (2004). CONCRETO RECICLADO. Mexico.
- Eugenia, V. N. (2015). DEFINICION DE TERMINOS CONCRETO ARMADO. Lima.
- Everard, N. j. (1976). Diseño de concreto armado. TEXAS.
- Gluzhge. (2010). ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION DEL CONCRETO RECICLADO.
- Gorigori. (2013). RECICLAJE DE CEMENTO . Lima.

- Gutierrez, L. (2003). EL CONCRETO Y OTROS MATERIALES PARA LA CONSTRUCCION. Lima .
- ICG INGENIERIA DE PAVIMENTOS MATERIALES, D. Y. (2013). INGENIERIA DE PAVIMENTOS MATERIALES, DISEÑO Y CONSERVACION.
- IMCYC. (2004). PROPIEDADES DEL CONCRETO. Obtenido de <http://dearkitectura.blogspot.pe/2012/06/propiedades-del-concreto.html>
- Ingeominas. (2009). CONCRETO RECICLADO. <http://concretoreciclacolombia.blogspot.pe/p/pag-2.html>.
- Kosmatka, K. &. (2004). DISEÑO Y CONTROL DE MEZCLAS DE CONCRETO.
- Marroquin, E. I. (2012). RECICLAJE DE DESECHOS DE CONCRETO Y VERIFICACION DE CARACTERISTICAS FISICAS Y PROPIEDADES MECANICAS . Guatemala .
- Menendez, J. R. (2013). INGENIERIA DE PAVIMENTOS MATERIALES, DISEÑO Y CONSERVACION. Lima.
- Merida. (2015). CONCRETO RECICLADO. Argentina.
- Montilla, K. (2016). ANALISIS DEL CONCRETO CON AGREGADO GRUESO RECICLADO EN OBRAS CIVILES DE VENEZUELA. Venezuela.
- Montoya, E. B. (2014). PRACTICAS SOSTENIBLES EN LA CONSTRUCCION DE EDIFICACIONES. Lima. Obtenido de [file:///C:/Users/Usuario/Downloads/MONTOYA\\_ESTEFANY\\_PRACTICAS\\_SOSTENIBLES\\_CONSTRUCCION%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/Usuario/Downloads/MONTOYA_ESTEFANY_PRACTICAS_SOSTENIBLES_CONSTRUCCION%20(2).pdf)
- MTC Manual de Ensayo de Materiales. (2016). Lima.
- Nataline, M. B. (2000). RECICLAJE Y REUTILIZACION DE MATERIALES RESIDUALES DE CONSTRUCCION Y DEMOLICION. Lima.

- Pintos, A. (2013). PRESENTARON EN PERU UN ESTUDIO SOBRE HORMIGONES RECICLADOS. Lima.
- Rivva, E. L. (2010). DISEÑO DE MEZCLAS. Lima.
- Soto. (2006). CONCRETOS RECICLADOS. Guatemala.
- Torres, A. (2004). CURSO BASICO DE TECNOLOGIA DEL CONCRETO.

# ANEXO

## MATRIZ DE CONSISTENCIA

“Utilización del concreto reciclado como agregado grueso en pavimentos rígidos en la Ciudad de Cusco”

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	METODOLOGIA
<p><b>Problema General:</b> ¿De qué manera es factible el uso de concreto reciclado (escombros de pavimentaciones rígidas, testigos de laboratorio) como agregado grueso para pavimentos rígidos (resistencia a la compresión) en la Ciudad del Cusco?</p> <p><b>Problema Específico:</b> -¿En qué porcentaje el agregado grueso reciclado mantiene las propiedades físico-mecánicas del agregado natural?  -¿Cuánto disminuye la resistencia a la compresión del concreto con agregado grueso reciclado en comparación con el agregado natural?</p>	<p><b>Objetivo general</b> Determinar la factibilidad del uso del concreto reciclado (escombros de pavimentaciones rígidas y testigos de laboratorio) como agregado grueso para pavimentos rígidos (resistencia a la compresión) en la Ciudad del Cusco.</p> <p><b>Objetivo específico:</b> -Determinar en qué porcentaje el agregado grueso reciclado mantiene las propiedades físico-mecánicas del agregado natural para la elaboración de concretos.  -Determinar cuánto disminuye la resistencia a la compresión del concreto con agregado grueso reciclado en comparación con el agregado natural.</p>	<p><b>Hipótesis General</b> Es factible el uso de concreto reciclado (escombros de pavimentaciones rígidas, testigos de laboratorio) como agregado grueso para pavimentos rígidos (resistencia a la compresión) en la Ciudad del Cusco.</p> <p><b>Hipótesis específico:</b> -El agregado grueso reciclado mantiene las propiedades físico-mecánicas del agregado natural mayor a un 85%.  - La resistencia a la compresión del concreto con agregado grueso reciclado en comparación con el agregado natural disminuye como máximo un 15%.</p>	<p><b>Independiente:</b> - concreto reciclado como agregado grueso</p> <p><b>Dependiente:</b> - Resistencia a la compresión del concreto en pavimentos rígidos</p>	<p><b>Tipo de investigación:</b> Aplicativa por que intenta resolver el problema planteado</p> <p><b>Nivel de investigación:</b> es de nivel experimental, porque responde a las preguntas --¿Cómo se lograra? -¿cuál es la proporción adecuada de agregado grueso (reciclado) a utilizar?</p> <p><b>Método:</b> La metodología será hipotética-Deductiva porque se ha planteado una hipótesis que se demostrara a través de medidas o deducciones que se realizaran en el laboratorio.</p>

# DISEÑO DE MEZCLA - ACI 211

## CALIDAD DE LOS MATERIALES

CEMENTO PORTLAND  
 PESO ESPECIFICO 3.15

### DATOS DEL AGREGADO FINO

MODULO DE FINEZA 3.820  
 CONTENIDO DE HUMEDAD 2.26 %  
 PORCENTAJE DE ABSORCION 3.3 %  
 PESO ESPECIFICO 2544.00  
 PESO UNITARIO SECO Y COMPACTO 1667.52 Kg/m3

### DATOS DEL AGREGADO GRUESO

CONTENIDO DE HUMEDAD 2 %  
 PORCENTAJE DE ABSORCION 4.54 %  
 PESO ESPECIFICO 2496.00  
 PESO UNITARIO SECO Y COMPACTO 1537.00 Kg/m3

### DATOS DE DISEÑO

RESISTENCIA A LA COMPRESION f'c = 210 Kg/cm2  
 TAMAÑO MAXIMO DEL AGREGADO 1 Pulgada  
 TIPO DE CONTROL EN OBRA Materiales de calidad controlada, dosificación por volumen.

## CALCULO

### Diseño De Mezclas - Por el método del ACI 211

RESISTENCIA PROMEDIO REQUERIDA (TABLA A) f'cr = 295 Kg/m2  

$$f'cr = f'c + 85$$

SLUMP O ASENTAMIENTO (TABLA 01) 3"- 1"

SELECCIÓN DEL CONTENIDO DE AIRE ATRAPADO (TABLA 02) 1.50 %

SELECCIÓN DEL CONTENIDO DE AGUA (TABLA 03) 179.00 LT/M3

### RELACION AGUA CEMENTO A/C

(Tabla 4)

f'cr = 295 Kg/cm2 sin aire incorporado

f'cr =	A/C	
250	0.62	
300	0.55	
para	.....	
295	0.5600	(interpolando)

Asumimos → A/C = 0.440

**CONTENIDO DE CEMENTO**

$$\text{Cemento} = \frac{179.00}{0.44} \text{ Kg/m}^3 = 406.82 \text{ Kg/m}^3$$

**CONTENIDO DE AGREGADO GRUESO**

(Tabla 5)

		2.8		0.67	
		3		0.65	
		para		.....	
		3.82		0.57	(Extrapolado)
Asumir	→	Y	=	0.570	

CONTENIDO DE AGREGADO GRUESO SECO COMPACTO = 876.09 m3  
 AGREGADO GRUESO = 876.09 Kg

**DETERMINACION DEL PESO SECO DEL AGREGADO FINO**

PESO DEL CONCRETO	=	2420 Kg/M3
PESO DE AGREGADO GRUESO	=	876.09 Kg/M3
PESO DEL AGUA	=	179.00 LT/M3
PESO DEL CEMENTO	=	406.82 Kg/M3
PESO DE AGREGADO FINO SECO Y COMPACTADO	=	<b>958.09 KG/M3</b>

**DETERMINACION DEL VOLUMEN ABSOLUTO DE AGREGADO FINO**

Volumen decemento	=	0.129	m3
Volumen del agua	=	0.179	m3
Volumen del agregado grueso	=	0.351	m3
Volumen del Aire	=	0.015	m3
Volumen del agregado fino	=	<b>0.326</b>	<b>m3</b>
Peso del agregado fino	=	<b>828.97</b>	<b>kg</b>

Materiales	Metodo de los Pesos		Metodo de Volúmenes Absolutos	
Cemento	406.82	kg/m3	406.82	kg/m3
Agua De Mezclado	179.00	lt/m3	179.00	lt/m3
Agregado Grueso (Seco)	876.09	kg/m3	876.09	kg/m3
Agregado Fino(Seco)	958.09	kg/m3	828.97	kg/m3

Tomamos los Datos Obtenidos por el Metodo de Volúmenes Absolutos

**AJUSTE POR EL CONTENIDO DE HUMEDAD**

Agregado Fino	=	847.71 kg/m3
Agregado Grueso	=	893.61 kg/m3
Agua Efectiva	=	209.87 Lt

PROPORCIONES FINALES			
Materiales			
Cemento	=	407.00	kg/m3
Agua De Mezclado	=	210.00	lt/m3
Agregado Grueso	=	894.00	kg/m3
Agregado Fino	=	848.00	kg/m3

PROPORCIONES POR PESOS :			
Cemento	$\frac{407.00}{407.00}$	=	1.00
Agregado Grueso	$\frac{894.00}{407.00}$	=	2.20
Agregado Fino	$\frac{848.00}{407.00}$	=	2.08
Agua	$\frac{210.00}{9.58}$	=	21.92

## LABORATORIO

### Laboratorio 1 Peso específico del agregado grueso reciclado

ANALISIS DEL AGREGADO GRUESO																																																																																									
PESO ESPECIFICO SECO																																																																																									
<b>PROYECTO:</b> UTILIZACIÓN DE CONCRETO RECICLADO COMO AGREGADO GRUESO EN PAVIMENTOS RÍGIDOS EN LA CIUDAD DE CUSCO																																																																																									
<b>UBICACIÓN</b>	CUSCO				<b>MATERIAL</b>																																																																																				
<b>EJECUTA</b>	MIRKO C. BEJAR GUIZADO				AGREGADO	GRUESO	DE																																																																																		
<b>SUPERVISA</b>	ING. GORKI ASCUE SALAS				CONCRETO	RECICLADO	DE																																																																																		
REFERENCIAS:																																																																																									
<ul style="list-style-type: none"> <li>• NTP 400.021</li> </ul>																																																																																									
<b>EQUIPOS:</b>																																																																																									
<ul style="list-style-type: none"> <li>• RECIPIENTES</li> <li>• HORNO</li> <li>• PIPETA</li> <li>• BALANZA</li> <li>• FIOLA</li> <li>• TELA</li> </ul>																																																																																									
<b>RELACION Y FORMULAS A EMPLEAR:</b>																																																																																									
<p>El peso específico en los agregados se puede calcular mediante la utilización de la siguiente formula:</p> <p style="margin-left: 20px;">✚ PESO ESPECIFICO</p> $P_{esss} = \frac{A}{B - C} * 100$ <p>Donde:</p> <p>A = Peso de la muestra seca en el aire.</p> <p>B = Peso de la muestra saturada superficialmente seca en el aire.</p> <p>C = Peso en el agua de la muestra saturada.</p> <p>Tabla N° 01</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>Temp.</th> <th>G</th> <th>K</th> <th>Temp.</th> <th>G</th> <th>K</th> <th>Temp.</th> <th>G</th> <th>K</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>18</td> <td>0.9986</td> <td>1.0004</td> <td>19</td> <td>0.9984</td> <td>1.0002</td> <td>20</td> <td style="border: 2px solid red;">0.9982</td> <td style="border: 2px solid red;">1</td> </tr> <tr> <td>0.1</td> <td>60</td> <td>4</td> <td>0.1</td> <td>41</td> <td>2</td> <td>0.1</td> <td>21</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>0.2</td> <td>58</td> <td>4</td> <td>0.2</td> <td>39</td> <td>2</td> <td>0.2</td> <td>19</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>0.3</td> <td>56</td> <td>3</td> <td>0.3</td> <td>37</td> <td>1</td> <td>0.3</td> <td>17</td> <td>0.9999</td> </tr> <tr> <td>0.4</td> <td>54</td> <td>3</td> <td>0.4</td> <td>35</td> <td>1</td> <td>0.4</td> <td>15</td> <td>9</td> </tr> <tr> <td>0.5</td> <td>52</td> <td>3</td> <td>0.5</td> <td>33</td> <td>1</td> <td>0.5</td> <td>13</td> <td>9</td> </tr> <tr> <td>0.6</td> <td>50</td> <td>3</td> <td>0.6</td> <td>31</td> <td>1</td> <td>0.6</td> <td>10</td> <td>9</td> </tr> <tr> <td>0.7</td> <td>49</td> <td>3</td> <td>0.7</td> <td>29</td> <td>1</td> <td>0.7</td> <td>8</td> <td>8</td> </tr> </tbody> </table>									Temp.	G	K	Temp.	G	K	Temp.	G	K	18	0.9986	1.0004	19	0.9984	1.0002	20	0.9982	1	0.1	60	4	0.1	41	2	0.1	21	0	0.2	58	4	0.2	39	2	0.2	19	0	0.3	56	3	0.3	37	1	0.3	17	0.9999	0.4	54	3	0.4	35	1	0.4	15	9	0.5	52	3	0.5	33	1	0.5	13	9	0.6	50	3	0.6	31	1	0.6	10	9	0.7	49	3	0.7	29	1	0.7	8	8
Temp.	G	K	Temp.	G	K	Temp.	G	K																																																																																	
18	0.9986	1.0004	19	0.9984	1.0002	20	0.9982	1																																																																																	
0.1	60	4	0.1	41	2	0.1	21	0																																																																																	
0.2	58	4	0.2	39	2	0.2	19	0																																																																																	
0.3	56	3	0.3	37	1	0.3	17	0.9999																																																																																	
0.4	54	3	0.4	35	1	0.4	15	9																																																																																	
0.5	52	3	0.5	33	1	0.5	13	9																																																																																	
0.6	50	3	0.6	31	1	0.6	10	9																																																																																	
0.7	49	3	0.7	29	1	0.7	8	8																																																																																	
<b>DATOS Y CALCULOS:</b>																																																																																									
<p>✚ MUESTRA DE AGREGADOS A USAR:</p> <p style="margin-left: 20px;">Agregado grueso de ¾"</p>																																																																																									

 MUESTRA # 01

A = 606.50 gr.

B = 463.00 gr.

C = 220.00 gr.

 REEMPLAZANDO EN LA FORMULA:

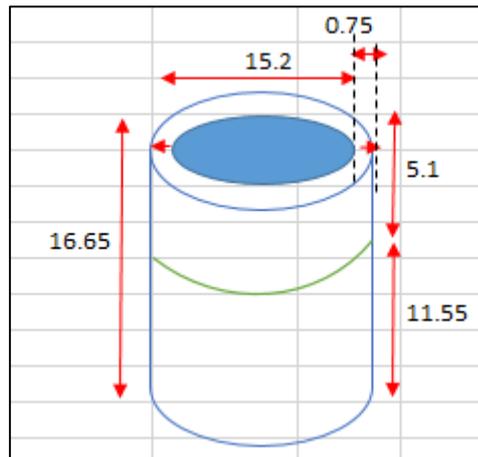
$$P_{esss} = \frac{A}{B - C} * 100$$

$$Peso\ Especifico = \left( \frac{603.50}{463.00 - 220.00} * 100 \right)$$

**Peso Específico = 2.496**

### Laboratorio 2 Peso unitario suelto y compactado del agregado grueso reciclado

ANÁLISIS DEL AGREGADO GRUESO		
PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTADO		
<b>PROYECTO:</b> UTILIZACIÓN DE CONCRETO RECICLADO COMO AGREGADO GRUESO EN PAVIMENTOS RÍGIDOS EN LA CIUDAD DE CUSCO		
<b>UBICACIÓN</b>	CUSCO	<b>MATERIAL</b>
<b>EJECUTA</b>	MIRKO C. BEJAR GUIZADO	AGREGADO GRUESO DE
<b>SUPERVISA</b>	ING. GORKI ASCUE SALAS	CONCRETO RECICLADO DE PAVIMENTO RÍGIDO
<b>REFERENCIAS:</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>NTP 400.017</li> </ul>		
<b>EQUIPOS:</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>RECIPIENTES</li> <li>HORNO</li> <li>PIPETA</li> <li>BALANZA</li> </ul>		
<b>RELACION Y FORMULAS A EMPLEAR:</b>		
<p>El peso unitario suelto y compactado en los agregados se puede calcular mediante la utilización de la siguiente fórmula:</p> <p>✚ PESO ESPECIFICO SUELTO</p> $\text{Peso unitario suelto}(Ms) = \frac{G - T}{V}$ <p>Donde:</p> <p>M = Peso unitario del agregado.  G = Peso del recipiente de medida más el agregado.  T = Peso del recipiente de medida.  A = Agregado suelto.  B = agregado compactado.  Vc = volumen de molde sin collarín.</p> <p>✚ PESO ESPECIFICO COMPACTADO</p> $\text{Peso unitario compactado}(Mc) = \frac{G - T}{V}$ <p>Donde:</p> <p>M = Peso unitario del agregado.  G = Peso del recipiente de medida más el agregado.  T = Peso del recipiente de medida.  A = Agregado suelto  B = Agregado compactado  Vc= Volumen de molde sin collarín</p>		

**DATOS Y CALCULOS:**

VOL (sin collarín) = 2095.84 cm<sup>3</sup>

VOL (con collarín) = 3021.28 cm<sup>3</sup>

✚ MUESTRA DE AGREGADOS A USAR:

Agregado grueso de ¾"

✚ MUESTRA # 1

Peso molde (T) = 6520.00 gr

P. molde + AG. Suelto = 9479.50 gr

P. molde + AG. Compact. = 9742.00 gr

✚ REEMPLAZANDO EN LA FORMULA:

$$\text{Peso unitario suelto} = \frac{G - T_s}{V}$$

$$\text{Peso unitario suelto} = \left( \frac{9479.50 - 6520.00}{2095.84} \right)$$

Peso unitario suelto = 1.412 gr/cm<sup>3</sup> = **1412.08 kg/cm<sup>3</sup>**

$$\text{Peso unitario compactado} = \frac{G - T_c}{V}$$

$$\text{Peso unitario compactado} = \left( \frac{9742.00 - 6520.00}{2095.84} \right)$$

Peso unitario compactado = 1.537 gr/cm<sup>3</sup> = **1537.33 kg/cm<sup>3</sup>**

### Laboratorio 3 Porcentaje de humedad en el agregado grueso reciclado

ANÁLISIS DEL AGREGADO GRUESO		
PORCENTAJE DE CONTENIDO DE HUMEDAD		
<b>PROYECTO:</b> UTILIZACIÓN DE CONCRETO RECICLADO COMO AGREGADO GRUESO EN PAVIMENTOS RÍGIDOS EN LA CIUDAD DE CUSCO		
<b>UBICACIÓN</b>	CUSCO	<b>MATERIAL</b>
<b>EJECUTA</b>	MIRKO C. BEJAR GUIZADO	AGREGADO GRUESO DE CONCRETO RECICLADO DE PAVIMENTO RIGIDO
<b>SUPERVISA</b>	ING. GORKI ASCUE SALAS	
<b>REFERENCIAS:</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>NTP 339.185</li> </ul>		
<b>EQUIPOS:</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>RECIPIENTES</li> <li>HORNO</li> <li>BALANZA</li> </ul>		
<b>RELACION Y FORMULAS A EMPLEAR:</b>		
<p>El contenido de humedad en los agregados se puede calcular mediante la utilización de la siguiente formula:</p> $P = \frac{100(W - D)}{D}$ <p>Donde:            W = Masa de la muestra húmeda original.            D = Masa de la muestra seca.            P = Contenido de humedad total evaporable de la muestra.</p>		
<b>DATOS Y CALCULOS:</b>		
<p>🚧 MUESTRA DE AGREGADO A USAR: Agregado grueso ¾"</p> <p>🚧 MUESTRA # 1            W = 240.63            D = 230.18</p> <p>REEMPLAZANDO EN LA FORMULA:</p> $P = \frac{100(W - D)}{D}$ $P = \frac{100(240.63 - 230.18)}{230.18}$ <p>W= 4.54 %</p>		

### Laboratorio 4 Porcentaje absorción del agregado grueso reciclado

ANÁLISIS DEL AGREGADO GRUESO		
PORCENTAJE DE ABSORCIÓN		
<b>PROYECTO:</b> UTILIZACIÓN DE CONCRETO RECICLADO COMO AGREGADO GRUESO EN PAVIMENTOS RÍGIDOS EN LA CIUDAD DE CUSCO		
<b>UBICACIÓN</b>	CUSCO	<b>MATERIAL</b>
<b>EJECUTA</b>	MIRKO C. BEJAR GUIZADO	AGREGADO GRUESO DE CONCRETO RECICLADO DE PAVIMENTO RÍGIDO
<b>SUPERVISA</b>	ING. GORKI ASCUE SALAS	
<b>REFERENCIAS:</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>NTP 400.021</li> </ul>		
<b>EQUIPOS:</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>RECIPIENTES</li> <li>HORNO</li> <li>TAMICES</li> <li>BALANZA</li> </ul>		
<b>RELACION Y FORMULAS A EMPLEAR:</b>		
<p>La absorción en los agregados se puede calcular mediante la utilización de la siguiente fórmula:</p> $\text{Absorción (A\%)} = \frac{(B - A)}{A} \times 100$ <p>Donde:            A% = Absorción            A = Masa de la muestra seca            B = Masa de la muestra saturada superficialmente seca</p>		
<b>DATOS Y CALCULOS:</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>MUESTRA DE AGREGADOS A USAR: Agregado grueso de ¾"</li> <li>MUESTRA # 01</li> </ul> <p>A = 234.80 gr.            B = 239.50 gr.</p> <p>REEMPLAZANDO EN LA FORMULA:</p> $\text{Absorción} = \frac{(B - A)}{A} \times 100$ $\text{Absorción} = \frac{(239.50 - 234.80)}{234.80} \times 100$ <p><b>Absorción = 2.00 %</b></p>		

**Laboratorio 5 Porcentaje de Abrasión de los Ángeles en el agregado grueso reciclado**

<b>ANÁLISIS DEL AGREGADO GRUESO</b>						
<b>ABRACION DE LOS ANGELES</b>						
<b>PROYECTO:</b> UTILIZACIÓN DE CONCRETO RECICLADO COMO AGREGADO GRUESO EN PAVIMENTOS RÍGIDOS EN LA CIUDAD DE CUSCO						
<b>UBICACIÓN</b>	CUSCO	<b>MATERIAL</b>				
<b>EJECUTA</b>	MIRKO C. BEJAR GUIZADO	AGREGADO GRUESO DE CONCRETO RECICLADO DE PAVIMENTO RIGIDO				
<b>SUPERVISA</b>	ING. GORKI ASCUE SALAS					
<b>REFERENCIAS:</b>						
<ul style="list-style-type: none"> <li>NTP 400.019</li> </ul>						
<b>EQUIPOS:</b>						
<ul style="list-style-type: none"> <li>ESFERAS: (CARGA ABRASIVA)</li> <li>MAQUINA DE LOS ANGELES</li> <li>CHAROLAS RECTANGULARES</li> <li>CUCHARON</li> <li>BALANZA DE CAPACIDAD DE 20 KG Y DE APROX. DE 1 gr.</li> </ul>						
<b>RELACION Y FORMULAS A EMPLEAR:</b>						
<p>La abrasión de los ángeles en los agregados se puede calcular mediante la utilización de la siguiente fórmula:</p> $Perdida\ maxima = \frac{Po - Pf}{Po} \times 100$ <p>Donde:            Po = Peso inicial            Pf = Peso final</p>						
<b>TABLA DE RESISTENCIA MECANICA DEL GREGADO GRUESO</b>						
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Métodos</th> <th>No mayor que</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Abrasión Los Ángeles (NTP 400.019:2002)</td> <td>50%</td> </tr> </tbody> </table>			Métodos	No mayor que	Abrasión Los Ángeles (NTP 400.019:2002)	50%
Métodos	No mayor que					
Abrasión Los Ángeles (NTP 400.019:2002)	50%					
<b>DATOS Y CALCULOS:</b>						
<ul style="list-style-type: none"> <li>MUESTRA DE AGREGADOS A USAR: Agregado grueso de ¾"</li> <li>MUESTRA # 01</li> </ul>						

$P_o = 5000.00$  gr.

$P_f = 3550.00$  gr.

REEMPLAZANDO EN LA FORMULA:

$$\text{Perdida maxima} = \frac{P_o - P_f}{P_o} \times 100$$

$$\text{Perdida maxima} = \frac{(5000.00 - 3550.00)}{5000.00} \times 100$$

$$\text{Perdida máxima} = 29.00 \%$$

### Laboratorio 6 Granulometría del agregado fino

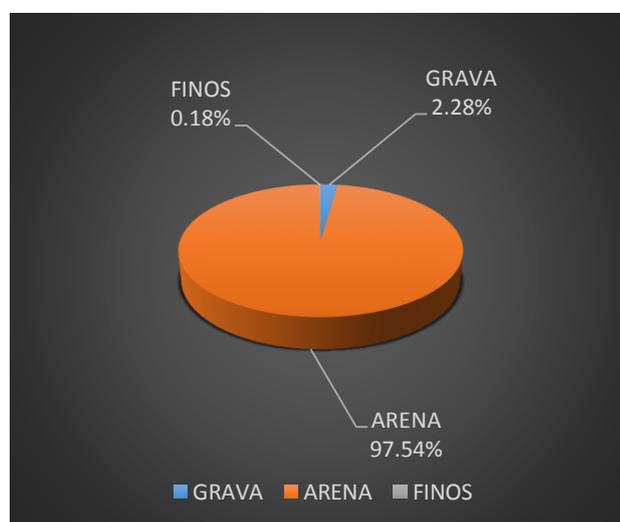
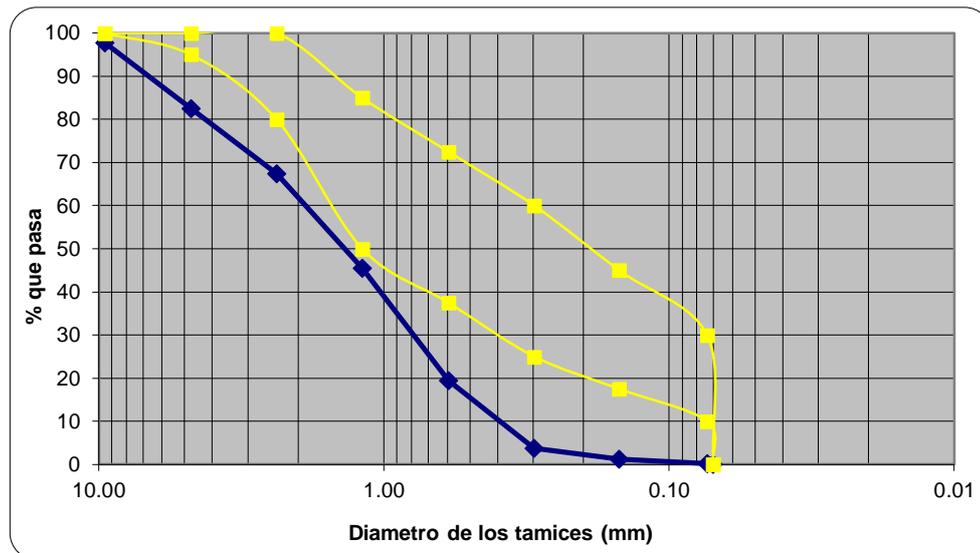
ANÁLISIS DEL AGREGADO FINO				
GRANULOMETRIA DEL AGREGADO FINO				
<b>PROYECTO:</b> UTILIZACIÓN DE CONCRETO RECICLADO COMO AGREGADO GRUESO EN PAVIMENTOS RÍGIDOS EN LA CIUDAD DE CUSCO				
<b>UBICACIÓN</b>	CUSCO	<b>MATERIAL</b>		
<b>EJECUTA</b>	MIRKO C. BEJAR GUIZADO	AGREGADO FINO DE LA CANTERA DE HUAMBUTIO CORDOVA.		
<b>SUPERVISA</b>	ING. GORKI ASCUE SALAS			
<b>REFERENCIAS:</b>				
<ul style="list-style-type: none"> <li>• NTP 400.012</li> </ul>				
<b>EQUIPOS:</b>				
<ul style="list-style-type: none"> <li>• BALANZA</li> <li>• TAMICES</li> <li>• AGITADOR MECANICO DE TAMICES</li> <li>• HORNO</li> </ul>				
<b>DATOS Y CALCULO</b>				
Para este ensayo se tendrá como objetivo determinar el tamaño de partículas, y verificar si el agregado fino cumple con la norma.				
Granulometría Del Agregado Fino Corregido				
TAMIZ N°	PESO RETENIDO CORREGIDO	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
3/8"	39.00	2.28	2.28	<b>97.72</b>
Nº 4	261.00	15.23	17.50	<b>82.50</b>
8	258.00	15.05	32.55	<b>67.45</b>
16	375.00	21.88	54.43	<b>45.57</b>
30	447.00	26.08	80.51	<b>19.49</b>
50	269.00	15.69	96.20	<b>3.80</b>
100	44.62	2.60	98.80	<b>1.20</b>
200	17.35	1.01	99.82	<b>0.18</b>
<200	3.14	0.18	100.00	0.00
TOTAL	1714.10	100.00		
M.F				3.82
% FINOS				0.18 %
Módulo de fineza $M.F = \frac{\sum \% \text{ret. acumulado}}{100}$				

$$M.F = \frac{382.28}{100} = 3.89$$

$$M.F = 3.82$$

Comentario:

De los resultados obtenidos se puede observar un módulo de fineza de 3.82 %. Así mismo se aprecia que la curva granulométrica sobresale del límite de la norma.



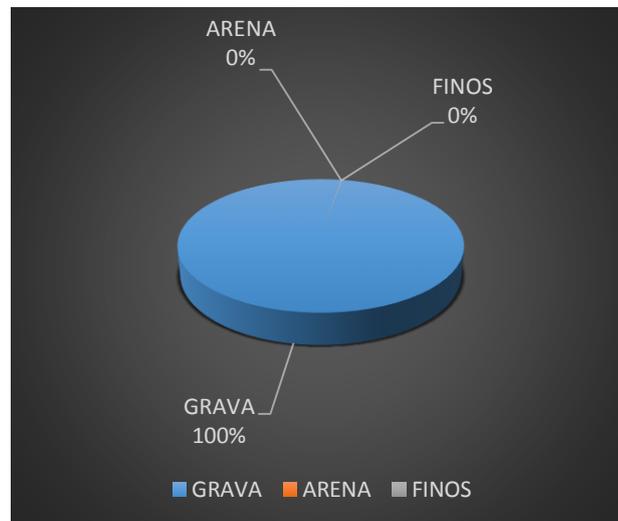
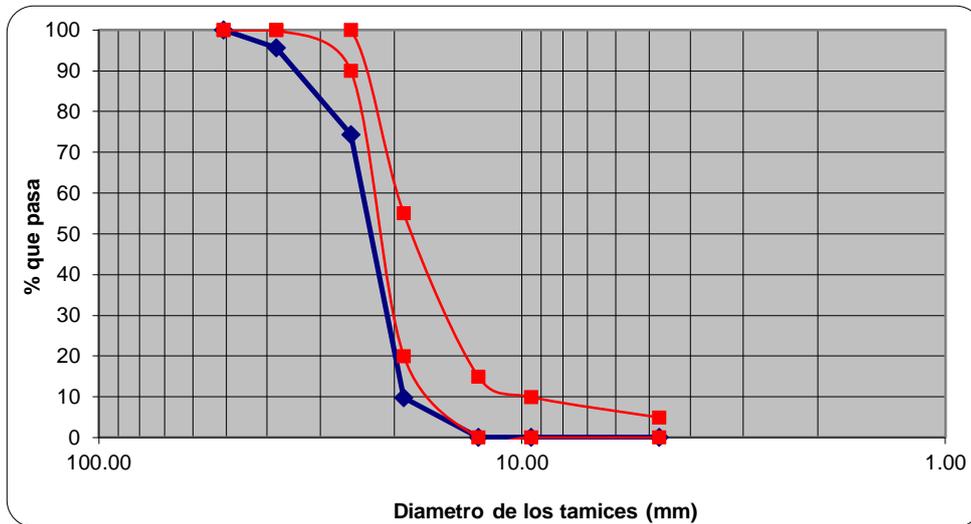
GRAVA	ARENA	FINOS
2.28	97.54	0.18

### **Laboratorio 7 Granulometría del agregado Grueso reciclado**

<b>ANÁLISIS DEL AGREGADO GRUESO</b>																																																																																						
<b>GRANULOMETRIA DEL AGREGADO GRUESO</b>																																																																																						
<b>PROYECTO:</b> UTILIZACIÓN DE CONCRETO RECICLADO COMO AGREGADO GRUESO EN PAVIMENTOS RÍGIDOS EN LA CIUDAD DE CUSCO																																																																																						
<b>UBICACIÓN</b>	CUSCO	<b>MATERIAL</b>																																																																																				
<b>EJECUTA</b>	MIRKO C. BEJAR GUIZADO	AGREGADO	GRUESO	DE																																																																																		
<b>SUPERVISA</b>	ING. GORKI ASCUE SALAS	CONCRETO	RECICLADO	DE																																																																																		
PAVIMENTO RIGIDO																																																																																						
<b>REFERENCIAS:</b>																																																																																						
<ul style="list-style-type: none"> <li>• NTP 400.012</li> </ul>																																																																																						
<b>EQUIPOS:</b>																																																																																						
<ul style="list-style-type: none"> <li>• BALANZA</li> <li>• TAMICES</li> <li>• AGITADOR MECANICO DE TAMICES</li> <li>• HORNO</li> </ul>																																																																																						
<b>DATOS Y CALCULO</b>																																																																																						
Para este ensayo se tendrá como objetivo determinar el tamaño de partículas, y verificar si el agregado grueso cumple con la norma.																																																																																						
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;"><b>Abertura del Tamiz</b></th> <th rowspan="2" style="text-align: center;"><b>Peso Retenido</b></th> <th rowspan="2" style="text-align: center;"><b>Retenido %</b></th> <th rowspan="2" style="text-align: center;"><b>Pasante %</b></th> </tr> <tr> <th style="text-align: center;"><b>Tamiz</b></th> <th style="text-align: center;"><b>mm.</b></th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td style="text-align: center;">2"</td><td style="text-align: center;">50.80</td><td style="text-align: center;">0.00</td><td style="text-align: center;">0.00</td><td style="text-align: center;">100.00</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">1 ½"</td><td style="text-align: center;">38.10</td><td style="text-align: center;">152.00</td><td style="text-align: center;">4.31</td><td style="text-align: center;">95.69</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">1"</td><td style="text-align: center;">25.40</td><td style="text-align: center;">750.00</td><td style="text-align: center;">21.28</td><td style="text-align: center;">78.72</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">¾"</td><td style="text-align: center;">19.05</td><td style="text-align: center;">2276.00</td><td style="text-align: center;">64.59</td><td style="text-align: center;">14.13</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">½"</td><td style="text-align: center;">12.70</td><td style="text-align: center;">341.00</td><td style="text-align: center;">9.68</td><td style="text-align: center;">4.46</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">3/8"</td><td style="text-align: center;">9.53</td><td style="text-align: center;">0.00</td><td style="text-align: center;">0.00</td><td style="text-align: center;">4.46</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">#4</td><td style="text-align: center;">4.75</td><td style="text-align: center;">0.00</td><td style="text-align: center;">0.00</td><td style="text-align: center;">4.46</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">#8</td><td style="text-align: center;">2.38</td><td style="text-align: center;">0.00</td><td style="text-align: center;">0.00</td><td style="text-align: center;">4.46</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">#16</td><td style="text-align: center;">1.19</td><td style="text-align: center;">0.00</td><td style="text-align: center;">0.00</td><td style="text-align: center;">4.46</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">#30</td><td style="text-align: center;">0.59</td><td style="text-align: center;">0.00</td><td style="text-align: center;">0.00</td><td style="text-align: center;">4.46</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">#50</td><td style="text-align: center;">0.30</td><td style="text-align: center;">0.00</td><td style="text-align: center;">0.00</td><td style="text-align: center;">4.46</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">#100</td><td style="text-align: center;">0.15</td><td style="text-align: center;">0.00</td><td style="text-align: center;">0.00</td><td style="text-align: center;">4.46</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">#200</td><td style="text-align: center;">0.07</td><td style="text-align: center;">0.00</td><td style="text-align: center;">0.00</td><td style="text-align: center;">4.46</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">cazuela</td><td style="text-align: center;">0.0</td><td style="text-align: center;">5.00</td><td style="text-align: center;">0.14</td><td style="text-align: center;">0.00</td></tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td style="text-align: center;"><b>3524.00</b></td> <td style="text-align: center;"><b>100.00</b></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>					<b>Abertura del Tamiz</b>		<b>Peso Retenido</b>	<b>Retenido %</b>	<b>Pasante %</b>	<b>Tamiz</b>	<b>mm.</b>	2"	50.80	0.00	0.00	100.00	1 ½"	38.10	152.00	4.31	95.69	1"	25.40	750.00	21.28	78.72	¾"	19.05	2276.00	64.59	14.13	½"	12.70	341.00	9.68	4.46	3/8"	9.53	0.00	0.00	4.46	#4	4.75	0.00	0.00	4.46	#8	2.38	0.00	0.00	4.46	#16	1.19	0.00	0.00	4.46	#30	0.59	0.00	0.00	4.46	#50	0.30	0.00	0.00	4.46	#100	0.15	0.00	0.00	4.46	#200	0.07	0.00	0.00	4.46	cazuela	0.0	5.00	0.14	0.00			<b>3524.00</b>	<b>100.00</b>	
<b>Abertura del Tamiz</b>		<b>Peso Retenido</b>	<b>Retenido %</b>	<b>Pasante %</b>																																																																																		
<b>Tamiz</b>	<b>mm.</b>																																																																																					
2"	50.80	0.00	0.00	100.00																																																																																		
1 ½"	38.10	152.00	4.31	95.69																																																																																		
1"	25.40	750.00	21.28	78.72																																																																																		
¾"	19.05	2276.00	64.59	14.13																																																																																		
½"	12.70	341.00	9.68	4.46																																																																																		
3/8"	9.53	0.00	0.00	4.46																																																																																		
#4	4.75	0.00	0.00	4.46																																																																																		
#8	2.38	0.00	0.00	4.46																																																																																		
#16	1.19	0.00	0.00	4.46																																																																																		
#30	0.59	0.00	0.00	4.46																																																																																		
#50	0.30	0.00	0.00	4.46																																																																																		
#100	0.15	0.00	0.00	4.46																																																																																		
#200	0.07	0.00	0.00	4.46																																																																																		
cazuela	0.0	5.00	0.14	0.00																																																																																		
		<b>3524.00</b>	<b>100.00</b>																																																																																			

Comentario:

De los resultados obtenidos se puede apreciar que la curva granulométrica sobrepasa del límite de la norma.



GRAVA	ARENA	FINOS
99.86		0.14

**Laboratorio 8 Peso específico del agregado grueso cantera Cordova - Huambutio**

ANÁLISIS DEL AGREGADO GRUESO																																																																																									
PESO ESPECÍFICO SECO																																																																																									
<b>PROYECTO:</b> UTILIZACIÓN DE CONCRETO RECICLADO COMO AGREGADO GRUESO EN PAVIMENTOS RÍGIDOS EN LA CIUDAD DE CUSCO																																																																																									
<b>UBICACIÓN</b>	CUSCO					<b>MATERIAL</b>																																																																																			
<b>EJECUTA</b>	MIRKO C. BEJAR GUIZADO					AGREGADO GRUESO CANTERA CORDOVA - HUAMBTIO																																																																																			
<b>SUPERVISA</b>	ING. GORKI ASCUE SALAS																																																																																								
<b>REFERENCIAS:</b>																																																																																									
<ul style="list-style-type: none"> <li>NTP 400.021</li> </ul>																																																																																									
<b>EQUIPOS:</b>																																																																																									
<ul style="list-style-type: none"> <li>RECIPIENTES</li> <li>HORNO</li> <li>PIPETA</li> <li>BALANZA</li> <li>FIOLA</li> <li>TELA</li> </ul>																																																																																									
<b>RELACION Y FORMULAS A EMPLEAR:</b>																																																																																									
<p>El peso específico en los agregados se puede calcular mediante la utilización de la siguiente formula:</p> <p> PESO ESPECIFICO</p> $P_{esss} = \frac{A}{B - C} * 100$ <p>Donde:  A = Peso de la muestra seca en el aire.  B = Peso de la muestra saturada superficialmente seca en el aire.  C = Peso en el agua de la muestra saturada.</p> <p>Tabla N° 01</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Temp.</th> <th>G</th> <th>K</th> <th>Temp.</th> <th>G</th> <th>K</th> <th>Temp.</th> <th>G</th> <th>K</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>18</td> <td>0.9986</td> <td>1.0004</td> <td>19</td> <td>0.9984</td> <td>1.0002</td> <td>20</td> <td>0.9982</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>0.1</td> <td>60</td> <td>4</td> <td>0.1</td> <td>41</td> <td>2</td> <td>0.1</td> <td>21</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>0.2</td> <td>58</td> <td>4</td> <td>0.2</td> <td>39</td> <td>2</td> <td>0.2</td> <td>19</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>0.3</td> <td>56</td> <td>3</td> <td>0.3</td> <td>37</td> <td>1</td> <td>0.3</td> <td>17</td> <td>0.9999</td> </tr> <tr> <td>0.4</td> <td>54</td> <td>3</td> <td>0.4</td> <td>35</td> <td>1</td> <td>0.4</td> <td>15</td> <td>9</td> </tr> <tr> <td>0.5</td> <td>52</td> <td>3</td> <td>0.5</td> <td>33</td> <td>1</td> <td>0.5</td> <td>13</td> <td>9</td> </tr> <tr> <td>0.6</td> <td>50</td> <td>3</td> <td>0.6</td> <td>31</td> <td>1</td> <td>0.6</td> <td>10</td> <td>9</td> </tr> <tr> <td>0.7</td> <td>49</td> <td>3</td> <td>0.7</td> <td>29</td> <td>1</td> <td>0.7</td> <td>8</td> <td>8</td> </tr> </tbody> </table>									Temp.	G	K	Temp.	G	K	Temp.	G	K	18	0.9986	1.0004	19	0.9984	1.0002	20	0.9982	1	0.1	60	4	0.1	41	2	0.1	21	0	0.2	58	4	0.2	39	2	0.2	19	0	0.3	56	3	0.3	37	1	0.3	17	0.9999	0.4	54	3	0.4	35	1	0.4	15	9	0.5	52	3	0.5	33	1	0.5	13	9	0.6	50	3	0.6	31	1	0.6	10	9	0.7	49	3	0.7	29	1	0.7	8	8
Temp.	G	K	Temp.	G	K	Temp.	G	K																																																																																	
18	0.9986	1.0004	19	0.9984	1.0002	20	0.9982	1																																																																																	
0.1	60	4	0.1	41	2	0.1	21	0																																																																																	
0.2	58	4	0.2	39	2	0.2	19	0																																																																																	
0.3	56	3	0.3	37	1	0.3	17	0.9999																																																																																	
0.4	54	3	0.4	35	1	0.4	15	9																																																																																	
0.5	52	3	0.5	33	1	0.5	13	9																																																																																	
0.6	50	3	0.6	31	1	0.6	10	9																																																																																	
0.7	49	3	0.7	29	1	0.7	8	8																																																																																	
<b>DATOS Y CALCULOS:</b>																																																																																									
<p> MUESTRA DE AGREGADOS A USAR:  Agregado grueso de ¾"</p>																																																																																									

 MUESTRA # 01

A = 650.00 gr.

B = 448.50 gr.

C = 200.20 gr.

 REEMPLAZANDO EN LA FORMULA:

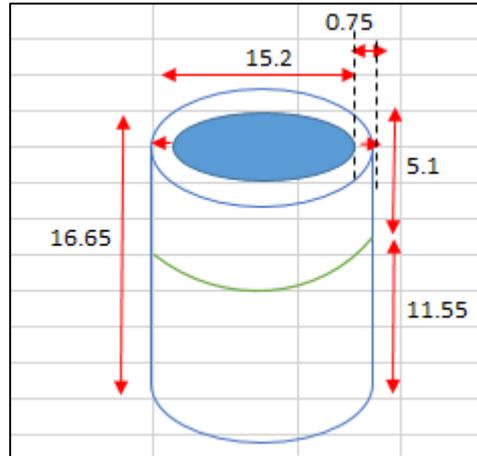
$$P_{esss} = \frac{A}{B - C} * 100$$

$$Peso\ Especifico = \left( \frac{650.00}{448.50 - 200.20} * 100 \right)$$

**Peso Específico = 2.618**

**Laboratorio 9 Peso unitario suelto y compactado del agregado grueso cantera de Cordova - Huambutio**

<b>ANALISIS DEL AGREGADO GRUESO</b>		
<b>PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTADO</b>		
<b>PROYECTO:</b> UTILIZACIÓN DE CONCRETO RECICLADO COMO AGREGADO GRUESO EN PAVIMENTOS RÍGIDOS EN LA CIUDAD DE CUSCO		
<b>UBICACIÓN</b>	CUSCO	<b>MATERIAL</b>
<b>EJECUTA</b>	MIRKO C. BEJAR GUIZADO	AGREGADO GRUESO CANTERA CORDOVA - HUAMBTIO
<b>SUPERVISA</b>	ING. GORKI ASCUE SALAS	
<b>REFERENCIAS:</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>NTP 400.017</li> </ul>		
<b>EQUIPOS:</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>RECIPIENTES</li> <li>HORNO</li> <li>PIPETA</li> <li>BALANZA</li> </ul>		
<b>RELACION Y FORMULAS A EMPLEAR:</b>		
<p>El peso unitario suelto y compactado en los agregados se puede calcular mediante la utilización de la siguiente formula:</p> <p> PESO ESPECIFICO SUELTO</p> $Peso\ unitario\ suelto(Ms) = \frac{G - T}{V}$ <p>Donde:</p> <p>M = Peso unitario del agregado.  G = Peso del recipiente de medida más el agregado.  T = Peso del recipiente de medida.  A = Agregado suelto.  B = agregado compactado.  Vc = volumen de molde sin collarín.</p> <p> PESO ESPECIFICO COMPACTADO</p> $Peso\ unitario\ compactado(Mc) = \frac{G - T}{V}$ <p>Donde:</p> <p>M = Peso unitario del agregado.  G = Peso del recipiente de medida más el agregado.  T = Peso del recipiente de medida.  A = Agregado suelto  B = Agregado compactado  Vc= Volumen de molde sin collarín</p>		

**DATOS Y CALCULOS:**

$VOL$  (sin collarín) = 2090.55 cm<sup>3</sup>

$VOL$  (con collarín) = 3020.46 cm<sup>3</sup>

✚ MUESTRA DE AGREGADOS A USAR:

Agregado grueso de ¾"

✚ MUESTRA # 1

Peso molde (T) = 6520.00 gr

P. molde + AG. Suelto = 9565.30 gr

P. molde + AG. Compact. = 9819.22 gr

✚ REEMPLAZANDO EN LA FORMULA:

$$\text{Peso unitario suelto} = \frac{G - T_s}{V}$$

$$\text{Peso unitario suelto} = \left( \frac{9565.30 - 6520.00}{2090.55} \right)$$

$$\text{Peso unitario suelto} = 1.45670 \text{ gr/cm}^3 = 1456.70 \text{ kg/cm}^3$$

$$\text{Peso unitario compactado} = \frac{G - T_c}{V}$$

$$\text{Peso unitario compactado} = \left( \frac{9819.22 - 6520.00}{2090.55} \right)$$

$$\text{Peso unitario compactado} = 1.57816 \text{ gr/cm}^3 = 1578.16 \text{ kg/cm}^3$$

**Laboratorio 10 Porcentaje de humedad en el agregado grueso cantera Cordova - Huambutio**

<b>ANALISIS DEL AGREGADO GRUESO</b>		
<b>PORCENTAJE DE CONTENIDO DE HUMEDAD</b>		
<b>PROYECTO:</b> UTILIZACIÓN DE CONCRETO RECICLADO COMO AGREGADO GRUESO EN PAVIMENTOS RÍGIDOS EN LA CIUDAD DE CUSCO		
<b>UBICACIÓN</b>	CUSCO	<b>MATERIAL</b>
<b>EJECUTA</b>	MIRKO C. BEJAR GUIZADO	AGREGADO GRUESO CANTERA CORDOVA - HUAMBTIO
<b>SUPERVISA</b>	ING. GORKI ASCUE SALAS	
<b>REFERENCIAS:</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>NTP 339.185</li> </ul>		
<b>EQUIPOS:</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>RECIPIENTES</li> <li>HORNO</li> <li>BALANZA</li> </ul>		
<b>RELACION Y FORMULAS A EMPLEAR:</b>		
<p>El contenido de humedad en los agregados se puede calcular mediante la utilización de la siguiente formula:</p> $P = \frac{100(W - D)}{D}$ <p>Donde:  <i>W</i> = Masa de la muestra húmeda original.  <i>D</i> = Masa de la muestra seca.  <i>P</i> = Contenido de humedad total evaporable de la muestra.</p>		
<b>DATOS Y CALCULOS:</b>		
<p>✚ MUESTRA DE AGREGADO A USAR: Agregado grueso ¾"</p> <p>✚ MUESTRA # 1  <i>W</i> = 222.19  <i>D</i> = 220.42</p> <p>REEMPLAZANDO EN LA FORMULA:</p> $P = \frac{100(W - D)}{D}$ $P = \frac{100(222.19 - 220.42)}{220.42}$ <p><b>W= 0.80 %</b></p>		

**Laboratorio 11 Porcentaje de Absorción del agregado grueso cantera Cordova - Huambutio**

ANÁLISIS DEL AGREGADO GRUESO		
PORCENTAJE DE ABSORCIÓN		
PROYECTO: UTILIZACIÓN DE CONCRETO RECICLADO COMO AGREGADO GRUESO EN PAVIMENTOS RÍGIDOS EN LA CIUDAD DE CUSCO		
<b>UBICACIÓN</b>	CUSCO	<b>MATERIAL</b>
<b>EJECUTA</b>	MIRKO C. BEJAR GUIZADO	AGREGADO GRUESO CANTERA CORDOVA - HUAMBTIO
<b>SUPERVISA</b>	ING. GORKI ASCUE SALAS	
REFERENCIAS:		
<ul style="list-style-type: none"> <li>NTP 400.021</li> </ul>		
<b>EQUIPOS:</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>RECIPIENTES</li> <li>HORNO</li> <li>TAMICES</li> <li>BALANZA</li> </ul>		
<b>RELACION Y FORMULAS A EMPLEAR:</b>		
<p>La absorción en los agregados se puede calcular mediante la utilización de la siguiente fórmula:</p> $\text{Absorción (A\%)} = \frac{(B - A)}{A} \times 100$ <p>Donde:  A% = Absorción  A = Masa de la muestra seca  B = Masa de la muestra saturada superficialmente seca</p>		
<b>DATOS Y CALCULOS:</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>MUESTRA DE AGREGADOS A USAR: Agregado grueso de ¾"</li> <li>MUESTRA # 01 A = 279.53 gr. B = 270.60 gr.</li> </ul> <p>REEMPLAZANDO EN LA FORMULA:</p> $\text{Absorción} = \frac{(B - A)}{A} \times 100$ $\text{Absorción} = \frac{(279.53 - 270.60)}{270.60} \times 100$ <p><b>Absorción = 0.33 %</b></p>		

**Laboratorio 12 Porcentaje de Abrasión de los Ángeles en el agregado grueso cantera Cordova - Huambutio**

<b>ANALISIS DEL AGREGADO GRUESO</b>		
<b>ABRASION DE LOS ANGELES</b>		
<b>PROYECTO:</b> UTILIZACIÓN DE CONCRETO RECICLADO COMO AGREGADO GRUESO EN PAVIMENTOS RÍGIDOS EN LA CIUDAD DE CUSCO		
<b>UBICACIÓN</b>	CUSCO	<b>MATERIAL</b>
<b>EJECUTA</b>	MIRKO C. BEJAR GUIZADO	AGREGADO GRUESO CANTERA CORDOVA - HUAMBTIO
<b>SUPERVISA</b>	ING. GORKI ASCUE SALAS	
<b>REFERENCIAS:</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>NTP 400.019</li> </ul>		
<b>EQUIPOS:</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>ESFERAS: (CARGA ABRASIVA)</li> <li>MAQUINA DE LOS ANGELES</li> <li>CHAROLAS RECTANGULARES</li> <li>CUCHARON</li> <li>BALANZA DE CAPACIDAD DE 20 KG Y DE APROX. DE 1 gr.</li> </ul>		
<b>RELACION Y FORMULAS A EMPLEAR:</b>		
<p>La abrasión de los ángeles en los agregados se puede calcular mediante la utilización de la siguiente formula:</p> $Perdida\ maxima = \frac{Po - Pf}{Po} \times 100$ <p>Donde:            Po = Peso inicial            Pf = Peso final</p>		
<b>TABLA DE RESISTENCIA MECANICA DEL GREGADO GRUESO</b>		
<b>Métodos</b>		<b>No mayor que</b>
Abrasión Los Ángeles (NTP 400.019:2002)		50%
<b>DATOS Y CALCULOS:</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>MUESTRA DE AGREGADOS A USAR: Agregado grueso de ¾"</li> <li>MUESTRA # 01</li> </ul> <p>Po =5000.00 gr.            Pf = 3900.00 gr.</p> <p>REEMPLAZANDO EN LA FORMULA:</p>		

$$\textit{Perdida maxima} = \frac{P_o - P_f}{P_o} \times 100$$

$$\textit{Perdida maxima} = \frac{(5000.00 - 3900.00)}{5000.00} \times 100$$

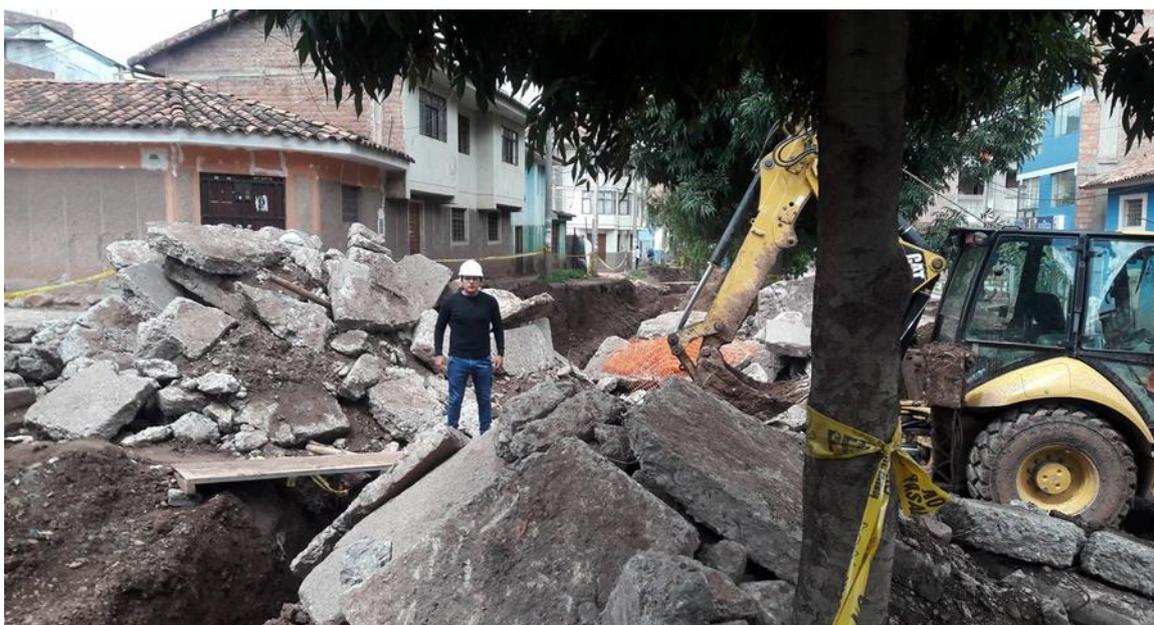
**Perdida máxima = 22.00 %**

## PANEL FOTOGRÁFICO

**Foto 1** Concreto reciclado de pavimento rígido en deterioro ubicado en la urb. Progreso con la urb. Ttio norte del distrito de wanchaq (punto 01)



**Foto 2** Concreto reciclado de pavimento rígido en deterioro ubicado en la urb. Progreso con la urb. Ttio norte del distrito de wanchaq (punto 02)



**Foto 3 Recolección de escombros de testigos de concreto del laboratorio Geo Test**



**Foto 4 Triturado de agregado reciclado de pavimento rígido y escombros de testigos de concreto**



**Foto 5 Granulometría del agregado grueso de 3/4" reciclado de pavimentos rígidos y escombros de testigos de concreto**



**Foto 6 Ensayo de abrasión de los ángeles del agregado grueso reciclado**



**Foto 7 Materiales para la elaboración del concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> con agregado grueso reciclado de pavimento rígido**



**Foto 8 Tara de agregado grueso de 3/4" reciclado de pavimento rígido**



**Foto 9 Tara de arena gruesa de huambutio cordova**



**Foto 10 Tara de agua**



**Foto 11 Incorporación del agregado grueso reciclado de pavimento rígido**



**Foto 12 Mezcla de componentes**



**Foto 13 Slump de 3 cm; Obtenido en todas la mezclas**

**Slump de 3**



**Foto 14 Moldes de 10 x 20 cm con agregado grueso de 3/4" reciclado de pavimento rígido**



**Foto 15 Materiales para el Vaciado de Concreto  $F'C=210$  kg/cm<sup>2</sup> con agregado Grueso de 3/4" reciclado de escombros de testigos de concreto**



**Foto 16 Tara de Agregado Grueso Reciclado de Testigos de Concreto**



**Foto 17 Tara de arena gruesa de humbutio cordova**



**Foto 18 Tara de agua**



**Foto 19 Incorporación del agregado grueso de 3/4" reciclado de escombros de testigos de concreto**



**Foto 20 Mezcla de componentes**



**Foto 21 Slump de 3"; Obtenido en todas la mezclas**



Slump de 3

**Foto 22 Moldes de 10 x 20 cm con agregado grueso de 3/4" reciclado con escombros de testigos de concreto**



**Foto 23 Curado de testigos de concreto**



**Foto 24 Rotura de testigos de concreto**



**Foto 25 Rotura de testigos de concreto**

